

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Ein Beitrag aus *Modul 3 Quartiere* der
Wissenschaftlichen Begleitforschung Energiewendebauen

Moritz Zuschlag, Joana Baumann, Tobias Beckhölter, Jonas Klingebiel, Rita Streblow, Dirk Müller
RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Juli 2025

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1 Einleitung	4
2 Ziel der Studie	4
3 Überblick betrachtete Wärmepläne	5
4 Bewertung der darzustellenden Ergebnisse	7
4.1 Bestandsanalyse	8
4.2 Potenzialanalyse	10
4.3 Zielszenario	10
4.4 Einteilung des beplanten Gebietes	12
4.5 Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr	12
5 Auswertung und Ableitung von Handlungsempfehlungen	13
5.1 Bestandsanalyse	13
5.2 Potenzialanalyse	21
5.2.1 Betrachtung Erzeuger- und Speicherpotenziale	23
5.2.2 Betrachtung Energieeinsparpotenziale	26
5.3 Zielszenario, Gebietseinteilung & Wärmeversorgungsarten	30
5.4 Eignungsprüfung	39
6 Diskussion	41
7 Zusammenfassung	41
Abbildungsverzeichnis	44
Tabellenverzeichnis	44
Literaturverzeichnis	45

Kurzfassung

Die vorliegende Studie untersucht den aktuellen Stand der Wärmeplanung anhand 19 exemplarisch ausgewählter kommunaler Wärmepläne aus Deutschland, dem *Leitfaden Wärmeplanung – Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche* des Kompetenzzentrums Kommunale Wärmewende und dem Wärmeplanungsgesetz.

Im Fokus der Untersuchung stehen die Methodik und die Ergebnisdarstellung in den drei zentralen Phasen der Wärmeplanung: Bestandsanalyse, Potenzialanalyse sowie gebündelt dem Zielszenario, der Gebietseinteilung und der Darstellung der Wärmeversorgungsarten. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte anhand der Vorgaben der Anlage 2 zu § 23 des Wärmeplanungsgesetzes. Dabei zeigt sich, dass keiner der untersuchten Pläne alle geforderten Inhalte vollständig abbildet. Ein Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der Erstellung (vor oder nach Inkrafttreten des Wärmeplanungsgesetzes) und der Qualität der Ergebnisdarstellung konnte nicht eindeutig festgestellt werden. Besonders hervorzuheben ist der Wärmeplan der Stadt Aachen, der im Umfang der Ergebnisse positiv auffällt, jedoch ebenfalls nicht alle Anforderungen des Wärmeplanungsgesetzes vollständig erfüllt.

Methodisch wurden in den einzelnen Planungsphasen deutliche Unterschiede festgestellt: In der Bestandsanalyse dominiert die verbrauchsgestützte Ermittlung des Endenergiebedarfs, häufig unter Nutzung von Näherungsverfahren zur Datenlückenschließung. Die Potenzialanalyse zeigt insbesondere bei Einsparpotenzialen eine hohe Heterogenität in der Sektorenbetrachtung und den verwendeten Annahmen. Erzeuger- und Speicherpotenziale werden uneinheitlich berücksichtigt, wobei Wärmespeicher generell nur selten betrachtet werden. Für die Ausweisung der zukünftigen Wärmeversorgungsarten reichen die angewandten Methoden von rein qualitativen bis zu kombinierten qualitativen und quantitativen Ansätzen, wobei insbesondere die Bewertungskriterien zur Wärmedichte und deren Grenzwerte uneinheitlich verwendet werden.

Abschließend werden Empfehlungen zur Weiterentwicklung des gesetzlichen Rahmens und des Leitfadens gegeben, unter anderem zur Klarstellung der Methodenvorgaben, zur einheitlichen Sektorenbetrachtung, zur präziseren Definition des Erzeugerpotenzials sowie zur systematischen Integration quantitativer Kriterien in die Gebietseinteilung. Ziel ist eine höhere Vergleichbarkeit, Transparenz und Vollständigkeit zukünftiger Wärmepläne.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

1 Einleitung

Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen im Gebäudesektor zu reduzieren [1]. Als maßgebliches Werkzeug hierzu wurde das Gebäudeenergiegesetz eingeführt [2]. Zusätzlich zu diesem gilt seit 2024 das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (WPG) [3]. Dieses soll als regulatorisches Werkzeug einen Beitrag zur Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme leisten [3]. Durch die im WPG vorgegebene Wärmeplanung sollen sich die Kommunen mit ihrer zukünftigen Wärmeversorgung beschäftigen und für diese Szenarien entwickeln [3]. Dänemark ist ein Vorbild, welches die erfolgreiche Umsetzung und den Mehrwert einer Wärmeplanung aufzeigt, da es mit der Wärmeplanung den Ausbau von Wärmenetzen beschleunigen konnte und so den Bedarf an fossilen Ressourcen zur Wärmeversorgung seit 1972 um ca. 80 % reduziert hat [4] [5].

Für Deutschland verpflichtet das WPG 10.994 Kommunen Wärmepläne zu erstellen [6]. Die Wärmepläne sind in Abhängigkeit der Einwohnerzahl bis zum 30.06.2026 (ab 100.000 Einwohner) bzw. bis zum 30.06.2028 (unter 100.000 Einwohner) fertigzustellen und zu veröffentlichen [3].

Um die Kommunen in ihrer Wärmeplanung zu unterstützen, wurden von verschiedenen Institutionen Leitfäden veröffentlicht, beispielsweise vom Land Bayern [7] oder der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA) [8], sowie der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW) zusammen mit dem Deutscher Verein des Gas- und Wärme, Kälte und KWK e. V. Wasserfach e. V. (DVGW) [9]. Herauszustellen ist der Leitfaden des Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW) *Leitfaden Wärmeplanung – Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche* (KWW-LF), als eine bundesweite Anlaufstelle der kommunalen Wärmeplanung [10].

2 Ziel der Studie

Ziel dieser Studie ist es Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung zu erarbeiten, die entweder in das WPG und/oder den KWW-LF übernommen werden können. Hierzu bewertet die Studie zunächst den Stand der Wärmeplanung in Deutschland. Der Fokus liegt auf dem Abgleich der Wärmepläne mit den nach WPG darzustellenden Ergebnissen der Wärmeplanung. Ergänzend dazu wird detailliert die Methodik der Wärmepläne erfasst, um geeignete Methoden herauszustellen und die Anforderungen des WPG hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu bewerten. Zusätzlich werden die Wärmepläne mit den Empfehlungen des KWW-LF abgeglichen sowie dieser mit dem WPG. Schlussendlich zeigt die Studie damit auf, wie sowohl WPG als auch KWW-LF verbessert werden können, um in Zukunft die planungsverantwortliche Stelle in ihrer Wärmeplanung besser zu unterstützen.

3 Überblick betrachtete Wärmepläne

Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Stand der Wärmeplanung in Deutschland vor dem WPG. Hierzu sind rot die Bundesländer markiert, in denen bereits vor dem Inkrafttreten des WPG eine gesetzliche Verpflichtung zur Erstellung einer Wärmeplanung vorlag. Für die Studie (Stand Juni 2024) wurden 19 veröffentlichte Wärmepläne identifiziert. Diese sind in der Deutschlandkarte (s. Abbildung 1, grüner Marker) eingetragen. Auffallend ist, dass das Bundesland Baden-Württemberg hier von der Anzahl dominiert. Dies ist auf die bereits vor Inkrafttreten des WPG in Baden-Württemberg seit 2020 verpflichtende Wärmeplanung mit einer Frist bis zum Dezember 2023 [11] zurückzuführen.

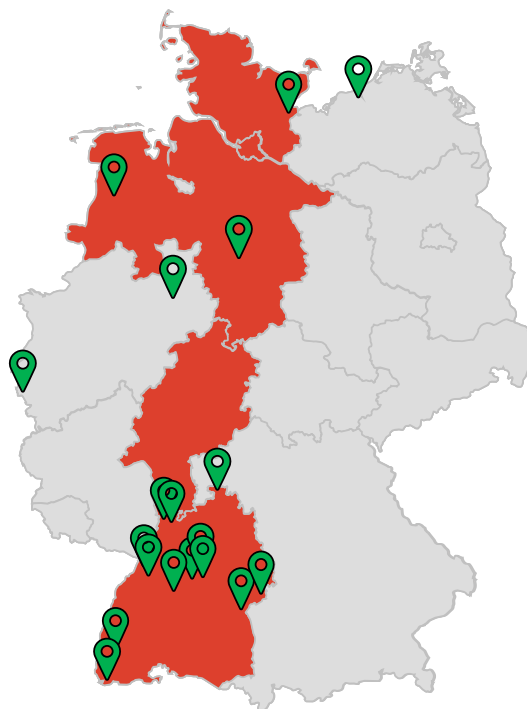


Abbildung 1: Überblick über die Wärmeplanung in Deutschland zum Zeitpunkt der Studie (Juni 2024); ergänzt um die Wärmepläne aus Aachen, Bielefeld und Lübeck. Veröffentlichte Wärmepläne sind mit einem grünen Marker gekennzeichnet. Bundesländer, in denen bereits vor Inkrafttreten des bundesweiten WPG eine verpflichtende kommunale Wärmeplanung bestand, sind rot markiert.

Der in Abbildung 1 beschriebene Querschnitt soll eine repräsentative Auswahl an Wärmeplänen für Deutschland darstellen. Dieser Querschnitt erfolgt anhand einer unterschiedlichen Einwohnerzahl der Kommunen und einer Berücksichtigung der verschiedenen Bundesländer. Tabelle 1 listet die Auswahl an Wärmeplänen auf, die im Rahmen der Studie genauer betrachtet werden. Aufgrund des vergleichsweise großen Anteiles an Wärmeplänen aus Baden-Württemberg, ist dieses Bundesland überrepräsentiert. Ergänzt wird der Querschnitt um die Wärmepläne der Städte Aachen, Bielefeld und Lübeck. Diese wurden zusätzlich mitaufgenommen, da sie im Vergleich zu den anderen Wärmeplänen unter das WPG fallen.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tabelle 1: Repräsentative Auswahl der Wärmepläne

Wärmeplan	Bundesland	Einwohnerzahl
Stuttgart [12]	Baden-Württemberg	610.458
Hannover [13]	Niedersachsen	513.291
Bielefeld [14]	Nordrhein-Westfalen	331.519
Emsland [15]	Niedersachsen	328.946
Mannheim [16]	Baden-Württemberg	313.693
Aachen [17]	Nordrhein-Westfalen	263.772
Lörrach [18]	Baden-Württemberg	234.023
Freiburg im Breisgau [19]	Baden-Württemberg	233.040
Lübeck [20]	Schleswig-Holstein	217.061
Rostock [21]	Mecklenburg-Vorpommern	203.470
Heidelberg [22]	Baden-Württemberg	153.809
Ulm [23]	Baden-Württemberg	127.116
Tübingen [24]	Baden-Württemberg	90.499
Baden-Baden [25]	Baden-Württemberg	55.887
Rastatt [26]	Baden-Württemberg	50.546
Schorndorf [27]	Baden-Württemberg	40.548
Wertheim [28]	Baden-Württemberg	22.799
Giengen an der Brenz [29]	Baden-Württemberg	19.433
Obersonthem [30]	Baden-Württemberg	5.340

4 Bewertung der darzustellenden Ergebnisse

Neben der Verpflichtung zur Wärmeplanung gibt das WPG auch umfangreiche inhaltliche Vorgaben [3]. Diese werden im Folgenden genauer ausgeführt und sind für diese Studie maßgeblich zur Bewertung der Wärmepläne. So beschreibt § 13 WPG [3] den Ablauf der Wärmeplanung. Zusammenfassen lässt sich diese entsprechend auf die folgenden Phasen:

- Eignungsprüfung nach § 14
- Bestandsanalyse nach § 15
- Potenzialanalyse nach § 16
- Zielszenario nach § 17
- Ausweisung von Wärmeversorgungsgebieten nach § 18
- Darstellung der Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr nach § 19
- Umsetzungsstrategie nach § 20

Zusätzlich zu dem Inhalt sind die Ergebnisse der zuvor genannten Phasen im Wärmeplan nach § 23 Abs. 2 WPG [3] darzustellen. Hierzu wird in § 23 Abs. 2 WPG [3] auf die Anlage 2 zu § 23 WPG [3] verwiesen.

In den folgenden Abschnitten werden jeweils für die genannten Phasen der Wärmeplanung jeweils die Vorgaben zur Darstellung der Ergebnisse entsprechend der Anlage 2 zu § 23 WPG [3] tabellarisch aufgeführt. Für die Bewertung der Darstellung der Ergebnisse in den Wärmeplänen anhand der Vorgaben der Anlage 2 zu § 23 WPG [3] wird ein Bewertungssystem eingeführt. Für die Bewertung wird im Allgemeinen bei der Erfüllung einer Vorgabe 1 Punkt (P) vergeben und bei Nichterfüllung 0 P. Wenn eine Anforderung sich in mehrere Unteranforderungen unterteilen lässt, werden Teilpunkte vergeben. Pro Vorgabe wird somit maximal 1 P vergeben. Anforderungen, die nicht eindeutig zu bewerten sind, werden mit einem „?“ gekennzeichnet.

Als Ausnahme enthält entgegen der Beschreibung in § 23 Abs. 2 WPG [3] die Anlage 2 zu § 23 WPG [3] keine Vorgaben für die Darstellung der Ergebnisse der Eignungsprüfung. Daher findet eine Bewertung der Ergebnisdarstellung für die Eignungsprüfung in dieser Studie entsprechend nicht statt. Ergänzend wird die Eignungsprüfung in Unterabschnitt 5.4 methodisch bewertet.

In dieser Studie wird nicht weiter auf die Umsetzungsstrategie nach § 20 WPG [3] und die Bewertung dieser eingegangen.

4.1 Bestandsanalyse

Nach § 15 WPG [3] hat die planungsverantwortliche Stelle für die Bestandsanalyse die relevanten Informationen und Daten als Grundlage für die anschließenden Phasen zusammenzutragen. Wie die Ergebnisse darzustellen sind, wird in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 1. WPG [3] beschrieben. Dieser nach müssen die Ergebnisse textlich, grafisch und kartografisch dargestellt werden. Tabelle 2 stellt für die geforderte textliche und grafische Darstellung das in dieser Studie eingeführte Bewertungsschema vor. Die Nummerierung der Bezüge ist angelehnt an die in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 1. WPG [3] aufgeführten Stichpunkte.

Tabelle 2: Bewertungsschema für die Ergebnisdarstellung der Bestandsanalyse nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 1. WPG [3]

Bezug	Bewertung
I.1.1	<ul style="list-style-type: none">• 1/3 P für den Endenergieverbrauch nach Energieträger• 1/3 P für den Endenergieverbrauch nach Energiesektor• 1/3 P für die Emissionen von Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten
I.1.2	<ul style="list-style-type: none">• 1/2 P für den aktuellen Anteil erneuerbarer Energien am jährlichen Endenergieverbrauch von Wärme nach Energieträgern in Prozent• 1/2 P für den aktuellen Anteil unvermeidbarer Abwärme am jährlichen Endenergieverbrauch von Wärme nach Energieträgern in Prozent
I.1.3	<ul style="list-style-type: none">• 1 P für die Auflistung des jährlichen Endenergieverbrauchs der leitungsgebundenen Wärme nach Energieträgern in Kilowattstunden
I.1.4	<ul style="list-style-type: none">• 1/2 P für den aktuellen Anteil erneuerbarer Energien am jährlichen Endenergieverbrauch von leitungsgebundener Wärme nach Energieträgern in Prozent• 1/2 P für den aktuellen Anteil unvermeidbarer Abwärme am jährlichen Endenergieverbrauch von leitungsgebundener Wärme nach Energieträgern in Prozent
I.1.5	<ul style="list-style-type: none">• 1 P für die Auflistung der Anzahl aktueller dezentraler Wärmeerzeuger, einschließlich Hausübergabestationen, nach Art der Wärmeerzeuger einschließlich des eingesetzten Energieträgers

In Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 2. WPG [3] werden die Ergebnisse der Bestandsanalyse aufgeführt, die kartografisch darzustellen sind. Tabelle 3 führt die darzustellenden Ergebnisse und die in dieser Studie vorgenommene Bewertung auf. Die Nummerierung ist angelehnt an die in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 2. WPG [3] aufgeführten Stichpunkte.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tabelle 3: Bewertungsschema für die Ergebnisdarstellung der Bestandsanalyse nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 2. WPG [3]

