Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

Kommunale Wärmeplanung

einer zentralen Wärmeversorgung in der Stadt Waldkraiburg

ABSCHLUSSBERICHT

Erstellt von:

ecb - energie.concept.bayern. GmbH & Co.KG

Traunsteiner Straße 11

83093 Bad Endorf

Version: 1.0

Erstellt: 2. März 2026

energie. concept. bayern.

Inhalt

1 Auftragsrahmen 7
1.1 Inhalt und Aufbau 7
2 Bestandsanalyse 8
2.1 Räumliche Darstellung des Untersuchungsgebietes 8
2.2 Energieinfrastruktur 10
2.2.1 Stromversorgung 10
2.2.2 Gasnetze 11
2.2.3 Wärmenetze 14
2.2.4 Biomasseanlagen und Biogasanlagen 15
2.2.5 Tiefengeothermie 15
2.2.6 BHKW-Anlagen 16
2.2.7 PV-Anlagen 17
2.2.8 Solarthermie 18
2.2.9 Wärmepumpen auf Basis oberflächennaher Geothermie & Luft 19
2.3 Wärmeverbrauch 20
2.3.1 Wärmekataster 20
2.3.2 Energiebilanz Wärme 21
2.4 Energie- und Treibhausgasbilanz 22
3 Potenzialanalyse Energieeinsparung 25
3.1 Private Haushalte 26
3.2 Öffentliche Gebäude 27
3.3 Wirtschaft 28
3.4 Zusammenfassung der Energieeinsparungspotenziale 30
4 Potenzialermittlung erneuerbarer Energien und Abwärme 32
4.1 Abwärme 32
4.2 Solarthermie 33
4.3 Umweltwärme 37
4.3.1 Oberflächennahe Geothermie 37
4.3.2 Flusswasser 45
4.3.3 Seewasser 47
4.3.4 Luft 47
4.3.5 Abwasser 48
4.4 Tiefe Geothermie 51

4.4.1 Hydrothermale Geothermie 51
4.4.2 Tiefe Erdwärmesonden 55
4.5 Biomasse 56
4.6 Thermische Abfallbehandlungsanlagen 59
4.7 KWK-Anlagen 59
4.8 Wasserstoff 60
4.9 (Groß)Wärmespeicher 60
4.9.1 Pufferspeicher 60
4.9.2 Saisonalwärmespeicher / Langzeitwärmespeicher 61
4.9.3 Potenzialflächen Wärmespeicher 64
4.10 Zusammenfassung der Potenziale 66
5 Zielszenarien und Entwicklungspfade 70
5.1 Wärmeliniendichten 71
5.2 Ausbau des Wärmenetzes 71
5.3 Entwicklung der dezentralen Versorgung 73
5.4 Entwicklung der Versorgungsstruktur und des Energieträgermixes 73
5.5 Alternative Szenarien 76
6 Maßnahmenkatalog 78
6.1 Effizienz-Maßnahmen 80
6.1.1 Maßnahme 1 (Gebäudesanierung) 80
6.1.2 Maßnahme 2 (effiziente Technologien) 81
6.2 Informations- und Beratungsmaßnahmen 82
6.2.1 Maßnahme 3 (Beratung) 82
6.2.2 Maßnahme 4 (Stakeholder Management) 83
6.2.3 Maßnahme 5 (Erfahrungsaustausch) 84
6.2.4 Maßnahme 6 (Interessenabfrage) 85
6.3 Planerische Maßnahmen 86
6.3.1 Maßnahme 7 (Bauleitplanung) 86
6.3.2 Maßnahme 8 (Quartierskonzepte) 87
6.3.3 Maßnahme 9 (PV-Freifläche) 88
6.3.4 Maßnahme 10 (Fortschreibung) 89
6.4 Organisatorische Maßnahmen 90
6.4.1 Maßnahme 11 (Energiemanagement) 90
6.4.2 Maßnahme 12 (Betreibergesellschaft) 91
6.5 Technische und infrastrukturelle Maßnahmen 92

6.5.1 Maßnahme 13 (Tiefengeothermie) 92
6.5.2 Maßnahme 14 (Überschüssige Wärme) 93
6.5.3 Maßnahme 15 (dezentrale Versorgung) 94
6.5.4 Maßnahme 16 (Speicher) 95
6.5.5 Maßnahme 17 (Synchronisierung der Stromverteilnetze) 96
Anlagen 97
Abbildungsverzeichnis 98
Tabellenverzeichnis 100

Abkürzungsverzeichnis

AP	Fernwärme Arbeitspreis (EUR/kWh)
ATES	Aquifer-Wärmespeicher
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
BKZ	Baukostenzuschüsse
BMWE	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BP	Fernwärme Bereitstellungspreis (EUR/kW)
BTES	Erdwärmespeicher
BVK	Bayrische-Versorgungskammer
CO_2	Kohlenstoffdioxid
CO_2-E	CO_2-Äquivalent
ecb	energie.concept.bayern GmbH & Co. KG
DE	Deutschland
EE	Erneuerbare Energien
EH	Effizienzhaus
EUR	Euro
FFPV	Freiflächen-Photovoltaikanlage
FFST	Freiflächen-Solarthermie
FW	Fernwärme
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GKD	Gewässerkundlicher Dienst Bayern
GOK	Geländeoberkante
GWh	Gigawattstunden
g	Gramm
HAK	Hausanschlusskosten
HAL	Hausanschlussleitung
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kWp	Kilowatt Peak
KWW	Kompetenzzentrum Wärmewende
m^2	Quadratmeter
m^3	Kubikmeter
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
NH	Niedrigenergiehaus
PCM	Phasenwechselmaterialien-Speicher
PTES	Erdbeckenspeicher
PV	Photovoltaikanlage
t	Tonnen
T	Temperatur
THG	Treibhausgase

TTES	Behälter-Wärmespeicher
WP	Wärmepumpe

1 Auftragsrahmen

Die Energiewende hat sich in den vergangenen Jahren zu einem zentralen Diskussionsgegenstand in Politik, Gesellschaft und Wirtschaft entwickelt. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Ressourcen und zur Eingrenzung des prognostizierten Klimawandels muss die Umstellung auf klimaschonende, regenerative Energieträger sowie die Energieeinsparung und Steigerung der Effizienz vorangetrieben werden. Diese Herausforderung liegt nicht zuletzt bei den Bürgern, Gemeinden, Städten und Landkreisen.

Die Stadt Waldkraiburg hat sich dieser Thematik angenommen und Ende 2024 die Erstellung kommunalen Wärmeplanung (KWP) in Auftrag gegeben. Die Erstellung des KWP wird über die Nationale Klimaschutzinitiative (NKI) (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) gefördert und von der Firma ecb | energie.concept.bayern. GmbH & Co. KG aus Bad Endorf umgesetzt. Die Stadt hat sich dabei zum Ziel gesetzt, die Wärmewende auf kommunaler Ebene umzusetzen. Der hierbei bereits seit einigen Jahren erfolgreich eingeschlagene Weg soll nun fortgesetzt werden.

Der KWP soll dabei als mittel bis langfristigen Leitfaden dienen und helfen, den Anforderungen der sich wandelnden Energieinfrastruktur gerecht zu werden. Zu diesen zentralen Anforderungen zählen die Energieeinsparung, die Steigerung der Energieeffizienz sowie der Ausbau der erneuerbaren Energien.

1.1 Inhalt und Aufbau

Im ersten Teil der Ausarbeitung wird kurz auf die Stadt eingegangen. Es folgt eine umfassende Datenerhebung und Analyse des thermischen Energieverbrauchs. Der Wärmebedarf wird in die Verbrauchergruppen private Haushalte, kommunale Objekte und Wirtschaft unterteilt und außerdem die jeweiligen Energieverbräuche den entsprechenden Primärenergieträgern zugeordnet.

Im Anschluss an die Datenerhebung erfolgt die Analyse der lokalen Energieeffizienz-, Einspar- und Erzeugungspotenziale. Im Feld der erneuerbaren Energien wird dabei neben Sonnenenergie auch auf Potenziale der Biomasse, (oberflächennahe) Geothermie, Umwelt- und Abwärme sowie Kraft-Wärme-Kopplung eingegangen.

Die Informationen aus der Bestands- und Potenzialanalyse werden verwendet, um zu untersuchen, ob der Aufbau bzw. Ausbau der Wärmenetze technisch und wirtschaftlich sinnvoll ist. Für den Auftraggeber werden Zielszenarien angefertigt, die die Entwicklung der kommenden Jahre so realistisch wie möglich darstellen. Darauffolgend werden in einem umsetzungsorientierten und praxisbezogenen Maßnahmenkatalog konkrete Handlungsempfehlungen erläutert. In diesem Maßnahmenkatalog werden u. a. zeitliche Rahmenbedingungen, Fördermöglichkeiten sowie die erforderlichen Handlungsschritte erläutert.

Waldkraiburg verfügt seit 2011 über ein geothermisch gespeistes Fernwärmenetz, das von den Stadtwerken betrieben wird und bereits einen wesentlichen Beitrag zur erneuerbaren Wärmeversorgung der Kommune leistet. Im Rahmen des kommunalen Wärmeplans wird nun geprüft, inwieweit dieses bestehende Netz technisch und wirtschaftlich sinnvoll erweitert oder durch zusätzliche Strukturen ergänzt werden kann.

Mittels der erarbeiteten Konzepte ist es der Stadt Waldkraiburg möglich, eine nachhaltige Struktur zu entwickeln, welche den bereits erfolgreich eingeschlagenen Weg durch die kommunale Energiewende erleichtern und fokussieren kann.

Ergänzt wird das Konzept durch umfangreiches Kartenmaterial im Anhang, welches der Stadt auch in Form von Geodaten zur Verfügung gestellt wird.

2 Bestandsanalyse

Im folgenden Kapitel erfolgt eine Beschreibung des aktuellen Stands der Wärmeversorgung der Stadt Waldkraiburg. Der bestehende Wärmeverbrauch und die Anlagen zur Energieerzeugung werden dargestellt.

2.1 Räumliche Darstellung des Untersuchungsgebietes

Die Stadt Waldkraiburg, Teil des Landkreises Mühldorf am Inn, befindet sich im Südosten Bayerns. Die Stadt befindet sich ca. 60 km östlich der Landeshauptstadt München, und weist eine Fläche von ca. 21,6 km² sowie eine Einwohneranzahl von ca. 26.764 (Stand 30.12.2024) auf. Die Landnutzung ist verteilt auf Siedlungs- und Verkehrsfläche (34,1%), Land- und Forstwirtschaft (52,7%) sowie Gewässer (9,6%).[1]

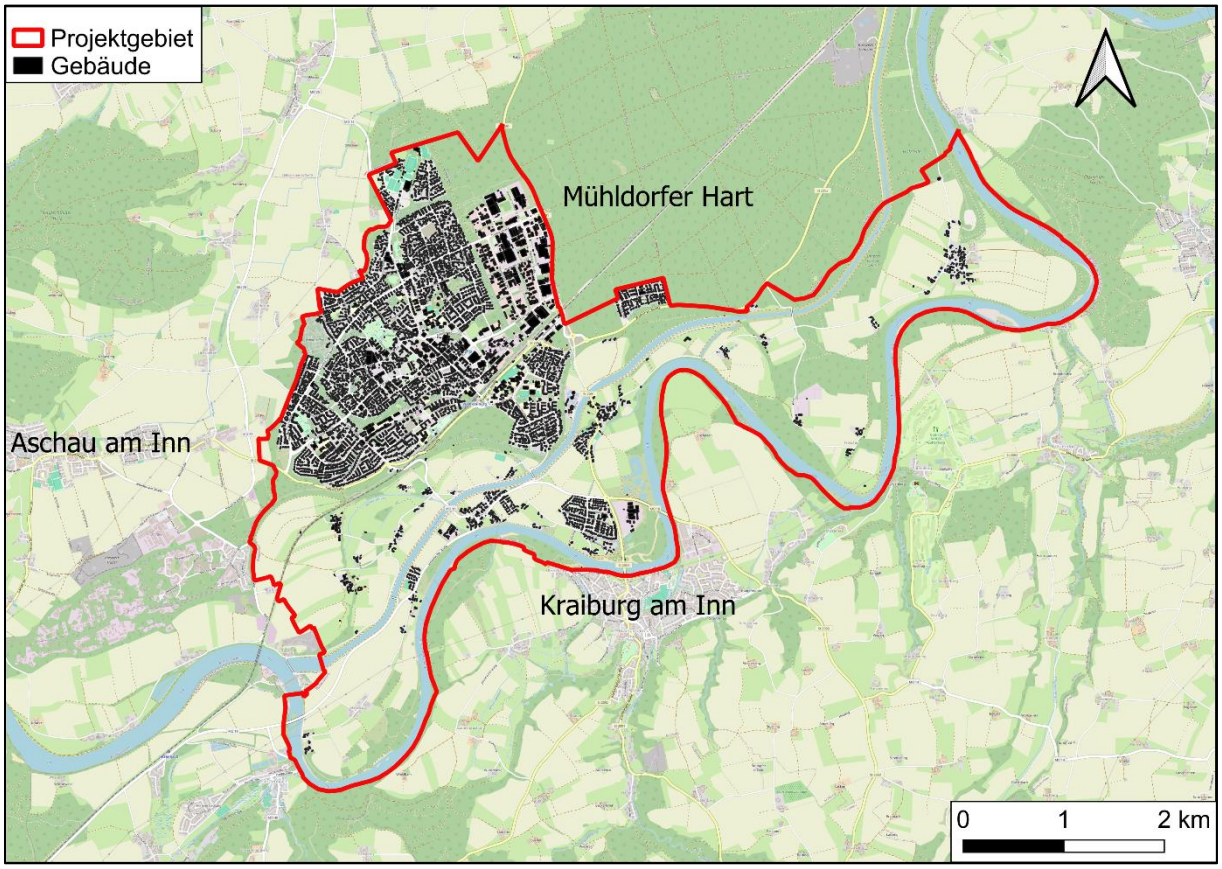


Abbildung 1: Geographische Lage von Waldkraiburg
Datenquelle Kartenhintergrund: Open Street Maps

[1] Statistik kommunal, Bayerisches Landesamt für Statistik, Fürth 2024

Im direkten Zusammenhang mit der Bevölkerungszahl steht der Gebäudebestand (vgl. Tabelle 1), der den Wärmebedarf und dessen räumliche Verteilung wesentlich beeinflusst. Die Anzahl der Haushalte ergibt sich dabei über die Anzahl der Wohnungen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden.

Tabelle 1: Bestand an Wohngebäude und Haushalte in Waldkraiburg (Stand: 2023)
Datenquelle: statistik.bayern.de (Staatsregierung 2024)

Wohngebäude	Haushalte	EW/Haushalt
4.700	10.942	2,3

Nichtwohngebäude definieren Gebäude, die überwiegend für Nichtwohnzwecke, wie Bürogebäude, Verwaltungsgebäude, Hotels etc., bestimmt sind[2]. Hier sind zusätzlich 347 Wohnungen gelistet. Die Wohnfläche der Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden beträgt gemäß Statistik kommunal zum Ende des Jahres 2023 1.007.030m², was eine durchschnittliche Wohnfläche von 92 m² je Wohnung bedeutet. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Gebäude nach Baujahren in der Kommune.

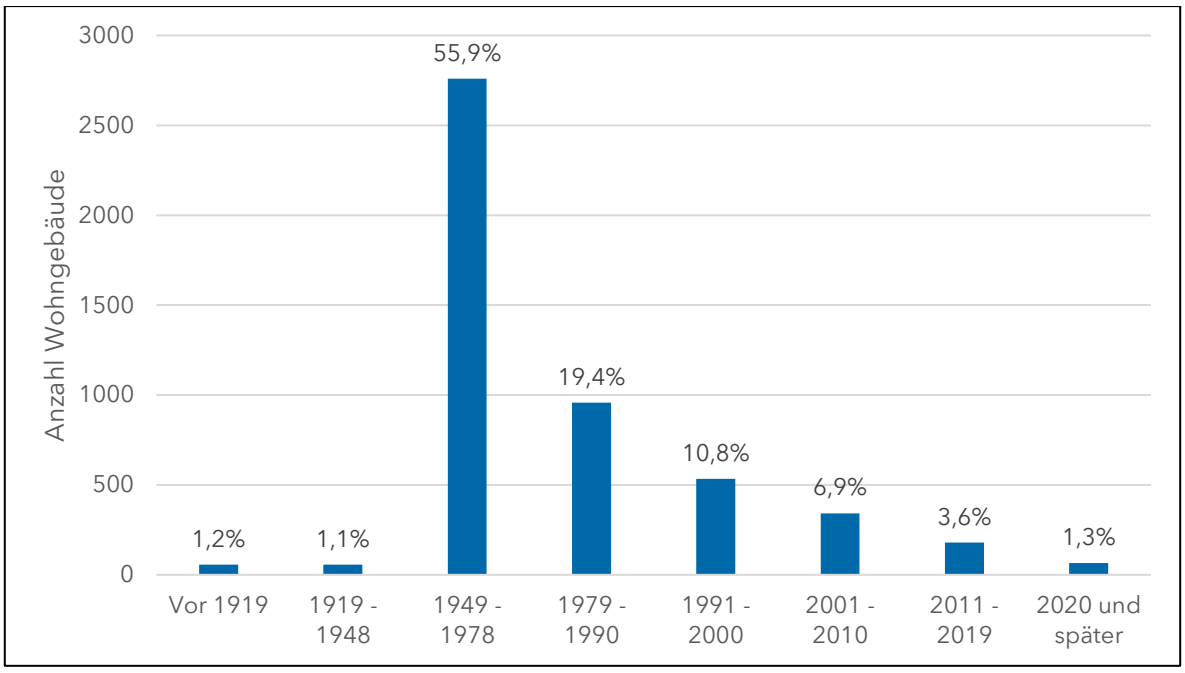


Abbildung 2: Gebäudebestand nach Baualtersklassen in der Stadt Waldkraiburg (Zensus, 2022)

Der Gebäudebestand wird stark von Baujahren zwischen 1949 und 1978 geprägt, die mit rund 56 % den größten Anteil ausmachen. Da diese Gebäude häufig vor Einführung moderner Energiestandards errichtet wurden, besteht hier ein besonders hohes Potenzial für Sanierungen. Auch Gebäude aus den Jahren 1979 bis 1990, die knapp 20 % des Bestands ausmachen, stellen eine wichtige Zielgruppe für weitere Sanierungsmaßnahmen dar. Der Anteil an neueren Gebäuden (Baujahr 2011 und später) ist hingegen sehr gering.

[2] Nichtwohngebäude - Statistisches Bundesamt (destatis.de)

2.2 Energieinfrastruktur

2.2.1 Stromversorgung

Die Stadt wird von der Stadtwerke Waldkraiburg GmbH mit Strom versorgt. Der Steckbrief des Energie-Atlas Bayern gibt umfassende Informationen bzgl. Energieträger der Stromproduktion. (Bayern, 2023). Abbildung 3 demonstriert die aktuelle Verteilung der Stromerzeugung mit EE.

ENERGIE-ATLAS BAYERN

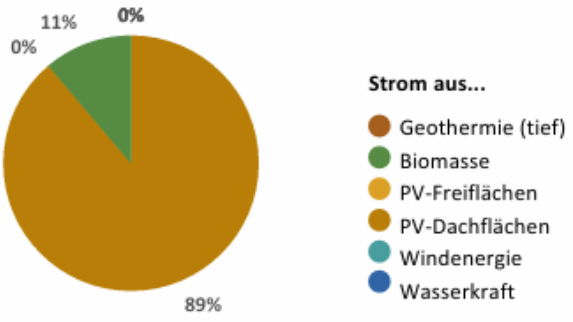
Bayerische Staatsregierung

Gemeinde Waldkraiburg — **Steckbrief Stromdaten 2025**

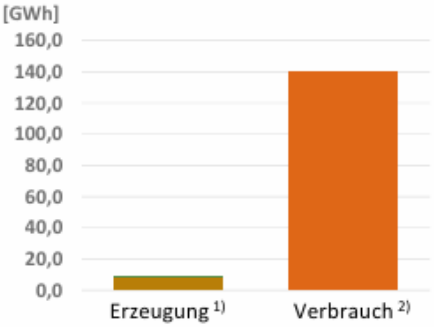
Einwohner: 24.604
Fläche: 2.160 ha
Stromverbrauch: (berechneter Wert) 139.504 MWh/a

Datenstand: 31.12.2023

Anteile der Energieträger an der Stromerzeugung [1] aus allen EE



Stromerzeugung und -verbrauch [2]



Energieträger	Anzahl Anlagen	Installierte Leistung [MW]	Stromerzeugung [1] [MWh]	Stromerzeugung [1] [%]	Potenzial Strom [MWh] [3]	Anteil am Stromverbrauch [%] [2]
Wasserkraft	0	0,0	0	0,0	0	0
Windenergie	0	0,0	0	0,0	0	0
PV-Dachflächen	892	12,8	7.691	88,8	93.436	5,5
PV-Freiflächen	1	0,0	0	0,0	... [4]	0,000002
Biomasse	1	0,5	968	11,2	4.498	0,69
Tiefe Geothermie	1	0,0	0	0,0	... [4]	0
gesamt (erneuerbar)	**895**	**13**	**8.659**	**100**	**97.934**	**6**

1) Stromerzeugung: nur Netzeinspeisung
2) Stromverbrauch berechnet. Informationen zur Berechnung: Mischpult Strom – Informationen zu den Rahmendaten (PDF)
3) Informationen zur Berechnung des Stromerzeugungspotenzials: Energie-Atlas Bayern – Mischpult Strom (PDF)
4) Die Potenziale werden derzeit neu berechnet.

Abbildung 3: Steckbrief Stromdaten Waldkraiburg Stand 2023
Quelle: EnergieAtlas Bayern

Derzeit werden 88,8 % der erneuerbaren Energie durch Solarenergie produziert. In Summe wurden im Jahr 2023 etwa 8.659 MWh Strom über EE im Netz eingespeist. Gemäß Energie-Atlas Bayern betrug der Endenergieverbrauch 2023 von privaten Haushalten, verarbeitendes Gewerbe und den sonstigen Verbrauchern ca. 140 GWh. Somit beträgt die Eigenproduktion von Elektrizität durch EE ca. 6% des Gesamtstromverbrauchs der Stadt Waldkraiburg. Der Trend der Stromerzeugung aus EE ist, wie in Abbildung 4 ersichtlich, deutlich ansteigend. Die Entwicklung der PV-Dachflächen zeigen

einen positiven Trend. Die EE-Erzeugung durch Wasserkraft ist in dieser Abbildung exkludiert aufgrund fehlender Datengrundlage.

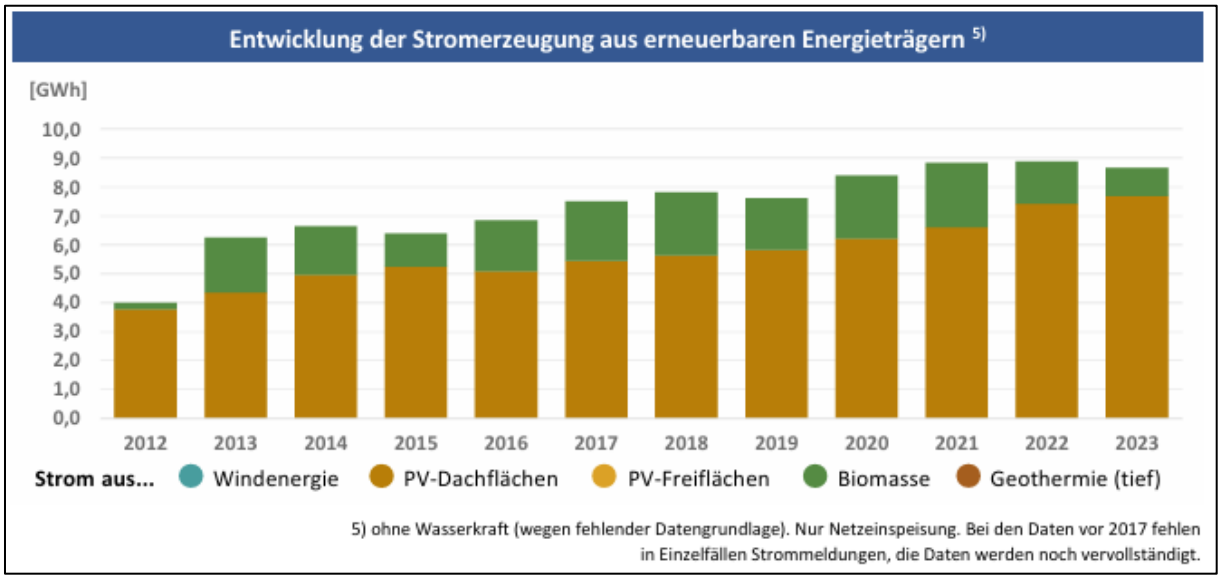


Abbildung 4: Entwicklung erneuerbare Stromerzeugung Waldkraiburg
Quelle: EnergieAtlas Bayern

2.2.2 Gasnetze

Folgende Abbildung 5 zeigt das bestehende Gasnetz in der Stadt Waldkraiburg. Netzversorger ist dabei der Gasverteilnetzbetreiber Energienetze Bayern, ein Unternehmen der Energie Südbayern Gruppe. Das Erdgasnetz in Waldkraiburg umfasst eine Gesamtlänge von rund 89 Kilometern (ohne Netzanschlüsse), davon entfallen etwa 79,1 km auf die Niederdruckebene (bis 1 bar, Druckstufe A) und 9,9 km auf die Mitteldruckebene (bis 16 bar, Druckstufe B).