Bezug	Bewertung
I.2.1	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die Wärmeverbrauchsichten in MWh/(ha*a) in Form einer baublockbezogenen Darstellung
I.2.2	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die Wärmelinienichten in kWh(m*a) in Form einer straßenabschnittbezogenen Darstellung
I.2.3	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für den Anteil der Energieträger am jährlichen Endenergieverbrauch für Wärme in Form einer baublockbezogenen Darstellung
I.2.4	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die baublockbezogene Darstellung der Anzahl der dezentralen Wärmeerzeuger, einschließlich Hausübergabestationen
I.2.5	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die baublockbezogene Darstellung des überwiegenden Gebäudetyps
I.2.6	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die baublockbezogene Darstellung der überwiegenden Baualtersklasse der Gebäude
I.2.7	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die standortbezogene Darstellung der Kunden oder Letztverbraucher nach § 7 Absatz 3 Nummer 3
I.2.8 a)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für Ausweisung bestehender, geplanter und genehmigter Wärmenetze in den nachfolgenden Kategorien (1/6 P pro Kategorie): <ul style="list-style-type: none"> ○ aa) Lage ○ bb) Art: Wasser oder Dampf ○ cc) Jahr der Inbetriebnahme ○ dd) Temperatur ○ ee) gesamte Trassenlänge ○ ff) Gesamtanzahl an Anschlüssen
I.2.8 b)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die Ausweisung bestehender, geplanter und genehmigter Gasnetze nachfolgenden Kategorien (1/5 P pro Kategorie): <ul style="list-style-type: none"> ○ aa) flächenhafte Lage, also baublock- und nicht leitungsbezogen ○ bb) Art: Methan, Wasserstoff ○ cc) Jahr der Inbetriebnahme ○ dd) gesamte Trassenlänge ○ ee) Gesamtanzahl an Anschlüssen
I.2.8 c)	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die Darstellung von bestehenden, geplanten und genehmigten Abwassernetze mit Informationen zum Trockenwetterabfluss
I.2.9	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die standortbezogene Darstellung jeder bestehender, geplanter oder genehmigter Wärmeerzeugungsanlage, einschließlich Wärmekopplungsanlagen, die in ein Wärmenetz einspeisen, mit Information zur abgabeseitigen Nennleistung, zum Jahr der Inbetriebnahme und zum Energieträger • ?, wenn nicht festgestellt werden kann, ob keine Anlagen vorhanden sind oder die vorherigen Punkte nicht bearbeitet wurden
I.2.10	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die standortbezogene Darstellung von gewerblich betriebenen Wärme- und Gasspeichern, differenziert nach Art des Gases • ?, wenn nicht festgestellt werden kann, ob keine Wärme- und Gasspeicher vorhanden sind oder die vorherigen Punkte nicht bearbeitet wurden
I.2.11	<ul style="list-style-type: none"> • 1 P für die standortbezogene Darstellung von bestehenden, geplanten und genehmigten Anlagen zur Erzeugung von Wasserstoff oder synthetischen Gasen mit einer Kapazität von mehr als 1MW • ?, wenn nicht festgestellt werden kann, ob keine Anlagen vorhanden sind oder die vorherigen Punkte nicht bearbeitet wurden

4.2 Potenzialanalyse

Nach § 16 WPG [3] hat die planungsverantwortliche Stelle vorhandene Potenziale zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien, zur Nutzung unvermeidbarer Abwärme, zur zentralen Wärmespeicherung und zur Wärmebedarfsreduktion auszuweisen. Die für diese Phase darzustellenden Ergebnisse werden in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] als Fließtext beschrieben. Tabelle 4 stellt die Bestandteile dieses Fließtextes mit dem eingeführten Bewertungsschema vor. Die Nummerierung der Bezüge beschreibt die aus dem Fließtext abgeleiteten einzelnen darzustellenden Ergebnisse.

Tabelle 4: Bewertungsschema für die Ergebnisdarstellung der Potenzialanalyse nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] (eigene Nummerierung)

Bezug	Bewertung
II.1	<ul style="list-style-type: none">• 1 P für die Ausweisung des Erzeugerpotenzial als Zahl einschließlich des dazugehörigen Energieträgers
II.2	<ul style="list-style-type: none">• Jeweils 1 P für die kartographische Darstellung der ermittelten Potenziale (s. Nr. 1), anschließende Gewichtung mit der Gesamtheit aller ermittelten Potenziale
II.3	<ul style="list-style-type: none">• 1 P für das Ausweisen von Ausschlussgebieten (kartografisch)
II.4	<ul style="list-style-type: none">• 1/3 P für Gebäude räumlich differenziert dargestelltes Energieeinsparpotenzial• 1/3 P für industrielle Prozesse räumlich differenziert dargestelltes Energieeinsparpotenzial• 1/3 P für gewerbliche Prozesse räumlich differenziert dargestelltes Energieeinsparpotenzial
II.5	<ul style="list-style-type: none">• 1/2 P für Synergieeffekte jedweder Art• 1/2 P für Synergieeffekte hinsichtlich gemeinsamer Investitionen und Kosteneffizienz• ?, wenn nicht beurteilt werden kann, ob Synergieeffekte mit anderen Behörden bestehen oder die vorherigen Punkte nicht bearbeitet wurden

4.3 Zielszenario

Nach § 17 WPG [3] hat die planungsverantwortliche Stelle anhand der in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt III WPG [3] aufgeführten Punkte die Zukunft der Wärmeversorgung für das geplante Gebiet zu beschreiben. Zusätzlich sind die § 18 WPG [3] und § 19 WPG [3] hierbei zu berücksichtigen. Die in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt III WPG [3] beschriebenen darzustellenden Ergebnisse zeigt mit dem dazugehörigen Bewertungsschema. In diesem Abschnitt wird die Darstellung für die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2045 verlangt. Die Nummerierung der Bezüge in Tabelle 5 ist angelehnt an die in Anlage 2 Abschnitt III WPG [3] aufgeführten Stichpunkte.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tabelle 5: Bewertung der Darstellung des Zielszenarios nach Anlage 2 Abschnitt III WPG [3]

Bezug	Bewertung für die Stützjahre 2030, 2035, 2040 und 2045 ist anzugeben:
III.1	<ul style="list-style-type: none"> • jährlicher Endenergieverbrauch je Endenergiesektoren in kWh/a; • 1/8 P je Stützjahr • jährlicher Endenergieverbrauch je Energieträger in kWh/a; • 1/8 P je Stützjahr
III.2	<ul style="list-style-type: none"> • Ausweisung der jährlichen THG-Emissionen, im Sinne von §2 Nummer 1 des Bundesklimaschutzgesetz, der gesamten Wärmeversorgung des beplanten Gebietes in tCO₂-Äquivalent; • 1/4 P je Stützjahr
III.3	<ul style="list-style-type: none"> • jährlicher Endenergieverbrauchs der leitungsgebundenen Wärmeversorgung nach Energieträgern in kWh/a; • 1/8 P je Stützjahr • Prozentualer Anteil der Energieträger am gesamten Energieverbrauch der leitungsgebundenen Wärmeversorgung; • 1/8 P je Stützjahr
III.4	<ul style="list-style-type: none"> • Prozentualer Anteil leitungsgebundener Wärmeversorgung am gesamten Endenergieverbrauch der Wärmeversorgung; • 1/4 P je Stützjahr
III.5	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der Gebäude mit Anschluss an ein Wärmenetz; • 1/8 P je Stützjahr • Prozentualer Anteil der Gebäude mit Anschluss an ein Fernwärmenetz; • 1/8 P je Stützjahr
III.6	<ul style="list-style-type: none"> • jährlicher Endenergiebedarf aus Gasnetzen nach Energieträgern in kWh/a; • 1/8 P je Stützjahr • Prozentualer Anteil der Energieträger am gesamten Endenergieverbrauch der gasförmigen Energieträger; • 1/8 P je Stützjahr
III.7	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl an Gebäuden mit Anschluss an ein Gasnetz im beplanten Gebiet; • 1/8 P je Stützjahr • Prozentualer Anteil der Gebäude mit Anschluss an ein Gasnetz; • 1/8 P je Stützjahr

4.4 Einteilung des beplanten Gebietes

Die Einteilung des beplanten Gebietes wird in § 18 WPG [3] ausgeführt. Sie erfolgt auf der Grundlage der Bestands- und Potenzialanalyse und soll Wärmeversorgungsgebiete ausweisen. Die Vorgabe zur Darstellung dieser Wärmeversorgungsgebiete erfolgt in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt IV WPG [3] als Fließtext. Tabelle 6 stellt die Bestandteile dieses Fließtextes mit eingeführter eigener Nummerierung der Bezüge und dem dazugehörigen Bewertungsschema vor.

Tabelle 6: Bewertung der Darstellung der Einteilung des beplanten Gebietes in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete nach Anlage 2 Abschnitt IV WPG [3] (eigene Nummerierung)

Bezug	Bewertung
IV.1	<ul style="list-style-type: none">• textliche Darstellung der im Wärmeplan getroffenen Einteilung der Grundstücke und Baublöcke in verschiedene Kategorien von voraussichtlichen Wärmeversorgungsgebieten nach § 18 für die Jahre 2030, 2035 und 2040; je 1/6 P für Darstellung für vorgegebenes Jahr• je 1 P für die kartographische Darstellung der im Wärmeplan getroffenen Einteilung der Grundstücke und Baublöcke in verschiedene Kategorien von voraussichtlichen Wärmeversorgungsgebieten nach §18 für die Jahre 2030, 2035 und 2040; je 1/6 P für Darstellung für vorgegebenes Jahr
IV.2	<ul style="list-style-type: none">• 1 P für die kartografische Darstellung zu Informationszwecken von Gebieten oder Straßenabschnitten, für die auf Grundlage einer bestehenden Satzung ein Anschluss- und Benutzungszwang besteht und somit eine Wärmeversorgung über individuelle, dezentrale Heizungsanlagen nicht oder nur ausnahmsweise zulässig ist• ?, wenn nicht beurteilt werden kann, ob Gebiete mit Anschlusszwang vorliegen oder die vorherigen Punkte bearbeitet wurden
IV.3	<ul style="list-style-type: none">• Vereinfachte Bewertung• 1/2 P für die textliche Darstellung von Teilgebieten mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial• 1/2 P für die kartografische Darstellung von Teilgebieten mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial

4.5 Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr

Nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt V WPG [3] hat die die Darstellung der Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr und der entsprechenden Bewertung mit „sehr wahrscheinlich geeignet“ über „wahrscheinlich geeignet“ und „wahrscheinlich ungeeignet“ bis zu „sehr wahrscheinlich ungeeignet“ zu erfolgen. Eine entsprechende Ausführung wird mit 1 P bewertet und im Folgenden mit dem Bezug V angeführt.

5 Auswertung und Ableitung von Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel wird die Auswertung zur Ergebnisdarstellung und der Methodik der einzelnen Phasen der Wärmeplanung vorgestellt. Diese werden tabellarisch und farblich codiert dargestellt. Die Eignungsprüfung wird als letztes in Abschnitt 5.4 betrachtet, mit dort zu findender Begründung, warum sie entgegen der Reihenfolge der Wärmeplanung zuletzt betrachtet wird.

Die inhaltlichen Methoden der Wärmepläne einer jeden Phase werden im Anschluss präsentiert. Die in den Wärmeplänen verwendeten Methoden werden aufgezeigt und miteinander verglichen. Eine Gegenüberstellung der Methoden mit den Ausführungen des WPG und des KWW-LF folgt. Zum Schluss wird für jede Phase eine Stellungnahme mit Handlungsempfehlungen für die Wärmeplanung abgeleitet und vorgestellt.

5.1 Bestandsanalyse

Wie in Abschnitt 4.1 ausgeführt, sind die Ergebnisse der Bestandsanalyse textlich, grafisch und kartografisch darzustellen (vgl. Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I WPG [3]). Abbildung 2 greift auf der X-Achse die Bezüge zu Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I WPG [3] der entsprechenden darzustellenden Ergebnisse nach Tabelle 2 und Tabelle 3 auf. Auf der Y-Achse sind die betrachteten Wärmepläne aufgeführt. Die Bewertung der einzelnen darzustellenden Ergebnisse ist mit der erreichten Punktzahl und einer zusätzlichen farblichen Kodierung beschrieben. Auf der rechten Seite ist ergänzend die erreichte Gesamtpunktzahl aufgeführt.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die nach Tabelle 2 und Tabelle 3 eingeführten Bezüge zur Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I WPG [3]. Von den darzustellenden Ergebnissen wurden besonders die Anforderungen zu Bezug I.1.1 und Bezug I.2.1 oft und ausführlich beantwortet. Hieraus kann abgeleitet werden, dass die Informationen zum Endenergieverbrauch und zum Wärmeverbrauch grundsätzlich gut erhoben und verarbeitet werden können. Hingegen sind die Ergebnisse zu den Bezügen I.1.2, I.1.3, I.1.4, I.1.5, I.2.2, I.2.3, I.2.4, I.2.5, I.2.6, I.2.7, I.2.8 a)-c) nur teilweise abgebildet worden. Hierbei sind besonders die Nr. I.2.8 a) und I.2.8 b) hervorzuheben, welche die Bestands-Wärmenetze und Gasnetze adressieren und entsprechend der Ergebnisdarstellung unzureichend betrachtet wurden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der KEA-LF [8] die Punkte nicht in demselben Umfang adressiert.

Außerdem geht aus der Ergebnisdarstellung der Wärmepläne nicht eindeutig hervor, ob ein Aspekt nur nicht dargestellt oder nicht analysiert wurde. Demnach sind für die meisten Wärmepläne die Bezüge I.2.9 bis I.2.11 nicht bewertbar gewesen.

Mit einer Gesamtpunktzahl von 10,37 sticht der Wärmeplan der Stadt Aachen [17] positiv heraus. Dem gegenüber sind die jedoch ebenfalls neuen Wärmepläne aus Lübeck [20] und Bielefeld [14] zwar überdurchschnittlich aber weisen, obwohl sie nach Inkrafttreten des WPG veröffentlicht wurden, im Vergleich zu den Wärmepläne Mannheim [16] und Heidelberg [22], die vor dem WPG veröffentlicht wurden, eine ähnliche Gesamtpunktzahl auf.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Aachen	1.00	0.50	0.00	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.17	0.20	1.00	0.00	0.00	?	10.37
Baden-Baden	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.20	0.00	?	?	?	2.37
Bielefeld	0.67	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.20	0.00	?	?	?	6.03
Emsland	0.33	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?	?	0.83
Freiburg im Breisgau	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.20	0.00	?	?	?	3.70
Giengen an der Brenz	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.00	0.00	?	?	?	3.83
Hannover	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?	?	2.33
Heidelberg	1.00	0.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.00	0.00	?	?	?	6.67
Lörrach	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?	?	1.33
Lübeck	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.20	0.00	1.00	?	?	5.37
Mannheim	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.20	0.00	?	?	?	5.37
Obersontheim	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	?	?	?	0.87
Rastatt	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?	?	3.50
Rostock	0.67	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	?	?	?	1.33
Schorndorf	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?	?	1.33
Stuttgart	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	?	?	2.17
Tübingen	0.67	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	?	?	2.67
Ulm	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.17	0.20	0.00	?	?	?	4.87
Wertheim	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.20	0.00	0.00	?	?	2.37
	I.1.1	I.1.2	I.1.3	I.1.4	I.1.5	I.2.1	I.2.2	I.2.3	I.2.4	I.2.5	I.2.6	I.2.7	I.2.8a)	I.2.8b)	I.2.8c)	I.2.9	I.2.10	I.2.11	Σ

Bezug zu Anlage 2 zu § 23 WPG

Nicht beurteilbar (?)

Abbildung 2: Bewertung der Wärmepläne für die Phase Bestandsanalyse entsprechend des Bewertungssystems nach Tabelle 2 und Tabelle 3. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG, Farbskala für 1 bis 0 von grün bis rot

Methoden der Wärmepläne zur Wärmebedarfsermittlung

Im Folgenden wird die Methodik der Wärmepläne zur Wärmebedarfsermittlung genauer betrachtet.

Tabelle 7 unterteilt die in den Wärmeplänen betrachteten Sektoren in Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG). Während für WG meistens Synonyme von den Wärmeplänen angeführt werden, wird der NWG-Sektor diverser betrachtet. So unterteilt der Wärmeplan der Stadt Ulm [23] den NWG-Sektor nicht, wohingegen andere Wärmepläne - z. B. der von Wertheim [28] oder Baden-Baden [25] - unterteilen die NWG in weitere Sektoren. Diese sind z. B. die Sektoren Gewerbe-Handel-Dienstleistung (GHD), Industrie und öffentliche/kommunale Gebäude.

Neben den Sektoren gruppiert Tabelle 7 farblich die für den jeweiligen Sektor angewendete Methode zur Wärmebedarfsermittlung. Hierbei wird getrennt zwischen dem **Erfassen von Endenergieverbräuchen** (grün) und dem **Abschätzen von Wärmebedarfen** (orange). Das Erfassen von Endenergieverbräuchen fasst die Ansätze zusammen, bei denen der Wärmebedarf auf der Basis von Verbrauchsangaben für Energieträger

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

erfolgt. Das Abschätzen von Wärmebedarfen bezeichnet demgegenüber eine theoretische Methode, welche auf Basis von Annahmen und Berechnungen die Wärmebedarfe abschätzt. Eine nicht eindeutige Beschreibung der Methodik ist grau hinterlegt. Tabelle 7 adressiert dabei stets nur die primär angewendete Methode, während die sekundär angewendete Methode, welche zum Schließen von Datenlücken dient, nicht dargestellt wird. Eine Großzahl der Wärmepläne verwendet für den WG- und NWG-Sektor Endenergieverbräuche. Die Wärmepläne greifen hierfür auf Gasverbräuche von Energieversorgern zur leitungsbasierten Energieversorgung zurück. Diese Verbräuche werden umgerechnet in Wärmebedarfe. Auf die Umrechnung wird im weiteren Verlauf detaillierter eingegangen.

Dem gegenüber wird für das Abschätzen von Wärmebedarfen zwischen WG und NWG unterschieden. Für WG verwenden die Wärmepläne Emsland [15], Rostock [21] und Rastatt [26] die spezifischen Wärmebedarfe in kWh/(m²a) der TABULA Typologien [31]. Freiburg [19] hingegen greift für WG und NWG auf den *Wärmeatlas Deutschland 2.0* [32] zurück.

Für NWG verwendet der Wärmeplan für Rostock [21] die VDI 3807. Der Wärmeplan für das Emsland [15] verwendet die Veröffentlichung des BMWK und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Naturschutz (BMU) zur Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand [33].