Nach Rücksprache mit Energie Südbayern (ESB) ist davon auszugehen, dass das bestehende Erdgasnetz in Waldkraiburg mindestens bis 2045 weiterbetrieben wird. Für Haushalte, Gewerbe und Industrie bestehen damit weiterhin Anschluss- und Versorgungsmöglichkeiten. Gleichzeitig verändert das Gebäudeenergiegesetz (GEG) den zukünftigen Einsatz von Gasheizungen deutlich und beeinflusst damit die langfristige Rolle des Erdgasnetzes.

Neu eingebaute Heizungsanlagen müssen künftig mit mindestens 65 % erneuerbaren Energien betrieben werden. Seit Januar 2024 gilt diese Vorgabe zunächst ausschließlich für Neubaugebiete. In Bestandsgebieten außerhalb von Neubaugebieten treten die Anforderungen erst gestaffelt in Kraft:

- in Kommunen über 100.000 Einwohnern spätestens zum 30. Juni 2026,
- in Kommunen unter 100.000 Einwohnern spätestens zum 30. Juni 2028.

Veröffentlicht eine Gemeinde ihren kommunalen Wärmeplan vor Ablauf der gesetzlichen Fristen in den Jahren 2026 bzw. 2028, führt dies grundsätzlich nicht zu einem vorgezogenen Inkrafttreten der 65-Prozent-Vorgabe des Gebäudeenergiegesetzes (GEG). Eine frühere Anwendung ist lediglich in dem Ausnahmefall vorgesehen, dass die Gemeinde im Anschluss an die Veröffentlichung des Wärmeplans ausdrücklich Gebietsausweisungen beschließt. In allen anderen Bereichen also dort, wo die 65-Prozent-Pflicht noch nicht greift, dürfen weiterhin neue Gasheizungen eingebaut werden.

Allerdings müssen diese ab bestimmten Zeitpunkten anteilig mit erneuerbaren bzw. nachhaltigen Gasen betrieben werden:

- ab 2029 mindestens 15 %,
- ab 2035 mindestens 30 %,
- ab 2040 mindestens 60 %.

Die Bereitstellung dieser erneuerbaren Gasanteile kann laut ESB bilanziell über das bestehende Erdgasnetz erfolgen. Eigentümer, die sich weiterhin für eine Gasheizung entscheiden, müssen selbst sicherstellen, dass sie entsprechende Tarife bzw. Gasprodukte mit den geforderten Anteilen beziehen können. Zusätzlich schreibt das GEG bei der Installation neuer Gasheizungen eine verpflichtende Beratung zu Kostenrisiken und möglicher Unwirtschaftlichkeit vor.

Unabhängig davon regelt das GEG, dass bestimmte ältere Heizkessel nach 30 Jahren außer Betrieb genommen werden müssen. Wird in diesem Zusammenhang erneut eine Gasheizung installiert, gelten ebenfalls die oben genannten Quoten für erneuerbare Gase. Für das bestehende Erdgasnetz bedeutet dies, dass trotz seiner voraussichtlichen Verfügbarkeit bis 2045 nur dann ein langfristiger Weiterbetrieb mit Erdgas möglich ist, wenn ausreichend erneuerbare Gasanteile verfügbar sind und diese von den Haushalten aktiv bezogen werden.

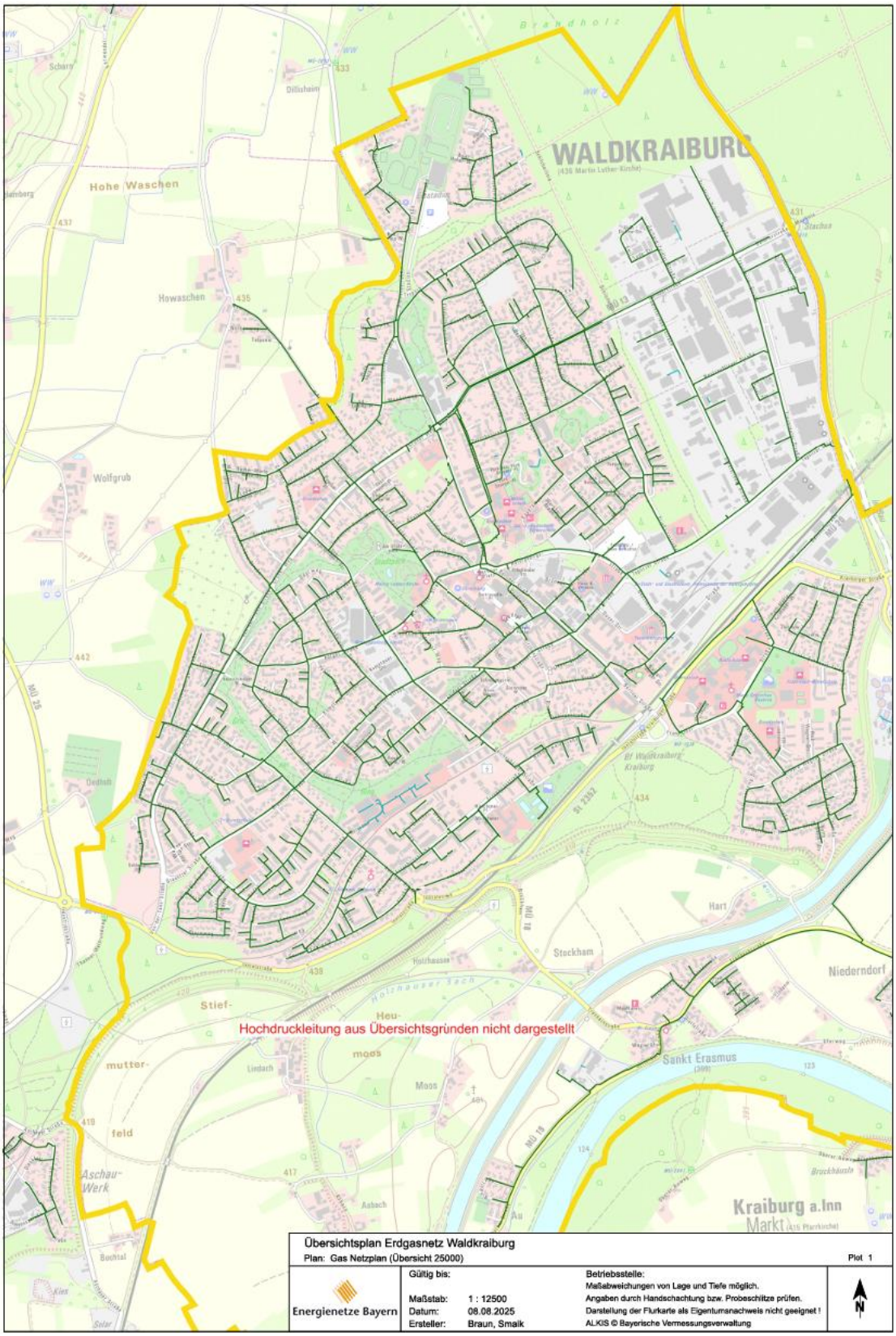


Abbildung 5: Übersichtsplan Erdgasnetz Waldkraiburg

Abbildung 6 zeigt die Gasverbräuche in Waldkraiburg im Abrechnungszeitraum 2022/2023

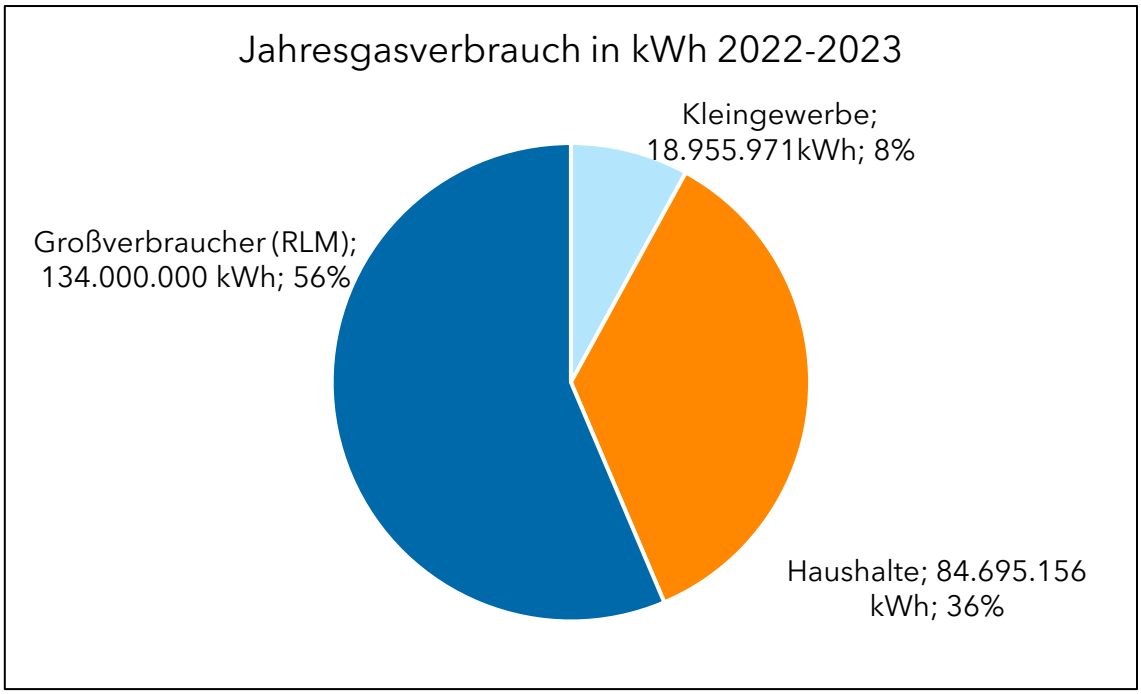


Abbildung 6: Jahresgasverbrauch Waldkraiburg nach Sektoren

Der größte Anteil entfällt mit rund 134 GWh auf die Großverbraucher (RLM), gefolgt von den Haushalten mit etwa 85 GWh. Das Kleingewerbe weist mit rund 18 GWh den vergleichsweisen geringsten Verbrauch auf.

2.2.3 Wärmenetze

In der Stadt Waldkraiburg befindet sich ein Fernwärmenetz. Die nachfolgende Tabelle 2 fasst die Daten der Anlagen, die sich alle im Heizkraftwerk befinden, zusammen. Die einfache Leitungslänge des Fernwärmenetztes beträgt einschließlich der Versorgungsleitungen und Hausanschlüsse etwa 34 km. (Stand 08.09.2025)

Tabelle 2 Anlagen des Heizkraftwerkes

Name der Anlage	Anzahl Anlagen	Standort	Wärmeengpass-leistung (pro Anlage)	Auslegungstemperatur $T_{VL,max}$	Wärmemenge / Anteil (pro Anlage)	Technologie	Brennstoff/ Wärmequelle	Jahr der IBN
HW1	1	Pürten 48, 84478 Waldkraiburg	14 MW_{th} bei 65 l/s	105 °C	38,2 GWh / 94%	Geothermie	Erdwärme	2012
HW1	3	s. o.	3 * 5,5 MW_{th}	95 °C	2,4 GWh / 6%	Heizkessel	Öl	2012, 2017, 2022

Die technische Anschlussbedingungen (TABs) des Wärmenetzes beschreiben eine zugesicherte Betriebsvorlauftemperatur zwischen 65 °C und 95 °C. Die maximale Rücklauftemperatur wird in den TABs auf 50 °C festgelegt. Im Jahr 2022 wurden ca. 13,7 % Verluste verzeichnet. Abbildung 7 zeigt die Lage des Bestandswärmenetzes in der Stadt Waldkraiburg.

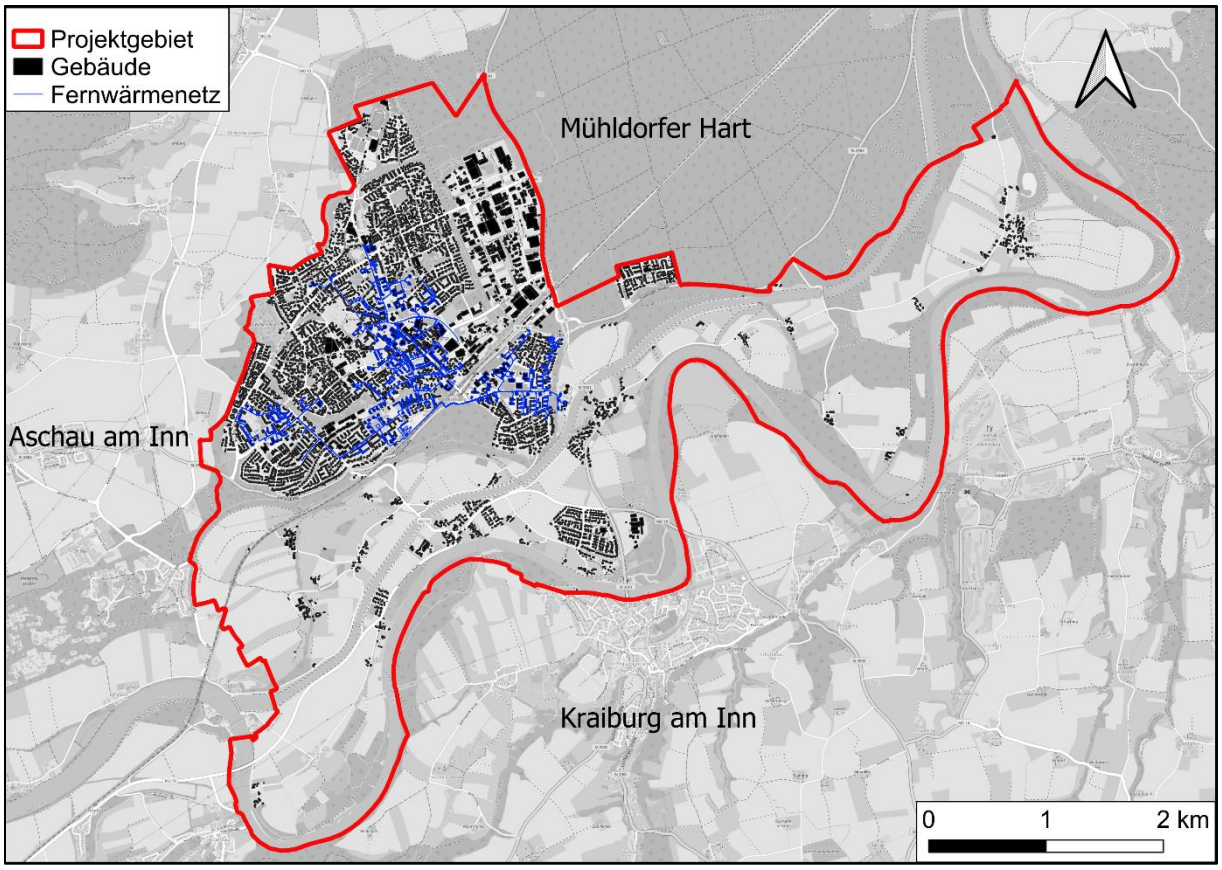


Abbildung 7: Bestandswärmenetzes in der Stadt Waldkraiburg

2.2.4 Biomasseanlagen und Biogasanlagen

Laut Marktstammdatenregister existiert in Waldkraiburg eine Stromerzeugungsanlage auf Basis von Biomethan (Bioerdgas). Betreiber ist die enercity Contracting GmbH, Mühldorf am Inn, mit einer Nettonennleistung von 383 kW. Ergänzend dazu verzeichnen die Daten des Kaminkehrers insgesamt 185 Biomasse-Heizkessel mit einer installierten Gesamtleistung von rund 5.420 kW.

2.2.5 Tiefengeothermie

Im Stadtgebiet Waldkraiburg befindet sich eine Tiefengeothermie-Anlage. Diese Anlage erzeugt ausschließlich Wärme mit einer thermischen Leistung von ca. 14.000 kW bei einer Durchflussrate von 65 l/s und einer Wärmeproduktion von über 40.000 MWh. Die Anlage wird zum Betrieb eines Fernwärmenetzes genutzt, sie wurde im Jahr 2012 in Betrieb genommen. Wie in Tabelle 3 abgebildet ist, verfügt die Heizzentrale der Tiefengeothermieanlage zusätzlich über drei mit Öl betriebene Heizkessel. Diese dienen als Absicherung im Falle z.B. eines Pumpenausfalles der Tiefengeothermie, um Versorgungssicherheit für die Kunden des Wärmenetzes zu gewährleisten.

Tabelle 3: Erzeuger der Geothermie-Heizzentrale der Stadtwerke Waldkraiburg

Anlage	Medium	Leistung	Baujahr
Tiefengeothermie	Erdwärme	14 MW_{th}	2012
Kessel 1	Öl	5,5 MW_{th}	2012
Kessel 2	Öl	5,5 MW_{th}	2017
Kessel 3	Öl	5,5 MW_{th}	2022

2.2.6 BHKW-Anlagen

Laut Marktstammdatenregister sind im Stadtgebiet Waldkraiburg derzeit neun Blockheizkraftwerke (BHKW) in Betrieb. Sie werden überwiegend mit Erdgas, teilweise auch mit Mineralölprodukten betrieben und verfügen zusammen über eine Nettonennleistung von 1.020,08 kW.

Tabelle 4: Im Projektgebiet bestehende BHKW-Anlagen

Name der Einheit	Name des Betreibers	Inbetriebnahmedatum	Technologie der Stromerzeugung	Nettonennleistung [kW]
Mini BHKW Viessmann-Panasonic	natürliche Person	02.08.2017	Brennstoffzelle	0,75
BHKW	Gummiwerk Kraiburg GmbH & co	30.07.2014	Verbrennungsmotor	580
BHKW-Eissporthalle	Stadtwerke Waldkraiburg GmbH	30.12.1998	Verbrennungsmotor	106
BHKW-Waldbad	Stadtwerke Waldkraiburg GmbH	10.05.1998	Verbrennungsmotor	120
BHKW	natürliche Person	22.11.2012	Gasturbinen mit Abhitzekessel	0,93
BHKW	natürliche Person	15.10.2009	Verbrennungsmotor	5
BHKW	Süddeutsche Gelenkscheibenfabrik GmbH & Co. KG	08.02.2016	Verbrennungsmotor	198
BHKW	WEG	22.02.2016	Verbrennungsmotor	4,7
BHKW	WEG	29.12.2016	Verbrennungsmotor	4,7

2.2.7 PV-Anlagen

Laut Marktstammdatenregister sind in Waldkraiburg derzeit 1.263 Photovoltaikanlagen registriert, von denen sich 15 noch in der Planungsphase befinden und zwei vorübergehend stillgelegt sind (Stand 19.08.2025). Die insgesamt installierte elektrische Leistung dieser Anlagen beträgt rund 14,5 MW. Gemäß Energie-Atlas Bayern betrug die Vollaststundenanzahl für Dachflächen 599 Stunden. Damit resultiert eine aktuelle Stromproduktion durch PV-Dachanlagen von etwa 8,7 GWh/a. Abbildung 8 demonstriert die jährlichen Neuinstallationen von PV-Anlagen in der Stadt Waldkraiburg.

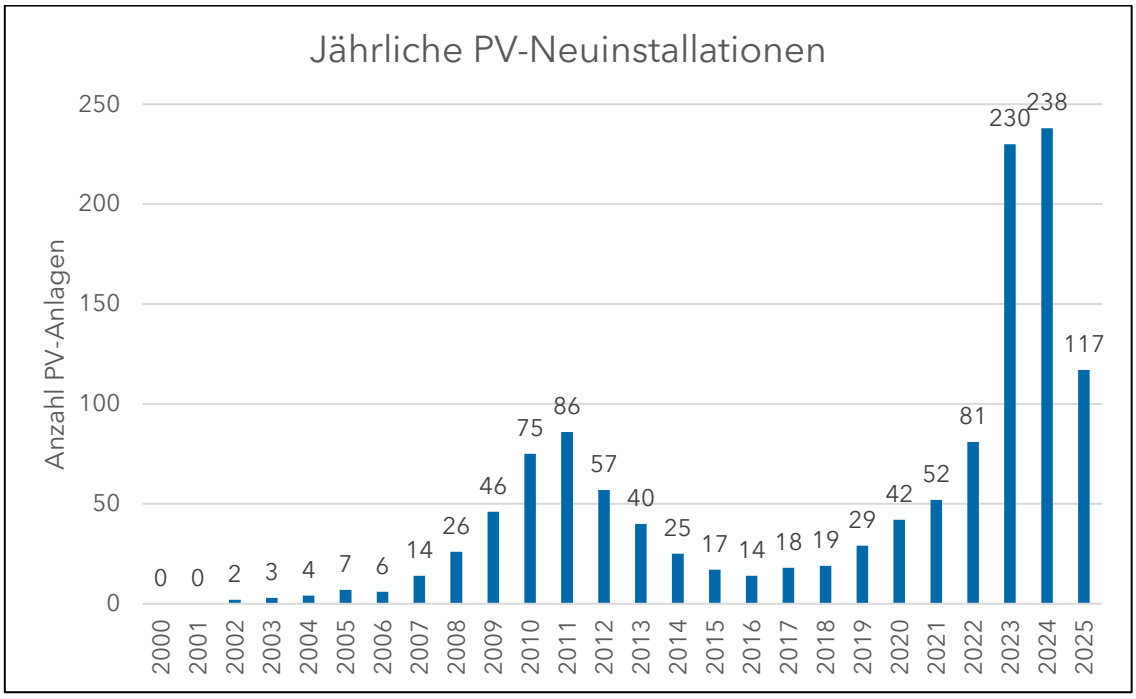


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung von PV-Neuinstallationen

Die Entwicklung der Anlagen zeigt vor allem in den Jahren 2009 bis 2012 einen deutlichen Zubau, bevor das Wachstum zunächst abflachte. Ab 2020 beschleunigt sich der Ausbau wieder, mit besonders starken Zuwächsen in den Jahren 2023 und 2024. Für das Jahr 2025 liegen bislang geringere Zubauzahlen vor, was jedoch darauf zurückzuführen ist, dass das Jahr noch nicht abgeschlossen ist. Abbildung 9 verdeutlicht die Entwicklung des Anlagenbestandes über die letzten Jahre hinweg.

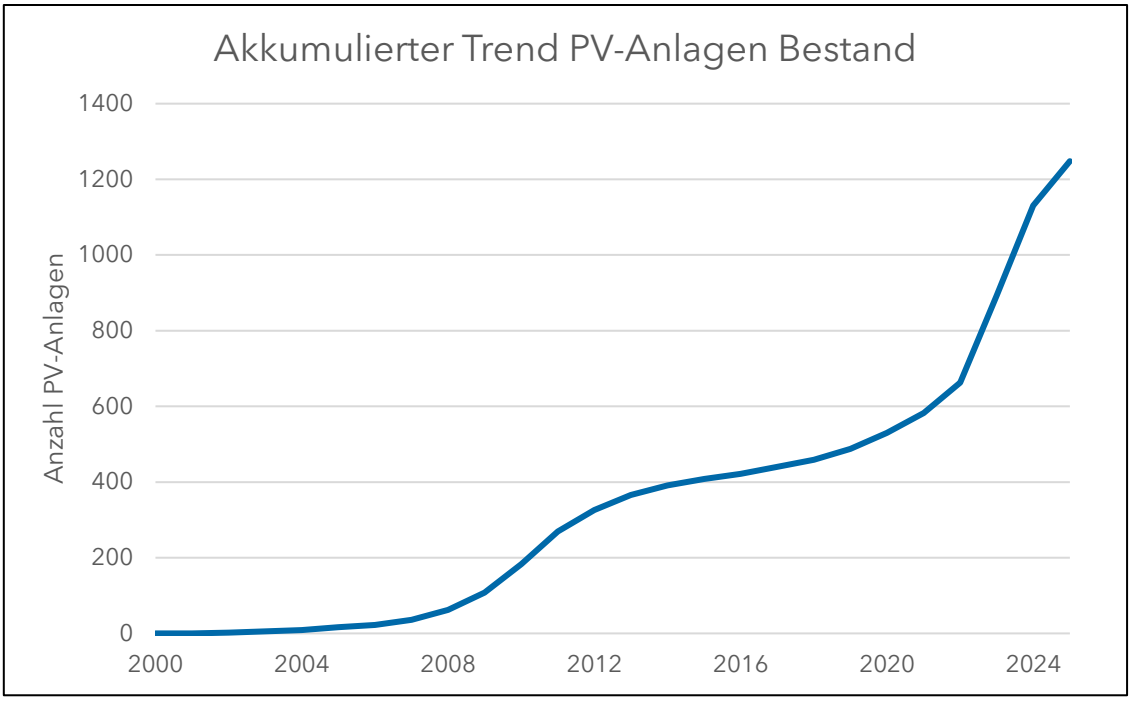


Abbildung 9: Kumulierte Entwicklung der PV-Anlagen in Waldkraiburg

Oft verfügen PV-Anlagenbetreiber über Speichervorrichtungen. Insgesamt gibt es gemäß Marktstammdatenregister 551 Speichermöglichkeiten im Betrieb. Daraus ergibt sich eine speicherbare Nettonennleistung von etwa 3.152,69 kW.