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tabelle 7: Methodik der Wärmepläne für die Wärmebedarfsbestimmung im Rahmen der Bestandsanalyse; Endenergie verbrauchsbasiert (grün), Abschätzungen (orange) und nicht eindeutig beschrieben (grau). Wärmepläne sind alphabetisch sortiert

Wärmeplan	Wohngebäude	Nichtwohngebäude		
Aachen [17]	Haushalte	Industrie	GHD	
Baden-Baden [18]	Wohnnutzung	Industrie	GHD	Gesundheit und Bäder, Hotel, Mischnutzung, Öffentliche Verwaltung, Sondernutzung, Sonstige
Bielefeld [14]	Privates Wohnen	Industrie & Produktion	GHD	Öffentliche Bauten
Emsland [15]	Wohnbereich	NWG		
Freiburg [19]	Private Haushalte	GHD		Industrie
Giengen an der Brenz [29]	Private Haushalte	GHD und Industrie	Öffentliche Gebäude	Sonstige
Hannover [13]	Wohngebäude	NWG	Industrie	
Heidelberg [22]	Wohngebäude	NWG		
Lörrach [18]	Wohnen	Öffentlich	GHD u.a.	Industrie und Produktion
Lübeck [20]	Privates Wohnen	Industrie & Produktion	GHD	Öffentliche Bauten
Mannheim [16]	Wohnen	Gewerbe	Industrie	Gemeinwesen
Obersontheim [30]	Wohnen	GHD, Sonstige	Verarb. Gewerbe	Komm. Gebäude
Rastatt [26]	Private Haushalte	Industrie/GHD	Kommunale Liegenschaften	
Rostock [21]	Wohnung ¹	Gewerbe ¹	Industrie ¹	
Schorndorf [27]	Wohngebäude	GHD	Industrie und Produktion	Öffentliche Gebäude
Stuttgart [12]	Wohnbereich	Schule/Kindergarten, Betriebsgebäude/Fabrik, Bürogebäude, Sport- oder Veranstaltungsgebäude, HoReCa ² , Sonstige		
Tübingen [24]	Wohnen ³	Kommunal ³	GHD ³	Industrie ³
Ulm [23]	Wohngebäude	NWG		
Wertheim [28]	Wohnnutzung	Industrie	GHD	Gesundheit und Bäder, Hotel, Mischnutzung, Öffentliche Verwaltung, Sondernutzung, Sonstige

Meistens wird in den Wärmeplänen ein gesamter ermittelter Wärmebedarf ausgewiesen, der nicht weiter nach Raumwärme, TWW und Prozesswärme aufgeschlüsselt ist. Einige Wärmepläne weisen allerdings Anteile von Warmwasser explizit aus. Hierbei werden verschiedene Methoden verwendet. Die Wärmepläne Ulm [23],

¹ Reale Gebäude- und Verbrauchsdaten werden zusätzlich verwendet S. 20 Rostock

² HoReCa: Hotel, Restaurant und Catering

³ Explizit wird Fernwärmeverbrauch genannt; unklar, ob alle Wärmebedarfe verbrauchsbedingt erhoben werden

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tübingen [24] und Lübeck [20] schließen über die in den Kheirbüchern aufgeführten Heiztechnologien darauf, welche Verbrauchsdaten dem Warmwasserbedarf zugeordnet werden können. Des Weiteren sind die Warmwasserbedarfe in den Wärmeplänen für das Emsland [15], Rostock [21], Rastatt [26] und Giengen an der Brenz [29] durch die Verwendung der TABULA-Typologie [31] mitberücksichtigt. Der Wärmeplan von Freiburg [19] verwendet die bundesweite Energiestatistik, um Anteile des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs für die verschiedenen Sektoren zu ermitteln. Die Wärmepläne von Obersontheim [30] und Heidelberg [22] benutzen verschiedene pauschale Bedarfskennwerte. Dabei werden in Heidelberg [22] verschiedene spezifische Bedarfskennwerte für unterschiedliche Gebäudetypen (WG und NWG) angenommen. Im Wärmeplan von Obersontheim [30] wird zusätzlich zu Gebäudetypen auch nach Gebäudealtersklasse aufgeschlüsselt. Die ausgewiesenen Werte beschreiben den Anteil des Warmwassers am gesamten Wärmebedarf. Im Aachener Wärmeplan [17] wird die Vereinfachung getroffen, dass Warmwasser hauptsächlich durch die meistverwendete Heiztechnologie des Gebäudes bereitgestellt wird. Wenn keine Verbrauchswerte vorliegen wird für NWG die Studie „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden“ verwendet [34]. Im Wärmeplan für Stuttgart [12] wird der Warmwasserbedarf als konstant angenommen und weiterhin ein spezifischer Warmwasserbedarf in kWh/m² für verschiedene Gebäudeeffizienzklassen und Nutzungstypen ausgewiesen. Für NWG werden Zwischenwerte der Energieaufwandsklassen des Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR) [35] für die Energiestandards herangezogen. Wie zuvor angesprochen, wird für den verbrauchsbasierten Ansatz der Endenergieverbrauch umgerechnet auf den Wärmebedarf. Tabelle 8 beschreibt die Methoden der Wärmepläne und die darin getroffenen Annahmen.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tabelle 8: Beschreibung der Umrechnung des Endenergiebedarfs auf den Wärmebedarf in verschiedenen Wärmeplänen. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert.

Wärmeplan	Beschreibung der Umrechnung von Endenergie auf Wärmebedarf
Aachen [17]	85 % für Gas und 99 % für Fernwärme [17, p. 21]
Bielefeld [14]	Verwendung von standardisierten Wirkungsgraden (keine nähere Angabe) [14, p. 23]
Freiburg [19]	Nutzungsgrad von 0,9 wird allgemein angesetzt. Zusätzlich werden 10 % Verteilverluste im Gebäude angenommen. Somit beträgt der Faktor zur Umrechnung von Endenergie zum Wärmebedarf 0,81. [19, p. 11]
Heidelberg [22]	Keine Angaben zu verwendeten Nutzungsgraden. [22, p. 15]
Lörrach [18]	Nutzungsgrade werden nicht genauer ausgeführt [18, p. 40]
Lübeck [20]	Verwendung von standardisierten Wirkungsgraden (keine nähere Angabe) [20, p. 28]
Mannheim [16]	Nutzungsgrade verschiedener Wärmeerzeugerarten, welche größtenteils aus dem KEA-Technikkatalog abgeleitet werden [16, p. 20]
Obersontheim [30]	Nutzungsgrade verschiedener Wärmeerzeuger ohne Quellenangabe [30, p. 26]
Schorndorf [27]	Keine Angaben zu verwendeten Nutzungsgraden. [27, p. 15]
Stuttgart [12]	Nutzungsgrade charakteristisch für den Zeitraum 1980 bis 2014 in Abhängigkeit der Wärmeerzeugerart. Basieren auf Projekterfahrungen und diversen Herstellerangaben. Interpolation in Abh. des Installationsjahres [12, p. 23].

Wie oben bereits eingeleitet, beschreibt Tabelle 7 die Ansätze, die primär in den Wärmeplänen verwendet wurden. Neben diesen primären Ansätzen wurden sekundäre Ansätze verwendet, welche zum Schließen von Datenlücken herangezogen wurden, für die der primäre Ansatz nicht anzuwenden war. So lagen bei den Wärmeplänen, die die auf Endenergieverbräuchen basierte Methode anführen, nicht für sämtliche Gebäude Angaben zu diesen vor.

Für WG greifen die Wärmepläne von Hannover [13], Lörrach [18], Heidelberg [22], Ulm [23] und Schorndorf [27] bei nicht vorhandenen Endenergieverbräuchen auf die Endenergieverbräuche ähnlicher Gebäude zurück. Der Wärmeplan von Aachen [17] verwendet als alternative Möglichkeit simulierte Wärmebedarfe. Ferner führen folgende Wärmepläne weitere unterschiedliche Abschätzungs- und Berechnungsmethoden an, welche an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden: Giengen an der Brenz [29], Baden-Baden [25], Wertheim [28], Obersontheim [30], Lübeck [20], Bielefeld [14], Stuttgart [12], Mannheim [16], Tübingen [24].

Für NWG verwenden zwei Wärmepläne (Heidelberg [22] und Ulm [23]) die VDI 3807. Der Wärmeplan von Aachen [17] greift für NWG hingegen auf Kennzahlen für spezifische Wärmebedarfe des Gebäudenutzungstyps zurück. Ergänzend zu den genannten Methoden, verwenden die folgenden Wärmepläne verschiedene Methoden für die Abschätzung der Wärmebedarfe: Bielefeld [14], Lübeck [20], Obersontheim [30], Wertheim [28], Schorndorf [27], Baden-Baden [25], Lörrach [18], Mannheim [16], Hannover [13], Stuttgart [12].

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Ausführung der Bestandsanalyse nach WPG

Nach § 15 Abs. 1 WPG [3] hat die planungsverantwortliche Stelle „den derzeitigen Wärmebedarf oder Wärmeverbrauch“ zu ermitteln. Ergänzend hierzu ist die planungsverantwortliche Stelle nach Anlage 1 zu § 15 WPG [3] „berechtigt“ die folgenden Informationen zu „erheben“. Nach Anlage 1 zu § 15 Nr. 1. WPG [3] sind dies die leitungsgebundenen Gasverbräuche sowie die leitungsgebundenen Wärmeverbräuche sowie nach Anlage 1 zu § 15 Nr. 4. WPG [3] der jährliche Prozesswärmeverbrauch.

Ausführung der Bestandsanalyse nach KWW-Leitfaden

Der KWW-LF [10] differenziert in Unterabschnitt 5.2.3 zwischen den Sektoren WG, GHD und Industrie. Im Allgemeinen ist die Ermittlung der Wärmebedarfe anhand der Energieträgerverbräuche vorzunehmen, wobei Datenlücken durch nicht leitungsgebunden versorgte Gebäude auftreten [10, p. 42]. Um diese Datenlücken zu schließen, wird empfohlen, anhand von Daten der Bezirksschornsteinfeger die Bedarfs- bzw. Verbrauchswerte abzuleiten [10, p. 43].

Für WG hat eine Witterungsbereinigung zu erfolgen, wobei der KWW-LF sich auf den dena-Gebäudereport 2024 stützt [10, p. 46]. Der dena-Gebäudereport 2024 schlägt eine Aufteilung der Endenergieverbräuche in 80 % Raumwärme und 20 % Warmwasser vor [36]. Ebenso hat eine Umrechnung auf die „Erzeuger-Nutzwärme“ zu erfolgen [10, p. 46]. Für elektrisch beheizte Gebäude wird eine Erfassung von genehmigten Wärmepumpen empfohlen [10, p. 46]. Ergänzend zu der oben wiedergegebenen Empfehlung, können Datenlücken für WG anhand von drei Vorgehensweisen geschlossen werden: basierend auf Schornsteinfegerdaten (s. oben), Abschätzung basierend auf Verbrauchswerten ähnlicher Gebäude und Abschätzung anhand für das Gebäude typischer spezifischer Wärmebedarfswerte [10, p. 46].

Für den Sektor GHD und Industrie sind ebenfalls die Endenergieverbräuche zu ermitteln [10, p. 47]. Beim Anfallen von Prozesswärme wird von einem pauschalen Abschätzen anhand typischer Werte aufgrund signifikanter Abweichungen in diesem Sektor abgeraten [10, p. 47]. Daher wird empfohlen, die individuellen Verbrauchswerte abzufragen [10, p. 47]. Alternativ können Abschätzungen z. B. über die Größe von Brennstofflagertanks vorgenommen werden [10, p. 47]. Alternativ werden für NWG spezifische Wärmebedarfe des IWU [37] zur Verfügung gestellt [10, p. 50]. Diese werden ergänzt durch branchentypische Angaben aus [38] zur Prozesswärme, Raumwärme und Warmwasserbedarfe [10, p. 51].

Ableiten von Handlungsempfehlungen für die Bestandsanalyse

Die Wärmepläne zeigen ein heterogenes Bild hinsichtlich der betrachteten Sektoren und verwendeten Methoden. Hierbei zeigt sich, dass die meisten Wärmepläne bereits die vom KWW-LF [10, p. 42] vorgeschlagene Methode zur Erfassung der leitungsbasierten Energieträgerverbräuche angewendet haben. Diese Methode wird auch nach Anlage 1 zu § 15 Nr. 1 und Nr. 4 WPG [3] ermöglicht. Zum Schließen der Datenlücken wurden verschiedene Methoden zur Wärmebedarfsabschätzung von den Wärmeplänen angeführt. Auch hier kann der Leitfaden durch die zukünftige Wärmeplanung besser unterstützen (vgl. [10, pp. 46,51]). Dadurch gibt der Leitfaden eine eindeutige Hilfestellung, wo § 15 WPG [3] bzw. die dazugehörige

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Anlage 1 WPG [3] keine Vorgaben macht. Hieraus wird die Empfehlung abgeleitet, primär auf Verbräuche zurückzugreifen und Abschätzungen der Wärmebedarfe für Datenlücken ergänzend hinzuzuziehen entsprechend den Empfehlungen des KWW-LF [10, pp. 46,51]. Sofern diese nicht vorhanden sind, kann auf alternative Methoden zur Abschätzung zurückgegriffen werden.

Die Wärmepläne behandeln in der Bestandsanalyse TWW unterschiedlich, meistens jedoch vernachlässigen sie diesen. Der KWW-LF (vgl. [10, pp. 46,49]) empfiehlt eine Aufteilung der Wärmebedarfe in die Bereiche Raumwärme und Warmwasser. In § 15 WPG [3] bzw. der dazugehörigen Anlage 1 WPG [3] wird TWW hingegen nicht gesondert aufgeführt. Da in den verschiedenen Sektoren – insbesondere im Wohngebäudebereich – der TWW-Anteil je nach Dämmstandard unterschiedlich stark zum gesamten Wärmebedarf beiträgt, und zusätzlich Faktoren wie die im KWW-LF empfohlene Witterungsbereinigung (vgl. [10, p. 46]) sowie unterschiedliche Temperaturniveaus für Heizkreis berücksichtigt werden müssen, ist es sinnvoll, den Wärmebedarf für TWW separat auszuweisen. Dies verbessert die Qualität der Bestandsanalyse und ermöglicht eine genauere Abschätzung der Einsparpotenziale in der Potenzialanalyse.

Wie die Wärmepläne gezeigt haben, kann basierend auf dem Endenergiebedarf der Wärmebedarf ermittelt werden. Hierbei werden jedoch verschiedene Umrechnungsfaktoren angeführt (vgl. Tabelle 8). Sowohl Leitfaden als auch WPG geben keine Anhaltspunkte für zu verwendende Umrechnungsfaktoren (z. B. Nutzungsgrade). Einheitliche Vorgaben mit begründeter Abweichung können die Qualität der Ergebnisse der Bestandsanalyse verbessern, deren Vergleichbarkeit ermöglichen und die Arbeit der planungsverantwortlichen Stellen erleichtern. Demnach sollte der KWW-LF um eben diese erweitert werden, wobei ebenso zu berücksichtigen ist, ob die fossilen Energieträger mit dem Heizwert oder dem Brennwert charakterisiert sind. So kann entweder jeweils ein Umrechnungsfaktor für beide angeführt werden oder der Brennwert als Bezugsgröße festgehalten werden.

Aus den zuvor genannten Ausführungen werden die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Gesetzliche Vorgabe einer zu favorisierenden verbrauchsbasierten Methodik
- Warmwasser und Prozesswärme sind gesondert auszuweisen
- Vorgabe einer durchzuführenden Witterungsbereinigung oder alternativ eine Betrachtung mehrerer Jahre
- Festlegung von einheitlichen Nutzungsgraden zur Umrechnung von Endenergie auf Wärmebedarf; wahlweise Wirkungsgrade

5.2 Potenzialanalyse

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse sind sowohl quantitativ als auch kartografisch darzustellen (vgl. Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3]). Abbildung 3 greift auf der X-Achse die entsprechend der Bezüge darzustellenden Ergebnisse nach Tabelle 4 auf. Auf der Y-Achse sind die betrachteten Wärmepläne aufgeführt. Die Bewertung der einzelnen darzustellenden Ergebnisse ist mit der erreichten Punktzahl und zusätzlichen farblichen Kodierungen beschrieben. Auf der rechten Seite ist zusätzlich die erreichte Gesamtpunktzahl beschrieben. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die in Tabelle 4 eingeführte Unterteilung des Fließtextes aus Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3]:

- **II.1:** Sämtliche Wärmepläne geben eine Auskunft über verschiedene Erzeugerpotenziale. In jedem Wärmeplan ist für mindestens ein betrachtetes Erzeugerpotenzial ein Wert angegeben. Zusätzlich werden für jedes Erzeugerpotenzial teilweise verschiedene Energieträger ausgewiesen. Auf den Umfang der betrachteten Potentiale wird zusätzlich im Unterabschnitt 5.3.1 eingegangen.
- **II.2:** In allen Wärmeplänen werden zusätzlich Potentiale auch grafisch ausgewiesen. Hier unterscheiden sich die Wärmepläne jedoch in ihrem Umfang, wobei keiner der Wärmepläne sämtliche genannten Potentiale (vgl. II.1) auch kartografisch ausweist.
- **II.3:** Ein Großteil der Wärmepläne weist Ausschlussgebiete aus.
- **II.4:** Die Darstellung der Energieeinsparpotenzialen erfolgt im Allgemeinen unvollständig. Hierbei wird meistens keine räumlich differenzierte Darstellung in den Wärmeplänen präsentiert (s. Abschnitt 5.3.2).
- **II.5:** wird nicht betrachtet, da nicht eindeutig identifizierbar ist, ob es keine Synergieeffekte zwischen den benachbarten regionalen oder lokalen Behörden gibt oder diese nicht in der Potenzialanalyse berücksichtigt wurden. Die Wärmepläne von Rastatt [26] und Lörrach [18] erwähnen mögliche Synergieeffekte, allerdings sind diese noch nicht weiter analysiert, geplant oder umgesetzt worden. Für Schorndorf [27], Wertheim [28], Giengen an der Brenz [29] und Obersonthem [30] entfällt dieser Schritt, da diese Gemeinden unter 45.000 Einwohner haben.