2.2.8 Solarthermie

In der Stadt Waldkraiburg ist nach Informationen des Solaratlas in der Zeit zwischen 2001 und 2021 eine Solarkollektorfläche von insgesamt ca. 3.678 m^2 installiert worden. Die Anlagen werden entweder zur Trinkwarmwasserbereitung oder zur teilsolaren Heizungsunterstützung eingesetzt. Bei einer Erzeugungsleistung von ca. 400 kWh/(m^2*a) werden somit jährlich eine Wärmeleistung von ca. 1,47 GWh erzeugt. Dies entspricht ca. 0,56 % des Gesamtwärmeverbrauchs. Abbildung 10 zeigt den jährlichen Zubau sowie die kumulierte Kollektorfläche der Solarthermie in Waldkraiburg. Der stärkste Ausbau erfolgte zwischen 2004 und 2009, mit deutlichen Spitzen in den Jahren 2006, 2008 und 2009. Ab 2010 ging der jährliche Zubau stark zurück und bewegt sich seither auf einem sehr niedrigen Niveau. Dadurch wächst die kumulierte Kollektorfläche seit über einem Jahrzehnt nur noch langsam an.

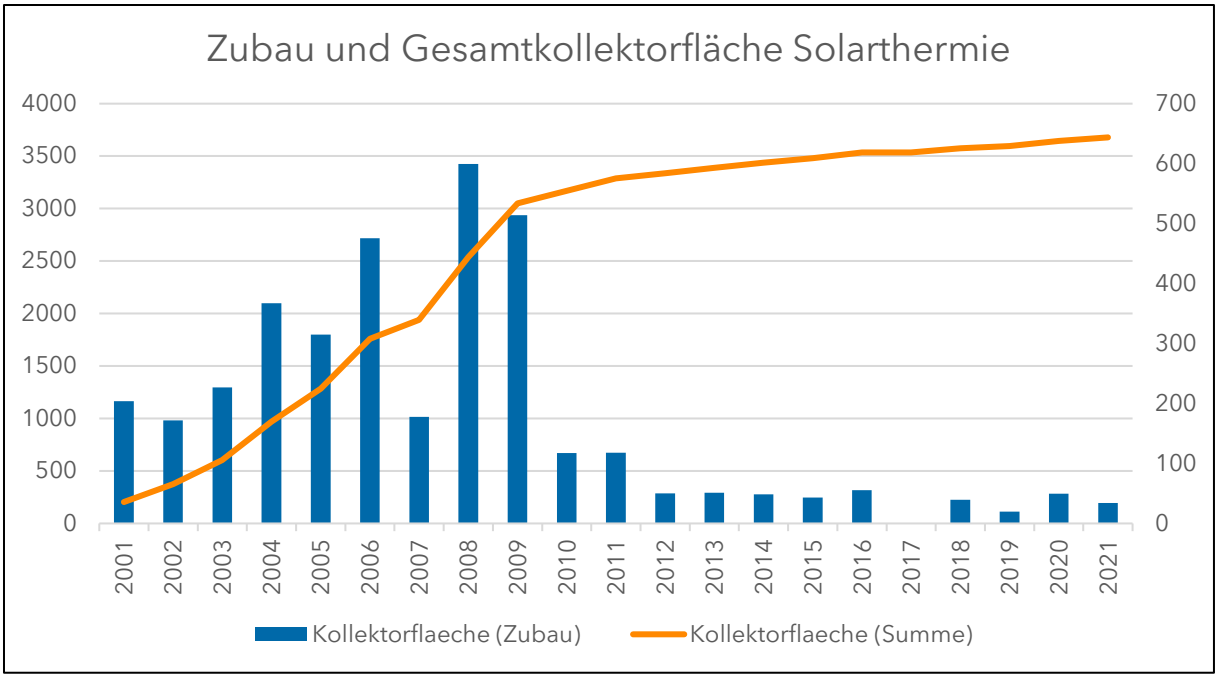


Abbildung 10: Jährlicher Zubau und kumulierte Kollektorfläche Solarthermie in Waldkraiburg
Quelle: Solaratlas

2.2.9 Wärmepumpen auf Basis oberflächennaher Geothermie & Luft

Abbildung 11 zeigt die Verteilung und Typen oberflächennaher Geothermieanlagen im Stadtgebiet Waldkraiburg. Innerhalb der Stadtgrenzen sind ausschließlich Grundwasserwärmepumpen (blaugrüne Symbole) vorhanden. Erdwärmesonden, die in der Karte durch rote Dreiecke dargestellt werden, befinden sich nicht im Stadtgebiet.

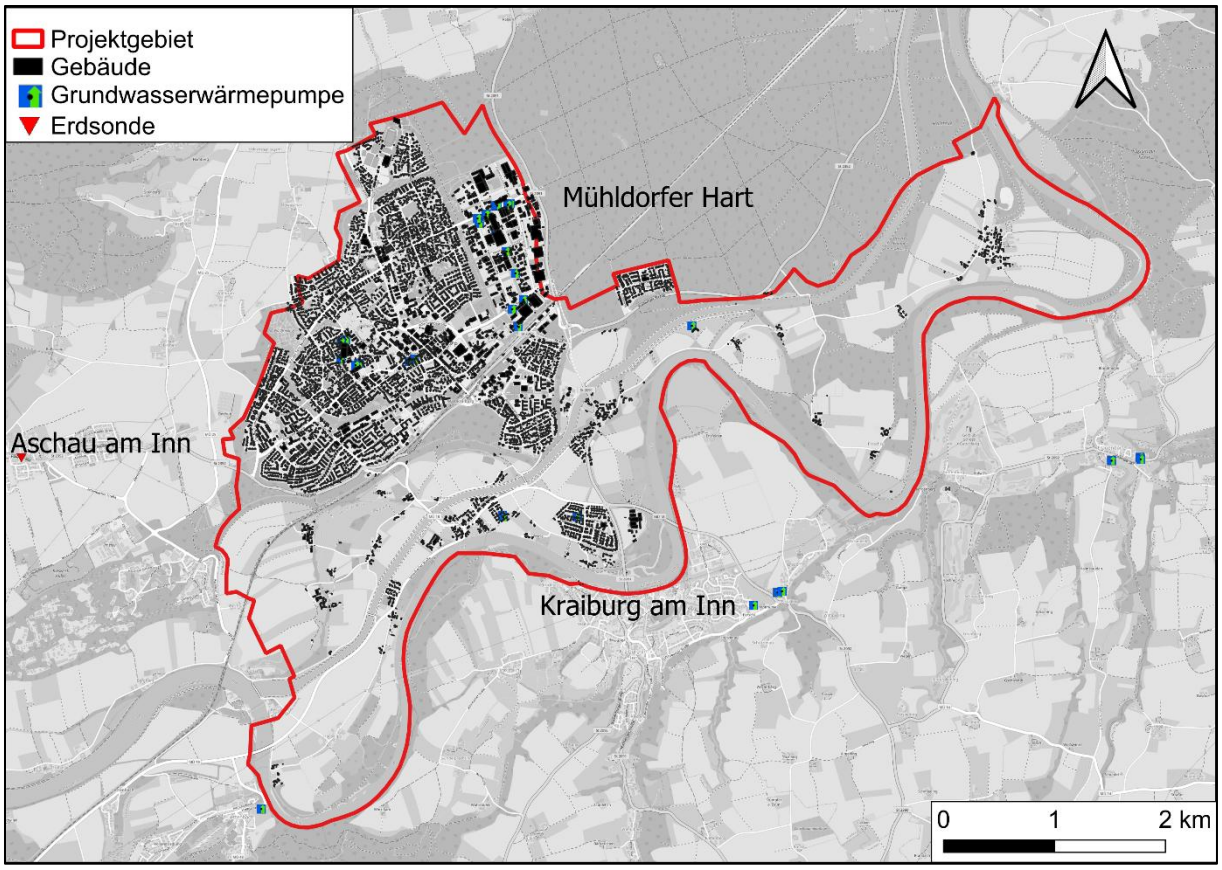


Abbildung 11: Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen in Waldkraiburg

2.3 Wärmeverbrauch

2.3.1 Wärmekataster

Für die Ermittlung der Wärmebedarfe der Stadt Waldkraiburg standen zwei zentrale Datenquellen zur Verfügung:

- Das Wärmekataster des Bayerischen Landesamts für Statistik und
- das Wärmekataster der ENEKA Energie & Karten GmbH.

Das Wärmekataster des Bayerischen Landesamts für Statistik wurde der Stadt Waldkraiburg über die SecureBox Wärmeplanung bereitgestellt. Es ermöglicht eine systematische, geografisch verortete Analyse des Wärmeverbrauchs und bildet damit die Grundlage für die strategische Wärmeplanung. Die Datengrundlage basiert auf den amtlichen Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung, insbesondere auf dem 3D-Gebäudemodell (LoD2, Level of Detail)[3]. Das Kataster umfasst eine gebäudescharfe Erhebung des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser unter Berücksichtigung von Gebäudetyp, Baualtersklasse, Nutzung und energetischem Zustand. Dabei wurde zwischen den Nutzungssektoren „Haushalte", „GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen)", „Industrie" sowie „öffentliche Einrichtungen" unterschieden.

Das zweite Datenset, das Wärmekataster der ENEKA Energie & Karten GmbH, wurde ergänzend als Vergleich herangezogen. Deren Berechnungen basieren auf Auszügen aus den amtlichen Geodaten

[3] Open Data: Kostenfreie Geodaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung. https://geodaten.bayern.de/opengeodata/OpenDataDetail.html?pn=lod2. Letzter Zugriff: 21.11.2025.

des Liegenschaftskatasterinformationssystems, ergänzt durch zusätzlich über die Firma Infas 360 GmbH zugekaufte Attribute sowie weitere Prozessierungen aus digitalen Höhen- und Oberflächenmodellen.

Für den Gesamtwärmeverbrauch der Stadt wurden beide Datengrundlagen zusammengeführt. Insgesamt ergibt sich daraus ein jährlicher Wärmebedarf von 261.063 MWh/a, der als zentrale Bezugsgröße für die weitere Wärmeplanung dient. Die Verbrauchsdaten der Haushalte sowie der unbeheizten Gebäude stammen überwiegend aus dem Wärmekataster des Bayerischen Landesamts für Statistik, während die Daten für die Sektoren GHD und kommunalen Bereich primär aus dem ENEKA-Kataster übernommen wurden.

In enger Abstimmung mit den Stadtwerken Waldkraiburg wurde geprüft, welche Werte die tatsächlichen Verbrauchsverhältnisse am zuverlässigsten abbilden. Je nach Sektor wurden die jeweils plausibleren Daten ausgewählt. Dadurch entsteht ein möglichst realitätsnahes Wärmekataster, das die Grundlage für die weitere Analyse im Kommunalen Wärmeplan bildet.

2.3.2 Energiebilanz Wärme

Private Haushalte

Laut Statistik kommunal gab es Ende des Jahres 2023 ca. 4.700 Wohngebäude, davon 3.299 mit 1 Wohnung (70,2 %), 660 mit 2 Wohnungen (14,0 %) und 736 mit 3 oder mehr Wohnungen (15,7 %). Aus dem Wärmekataster der Regierung resultiert für den Sektor Private Haushalte ein Wärmebedarf von 115.910 MWh/a. Auf die in Tabelle 1 genannten 10.942 Haushalte würde dadurch ein jährlicher Verbrauch pro Haushalt von 11 MWh anfallen. Zudem resultiert dabei bei 26.764 Einwohnern ein Wärmeverbrauch pro Kopf von 4 MWh/a. Der Sektor Private Haushalte ist zudem für 44 % des Gesamtwärmeverbrauchs in der Stadt Waldkraiburg verantwortlich.

Öffentliche Gebäude

Aus dem Wärmekataster der Stadt Waldkraiburg resultiert ein Wärmeverbrauch des öffentlichen Sektors von 9.387 MWh/a. Der öffentliche Sektor hat damit einen Anteil von 4 % am Gesamtwärmeverbrauch von Waldkraiburg.

Wirtschaft

Der Wärmebedarf für den Wirtschaftssektor (GHD + Industrie) beträgt gemäß Wärmekataster 135.765 MWh/a. Der Sektor Wirtschaft hat insgesamt einen Anteil von 52 % am Gesamtwärmeverbrauch. Zur besseren Übersicht lässt sich der Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren folgendermaßen aufgliedern. Abbildung 12 visualisiert den anteilsmäßigen Wärmebedarf der einzelnen Sektoren per Tortendiagramm.

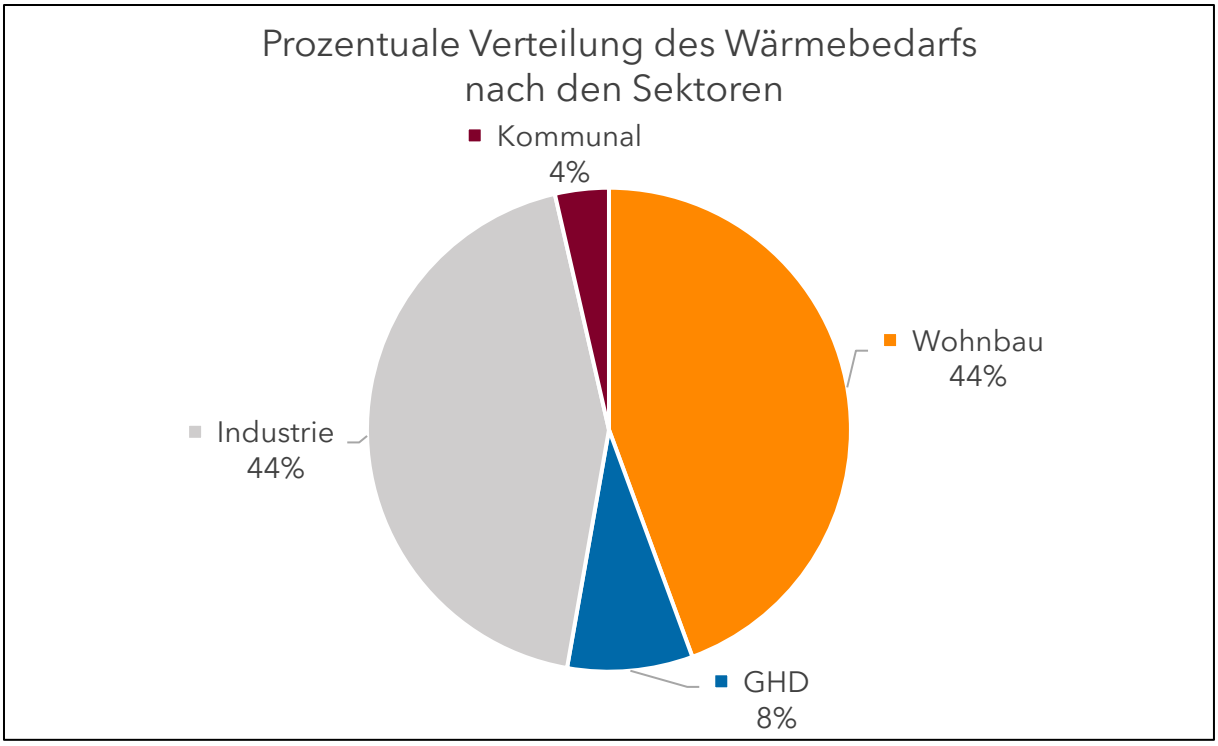


Abbildung 12: Verteilung des Wärmeverbrauchs nach den Sektoren in Waldkraiburg

2.4 Energie- und Treibhausgasbilanz

Zur Bestimmung der aktuellen Energieträgerverteilung wurden die Kaminkehrerdaten des Berichtsjahres 2022 herangezogen, ausgewertet und analysiert. Ein Nachteil dieser Datengrundlage besteht darin, dass darin keine Wärmepumpen-, Stromdirektheizungs- und Fernwärmenutzungen erfasst sind. Diese Heizsysteme konnten ergänzend anhand der Ergebnisse des Zensus 2022 sowie der Gebäudebestandszählung identifiziert werden. Die Prozesswärme aus Erdgas wurde auf Basis der vorliegenden Realdaten zum Gasverbrauch abgeleitet. Durch die Zusammenführung von Zensus-, Realdaten- und Kaminkehrerdaten ergab sich schließlich die folgende Energieträgerverteilung:

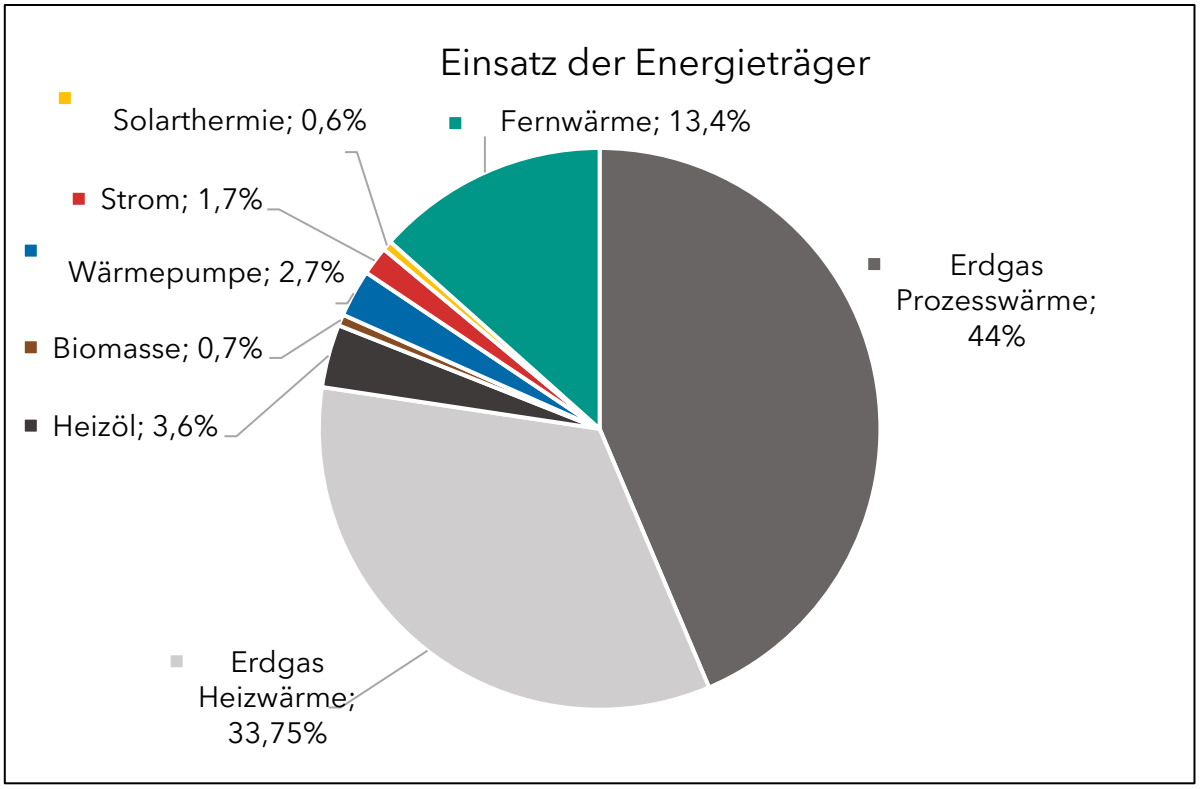


Abbildung 13: Einsatz der Energieträger in Waldkraiburg

Mit einem Anteil von rund 44 % stellt Erdgas für Prozesswärme den größten Energieträger dar, gefolgt von Erdgas zur Gebäudeheizung mit etwa 33,8 %. Die Fernwärme deckt rund 13,4 % des Gesamtwärmebedarfs ab und bildet damit den drittgrößten Anteil im Energiemix. Ergänzend tragen Heizöl (3,6 %), Wärmepumpen (2,7 %), Stromdirektheizungen (1,7 %), Biomasse (0,7 %) sowie Solarthermie (0,6 %) in geringerem Umfang zur Wärmeversorgung bei. Insgesamt zeigt sich damit eine deutliche Dominanz des fossilen Energieträgers Erdgas, der sowohl im industriellen Bereich als auch zur Gebäudebeheizung den Wärmemarkt prägt.

Auf Grundlage der zuvor dargestellten Energieträgerverteilung und des Wärmekatasters wurde die THG-Bilanz für den Wärmeverbrauch der Stadt Waldkraiburg erstellt. Hierfür wurde der Gesamtwärmebedarf nach Energieträgerverteilung gemäß Kaminkehrerdaten, Zensusdaten, vorliegenden Realdaten zum Gasverbrauch und dem Wärmekataster aufgeteilt und jeweils mit dem entsprechenden CO_2-Faktor nach dem Technikkatalog Wärmeplanung verrechnet.

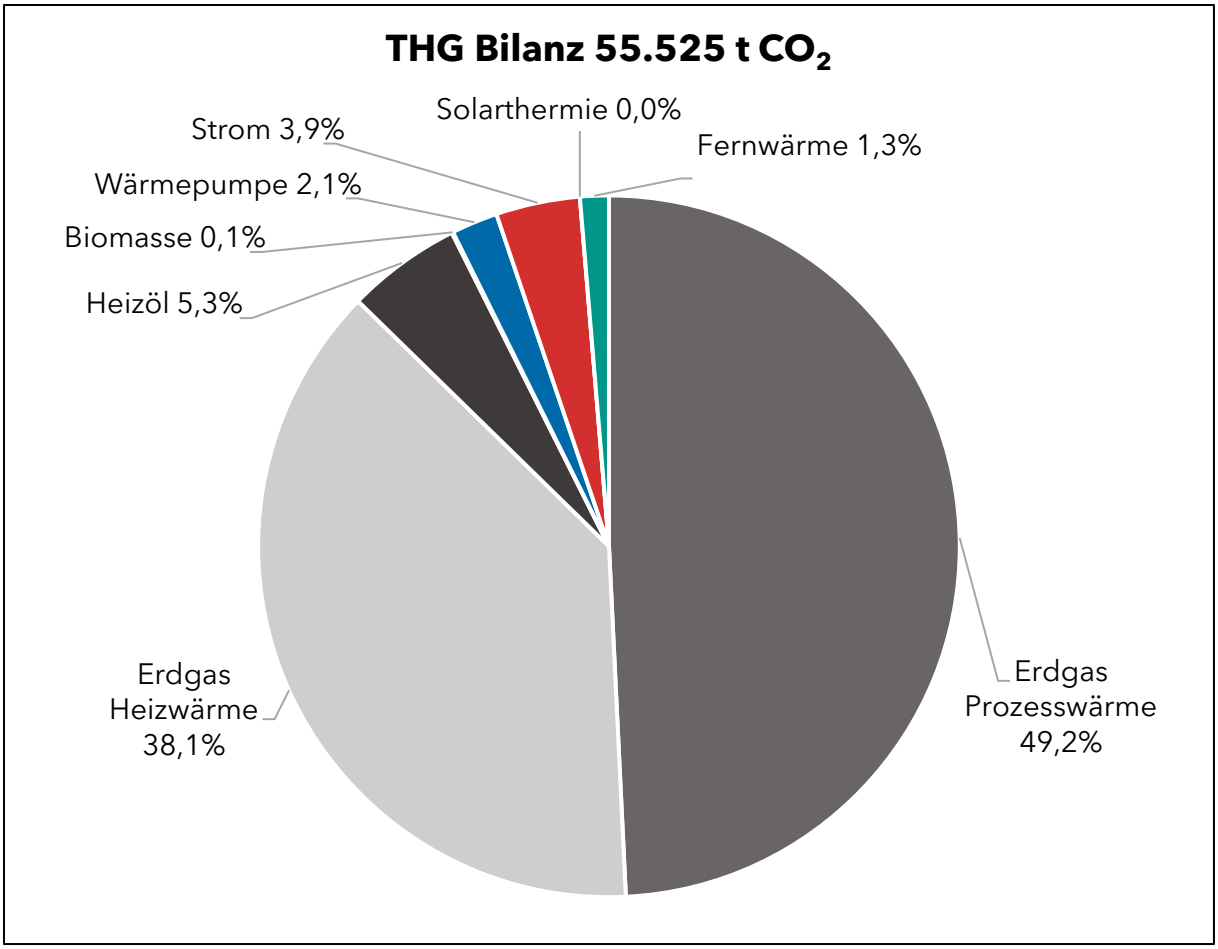


Abbildung 14: Treibhausgas-Bilanz nach Energieträgern

Mit einem Anteil von rund 49 % ist Erdgas für Prozesswärme der größte Verursacher der Gesamtemissionen, gefolgt von Erdgas für Heizwärme mit etwa 38 %. Heizöl trägt mit 5,3 % ebenfalls merklich zu den Emissionen bei, während Stromheizungen (3,9 %), Wärmepumpen (2,1 %) und Fernwärme (1,3 %) nur einen vergleichsweisen geringen Anteil ausmachen. Biomasse (0,1 %) und Solarthermie (0,0 %) verursachen kaum CO_2-Emissionen. Insgesamt belaufen sich die energiebedingten Emissionen auf rund 55.525 t CO_2 pro Jahr, wobei Erdgas als dominanter Energieträger den größten Beitrag leistet.