Der Wärmeplan von Aachen [17] schneidet am besten ab. Jedoch stechen abermals die Wärmepläne Aachen [17], Lübeck [20] und Bielefeld [14] im Vergleich zu den anderen Wärmeplänen nicht auffallend heraus.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Aachen	1.00	0.83	1.00	0.67	?	3.50
Baden-Baden	1.00	0.62	1.00	0.00	?	2.62
Bielefeld	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Emsland	1.00	0.67	1.00	0.33	?	3.00
Freiburg im Breisgau	1.00	0.60	0.00	0.33	?	1.93
Giengen an der Brenz	1.00	0.29	1.00	0.33	-	2.62
Hannover	1.00	0.60	0.00	0.00	?	1.60
Heidelberg	1.00	0.86	1.00	0.33	?	3.19
Lörrach	1.00	0.83	1.00	0.00	0.00	2.83
Lübeck	1.00	0.50	0.00	0.33	0.00	1.83
Mannheim	1.00	0.50	1.00	0.33	?	2.83
Obersontheim	1.00	0.80	0.00	0.33	-	2.13
Rastatt	1.00	0.20	0.00	0.00	0.00	1.20
Rostock	1.00	0.29	0.00	0.00	?	1.29
Schorndorf	1.00	0.83	1.00	0.00	-	2.83
Stuttgart	1.00	0.67	1.00	0.00	?	2.67
Tübingen	1.00	0.29	0.00	0.00	?	1.29
Ulm	1.00	0.57	1.00	0.00	?	2.57
Wertheim	1.00	0.71	1.00	0.00	-	2.71
	II.1	II.2	II.3	II.4	II.5	Σ

Bezug zu Anlage 2 zu § 23 WPG

Nicht bewertet (-)
Nicht beurteilbar (?)

Abbildung 3: Bewertung der Wärmepläne für die Phase Potenzialanalyse entsprechend des Bewertungssystems nach Tabelle 4. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG, Farbskala für 1 bis 0 von grün bis rot

Die Methoden der Potenzialanalyse in den betrachteten Wärmeplänen werden in den folgenden Unterabschnitten 5.3.1 und 5.3.2 detailliert beschrieben. Der Fokus liegt zum einen auf den Erzeuger- und Speicherpotenzialen und zum anderen auf den Wärmeeinsparpotenzialen.

5.2.1 Betrachtung Erzeuger- und Speicherpotenziale

Die Wärmepläne betrachten jeweils verschiedene Erzeuger- und Speicherpotenziale mit einer unterschiedlichen Methodik. Abbildung 4 gibt einen Überblick über diese Unterschiede. Auf der X-Achse sind die betrachteten Erzeuger- und Speicherpotenziale für die auf der Y-Achse aufgetragenen Wärmepläne abgebildet. Insgesamt wurden die Erzeugerpotenziale Photovoltaik, Wind, Solarthermie, Geothermie, Oberflächengewässer, Abwasser, Biomasse, Abwärme, Luft, H_2 & CH_4 betrachtet. Diese werden durch die Speicherpotenziale ergänzt.

Zusätzlich wird für jedes Potenzial bei der Charakterisierung von diesem unterschieden, ob dieses **qualitativ** (rot) oder **quantitativ** (grün) ausgeführt ist. Bei der qualitativen Betrachtung wird entweder das Potenzial gar nicht beziffert oder falls ein Wert genannt wird, wird dieser nicht durch das Aufzeigen von Annahmen und Berechnungen begründet. Dies ist hingegen der Fall für die quantitative Betrachtung. In einem Wärmeplan nicht betrachtete Potenziale sind farblich weiß gehalten.

Die Erzeugerpotenziale Solarthermie, Geothermie und Abwärme werden in sämtlichen Wärmeplänen behandelt. Dem gegenüber steht die Betrachtung von Speichern, die nur im Wärmeplan von Rostock [21] beschrieben sind. Ebenfalls selten wurde die Produktion von H_2 & CH_4 aufgegriffen. Von den 19 Wärmeplänen, haben die Wärmepläne Rostock [21], Heidelberg [22] und Giengen an der Brenz [29] die betrachteten Potenziale vollständig quantitativ ausgewertet. Der Wärmeplan von Tübingen [24] hat hingegen die betrachteten Erzeugerpotenziale ausschließlich qualitativ beschrieben.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

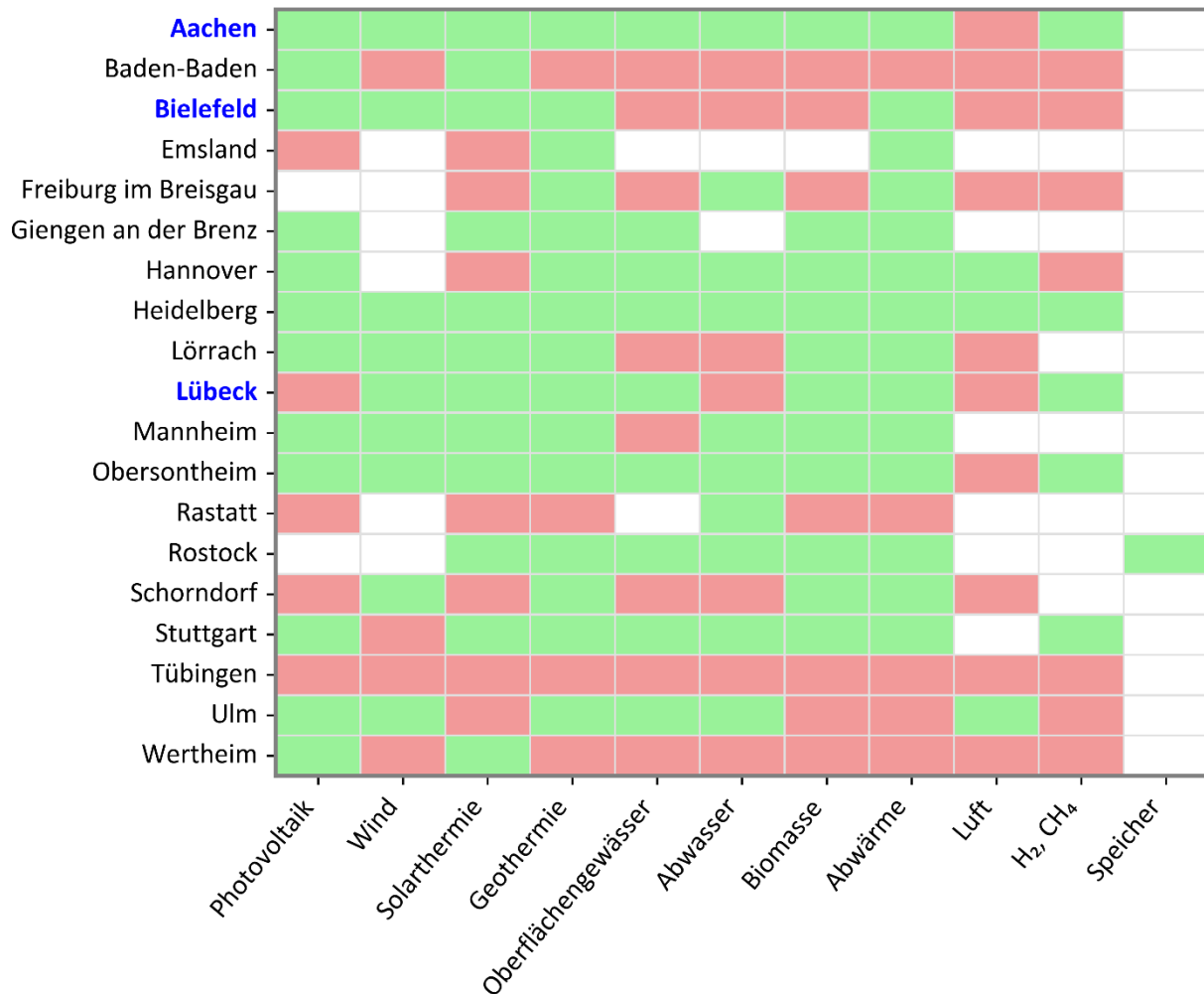


Abbildung 4: Bewertung der verwendeten Methodik zur Ermittlung der Erzeuger- und Speicherpotentiale. Grün quantitative Bewertung, rot qualitative Bewertung, weiß nicht im Wärmeplan betrachtet. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG

Ausführung der zu bewertenden Erzeuger- und Speicherpotenziale nach WPG

Der § 16 WPG [3] führt die Betrachtung der Potenziale zur Erzeugung von Wärme aus Erneuerbaren Energien (EE), Nutzung unvermeidbarer Abwärme und zur zentralen Wärmespeicherung auf. Diese Potenziale sind nach § 16 Abs.1 WPG [3] von der planungsverantwortlichen Stelle „quantitativ“ zu ermitteln.

Ergänzend führt § 3 Abs. 1 Satz 15 WPG [3] für Wärme aus EE folgende Wärmequellen an: Geothermie, Umweltwärme, Abwasser, Solarthermie, Biomasse, grünes Methan, grüner Wasserstoff, Wärmepumpe oder Strom. Ebenso wird in § 3 Abs. 1 Satz 13 WPG [3] unvermeidbare Abwärme eindeutig charakterisiert. In § 3 Abs. 1 Satz 21 WPG [3] wird der Wärmespeicher definiert.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Ausführung der zu bewertenden Erzeuger- und Speicherpotenziale nach KWW-LF

Der KWW-LF führt folgende zu bewertende Potenziale auf: Geothermie, Umweltwärme (Oberflächengewässer & Umgebungsluft), Abwasser, Solarthermie, Biomasse, unvermeidbare Abwärme und grüne synthetische Gase [10, p. 61]. Als Speicherpotenzial sind Großwärmespeicher zu betrachten [10, p. 61]. Für diese Potenziale gibt der KWW-LF in Kapitel 6 [10, p. 58ff] Vorschläge zur Methodik und nennt praxisnahe Annahmen.

Bei der exemplarischen Darstellung der Potenziale werden diese sowohl qualitativ (Beispiel Abwasser [10, p. 74]) als auch quantitativ (Beispiel industrielle Abwärme & Dach-Solarthermie [10, p. 74]) beschrieben.

Ableiten von Handlungsempfehlungen für die Potenzialanalyse von Erzeugern und Speichern

Die Wärmepläne haben unterschiedliche Erzeuger- und Speicherpotenziale betrachtet (vgl. Abbildung 4). Auffallend ist, dass Speicherpotenziale nur einmal betrachtet wurden. Wie zuvor ausgeführt, werden sowohl im KWW-LF als auch im WPG die zu berücksichtigenden Potenziale aufgeführt. Zusätzlich zu diesen Potenzialen haben die meisten Wärmepläne PV und Wind als elektrisches Potenzial ebenfalls betrachtet (vgl. Abbildung 4). Der Sektor Strom spielt jedoch im WPG und im KWW-LF nur eine untergeordnete Rolle. Da Solarthermie soll betrachtet werden soll (vgl. § 3 Abs. 1 Satz 15 WPG [3]), geht die Betrachtung einer Flächenkonkurrenz jedoch zu PV und Wind unter. Ebenso spielen KWK-Anlagen sowohl im WPG (vgl. Anlage 3 zu § 32 Abschnitt IV Nr. 4) als auch im KWW-LF (vgl. [10, p. 70]) eine Rolle, welche die Sektoren Strom- und Wärme koppeln, wie es auch Wärmepumpen machen. Somit ist eine Betrachtung von Wind und PV bzw. des Sektors Strom ebenfalls für die Wärmeplanung zu empfehlen. Ein Beispiel hierzu ist der Leitfaden der KEA, welcher eine Betrachtung der beiden Potenziale empfiehlt und diese um die Wasserkraft ergänzt [8].

Ebenso hat der KWW-LF [10, p. 74], wie zuvor ausgeführt wurde, Erzeuger- und Speicherpotenziale mal qualitativ und mal quantitativ betrachtet. Für die Darstellung der Potenziale gibt das WPG in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] (vgl. Tabelle 4) eine quantitative Ausweisung dieser vor. Ferner sind die Potenziale nach § 16 Abs. 1 WPG [3] von der planungsverantwortlichen Stelle **quantitativ** zu **ermitteln**. Unklar ist, ob dies nur auf die Darstellung oder auch auf die Methodik zu übertragen ist. Dieser Gegensatz zwischen KWW-LF und WPG gepaart mit dem heterogenen Bild der Wärmepläne verlangt nach einer konkreten Vorgabe hinsichtlich der Methodik zur Charakterisierung der Potenziale.

Neben der Methodik wird auch die Ergebnisdarstellung in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] nicht näher beschrieben. So bleibt bspw. unklar, ob die Anforderung in dieser durch die Angabe einer Leistung oder einer jährlichen beziehbaren Energie erfüllt wird. Der KWW-LF gibt hierzu jährliche Energiemengen an [10, p. 74].

Auch ist unklar, ob das Potenzial durch die Bestimmung der nutzbaren Wärme oder der von der Wärmequelle erschließbaren Wärmemenge zu beschreiben ist. Die Aussage in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] „Die Darstellung der Potenziale im Wärmeplan erfolgt mit dem Ziel, Wärmeversorgern und -verbrauchern möglichst konkrete Anhaltspunkte zu geben, welche Energiequellen sie in vertiefenden Analysen und Planungen genauer untersuchen sollten“ lässt vermuten, dass hier nach der Wärmequelle gefragt ist. Hingegen beschreibt der KWW-LF zusätzlich für die Potenziale Luft (vgl. [10, p. 65]) und Abwasser (vgl. [10, p. 66]) eine Methodik, die auch die Betrachtung der Wärmepumpe zur Erschließung der Wärmequelle miteinbezieht. Daraus folgt die Frage, ob die Bewertung der zukünftigen Anlagentechnik Teil der

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Potenzialanalyse ist oder in den anschließenden Schritten des Wärmeplans zu erfolgen hat. Hierbei spielen ähnlich wie bereits in der Bestandsanalyse Nutzungsgrade für die Umrechnung von Wärmequelle zu nutzbarer Wärme eine Rolle. Eine Einbeziehung der Nutzungsgrade kann zu einer möglichen Dopplung der Betrachtung, einmal in der Potenzialanalyse und einmal bei der anschließenden Bearbeitung zu § 18 WPG [3], der die Betrachtung der Wärmeversorgungsarten verlangt, führen. Aus diesem Grund folgt die Empfehlung, dies zu trennen, sodass in der Potenzialanalyse die Betrachtung des Potenzials der Wärmequelle (der der Wärmequelle entnehmbaren Wärme) erfolgt und in den anschließenden Schritten die Bewertung der Überführung dieses Potenzials in nutzbare Wärme durch das Gegenüberstellen der Wärmeversorgungsarten.

Aus den zuvor genannten Ausführungen werden die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Eindeutige Definition des Begriffs „Erzeugerpotenzial“: Bestimmung der von der Wärmequelle beziehbaren Wärme, sodass das Wärmequellenpotenzial und nicht das Nutzenergiepotenzial (nutzbare Wärme) bzw. die erzeugte Wärme ausgewiesen wird.
- Ein Erzeugerpotenzial sollte durch das Ausweisen einer Zahl (Energie pro Jahr und/oder Leistung) beschrieben werden. Diese Zahl ist durch eine geeignete Methode zu bestimmen.
- Im Wärmeplan getroffene Annahmen sollten angegeben und begründet werden.
- Der Sektor Strom - und damit die Erzeugerpotenziale Wind und PV - soll mitbetrachtet werden. Hierbei ist die für den Sektor Wärme verfügbare Menge Strom zu berücksichtigen.

5.2.2 Betrachtung Energieeinsparpotenziale

Neben den Erzeuger- und Speicherpotenzialen betrachten die Wärmepläne das Energieeinsparpotenzial. Der Fokus liegt auf der Wärmeeinsparung durch Sanierungsmaßnahmen. Hierzu hat bereits Abbildung 3 für den Bezug II.4 gezeigt, dass die Wärmepläne die Wärmeeinsparpotenziale nur bedingt im Rahmen der Potenzialanalyse dargestellt haben. Während zu Bezug II.4 (vgl. Tabelle 4) die Ergebnisdarstellung bewertet wurde, wird im Folgenden der Fokus auf die Methodik zur Bestimmung der Einsparpotenziale gelegt.

Tabelle 9 zeigt einen Überblick über die betrachteten Sektoren in den Wärmeplänen. Hierbei wird getrennt zwischen dem WG- und NWG-Sektor. Der NWG-Sektor wird je nach Wärmeplan zusätzlich differenziert betrachtet. Insgesamt zeigt die Auswertung ein heterogenes Bild. Jeder Wärmeplan betrachtet den WG-Sektor, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß. Der Sektor GHD wird sowohl getrennt von der Industrie betrachtet als auch gesamtheitlich als NWG-Sektor beschrieben. Ebenso werden teilweise öffentliche Gebäude gesondert betrachtet. Außerdem stechen die Wärmepläne aus Baden-Baden [25] und Wertheim [28] heraus, da hier für den Sektor Sonstige diverse weitere Sektoren ohne detaillierte Differenzierung der Potenziale aufgeführt werden.