Tabelle 5: THG-CO_2-Mengen in t

Energieträger	**CO_2-Mengen in t**
Erdgas Prozesswärme	27.336
Erdgas Heizwärme	21.145
Heizöl	2.937
Strom	2.152
Wärmepumpe	1.187
Fernwärme	
Biomasse	34
Solarthermie	0
Gesamtsumme	**55.525**

3 Potenzialanalyse Energieeinsparung

An erster Stelle hat das Nutzerverhalten einen hohen Einfluss auf den Wärmeverbrauch. Neben der Optimierung des Nutzerverhaltens kann vor allem durch Gebäudedämmung Energie eingespart werden. Besonders in älteren Gebäuden steckt erhebliches Einsparungspotenzial durch energetische Gebäudesanierung. Dazu werden in dieser kommunalen Wärmeplanung die Ursachen und Folgen einer schlechten Gebäudedämmung erläutert und mögliche Sanierungsansätze aufgezeigt. Grundsätzlich ist dabei zu berücksichtigen, dass diese Angaben immer exemplarisch gelten und lediglich Mittelwerte und Spannbreiten darstellen. Im Neubaubereich konnte der Heizenergiebedarf in den vergangenen Jahren mit Hilfe von neuen und verbesserten Baumaterialien sowie einer verbesserten Bautechnik deutlich gesenkt werden. Zahlreiche Möglichkeiten aus dem Neubaubereich lassen sich mittlerweile auch bei Sanierungsmaßnahmen umsetzen.

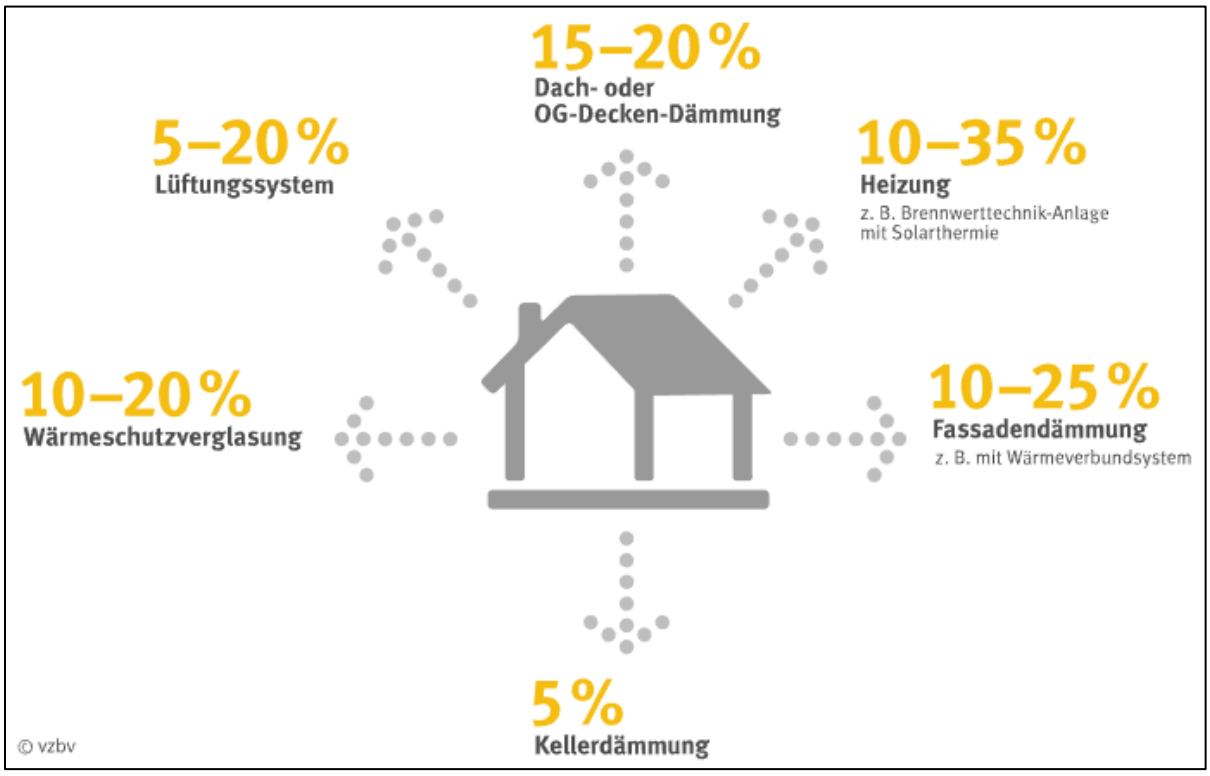


Abbildung 15:Energieersparnis durch Sanierung
Quelle: Verbraucherzentrale Bundesverband e.V.

Für den Heizenergiebedarf eines Gebäudes ist die Qualität der Gebäudehülle ausschlaggebend. Abbildung 15 veranschaulicht die ungefähren Verluste durch die einzelnen Bauteile. Es können verschiedene Maßnahmen zur Gebäudesanierung durchgeführt werden, um die Effizienz eines Hauses zu steigern. Hierzu zählen: Fassadendämmung, Dachdämmung, Dämmung der Geschossdecke und Bodenfläche, Fenster- und Türenaustausch, Optimierung der Lüftung (Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) und das Modernisieren der Heizungsanlage. Fast alle Maßnahmen zur Effizienzerhöhung von Gebäuden werden zurzeit über die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) gefördert. Durch Umsetzung dieser Sanierungsmaßnahmen können die Wärmebedarfe erheblich reduziert werden. Für die Berechnung des Sanierungspotenzials wurden folgende Daten benutzt:

- Baujahre gemäß Eneka-Wärmekataster
- Sektor-Verteilung gemäß Regierungswärmekataster
- Wärmeverbräuche gemäß Regierungswärmekataster und ENEKA, (abgestimmt mit Stadtwerken Waldkraiburg)
- Sanierungsquoten gemäß Technikkatalog Wärmeplanung

Es wurden pro Sektor jeweils zwei Szenarien (hohe und niedrige Sanierungsquoten) berechnet.

3.1 Private Haushalte

Im Sektor der privaten Haushalte steckt sehr hohes Sanierungspotenzial. Private Haushalte benötigen keine Prozesswärme, die beispielsweise eine spezifische Vorlauftemperatur voraussetzt. Das Nutzerverhalten ist ein schwer zu beeinflussender, aber wichtiger Faktor für die Wärmebedarfsreduzierung in diesem Sektor. Die Optimierung des Nutzungsverhaltens sowie die Veranlassung von Gebäudesanierungen sind von höchster Relevanz. Durch die Umsetzung eines Teils der beschriebenen Sanierungsmaßnahmen sowie durch ein besseres Nutzungsverhalten kann eine große Menge an Heizenergie eingespart werden.

Tabelle 6: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor Wohnbau in Waldkraiburg

Jahr	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**
Baujahr	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
1919 - 1948	3.792	3.222	2.911	2.629	2.375
1949 - 1978	42.423	38.273	35.888	33.652	31.555
1979 - 1994	42.827	36.761	33.414	30.372	27.606
1995 - 2011	12.857	12.425	12.162	11.904	11.652
2012 - 2020	9.340	9.340	9.340	9.340	9.340
2021 - 2025	4.670	4.670	4.670	4.670	4.670
Summe	**115.910**	**104.692**	**98.385**	**92.568**	**87.199**
%	**100%**	**90%**	**85%**	**80%**	**75%**

Tabelle 7: Hohes Sanierungsszenario im Sektor Wohnbau in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
1919 - 1948	3.792	3.146	2.800	2.492	2.217
1949 - 1978	42.423	36.290	32.915	29.854	27.078
1979 - 1994	42.827	36.811	33.489	30.466	27.716
1995 - 2011	12.857	11.251	10.350	9.522	8.760
2012 - 2020	9.340	9.340	9.340	9.340	9.340
2021 - 2025	4.670	4.670	4.670	4.670	4.670
Summe	**115.910**	**101.508**	**93.564**	**86.344**	**79.781**
%	**100%**	**88%**	**81%**	**74%**	**69%**

3.2 Öffentliche Gebäude

Die öffentlichen Gebäude lassen sich grob mit den privaten Haushalten vergleichen. Auch hier sind die Optimierung des Nutzungsverhaltens sowie die Veranlassung von Gebäudesanierungen von höchster Relevanz. Durch die Umsetzung eines Teils der beschriebenen Sanierungsmaßnahmen sowie durch ein besseres Nutzungsverhalten kann auch hier eine große Menge an Heizenergie eingespart werden.

Tabelle 8: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor kommunale Gebäude in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
bis 1978	7.925	7.492	7.233	6.983	6.742
1979 - 2009	1.357	1.282	1.244	1.208	1.172
2010 - 2025	106	104	103	102	101
Summe	**9.387**	**8.878**	**8.581**	**8.293**	**8.015**
%	**100%**	**97%**	**94%**	**91%**	**88%**

Tabelle 9: Hohes Sanierungsszenario im Sektor kommunale Gebäude in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
bis 1978	7.925	7.079	6.598	6.148	5.730
1979 - 2009	1.357	1.212	1.118	1.031	951
2010 - 2025	106	96	89	84	79
Summe	**9.387**	**8.387**	**7.805**	**7.264**	**6.760**
%	**100%**	**89%**	**83%**	**77%**	**72%**

3.3 Wirtschaft

Die Wirtschaftsbranche ist sehr vielfältig und lässt sich aufgrund der vielen verschiedenen Gewerbe nur schwer pauschalisieren. Generell wird hier ein Unterschied zwischen GHD und Industrie gemacht. Die GHD-Branche lässt sich näherungsweise mit den privaten Haushalten vergleichen. Auch hier sind Änderungen des Nutzungsverhaltens sowie Gebäudesanierungen von höchster Relevanz. Prozesswärme wird hier nur selten benötigt.

Tabelle 10: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor GHD in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
bis 1978	10.213	9.655	9.322	9.000	8.690
1979 - 2009	10.624	10.124	9.824	9.533	9.250
2010 - 2025	1.029	1.012	1.002	992	983
Summe	**21.866**	**20.792**	**20.148**	**19.525**	**18.922**
%	**100%**	**95%**	**92%**	**89%**	**87%**

Tabelle 11: Hohes Sanierungsszenario im Sektor GHD in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a
bis 1978	10.213	9.124	8.503	7.924	7.385
1979 - 2009	10.624	9.338	8.614	7.947	7.331
2010 - 2025	1.029	927	868	813	761
Summe	**21.866**	**19.388**	**17.985**	**16.684**	**15.477**
%	**100%**	**89%**	**82%**	**76%**	**71%**

Der Sektor Industrie lässt sich schwer einschätzen. Zwar liegen hier die Realdaten der Gasverbräuche vor, allerdings sind die tatsächliche Einsparpotenziale stark von den jeweiligen Prozessen abhängig. In den nachfolgenden Tabellen wird das Potenzial gemäß Wärmekataster dargestellt. Ein realistisches Potenzial lässt sich nur durch die jeweiligen Firmen berechnen.

Tabelle 12: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor Industrie in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a
bis 1978	79.730	79.730	79.730	79.730	79.730
1979 - 2009	28.475	28.475	28.475	28.475	28.475
2010 - 2025	5.695	5.695	5.695	5.695	5.695
Summe	**113.900**	**113.900**	**113.900**	**113.900**	**113.900**
%	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**

Tabelle 13: Hohes Sanierungsszenario im Sektor Industrie in Waldkraiburg

Jahr	2025	2030	2035	2040	2045
Baujahr	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a	Wärmebedarf in MWh/a
bis 1978	79.730	68.947	62.961	57.495	52.503
1979 - 2009	28.475	24.624	22.716	20.956	19.332
2010 - 2025	5.695	5.605	5.549	5.493	5.439
Summe	**113.900**	**99.175**	**91.226**	**83.944**	**77.274**
%	**100%**	**87%**	**80%**	**74%**	**68%**

3.4 Zusammenfassung der Energieeinsparungspotenziale

Nachfolgend werden die Einsparungspotenziale zusammengefasst.