Für jeden Sektor wird unterschieden, ob das Wärmeeinsparpotenzial **detailliert** (grün) oder **grob** (rot) abgeschätzt wurden. Bei der detaillierten Abschätzung wurden die Gebäude eines jeden Sektors differenziert

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

nach dem Gebäudetyp betrachtet. Für Wohngebäude wird hierzu entweder auf die TABULA-Typologien [31] in den Wärmeplänen von Giengen an der Brenz [29], Emsland [15], Aachen [17], Lübeck [20] und Rostock [21] verwiesen oder in den Wärmeplänen von Mannheim [16], Lörrach [18], Ulm [23], Schorndorf [27], Obersontheim [30] auf den KEA-Technikkatalog [39].

Für NWG führen Lübeck [20] und Mannheim [16] ebenfalls den KEA-Technikkatalog [39] an. Mannheim [16] greift zusätzlich für die Industrie auf eigene Annahmen und den Ratgeber Energieeffizienz bei Wärmeversorgungssystemen in Industrie und Gewerbe der Deutschen Energie-Agentur [40] zurück. Der Wärmeplan des Emslandes [15] verwendet für die Berechnung die Veröffentlichung des BMWi und des BMU im Bundesanzeiger [33]. Für NWG wird in den Wärmeplänen von Rostock [21], Heidelberg [22] und Ulm [23] die VDI 3807 angeführt.

Demgegenüber werden bei der groben Abschätzung anstatt einer gebäudeindividuellen Betrachtung über verschiedene Gebäudetypen gemittelte Werte verwendet oder pauschale Annahmen zur Wärmebedarfsreduktion getroffen, die nicht begründet sind bzw. nicht mit einer Quelle versehen sind. So verwenden die Wärmepläne aus Hannover [13] und Rastatt [26] vereinfacht Durchschnittswerte.

Tabelle 9: Bewertung der Einsparpotenzialanalyse der Wärmepläne nach Sektoren und der Betrachtung dieser; rot = grob, grün=detailliert und grau=Methodik nicht bewertbar; Wärmepläne alphabetisch sortiert

Wärmeplan	Wohngebäude	Nichtwohngebäude		
Aachen [17]	Haushalte	NWG		
Baden-Baden [18]	Wohnnutzung	GHD	Industrie	Sonstige* ⁴
Bielefeld [14]	Privates Wohnen	Industrie & Produktion	GHD	Öffentliche Bauten
Emsland [15]	Wohngebäude	NWG		
Freiburg [19]	Private Haushalte	GHD		Industrie
Giengen an der Brenz [29]	Wohngebäude			
Hannover [13]	EFH, RH ⁵ , MFH	NWG		
Heidelberg [22]	Wohngebäude	NWG		
Lörrach [18]	Wohngebäude	GHD	Industrie & Produktion	Öffentliche Gebäude
Lübeck [20]	Privates Wohnen	Industrie & Produktion	GHD	Öffentliche Bauten
Mannheim [16]	Wohngebäude	Öffentliche Gebäude, Gewerbebetriebe		Industrie
Obersontheim [30]	Wohngebäude			

⁴ Sonstige* entsprechen den weiteren Sektoren Gesundheit und Bäder, Mischnutzung, öffentliche Nutzung und Sondernutzung

⁵ RH: Reihenhaushaus

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Wärmeplan	Wohngebäude	Nichtwohngebäude		
Rastatt [26]	Private Haushalte	GHD		
Rostock [21]	Wohngebäude	Industrie & Gewerbe	Büro, Bildung, Sonstige	
Schorndorf [27]	Wohngebäude	GHD	Industrie	Öffentliche Gebäude
Stuttgart [12]	EFH/ZFH, MFH	Schulen/Kindergarten, Sport-/Veranstaltungsgebäude, Bürogebäude, HoReCa², Sonstige		
Tübingen [24]	Wohngebäude	NWG		
Ulm [23]	Wohngebäude	NWG		
Wertheim [28]	Wohnnutzung	GHD	Industrie	Sonstige* Fehler! Textmarke nicht definiert.

Ausführung der zu bewertenden Energieeinsparpotenziale nach WPG

Nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] hat eine quantitative Darstellung zu erfolgen. Außerdem sind die Potenziale zur Energieeinsparung nach § 16 Abs. 2 WPG [3] durch die planungsverantwortliche Stelle abzuschätzen.

Ausführung der zu bewertenden Energieeinsparpotenziale nach KWW-LF

Der KWW-LF beschreibt detailliert, wie die Einsparpotenziale für Gebäude zu bestimmen sind [10, p. 72ff]. Die Wärmebedarfe unterteilen sich in Raumwärme und TWW in Abhängigkeit des Gebäudetyps (Einfamilienhaus, Reihenhauses oder Mehrfamilienhaus, NWG), dem Baujahr sowie dem jeweiligen Sanierungszustand [10, p. 72]. Für diese sind Annahmen zu Sanierungsarbeiten zu treffen, um so die zukünftigen Wärmebedarfe abzuleiten [10, p. 72]. Hierzu wird auf den dazugehörigen Technikkatalog verwiesen [10, p. 72].

Ferner wird für eine realistischere Abschätzung auf die Berücksichtigung weiterer Einschränkungen hingewiesen [10, p. 72]. Dazu gehören der Anteil denkmalgeschützter Gebäude, Gebäude, die aus bspw. wirtschaftlichen oder technischen Gründen nicht oder nur teilweise saniert werden können, sowie die Verfügbarkeit von Baumaterialien [10, p. 72]. Außerdem wird darauf hingewiesen, dass Sanierungen, die auf Vorlauftemperaturen von mehr als maximal 55 °C abzielen, nur ein begrenztes Spektrum an effizienten Wärmeversorgungsoptionen ermöglichen [10, p. 72].

Vor diesen Hintergründen wird vom KWW-LF empfohlen, dass die Kommune eine geeignete Sanierungsrate unter der Beteiligung von betroffenen Akteuren ableitet und die daraus resultierenden Energieeinsparungen für die weiteren Analysen ansetzt [10, p. 72].

Für den GHD-Sektor und die Industrie gibt der KWW-LF einen Fragebogen zur Erfassung der Wärmebedarfsentwicklung vor [10, p. 73]. Alternativ verweist der KWW-LF auf den KWW-Technikkatalog [10, p. 73].

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Ableiten von Handlungsempfehlungen für die Potenzialanalyse zur Energieeinsparung

Die Herausforderung bei der Ausweisung von Wärmeeinsparpotenzialen veranschaulicht die Heterogenität der Wärmepläne beim Umfang und der Methodik im Rahmen der Potenzialanalyse (vgl. Tabelle 9). Ebenso fällt auf, dass die Wärmepläne in der Bestandsanalyse und Potenzialanalyse verschiedene Sektoren betrachten bzw. unterschiedlich benennen (vgl. Tabelle 7 mit Tabelle 9). Ebenso differenziert der KWW-LF (vgl. [10, p. 42 ff.]) bei den Sektoren für die Bestandsanalyse anders als für die Analyse der Wärmeeinsparpotenziale (vgl. [10, p. 72 f.]). Alternativ nennt § 16 Abs. 2 WPG [3] hier Gebäude, industrielle und gewerbliche Prozesse. Zusammenfassend sind mindestens die Sektoren WG, GHD und Industrie als Empfehlung zu betrachten.

Wie die Wärmepläne gezeigt haben (s. oben), sind die TABULA-Typologien [31] ebenfalls ein häufig verwendeter Standard zur Abschätzung der Wärmeeinsparpotenziale. Der Leitfaden gibt umfangreiche Empfehlungen für die Betrachtung der Energieeinsparpotenziale, sowohl für den Wohngebäudebereich als auch die Sektoren GHD und Industrie (vgl. [10, p. 72 f.]). Hierzu können entsprechend dem KWW-LF (vgl. [10, p. 72 f.]) für die Gebäudesektoren die Angaben aus dem KWW-Technikkatalogs verwendet werden. Für Prozesswärme sind die Vorschläge des KWW-Technikkatalogs neben der im KWW-LF dargestellten Methodik [10, p. 73] ergänzend zu verwenden. Zusammenfassend wird für die Bestimmung der Einsparpotenziale die Methodik des KWW-LF empfohlen, wobei abzuwägen ist, ob die TABULA-Typologien [31] oder die Angaben des KWW-Technikkatalogs zu verwenden sind.

Unabhängig von der Gebäudetypologie lassen sowohl das WPG als auch der KWW-LF offen, anhand welcher Annahmen (z.B. Energieeffizienzklasse) Wärmeeinsparpotenziale abzuschätzen sind. Hinsichtlich der Wärmebereitstellung wird im KWW-LF gesagt, dass Sanierungen mit dem Effekt einer Vorlauftemperatur von über 55 °C die Auswahl an Wärmeversorgungsoptionen einschränken [10, p. 72]. Dies kann interpretiert werden als eine obere Grenze⁶, jedoch erfolgt keine Aussage hinsichtlich eines zu berücksichtigenden bzw. maximal zu erreichenden Dämmstandards. Von den Wärmeplänen wurde hierzu sowohl der KfW-55- (vgl. Ulm [23] & Aachen [17]) als auch der KfW-70-Standard (vgl. Baden-Baden [25] & Wertheim [28]) angeführt. Hierbei ist zudem unklar, ob ein zu betrachtender Dämmstandard ausreicht oder mehrere unterschiedliche miteinander zu vergleichen sind. Sowohl im KWW-LF als auch im WPG fehlt eine eindeutige Angabe an zu berücksichtigende Dämmstufen. Der KWW-Technikkatalog umgeht dies, indem dieser für die Sektoren in Abhängigkeit des Baualters eine mittlere jährliche Reduktion ausweist und ein Zielreduktion bis 2045 mit einer niedrigen und hohen Reduktion durch Dämmung. Die Verwendung dieser Angaben wird empfohlen, wobei zusätzlich im WPG aufgenommen werden soll, ob ein oder mehrere Dämmstandards zu betrachten sind bzw. welcher.

Hinsichtlich der Sanierungsrate äußert sich der Leitfaden, „dass die Kommune eine für sich geeignete Sanierungsrate im Zuge von Beteiligungsprozessen mit betroffenen Akteuren ableitet“ [10, p. 72]. Wie diese ermittelt werden kann, wird offengelassen und sollte demnach ergänzt werden.

⁶ Z. B. bei gleichem Wärmeübergabesystem, soll die Norm-Vorlauftemperatur durch Dämmmaßnahmen auf $\leq 55^\circ\text{C}$ reduziert werden.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Aus den zuvor genannten Ausführungen werden die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Eine Vorgabe der zu betrachtenden Sektoren Wohngebäude, GHD und Industrie; auch in der Bestandsanalyse
- Eine Empfehlung der Auswahl an zu berücksichtigenden Dämmstandards bzw. Einsparungszielen
- Eine Empfehlung für eine Methodik zur Abschätzung der Sanierungsrate

5.3 Zielszenario, Gebietseinteilung & Wärmeversorgungsarten

Laut § 17 Abs. 1 und 2 WPG [3] ist das Zielszenario unter anderem im Zusammenhang mit den nachfolgenden §§ 18 und 19 WPG [3] auszuführen. Daher werden die Arbeiten zu den Wärmeplänen gemäß §§ 17 bis 19 WPG [3] gemeinsam in diesem Abschnitt betrachtet. Dazu zeigt Abbildung 5 die Auswertung der darzustellenden Ergebnisse nach der Anlage 2 zu § 23 WPG [3] Abschnitt III bis V (vgl. Tabelle 5 bis Tabelle 6). Auf der Y-Achse sind die Kommunen aufgeführt und auf der X-Achse die entsprechenden Bezüge zur Ergebnisdarstellung.

Die meisten Wärmepläne haben nicht sämtliche Indikatoren für das Zielszenario anhand der vorgegebenen Stützstellen (vgl. Anlage 2 zu § 23 Abschnitt III WPG [3] beschrieben). Von den Wärmeplänen ab 2024 hat lediglich Aachen [17] die jährlichen Emissionen von Treibhausgasen (vgl. III.2) vollständig dargestellt, jedoch ebenso wie sämtliche andere Wärmepläne die Bezüge III.1 und III.3 bis III.7 unvollständig.

Auffallend ist, dass bei keinem Wärmeplan der Bezug IV.2 bewertet werden konnte. Demnach trifft keiner der Wärmepläne eine Aussage zu Gebieten mit Anschlusszwang.

Im Vergleich zu den anderen Bezügen sticht IV.3 positiv heraus. Die meisten Wärmepläne stellen demzufolge Teilgebiete mit erhöhtem Energieeinsparpotenzial entweder textlich oder grafisch dar.

Ebenso ist Bezug V.1 auffallend, da auch von den Wärmeplänen ab 2024 nur Aachen [17] hier eine entsprechende Bewertung der Wärmeversorgungsarten nach § 19 Abs. 2 WPG [3] vorgenommen hat.

In Summe stechen die Wärmepläne von Aachen [17] und Hannover [13] im Vergleich positiv heraus. Dennoch erfüllen sämtliche Wärmepläne ab 2024 mit 2,12 P bis 3,75 P von bis zu 11 P die Anforderung ungenügend.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Aachen	0.50	1.00	0.50	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	?	0.50	1.00	3.75
Baden-Baden	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	?	1.00	0.00	1.58
Bielefeld	0.25	0.50	0.12	0.25	0.25	0.00	0.00	0.33	?	0.50	0.00	2.21
Emsland	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	0.50	0.00	0.50
Freiburg im Breisgau	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	?	1.00	0.00	1.83
Giengen an der Brenz	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	1.00	0.00	1.75
Hannover	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.33	?	1.00	0.00	3.33
Heidelberg	0.25	0.50	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.67	?	0.50	0.00	2.17
Lörrach	0.50	0.50	0.25	0.00	0.00	0.25	0.00	0.33	?	0.50	0.00	2.33
Lübeck	0.25	0.75	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	1.00	0.00	2.12
Mannheim	0.25	0.50	0.25	0.00	0.00	0.25	0.00	0.33	?	0.50	0.00	2.08
Obersontheim	0.50	0.50	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	1.00	0.00	2.25
Rastatt	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	0.50	0.00	1.00
Rostock	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	?	0.50	0.00	0.75
Schorndorf	0.50	0.50	0.12	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	?	0.50	0.00	1.88
Stuttgart	0.25	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	?	0.50	0.00	1.25
Tübingen	0.00	0.25	0.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.17	?	0.50	0.00	1.42
Ulm	0.25	0.50	0.25	0.50	0.00	0.50	0.00	0.33	?	0.50	0.00	2.83
Wertheim	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	?	0.50	0.00	1.08
	III.1	III.2	III.3	III.4	III.5	III.6	III.7	IV.1	IV.2	IV.3	V	Σ

Bezug zu Anlage 2 zu § 23 WPG

Abbildung 5: Bewertung der Wärmepläne für die Phase Zielszenario entsprechen des Bewertungssystems nach Tabelle 5, Tabelle 6 und Abschnitt 4.5. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG, Farbskala für 1 bis 0 von grün bis rot

Gründe für das schlechte Abschneiden der älteren Wärmepläne sind, dass entgegen der in Abschnitt III und IV der Anlage 2 zu §23 WPG [3] geforderten Stützjahre nach § 27 Abs. 2 Satz 2 KlimaG BW [41] Angaben nur für die zwei Stützjahre 2030 und 2040 zu tätigen sind. Zusätzlich ist auffällig, dass die Betrachtung einer zukünftigen leitungsgebundenen Wärmeversorgung nur dürftig ausfällt. Dies liegt primär an der in Anlage 2 zu §23 WPG [3] geforderten Darstellung, welche von der in § 27 Abs. 2 Satz 2 KlimaG BW [41] abweicht. Im Folgenden wird auf die Methodik zur Aufstellung des Zielszenarios genauer eingegangen.

Detaillierte Betrachtung Methodik Wärmepläne

Zur Einteilung des beplanten Gebietes in Wärmeversorgungsgebiete werden in den Wärmeplänen verschiedene Ansätze verwendet. Dabei beschreiben 18 der 19 Wärmepläne die Einteilung in Wärmeversorgungsgebiete anhand einer Vielzahl an Kriterien, welche im Anschluss genauer betrachtet werden. Hierbei wird im Folgenden getrennt zwischen der quantitativen Bewertung und qualitativer Kriterien.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Lediglich im Wärmeplan von Emsland [15] ist keine eindeutige Einteilung vorhanden.

Bei der quantitativen Einteilung verwenden von 19 Wärmeplänen sieben Wärmepläne⁷ die auf die Trassenlänge bezogene Wärmedichte (Wärmelinien-dichte) und 14 Wärmepläne⁸ die flächenbezogene Wärmedichte. Um anhand der Wärmedichte eine Eignung für ein Wärmenetz auszuweisen, greifen die Wärmepläne auf verschiedene Grenzwerte zurück. Eine detaillierte Übersicht der verwendeten Grenzwerte ist in Tabelle 10 dargestellt. Einige Wärmepläne bewerten die Eignung von Wärmenetzen gestaffelt während andere Wärmepläne nur auf einen fixen Grenzwert zurückgreifen. Ebenso fällt auf, dass die angeführten Grenzwerte sich stark unterscheiden. So liegt der vom Wärmeplan für Aachen [17] und Lübeck [20] angeführte Wert weit über dem von Giengen an der Brenz [29]. Dasselbe gilt für den Wert von Rastatt [26], welcher deutlich größer ist als die von Baden-Baden [18] und Wertheim [28]. Ergänzend zu den Ausführungen in Tabelle 10 geht bei den Wärmeplänen aus Hannover [13], Rostock [21], Heidelberg [22], Ulm [23] und Bielefeld [14] nicht eindeutig hervor, welcher Grenzwert zur Ausweisung verwendet wird. Ebenso geben die Wärmepläne unterschiedliche Angaben zur Herkunft der Grenzwerte.

Tabelle 10: Verwendete Grenzwerte der Wärmelinien-dichte und flächenbezogenen Wärmedichte zur Ausweisung eines Wärmenetzes

Wärmepläne	Grenzwert Wärmedichte
Baden-Baden [18], Wertheim [28]	> 300 kWh/(ha · a)
Obersontheim [30], Schorndorf [27], Lörrach [18], Mannheim [16]	Verweis auf den KEA-Leitfaden [8]: 0 – 70 MWh/(ha · a) - Kein technisches Potenzial 70 – 175 MWh/(ha · a) - Empfehlung von Wärmenetzen in Neubaugebieten 175 – 415 MWh/(ha · a) - Empfohlen für Niedertemperaturnetze im Bestand 415 – 1.050 MWh/(ha · a) - Richtwert für konventionelle Wärmenetze im Bestand > 1.050 MWh/(ha · a) - Sehr hohe Wärmenetzeignung ⁹
Rastatt [26]	Ab 800 bis 1.000 kWh/m ²
Tübingen [24]	Ab 200-400 MWh/ha im Zieljahr
Freiburg [19]	Ab 400 MWh/ha
Stuttgart [12]	Wärmeverbrauchs-dichte: < 400 MWh/(ha · a) – nicht geeignet 400-800 MWh/(ha · a) – wenig geeignet 800-1.200 MWh/(ha · a) – geeignet 1.200-2.500 MWh/(ha · a) – sehr geeignet > 2.500 MWh/(ha · a) – ausgezeichnet Wärmebedarf pro Flurstück:

⁷ Hannover [13], Schorndorf [27], Giengen an der Brenz [29], Lörrach [18], Aachen [17], Lübeck [20], Bielefeld [14]

⁸ Baden-Baden [18], Wertheim [28], Obersontheim [30], Schorndorf [27], Lörrach [18], Mannheim [16], Rastatt [26], Tübingen [24], Freiburg [19], Stuttgart [12], Ulm [23], Heidelberg [22], Rostock [21], Hannover [13]

⁹ Aufgrund unterschiedlicher Siedlungsstrukturen können diese Grenzwerte ggf. lokal angepasst werden

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Wärmepläne	Grenzwert Wärmedichte
	$< 150.000 \text{ kWh/a}$ – nicht geeignet $150.000\text{-}300.000 \text{ kWh/a}$ – wenig geeignet $300.000\text{-}600.000 \text{ kWh/a}$ – geeignet $600.000\text{-}1.200.000 \text{ kWh/a}$ – sehr geeignet $> 1.200.000 \text{ kWh/a}$ – ausgezeichnet
Giengen an der Brenz [29]	Ab $1.000 \text{ kWh}/(\text{Trm} \cdot \text{a})$
Aachen [17]	2035 über 3.000 kWh/m (Praxiserfahrung der Gutachter sowie beteiligte Energieversorger)
Lübeck [20]	Ab $4.000 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a})$

Neben der Art der Wärmedichte kann für die Ausweisung der Eignung eines Wärmenetzes unterschieden werden, ob diese anhand der aktuellen oder einer zukünftigen Wärmedichte erfolgt. Während in zwei Wärmeplänen¹⁰ zur Einteilung des Gebietes die jeweils aktuelle im Rahmen der Bestandsanalyse erhobene Wärmedichte verwendet wird, verwenden acht Wärmepläne¹¹ unter anderem die Wärmedichte für den zukünftigen Verbrauch. Bei acht Wärmeplänen¹² ist nicht eindeutig, welche Wärmedichte zur Einteilung verwendet wird. Dem gegenüber greift der Wärmeplan für Freiburg [19] sowohl die aktuelle als auch die zukünftige Wärmedichte auf, allerdings liegt der Fokus auf dem Ist-Bedarf. Hierzu greift der Wärmeplan auf die Aussagen der Bestands- und Potenzialanalyse zurück [19]. Im Wärmeplan von Stuttgart [12] werden zusätzlich zu der flächenbezogenen Wärmedichte, absolute jährliche Wärmebedarfe der Flurstücke betrachtet und das bessere Ergebnis für die Einteilung der Gebiete verwendet.

Neben der Wärmedichte verwenden die Wärmepläne zur Einteilung der Wärmeversorgungsgebiete qualitative Kriterien. Tabelle 11 gibt hierzu einen Überblick, indem sie die Kriterien in die Kategorien Gebäude, Wärmeerzeugung/-verbrauch, Technisches Potenzial, Infrastrukturelle Gegebenheiten und Sonstiges einteilt und den jeweiligen Wärmeplänen zuordnet.

¹⁰ Rastatt [26], Obersontheim [30]

¹¹ Obersontheim [30], Freiburg [19], Ulm [23], Tübingen [24], Schorndorf [27], Aachen [17], Bielefeld [14] & Lübeck [29]

¹² Stuttgart [12], Hannover [13], Lörrach [18], Heidelberg [22], Ulm [23], Rastatt [26], Schorndorf [27], Giengen an der Brenz [29]

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Tabelle 11: Qualitative Kriterien zur Einteilung möglicher Wärmeversorgungsgebiete

Kategorie	Qualitatives Kriterium	Wärmeplänen
Gebäude	Gebäudetypologie	Hannover, Obersontheim
	Gebäudealter	Mannheim, Hannover, Obersontheim
	Gebäudefunktion	Obersontheim
	Siedlungs-/Bebauungsstruktur	Heidelberg, Mannheim, Lörrach, Rostock, Freiburg, Schorndorf, Obersontheim, Lübeck
	Denkmalschutz	Heidelberg, Lörrach, Schorndorf
	Eigentümerstruktur	Stuttgart, Rostock, Giengen
	Hohe Temperaturen in Gebäuden, Anforderung an Temperaturniveaus	Baden-Baden, Wertheim, Obersontheim
Wärmeerzeugung/-verbrauch	Wärmeverbrauchsstruktur	Stuttgart, Obersontheim
	Ankerkunden (große Wärmeverbraucher)	Lörrach, Rostock, Tübingen, Schorndorf, Giengen, Obersontheim, Aachen, Lübeck, Bielefeld
	Baujahr Heizungsanlagen	Heidelberg, Tübingen, Rostock, Giengen, Obersontheim
	Bestehende Wärmeversorgungsinfrastruktur	Tübingen, Rastatt, Giengen, Obersontheim
	(Nähe zu) Bestandsnetzen	Hannover, Mannheim, Lörrach, Freiburg, Ulm, Tübingen, Schorndorf, Giengen, Aachen, Lübeck
	Kühlbedarf	Baden-Baden, Wertheim
Technisches Potenzial	Technisches Potenzial regenerativer Energieträger	Rastatt, Baden-Baden, Wertheim, Obersontheim
	mögliche (Ab-)Wärmequellen	Lörrach, Heidelberg, Rastatt, Schorndorf, Bielefeld
	Erschließungsaufwand	Baden-Baden, Wertheim
	THG-Einsparpotenzial	Baden-Baden, Wertheim
Infrastrukturelle Gegebenheiten	Ausbaubarrieren für Wärmenetze z.B. Gewässer, Bahnlinien, stark befahrene Straßen oder deutliche Höhenunterschiede)	Lörrach, Hannover, Tübingen, Schorndorf, Obersontheim, Bielefeld
	Freiflächen für mögliche Potenziale	Ulm, Rastatt
	Einwohnerzahl/dichte	Rostock
	Städtebauliche Rahmenbedingungen (z.B. Neubaugebiete, bereits geplante Ausbaurbeiten, Tief- und Straßenbau)	Rostock, Rastatt, Ulm
Sonstiges	Soziale Aspekte, mediale Wirksamkeit	Rostock
	Anforderungen für mögliche Förderung durch BEW	Obersontheim

Zusätzlich beschreiben die Wärmepläne aus Stuttgart [12], Wertheim [28] und Baden-Baden [25] anhand der

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

in Tabelle 11 genannten qualitativen Kriterien eine multikriterielle Matrix mit verschiedenen Gewichtungsfaktoren, um zwischen einem zentralen und dezentralen Wärmeversorgungsgebiet zu unterscheiden. Für Wertheim [28] und Baden-Baden [25] werden zusätzlich anschließend die Wärmeversorgungsgebiete bei Bedarf manuell angepasst. Diese Methode wird in den Wärmeplänen (Wertheim [28] & Baden-Baden [25]) nicht weiter ausgeführt.

Zusätzlich zu den oben genannten Kriterien verwendet der Wärmeplan von Obersontheim [30] die Wärmegestehungskosten, um die Wärmeversorgungsgebiete auszuweisen. Die Berechnung der Wärmegestehungskosten erfolgt auf Basis des Technikataloges KEA Baden-Württemberg [39] und setzt sich aus der Summe von Wärmeerzeugungs¹³- und Verteilkosten¹⁴ zusammen. Hierzu wird im Wärmeplan von Obersontheim [30] ein iterativer Prozess durchlaufen, um geeignete Wärmenetze auszuweisen. Zunächst findet die Zonierung der zentralen Versorgungsgebiete anhand der Grenzwerte der flächenbezogenen Wärmedichte, großen Verbrauchern und Siedlungsstruktur statt. Anhand dieser erfolgt eine grobe Dimensionierung der Wärmenetze und eine Einschätzung der Wärmeverteilungskosten. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte technische und wirtschaftliche Betrachtung der zentralen Wärmeversorgungsarten. Anschließend findet die Optimierung der Zonierung anhand der Wärmeerzeugungskosten statt. Dabei werden verschiedene Anschlussquoten an das Wärmenetz und andere Parameter, welche nicht weiter ausgeführt werden, berücksichtigt. Verglichen werden die Wärmegestehungskosten der Wärmenetze mit denjenigen einer dezentralen Wärmeversorgung durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe. Die Zonierung der dezentralen Versorgung findet getrennt statt. Darauf aufbauend wird das Versorgungsszenario für die Gemeinde entwickelt und eine grobe Einschätzung der durchschnittlichen Wärmegestehungskosten für die zentralen und dezentralen Wärmeversorgungsarten erfolgt. Außerdem findet ein räumlicher Abgleich zwischen der zukünftigen Versorgungsstruktur und dem lokalen Potenzial der regenerativen Energiequellen statt und die Energie- und THG-Bilanz des zukünftigen Strom- und Wärmebedarfs bestimmt. Anhand mehrerer Abstimmungsterminen hat die Gemeinde an der Einteilung des beplanten Gebietes Anteil genommen.

Sieben Wärmepläne¹⁵ weisen für die Wärmeversorgungsgebiete die Wärmegestehungskosten oder die Investitionen und Betriebskosten aus. Dabei beschreiben die Wärmepläne¹⁵ die Berechnung dieser nach der Einteilung in die Wärmeversorgungsgebiete. Somit nimmt die wirtschaftliche Betrachtung keinen Einfluss auf die Einteilung des beplanten Gebietes.

Bei den betrachteten Wärmeversorgungsarten spielen Wasserstoff und grüne Gase eine Sonderrolle, da sie mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Wasserstoff wurde in den Wärmeplänen von Hannover [13] und Aachen [17] explizit benannt. Für Rostock [21] und Bielefeld [14] wird geprüft, ob Erdgasnetze mit Wasserstoff gespeist werden können. Für Giengen an der Brenz [29] wird keine Verwendung von Gas mehr im Jahr 2040 angegeben. Bei Freiburg [19] wird wenig Potenzial für Wasserstoff genannt und Stuttgart [12] sieht Potenzial in der Nutzung von KWK, aber nicht für Privatabnehmer.

¹³ Wärmeerzeugungskosten beinhalten Investitionen in Heizungsanlagen, Wärmequellenerschließung, sowie Verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten [30]

¹⁴ Verteilkosten setzen sich zusammen aus Investitionen in Hauptleitung, Hausanschlussleitung und Übergabestationen [30]

¹⁵ Stuttgart [12], Hannover [13], Freiburg [19], Rostock [21], Giengen an der Brenz [29], Aachen [17] und Lübeck [20]

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Ausführung zum Aufstellen des Zielszenarios, der Einteilung des beplanten Gebietes & der Darstellung der Wärmeversorgungsarten

Nach § 17 Abs. 2 WPG [3] ist das Zielszenarios im Einklang mit der Einteilung des beplanten Gebiets in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete nach § 18 WPG und mit der Darstellung der Wärmeversorgungsarten für das Zieljahr nach § 19 WPG zu entwickeln. Die Einteilung des beplanten Gebietes in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete hat nach § 18 Abs. 1 WPG [3] auf Grundlage der Bestandsanalyse nach § 15 WPG und der Potenzialanalyse nach § 16 WPG zu erfolgen mit dem Ziel einer „möglichst kosteneffizienten Versorgung des jeweiligen Teilgebiets“ [§ 18 Abs. 1 WPG [3]]. Hierzu sollen nach § 18 Abs.1 WPG [3] Wirtschaftlichkeitsvergleiche für die in § 18 Abs.3 WPG [3] genannten Betrachtungszeitpunkte erfolgen. Des Weiteren führt § 18 Abs.1 WPG [3] als Bewertungskriterien für die Eignung von Wärmeversorgungsarten Wärmegestehungskosten, Realisierungsrisiken, Versorgungssicherheit und kumulierte Treibhausgasemissionen bis zum Zieljahr auf. Nach § 18 Abs. 1 WPG [3] umfassen die Wärmegestehungskosten „Investitionskosten einschließlich Infrastrukturausbaukosten“ und „Betriebskosten über die Lebensdauer“.

Zusätzlich hat die planungsverantwortliche Stelle die verschiedenen Wärmeversorgungsarten nach § 19 Abs. 2 WPG einzuteilen und zu bewerten. Die Einteilung hat nach § 3 Abs. 1 Nr. 6 („Gebiet für die dezentrale Wärmeversorgung“), Nr. 18 („Wärmenetzgebiet“) oder Nr. 23 („Wasserstoffnetzgebiet“) des WPG [3] zu erfolgen. Zur Bewertung sind analog zu Anlage 2 zu §23 Abschnitt V WPG [3] die vier Stufen aufgeführt.

Ausführung zum Aufstellen des Zielszenarios, der Einteilung des beplanten Gebietes & der Darstellung der Wärmeversorgungsarten nach KWW-LF

Der KWW-LF empfiehlt zur Einteilung des Gebietes in Wärmeversorgungsgebiete und der Bewertung der drei Wärmeversorgungsarten Wärmenetzgebiet, Wasserstoffnetzgebiet sowie Gebiet für die dezentrale Wärmeversorgung einen iterativen Ansatz [10, p. 75]. Als Ausgangspunkt dienen die Ergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse [10, p. 75]. Als Bewertungsgrundlage werden hierzu die vier Kriterien voraussichtliche Wärmegestehungskosten, Realisierungsrisiko & Versorgungssicherheit, Kumulierte Treibhausgasemissionen genannt [10, p. 81 ff.]. Diese sind im Anschluss im Rahmen des iterativen Prozesses erneut zu bestimmen, bis die Einteilung final ist [10, p. 90]. Basierend auf den zuvor genannten drei Kategorien wird eine qualitative Gesamtaussage für die Eignung eines jeden der drei Wärmeversorgungsarten (Wärmenetzgebiet, Wasserstoffnetzgebiet und Gebiet für die dezentrale Versorgung) für ein Teilgebiet getroffen [10, p. 90].

Für die Wärmegestehungskosten wird die detaillierte Vollkostenberechnung der jeweiligen Wärmeversorgungsart als eine Möglichkeit genannt [10, p. 81]. Da dieser vom KWW-LF jedoch ein großer Aufwand und eine hohe Komplexität zugesprochen wird, stellt der Leitfaden die qualitative Betrachtung in den Fokus [10, p. 81]. Als weitere Grund hierfür, wird die Unsicherheit bei der Entwicklung der Energieträgerpreise bis 2045 für die Vollkostenberechnung genannt [10, p. 81]. Für die Abschätzung der voraussichtlichen Wärmegestehungskosten nennt der KWW-LF in Tabelle 15 [10, p. 81] verschiedene Indikatoren, unter anderem die Wärmeliniendichte.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Ableiten von Handlungsempfehlungen für das Aufstellen des Zielszenarios, der Einteilung des beplanten Gebietes & der Darstellung der Wärmeversorgungsarten

Sowohl der KWW-LF als auch die Wärmepläne haben gezeigt, dass die Einteilung des beplanten Gebietes und das Aufstellen des Zielszenarios sowohl als Kombination aus einer qualitativen und einer quantitativen Betrachtung als auch rein qualitativ erfolgen kann. Eine Berechnung der Wärmedichte (flächenbezogene Wärmedichte oder Wärmelinienindichte) und der Wärmegegestehungskosten können als quantitative Kriterien aufgefasst werden. Alternative und zusätzliche qualitative Kriterien der Wärmepläne zeigt Tabelle 11. Der KWW-LF verwendet ähnliche Kriterien in Tabelle 15 [10, p. 81].

Für die Gebietseinteilung und die Ausweisung der Wärmeversorgungsarten schlägt der KWW-LF ein iteratives Verfahren vor ausgehend von den Ergebnissen der Bestands- und der Potenzialanalyse [10, pp. 76, 90 f.]. Im Rahmen der iterativen Einteilung werden die vier Kriterien Kosteneffizienz (Wärmegegestehungskosten), Realisierungsrisiko, kumulierte THG-Emissionen und Versorgungssicherheit wiederholt bestimmt und dabei die Vorschläge der Netzbetreiber berücksichtigt [10, p. 76]. Hierbei teilt die planungsverantwortliche Stelle nach § 18 Abs. 1 WPG [3] das beplante Gebiet auf Grundlage der Bestandsanalyse und der Potenzialanalyse in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete ein. Im Anschluss äußert sich § 18 Abs. 1 WPG [3] wie folgt:

„Hierzu stellt die planungsverantwortliche Stelle mit dem Ziel einer möglichst kosteneffizienten Versorgung des jeweiligen Teilgebiets auf Basis von Wirtschaftlichkeitsvergleichen jeweils differenziert für die Betrachtungszeitpunkte [...] dar, welche Wärmeversorgungsart sich für das jeweilige beplante Teilgebiet besonders eignet.“

Aus dem Wort „Hierzu“ und der Vorgabe „einer möglichst kosteneffizienten Versorgung“ kann ebenfalls abgeleitet werden, dass sich dieses auf die Einteilung des beplanten Gebietes bezieht. Dies wiederum impliziert mindestens einen zweistufigen iterativen Prozess (s. KWW-LF), da ansonsten bei einem einstufigen Prozess der Wirtschaftlichkeitsvergleich keinen Einfluss auf die Einteilung des beplanten Gebietes hat, sofern er nicht aus der Potenzialanalyse abgeleitet werden kann. Aus dieser kann lediglich die Wärmelinienindichte abgeleitet werden. Ob jedoch ausschließlich durch eine Betrachtung von Wärmelinienindichten die wirtschaftliche Bewertung erfolgen kann, ist fraglich. Diese ist nach KWW-LF nur ein Bestandteil von vielen für die Betrachtung voraussichtlicher Wärmegegestehungskosten (vgl. [10, p. 81]). Demnach soll im WPG eindeutiger definiert werden, ob sowohl Einteilung in die Gebiete als auch die Ausweisung der Wärmeversorgungsart gekoppelt sind oder getrennt erfolgen. Hierzu sind als zukünftige Maßnahme die Vorteile der iterativen Betrachtung gegenüber dem Aufwand abzuwägen und daraus abgeleitet eine konkrete gesetzliche Vorgabe zu machen. Die Ausführungen des KWW-LF [10, p. 76 ff.] geben hierzu Anhaltspunkte.

Wie den Ausführungen oben entnommen werden kann, spielt die Wärmedichte flächenbezogen oder längenbezogen eine relevante Rolle bei der Ausweisung von Wärmeversorgungsarten. Die Wärmepläne verwenden beide Bezugsgrößen. Im § 3 Abs. 1 WPG [3] wird hingegen nur die Wärmelinienindichte angeführt und nicht die flächenbezogene Wärmedichte. Ebenso verwendet diese der KWW-LF in Tabelle 16 [10, p. 82]

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

und sollte demnach auch ausschließlich in der Wärmeplanung verwendet werden, da sie die Leitungslänge des Wärmenetzes berücksichtigt.

Bei der Bewertung der Wärmeversorgungsarten greifen die Wärmepläne auf unterschiedliche Grenzwerte (s. Tabelle 10) zurück. Der KWW-LF ergänzt dieses Spektrum. Die Herkunft der angeführten Grenzwerte in den Wärmeplänen und dem Leitfaden ist intransparent. Ein Vergleich der Grenzwerte aus den unterschiedlichen Quellen (s. Tabelle 10) zeigt, dass diese teilweise nicht übereinstimmen bzw. sich widersprechen. Hieraus folgt die Aufarbeitung eben dieser hin zu mehr Transparenz, wie die Grenzwerte zustande kommen und welche Grenzwerte verwendet werden können, wobei der Fokus auf der Wärmelinienlänge zu liegen hat.

Ebenso wurde gezeigt, dass in den Wärmeplänen die Wärmelänge sowohl auf Ergebnissen der Bestandsanalyse als auch der Potenzialanalyse beruht. Der KWW-LF empfiehlt hier die für das Zieljahr zu berechnende Wärmelinienlänge zu verwenden [10, p. 82].

Während der KWW-LF sich auf die für das Zieljahr zu **berechnende** Wärmelinienlänge stützt [10, p. 82], favorisiert der KWW-LF [10, p. 81] für die Ausweisung der Wärmebereitstellungskosten die rein **qualitative** Darstellung. Die quantitative Ausweisung der Wärmebereitstellungskosten wird hingegen als komplex und aufwändig bezeichnet [10, p. 81]. Zusätzlich unterliegt sie den Unsicherheiten der Preisentwicklung von Energieträgern [10, p. 81].

Nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt III WPG [3] wird jedoch verlangt, ausführliche Angaben über den ermittelten Betrieb für die Stützjahre zu geben. Somit ist der Betrieb dem WPG nach ohnehin quantitativ auszuweisen. Investitionen und Betriebskosten hingegen werden in Anlage 2 zu § 23 Abschnitt III WPG [3] nicht verlangt. Jedoch führt der § 18 Abs. 1 WPG [3] die Investitionen, Kosten für den Ausbau der Infrastruktur und die Betriebskosten über die Lebensdauer als Bestandteile der Wärmebereitstellungskosten auf. Eine Interpretation dieser Auflistung tendiert zu einer quantitativen Betrachtung der Wärmebereitstellungskosten, welche z. B. anhand des Technikkatalogs der KEA [39] oder dem KWW-Technikkatalog [42] erfolgen kann. Ansonsten ist deren Zweck zu hinterfragen, da der KWW-Technikkatalog [42] für die Berechnung der Wärmebereitstellungskosten nicht vorrangig vom KWW-LF anzuwenden empfohlen wird. Jedoch wird dieser als Grundlage für Richtwerte für die detaillierte Berechnung der Wärmebereitstellungskosten empfohlen, sofern keine eigenen Kostenansätze der planungsverantwortlichen Stelle vorliegen [10, p. 93].

Somit liegt hier eine Unklarheit der Methodik vor, welche zu konkretisieren ist, um KWW-LF, KWW-Technikkatalog und WPG konsequenter aufeinander abzustimmen. Da der Betrieb nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt III WPG ohnehin zu beschreiben ist, empfiehlt sich eine quantitative Ausweisung der Wärmebereitstellungskosten unter Verwendung des KWW-Technikkatalogs oder begründeter abweichender Angaben.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Als Beispiel aus der Praxis zeigt der Wärmeplan von Obersontheim [30], dass sowohl die quantitative Ausweisung der Wärmegestehungskosten als auch die Einteilung und Ausweisung in einem iterativen Prozess erfolgen kann. Aus den zuvor genannten Ausführungen werden die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- Das WPG soll eindeutig aussagen, ob die in § 18 Abs. 1 genannten vier Bewertungsgrößen qualitativ oder quantitativ zu betrachten sind; Empfehlung: Wärmegestehungskosten & kumulierte THG-Emissionen quantitativ
- Das WPG soll eindeutig aussagen, ob die in § 18 Abs. 1 genannten vier Bewertungsgrößen die Einteilung des beplanten Gebietes zu beeinflussen haben. Empfehlung; ja, z. B. im Rahmen eines iterativen Prozesses (s. KWW-LF); Einteilung zunächst anhand qualitativer Kriterien. Nach Einteilung Entscheidung zur Wärmeversorgungsart zusätzlich mit quantitativ Aussagen treffen.
- Eine Überarbeitung des KWW-LF mit einer transparenten differenzierten Angabe der Grenzwerte der Wärmeliniendichte.

5.4 Eignungsprüfung

Die Eignungsprüfung ist laut § 13 Abs. 1 WPG [3] vor der Bestandsanalyse durchzuführen und laut § 23 Abs. 2 WPG [3] im Wärmeplan auszuweisen. Die Bewertung der Ergebnisdarstellung und der dazugehörigen Methodik der Eignungsprüfung war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, weil entgegen der Beschreibung in § 23 Abs. 2 WPG [3] die Anlage 2 zu § 23 WPG [3] keine Angaben für die Darstellung der Ergebnisse der Eignungsprüfung vorgibt.

In der Eignungsprüfung soll zunächst überprüft werden, ob Stadtgebiete für die Versorgung mit einem Wärme- und Wasserstoffnetz geeignet sind (vgl. § 14 Abs. 1 WPG [3]). Bei Nichteignung kann für diese Gebiete eine verkürzte Wärmeplanung nach § 14 Abs. 4 WPG durchgeführt werden. Die Eignungsprüfung kann nach § 14 Abs. 7 WPG [3] „ohne Erhebung von Daten“ durchgeführt werden. Sie soll „anhand vorliegender Informationen zur Siedlungsstruktur, zur industriellen Struktur, zu Abwärmepotenzialen, zur Lage der Energieinfrastrukturen und zu Bedarfsabschätzungen erfolgen“ § 14 Abs. 7 WPG [3]. Die Datengrundlage, auf der die Eignungsprüfung basieren soll, ist also nicht näher beschrieben. Ebenso sind die Kriterien, anhand derer über die Eignung, wann ein Gebiet für ein Wärme- oder ein Wasserstoffnetz geeignet ist, entschieden werden soll, unklar. Eine ungenaue Abschätzung z. B. der Wärmebedarfe gekoppelt mit uneinheitlichen Bewertungskriterien z. B. der Wärmeliniendichte bringt eine sehr hohe Unsicherheit in den Prozess der Eignungsprüfung und somit die Gefahr einer Fehlbewertung.

Die im Rahmen dieser Studie betrachteten Wärmepläne haben gezeigt, dass die Kommunen unterschiedliche Datengrundlagen nutzen (s. 5.1 Bestandsanalyse). Basierend auf diesen unterschiedlichen Daten ist fraglich, ob ohne die Erhebung von Daten eine generelle belastbare Aussage zur Eignung eines Wärmenetzes hinsichtlich § 14 Abs. 2 WPG getroffen werden kann. Ein Beispiel hierfür ist der voraussichtliche Wärmebedarf

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

(vgl. § 14 Abs. 2 Satz 2 WPG [3]). Für die Bestimmung des voraussichtlichen Wärmebedarfs sind Methoden notwendig, wie sie z. B. im Rahmen der Bestands- und Potentialanalyse anzuwenden sind. Demnach liegt hier eine methodische Überschneidung dieser Phasen vor. Ebenso zeigt Tabelle 10, dass verschiedene - sich teilweise widersprechende - Grenzwerte zur Wärmenetzeignung geläufig sind. Die verschiedenen Leitfäden geben unterschiedliche Richtwerte für die Wärmedichte an, die sich zudem auf die Trassenlänge (Wärmelinienendichte) oder auf die Fläche beziehen können. Dies macht die Entscheidungsfindung zur Eignung eines Wärmnetzes vor der Bestandsanalyse inkonsistent sowie teilweise intransparent und birgt das Risiko ungenutzter Potenziale. Hier sollten dringend eine bessere Datenbasis sowie Richtwerte zur Verfügung gestellt werden, da auch der KWW-LF in Kapitel 3 hierzu, anders als zu anderen Phasen, keine quantifizierbaren Größen als Hilfestellung angibt. Auch könnte eine Auswertung bereits lokal ausgeführter Wärmenetze, die zum Teil im Besitz kommunaler Unternehmen sind, hilfreich für die Eignungsprüfung sein, um realitätsnahe Kriterien und Umsetzungserfahrungen einzubringen und lokale Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Des Weiteren werden in Anlage 2 zu § 23 WPG [3], welche sich mit der Darstellung der Ergebnisse im Wärmeplan beschäftigt, keine Anforderungen an die Eignungsprüfung dargestellt. Somit ist die Abgrenzung zwischen den Inhalten der Eignungsprüfung auf der einen Seite und den Inhalten der Bestands- und Potentialanalyse sowie der Definition des Zielszenarios auf der anderen Seite unklar.

Die in dieser Studie analysierten Wärmepläne, die nach Inkrafttreten des WPG veröffentlicht wurden, gehen formell unterschiedlich, aber im Ergebnis ähnlich mit der Eignungsprüfung um. So wurde im Wärmeplan der Stadt Aachen Abschnitt 2.1 [17] keine Eignungsprüfung und damit auch keine verkürzte Wärmeplanung durchgeführt. Alle Gebiete wurden mit der gleichen Methodik, Datenbasis und Bearbeitungstiefe detailliert analysiert (vgl. Abschnitt 2.1 [17]). Für Bielefeld [14] wurde formal die Eignungsprüfung durchgeführt. Für sie werden aber in ihrer Analyse deutlich mehr Kriterien einbezogen (vgl. Kapitel 5 [14]) als durch den § 14 Abs. 7 WPG [3] vorgegeben werden. Diese Kriterien werden typischerweise erst für spätere Phasen benötigt wie z. B. Heizkosten für verschiedene Versorgungsoptionen. Auch wird für Bielefeld [14] die Eignungsprüfung nach der Bestands- und Potenzialanalyse aufgeführt. Der Wärmeplan der Stadt Lübeck weist kein explizites Kapitel zur Eignungsprüfung nach § 13 Abs. 1 WPG [3] aus. Eine Definition von Eignungs- und Prüf- bzw. Erweiterungsgebieten findet im Anschluss an die Bestands- und Potenzialanalyse für Bielefeld [14] statt. Dieser Trend unter den drei Stichproben deutet darauf hin, dass die Eignungsprüfung in der im WPG vorgesehenen Form in der Praxis nicht durchgeführt wird. Teilweise wird dies sogar mit einem erhöhten zeitlichen Aufwand begründet (vgl. Abschnitt 2.1 [17]), wo doch das Ziel der Eignungsprüfung eine Reduzierung des Analyseaufwands ist. Besonders in der datengetriebenen automatisierten Analyse von Teilgebieten verliert das Argument der Reduzierung des Analyseaufwands an Relevanz.

Die Eignungsprüfung sollte hinter die Bestandsanalyse gestellt werden, um ohne die Betrachtung der weiteren Phasen, also ausschließlich auf Basis der Bestandsanalyse und somit auf einer fundierten Datenbasis eine Aussage treffen zu können, ob eine verkürzte Wärmeplanung nach § 14 Abs. 4 WPG erfolgen kann.

6 Diskussion

In dieser Studie wurden 19 Wärmepläne von Kommunen mit einer unterschiedlichen Anzahl an Einwohnern und Verteilung über Deutschland betrachtet. Von diesen Wärmeplänen wurden 16 vor dem Inkrafttreten des WPG veröffentlicht und drei nach dem in Kraft treten. Demnach ist an diese 16 Wärmepläne nicht derselbe Anspruch hinsichtlich der Ergebnisdarstellung zu stellen. Dennoch wurde dies in dieser Studie gemacht, um einen Überblick über die aktuellen Wärmepläne im Kontext der Anforderungen des WPG darzustellen.

Die Bewertung der Methodik der Wärmepläne unterliegt aufgrund der heterogenen Ausführungen in den Wärmeplänen, welche sich durch unterschiedliche inhaltliche Schwerpunkte, verschiedene strukturelle Aufbauten und individueller Formulierung zeigt, Unsicherheiten.

7 Zusammenfassung

Die Studie hat anhand von 19 Wärmeplänen repräsentativ für Deutschland einen Überblick über die Methodik und Ergebnisdarstellung zur kommunalen Wärmeplanung vorgestellt. Der Schwerpunkt der Studie lag auf den drei Phasen der Wärmeplanung Bestandsanalyse, Potenzialanalyse und den zusammengefassten Phasen Zielszenario, Einteilung des beplanten Gebietes & Darstellung der Wärmeversorgungsarten. Entsprechend dieser Einteilung wurden die von den Wärmeplänen darzustellenden Ergebnisse nach Anlage 2 zu §23 WPG bewertet. Hierbei hat sich gezeigt, dass sämtliche Wärmepläne die dort aufgeführten Ergebnisse nicht vollständig darstellen. Dabei konnte nicht eindeutig gezeigt werden, dass die Wärmepläne vor dem Inkrafttreten des WPG schlechter abschneiden als die nach dem Inkrafttreten. Von den betrachteten Wärmeplänen sticht der Wärmeplan von Aachen beim Umfang der dargestellten Ergebnisse jeweils mit der höchsten Punktzahl heraus, erfüllt dennoch die Vorgaben der Anlage 2 zu §23 WPG nur bedingt.

Zusätzlich zur Ergebnisdarstellung wurden die Wärmepläne auch hinsichtlich ihrer Methodik einer jeden der oben genannten Phase betrachtet. Dabei wurde zur Darstellung des Überblicks der Methoden in einer jeden Phase Schwerpunkte gesetzt. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bestandsanalyse: Für die Bestandsanalyse wurde die Methodik zur sektorspezifischen Wärmebedarfsermittlung betrachtet. Hierbei haben die meisten Wärmepläne den Endenergiebedarf ermittelt. Zum Schließen von Datenlücken wurden entweder die Verbräuche ähnlicher Gebäude verwendet oder Angaben des spezifischen Wärmebedarfs herangezogen.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

- Potenzialanalyse: Die Potenzialanalyse wurde unterteilt in die Betrachtung der Einsparpotenziale und der Erzeuger- und Speicherpotenziale.
 - Bei den Einsparpotenzialen wurde ein heterogenes Bild hinsichtlich der Methodik identifiziert, welches sich anhand der Betrachtung verschiedener Sektoren und Annahmen zu Dämmmaßnahmen bzw. Gebäudeeffizienzklassen zeigt.
 - Bei den Erzeuger- und Speicherpotenzialen wurde herausgestellt, dass besonders Speicher kaum betrachtet werden. Der Überblick über die Methodik hat gezeigt, dass die Wärmepläne in einem unterschiedlichen Detailgrad das Potenzial von Wärmeerzeugern betrachten.
- Zielszenario, Einteilung des beplanten Gebietes & Darstellung der Wärmeversorgungsarten: Für die Ausweisung der Wärmeversorgungsarten haben die Wärmepläne unterschiedliche Methoden von rein qualitativen bis zu verschiedenen Kombinationen an quantitativen und qualitativen Ansätzen verwendet. Bei den qualitativen Bewertungskriterien wurde eine Vielzahl vorgestellt. Bei den quantitativen Kriterien lag der Fokus auf der Betrachtung der Wärmedichte. Die Wärmepläne haben entweder die flächenbezogene Wärmedichte oder die auf die Trassenlänge bezogenen Wärmelinienindichte angeführt. Auffallend ist, dass die in den Wärmeplänen angeführten Grenzwerte zur Eignung eines Wärmenetzes für beide Wärmedichten-Arten stark voneinander abweichen.

Nach der Darstellung eines jeden Überblicks wurden zusätzlich die Empfehlungen aus dem KWW-LF und die Vorgaben des WPG betrachtet. Diese wurden im Anschluss in den Kontext der Ausführungen der Wärmepläne gestellt, um zum einen die Empfehlungen des KWW-LF und die Vorgaben des WPG zu bewerten und zum anderen Verbesserungen für eben diese zu identifizieren. Diese umfassen im Wesentlichen die folgenden Punkte:

- Eignungsprüfung:

Die Eignungsprüfung sollte hinter die Bestandsanalyse gestellt werden, um ohne die Betrachtung der weiteren Phasen, also ausschließlich auf Basis der Bestandsanalyse, eine Aussage treffen zu können, ob eine verkürzte Wärmeplanung nach § 14 Abs. 4 WPG erfolgen kann.
- Bestandsanalyse:
 - Gesetzliche Vorgabe einer verbrauchsbasierten Methodik
 - Warmwasser und Prozesswärme sind gesondert auszuweisen
 - Vorgabe einer durchzuführenden Witterungsbereinigung oder alternativ eine Betrachtung mehrerer Jahre
 - Festlegung von einheitlichen Nutzungsgraden zur Umrechnung von Endenergie auf Wärmebedarf; wahlweise Wirkungsgrade
 - Eine Vorgabe der zu betrachtenden Sektoren Wohngebäude, GHD und Industrie

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

- Potenzialanalyse:
 - Eindeutige Definition des Begriffs „Erzeugerpotenzial“: Bestimmung der von der Wärmequelle beziehbaren Wärme, sodass das Wärmequellenpotenzial und nicht das Nutzenergiepotenzial (nutzbare Wärme) bzw. die erzeugte Wärme ausgewiesen wird.
 - Ein Erzeugerpotenzial sollte durch das Ausweisen einer Zahl (Energie pro Jahr und/oder Leistung) beschrieben werden.
 - Im Wärmeplan getroffene Annahmen sollten angegeben und begründet werden.
 - Den Sektor Strom und damit die Erzeugerpotenziale Wind und PV sollte mitbetrachtet werden. Hierbei dann die für den Sektor Wärme verfügbare Menge Strom berücksichtigt werden.
 - Eine Vorgabe der zu betrachtenden Sektoren Wohngebäude, GHD und Industrie
 - Eine Auswahl an zu berücksichtigenden und zu betrachtenden Dämmstandards
 - Eine Empfehlung für eine Methodik zur Abschätzung der Sanierungsrate
- Zielszenario, Einteilung des beplanten Gebietes & Darstellung der Wärmeversorgungsarten:
 - Das WPG soll eindeutig aussagen, ob die in § 18 Abs. 1 genannten vier Bewertungsgrößen qualitativ oder quantitativ zu betrachten sind; Empfehlung: Wärmegestehungskosten & kumulierte THG-Emissionen quantitativ
 - Das WPG soll eindeutig aussagen, ob die in § 18 Abs. 1 genannten vier Bewertungsgrößen die Einteilung des beplanten Gebietes zu beeinflussen haben. Empfehlung dieser Studie: ja, z. B. im Rahmen eines iterativen Prozesses (s. KWW-LF); Einteilung zunächst anhand qualitativer Kriterien. Nach Einteilung quantitative Ausweisung der Wärmegestehungskosten und der kumulierten THG-Emissionen für die finale Einteilung.
 - Eine Überarbeitung mit einer transparenten differenzierten Angabe der Grenzwerte der Wärmeliniendichte.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick über die Wärmeplanung in Deutschland zum Zeitpunkt der Studie (Juni 2024); ergänzt um die Wärmepläne aus Aachen, Bielefeld und Lübeck. Veröffentlichte Wärmepläne sind mit einem grünen Marker gekennzeichnet. Bundesländer, in denen bereits vor Inkrafttreten des bundesweiten WPG eine verpflichtende kommunale Wärmeplanung bestand, sind rot markiert.	5
Abbildung 2: Bewertung der Wärmepläne für die Phase Bestandsanalyse entsprechend des Bewertungssystems nach Tabelle 2 und Tabelle 3. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG, Farbskala für 1 bis 0 von grün bis rot	14
Abbildung 3: Bewertung der Wärmepläne für die Phase Potenzialanalyse entsprechend des Bewertungssystems nach Tabelle 4. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG, Farbskala für 1 bis 0 von grün bis rot	22
Abbildung 4: Bewertung der verwendeten Methodik zur Ermittlung der Erzeuger- und Speicherpotentiale. Grün quantitative Bewertung, rot qualitative Bewertung, weiß nicht im Wärmeplan betrachtet. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG	24
Abbildung 5: Bewertung der Wärmepläne für die Phase Zielszenario entsprechen des Bewertungssystems nach Tabelle 5, Tabelle 6 und Abschnitt 4.5. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert; blau= nach Inkrafttreten des WPG, Farbskala für 1 bis 0 von grün bis rot	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Repräsentative Auswahl der Wärmepläne	6
Tabelle 2: Bewertungsschema für die Ergebnisdarstellung der Bestandsanalyse nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 1. WPG [3]	8
Tabelle 3: Bewertungsschema für die Ergebnisdarstellung der Bestandsanalyse nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt I Nr. 2. WPG [3]	9
Tabelle 4: Bewertungsschema für die Ergebnisdarstellung der Potenzialanalyse nach Anlage 2 zu § 23 Abschnitt II WPG [3] (eigene Nummerierung)	10
Tabelle 5: Bewertung der Darstellung des Zielszenarios nach Anlage 2 Abschnitt III WPG [3]	11
Tabelle 6: Bewertung der Darstellung der Einteilung des beplanten Gebietes in voraussichtliche Wärmeversorgungsgebiete nach Anlage 2 Abschnitt IV WPG [3] (eigene Nummerierung)	12
Tabelle 7: Methodik der Wärmepläne für die Wärmebedarfsbestimmung im Rahmen der Bestandsanalyse; Grün Endenergieverbrauchs basiert (grün), Abschätzungen (orange) und nicht eindeutig beschrieben (grau). Wärmepläne sind alphabetisch sortiert	16
Tabelle 8: Beschreibung der Umrechnung des Endenergiebedarfs auf den Wärmebedarf in verschiedenen Wärmeplänen. Wärmepläne sind alphabetisch sortiert.	18
Tabelle 9: Bewertung der Einsparpotenzialanalyse der Wärmepläne nach Sektoren und der Betrachtung dieser; rot = grob, grün=detailliert und grau=Methodik nicht bewertbar; Wärmepläne alphabetisch sortiert	27
Tabelle 10: Verwendete Grenzwerte der Wärmelinien dichte und flächenbezogenen Wärmedichte zur Ausweisung eines Wärmernetzes	32
Tabelle 11: Qualitative Kriterien zur Einteilung möglicher Wärmeversorgungsgebiete	34

Literaturverzeichnis

- [1] Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes geändert worden ist.
- [2] Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 16. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 280) geändert worden ist.
- [3] Wärmeplanungsgesetz vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 394).
- [4] DER ENERGIE EFFIZIENZVERBAND FÜR WÄRME, KÄLTE UND KWK E.V., „Hauptbericht 2022,“ AGFW, 2022.
- [5] Ea Energy Analyses, Viegand and Maagøe, „Erfahrungen mit der Wärmeplanung in Dänemark,“ 2019.
- [6] Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung, „Gemeinden und Gemeindeverbände,“ 31 Dezember 2021. [Online]. Available: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/gemeinden-gemeindeverbaende/gemeinden.html#:~:text=Zum%20Stand%2031.12.2021%20gibt,mit%20396%20die%20wenigsten%20Gemeinden..> [Zugriff am 23 Januar 2025].
- [7] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, „Leitfaden Energienutzungsplan,“ München, 2011.
- [8] M. Peters, S. Thomas und B. Helmut, „Kommunale Wärmeplanung Handlungsleitfaden,“ Dezember 2020. [Online].
- [9] AGFW Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. und DVWG Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. - Technisch-wissenschaftlicher Verein, „Praxisleitfaden Kommunale Wärmeplanung,“ Frankfurt am Main, 2023.
- [10] S. Ortner, A. Paar, L. Johannsen, P. Wachter, D. Hering und M. e. a. Pehnt, „Leitfaden Wärmeplanung. Empfehlungen zur methodischen Vorgehensweise für Kommunen und andere Planungsverantwortliche,“ Hg. v. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Öko-Institut e.V., IER Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker, 2024.
- [11] Baden-Württemberg Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, 3 April 2024. [Online]. Available: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima-energie/energieeffizienz/kommunen/kommunale-waermeplanung/faq-kommunale-waermeplanung>. [Zugriff am 5 Februar 2025].
- [12] Landeshauptstadt Stuttgart Amt für Umweltschutz Energieabteilung, „Bericht zur Erstellung der kommunalen Wärmeplanung der Landeshauptstadt Stuttgart,“ Landeshauptstadt Stuttgart, Stuttgart, 2023.
- [13] Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün, Klimaschutzleitstelle und Fachbereich Planen und Stadtentwicklung, Bereich Geoinformation, enercity AG, „Erläuterungsbericht Entwurf Wärmeplanung Hannover 2023,“ Landeshauptstadt Hannover, Hannover, 2023.
- [14] Stadt Bielefeld - Umweltamt, „Kommunale Wärmeplanung,“ Bielefeld, 2025.
- [15] seecon Ingenieure GmbH, „Klimateilschutzkonzept Kommunale integrierte Wärmenutzung,“ Landkreis Emsland, Meppen, 2021.

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

- [16] Stadt Mannheim Abteilung Klimaschutz, MVV Regioplan GmbH, Klimaschutzagentur Mannheim gGmbH, „Kommunale Wärmeplanung für die Stadt Mannheim,“ Stadt Mannheim, Mannheim, 2024.
- [17] Stadt Aachen Fachbereich Klima und Umwelt, „Kommunaler Wärmeplan Für eine sichere, bezahlbare und klimaneutrale Wärmeversorgung,“ Aachen, 2024.
- [18] endura kommunal GmbH, greenventory GmbH, ifok GmbH, „Unternehmensunabhängige Interkommunale Wärmeplanung (UIWP),“ Landkreis Lörrach, Lörrach, 2022.
- [19] GEF Ingenieur AG, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, badenova-Gruppe, „Masterplan Wärme 2030,“ Stadt Freiburg im Breisgau, Freiburg im Breisgau, 2021.
- [20] Hansestadt Lübeck Bereich Umwelt-, Natur- und Verbraucherschutz Klimaleitstelle, „Kommunale Wärme- und Kälteplanung für die Hansestadt Lübeck Planungsgrundlage für eine treibhausgasneutrale Versorgung,“ Lübeck, 2024.
- [21] Hanse- und Universitätsstadt Rostock Amt für Umwelt- und Klimaschutz Klimaschutzleitstelle, energielenker projects GmbH, „Wärmeplan Rostock 2035 für die Hanse- und Universitätsstadt Rostock,“ Hanse- und Universitätsstadt Rostock, Rostock, 2021.
- [22] S. Ortner, M. Pehnt, S. Gallery, U. Rochard, M. Bücken, K. Holler, S. Milatz und A. Kraft, „Endbericht Kommunaler Wärmeplan Heidelberg,“ Stadt Heidelberg, Heidelberg, 2023.
- [23] M.-A. Claus, S. Gallery, B. Weinmann und H. Zimmermann, „Stadt Ulm Kommunaler Wärmeplan,“ Universitätsstadt Ulm, Ulm, 2023.
- [24] S. Ortner, U. Rochard, M.-A. Claus, S. Gallery, H. Zimmermann und D. Herold, „Kommunale Wärmeplanung Universitätsstadt Tübingen,“ Universitätsstadt Tübingen, Tübingen, 2023.
- [25] T. Nusser, „Kommunale Wärmeplanung Baden-Baden,“ Stadt Baden-Baden, Baden-Baden, 2023.
- [26] Klimaschutzmanagement des Landkreis Rastatt, Smartgeomatics Informationssysteme GmbH, „Klimaschutzkonzept für die klimafreundliche Wärme- und Kältenutzung ausgewählter Kommunen im Landkreis Rastatt,“ Landkreis Rastatt, Rastatt, 2021.
- [27] Stadtverwaltung Schorndorf Stabsstelle Klimaschutz und Mobilität, endura kommunal GmbH, „Fachgutachten Kommunale Wärmeplanung,“ Stadt Schorndorf, Schorndorf, 2023.
- [28] Stadtverwaltung Wertheim Stadtplanung, Umweltschutz, EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH, „Kommunale Wärmeplanung Wertheim,“ Stadt Wertheim, Wertheim, 2023.
- [29] DiG[i]Komm, Tilia GmbH, Smart Geomatics Informationssysteme GmbH, „Endbericht Kommunale Wärmeplanung Giengen an der Brenz,“ Stadt Giengen an der Brenz, Giengen an der Brenz, 2023.
- [30] EnBW ODR AG, AutenSys GmbH, RBS wave GmbH, „ABSCHLUSSBERICHT KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG,“ Gemeinde Obersontheim, Obersontheim, 2023.
- [31] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach und R. Born, „Deutsche Wohngebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, zweite erweiterte Auflage,“ IWU - Institut Wohnen und Umwelt, erarbeitet im Rahmen der EUProjekte TABULA und EPISCOPE, Darmstadt, 10.02.2015.
- [32] ifeu, GEF Ingenieur AG, geomer GmbH, „Modellbeschreibung Wärmealas 2.0 – GIS-Modell des Nutzenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser im deutschen Gebäudebestand,“ [Online]. Available: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Modellbeschreibung_W%C3%A4rmealas_2.0.pdf. [Zugriff am 10 April 2025].

Handlungsempfehlungen für die Kommunale Wärmeplanung

- [33] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte,“ Berlin, 2015.
- [34] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden: Anpassung eines vorliegenden Berechnungstools zur Ableitung von neuen Vergleichswerten für Energieverbrauchsangabe. BBSR-Online-Publikation 37/2021, Bonn, Dezember 2021“.
- [35] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): „Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden. BBSR-Online-Publikation 20/2019, Bonn, Dezember 2019.“.
- [36] Deutsche Energie Agentur (Hrsg.) (dena, 2023), „DENA GEBÄUDEREPORT,“ 2024.
- [37] M. Hörner und J. Bischof, „Typologie der Nichtwohngebäude in Deutschland – Typologie der Nichtwohngebäude in Deutschland. Institut Wohnen und Umwelt (IWU). Darmstadt, 2022. DOI: 10.13140/RG.2.2.31628.80008,“ [Online]. Available: <https://www.datanwg.de/downloads/tools/typologie/>. [Zugriff am 10 April 2025].
- [38] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE) TU-München, Dr.-Ing. Bernd Geiger, GfK Retail and Technology GmbH, IREES GmbH, Ressourceneffizienz und Energiestrategien, „Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013,“ 2015.
- [39] KEA-BW Die Landesenergieagentur, „Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung,“ Januar 2024. [Online]. Available: <https://www.kea-bw.de/waermewende/angebote/downloads>. [Zugriff am 6 Mai 2025].
- [40] dena Deutsche Energie-Agentur, „Energieeffizienz bei Wärmeversorgungssystemen in Industrie und Gewerbe,“ Berlin, 2011.
- [41] Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg | Amtliche Abkürzung: KlimaG BW Ausfertigungsdatum: 07.02.2023 Gültig ab: 11.02.2023.
- [42] N. Langreder, F. Lettow, M. Sahnoun, S. Kreidelmeyer, A. Wünsch und S. e. a. Lengning, „Technikkatalog Wärmeplanung. Hg. v. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Öko-Institut e.V., IER Stuttgart, adelphi consult GmbH, Becker Büttner Held PartGmbH, Prognos AG, et al.,“ 2024.

Impressum

Wissenschaftliche Begleitforschung
Energiewendebauen – Modul 3 Quartiere

E-Mail: ebc-office@eonerc.rwth-aachen.de
Internet: energiewendebauen.de
Autoren: Moritz Zuschlag^a, Joana Baumann^a, Tobias Beckhölter^a,
Jonas Klingebiel^a, Rita Streblow^a, Dirk Müller^a

^a RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Bildrechte liegen beim Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen. Für den Inhalt und das Bildmaterial tragen allein die Autoren die Verantwortung. Alle Rechte vorbehalten.

DOI: [10.18154/RWTH-2025-06327](https://doi.org/10.18154/RWTH-2025-06327)