Tabelle 14: Zusammengefasstes Sanierungspotenzial im niedrigen Sanierungsszenario der Sektoren ohne Industrie der Stadt Waldkraiburg

Jahr	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**
Sektor	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
Wohnen	115.910	104.692	98.385	92.568	87.199
GHD	21.866	20.792	20.148	19.525	18.922
Kommunal	9.387	8.878	8.581	8.293	8.015
Summe	**147.163**	**134.362**	**127.115**	**120.387**	**114.137**
%	**100%**	**91%**	**86%**	**82%**	**78%**

Tabelle 15: Zusammengefasstes Sanierungspotenzial im hohen Sanierungsszenario der Sektoren ohne Industrie der Stadt Waldkraiburg

Jahr	**2025**	**2030**	**2035**	**2040**	**2045**
Sektor	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**	**Wärmebedarf in MWh/a**
Wohnen	115.910	101.508	93.564	86.344	79.781
GHD	21.866	19.388	17.985	16.684	15.477
Kommunal	9.387	8.387	7.805	7.264	6.760
Summe	**147.163**	**129.283**	**119.354**	**110.291**	**102.018**
%	**100%**	**88%**	**81%**	**75%**	**69%**

Insgesamt wird deutlich, dass sich sowohl durch eine Sanierung der Gebäude als auch durch angepasstes Nutzerverhalten deutliche Einsparpotenziale im Bereich Wärme realisieren lassen. Diesen Einsparungen stehen jedoch in erster Linie finanzielle Aufwendungen für die Sanierungsmaßnahmen entgegen. Durch die hohe Bedeutung der Wärme am Gesamtenergieverbrauch sollte sich in Zukunft generell stark auf die Einsparpotenziale fokussiert werden. Dies ist in erster Linie durch verstärkte Informationspolitik, Öffentlichkeitsarbeit, finanzielle Förderungen und klare Vorgaben der Zielsetzungen erreichbar.

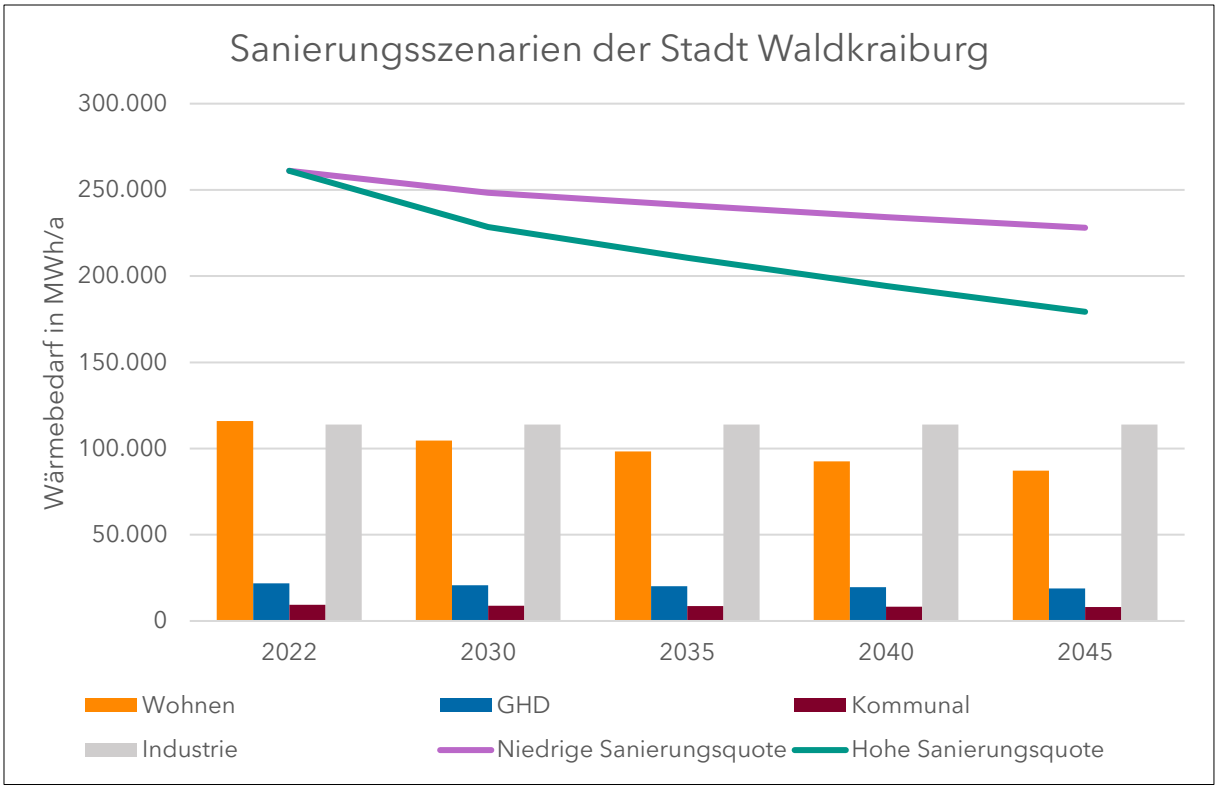


Abbildung 16: Sanierungsszenarien in Waldkraiburg

Abbildung 16 fasst die beiden Tabelle 14 und 15 nochmal graphisch zusammen. Zur besseren Anschaulichkeit wurden in dieser Abbildung nur die Werte des niedrigen Sanierungsszenarios im Teil des Säulendiagramms verwendet. Der Ansatz der höheren Sanierungsrate ist zwar klimaschutztechnisch präferiert, jedoch auch sehr ambitioniert. Schlussendlich unterscheidet beide Szenarien ein Einsparpotenzial zum Satus Quo von ungefähr 18 %.

Eine potenzielle Lösung für die Verbesserung des schwer beeinflussbaren Nutzerverhaltens liegt in der Benutzung von Smart Thermostaten und künstlicher Intelligenz. Es gibt bereits eine Vielzahl von Herstellern digitaler Optimierungsplattformen für Heizungsanlagen.

4 Potenzialermittlung erneuerbarer Energien und Abwärme

4.1 Abwärme

Für die Ermittlung von Abwärme Potenzialen aus unvermeidbarer Abwärme wurden die Daten der Plattform für Abwärme des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle benutzt. In Waldkraiburg sind 8 unterschiedliche Firmen mit Abwärmepotenzial vorhanden. Die nachfolgende Tabelle 16Tabelle 16 zeigt die Potenziale auf.

Tabelle 16: Abwärme Potenziale aus unvermeidbarer Abwärme Waldkraiburg

Firma	Quelle	Wärmemenge pro Jahr in kWh	Leistung	Temperatur	Verfügbarkeit am Wochenende
Alzchem Trostberg GmbH	Kühlturm	27.400.000	4.100 kW	26 °C	+
KRAIBURG TPE GmbH & Co. KG	Abwärme Produktionsmodul 03	1.200.000	350 kW	40 °C	-
KRAIBURG TPE GmbH & Co. KG	Abwärme Produktionsmodul 1 + 2	2.375.002	1.656 kW	40 °C	-
Gummiwerk KRAIBURG GmbH & Co. KG	BHKW	1.010.000	350 kW	80 °C	-
Morgan Advanced Materials Haldenwanger GmbH	Hellmich 1	7.500.000	5.000 kW	110 °C	+
Morgan Advanced Materials Haldenwanger GmbH	Hellmich 2	17.000.000	9.000 kW	110 °C	+
Morgan Advanced Materials Haldenwanger GmbH	Hallenheizung	700.000	1.000	110 °C	+
Morgan Advanced Materials Haldenwanger GmbH	Sprühtrockner D200	480.000	230	110 °C	-
RENOLIT SE	Abgas/Schornstein Kesselhaus	552.000	85 kW	150 °C	+
RENOLIT SE	Abluftanlage K1	326.000	91 kW	33 °C	+
RENOLIT SE	Abluftanlage K2	780.000	108 kW	34 °C	+
RENOLIT SE	Abluftanlage K3	389.000	120 kW	37 °C	+
RENOLIT SE	Abluftanlage K4	552.000	85 kW	35 °C	+
SI Group Germany (DEAB) GmbH	Kesselhaus	1.015.000	350 kW	100 °C	+
Süddeutsche Gelenkscheibenfabrik GmbH & Co. KG	BHKW	325.500	100 kW	80 °C	-
Süddeutsche Gelenkscheibenfabrik GmbH & Co. KG	Kälte	1.794.500	500kW	26 °C	-
Süddeutsche Gelenkscheibenfabrik GmbH & Co. KG	RNV	331.255	331 kW	75 °C	-
Süddeutsche Gelenkscheibenfabrik GmbH & Co. KG	Heizung	203.886	125 kW	80 °C	-
Vion Waldkraiburg GmbH	Öl aus Kältevedichtern	1.700.000	260 kW	50 °C	-
Vion Waldkraiburg GmbH	Abwasser Kuttelei	1.000.000	250 kW	70 °C	-
Vion Waldkraiburg GmbH	BHKW-Anlage	550.000	100 kW	110 °C	-

Im Transformationsplan der Stadtwerke Waldkraiburg stellte sich heraus, dass sich diese Potenziale vermutlich nicht ins Netz einbinden lassen. Im Zuge der Netzerweiterungen der Stadtwerke werden die Potenziale weiterbetrachtet.

4.2 Solarthermie

Die Sonnenenergie ist eine im menschlichen Maße unerschöpfliche Energiequelle. Gemäß Energie-Atlas Bayern treffen auf das Stadtgebiet von Waldkraiburg jährlich ca. 1.165 kWh/m² bzw. umgerechnet ca. 25.164 GWh gesamter Globalstrahlung. Das entspricht in etwa dem 96-fachen des gesamten Wärmebedarfs von Waldkraiburg. Der Großteil dieser Energie ist jedoch nicht nutzbar, da die Strahlung auf z.B. Waldflächen, Straßen oder Wasseroberflächen trifft. Zudem ist die Umwandlung von Strahlungsenergie in thermische oder elektrische Energie immer mit Verlusten verbunden. Eine handelsübliche Photovoltaikanlage erreicht derzeit einen Systemwirkungsgrad von etwa 16 – 18 %[4], je nach Modultyp. Thermische Solarkollektoren hingegen wandeln aktuell etwa die Hälfte der Strahlungsenergie in Wärme um (ca. 500 kWh/m²). Zusätzlich fallen jedoch Systemverluste in geringem Ausmaß an. Dabei hängt das Potenzial von den verfügbaren und brauchbaren Flächen zur Installation von PV- oder solarthermischen Kollektoren ab.

Das geläufige Problem bei Solarthermieanlagen ist, dass Wärme nicht zwingend bei vorhandenem Energiebedarf produziert wird. Dies kann mittlerweile durch Langzeitwärmespeicher etwas ausgeglichen werden. Im Folgenden werden nun die Potenziale für Solarthermie analysiert und den jeweiligen Wärmeverbräuchen gegenübergestellt. Kleinere Dachflächen z.B. von Wohngebäuden wurden in diesem Konzept nicht näher betrachtet, da sie in der Regel nicht für eine Einspeisung in ein Fernwärmenetz geeignet sind. Für individuelle Bewertungen von Gebäudedächern können jedoch die öffentlich zugänglichen Solarpotenzialkarten genutzt werden, beispielsweise unter: Solarpotenzial des Landkreis Mühldorf a. Inn. Gemäß Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung[5] wird eine minimale Fläche von 2.000 m² festgelegt.

Solarthermische Freiflächenanlagen (FFST) können je nach Bauart sehr hohe Temperaturen bereitstellen, sodass eine Einspeisung in ein Fernwärmenetz möglich ist.

FFST unterliegen einer Vielzahl an Regelungen und Einschränkungen, die den Ausbau zusätzlich kompliziert machen. FFST dürfen nicht auf Schutzgebiete oder Überschwemmungsgebiete gebaut werden. Auch Waldflächen, Siedlungsflächen (Puffer 50 m), sowie Verkehrsflächen (Puffer 10 m) sind ausgeschlossen. Der Bundesrat will zukünftig den Bau von Solaranlagen in Überschwemmungsgebieten unter bestimmten Voraussetzungen ermöglichen[6]. Dies hat jedoch für nur wenige sinnvolle Kollektorflächen im Bereich des Bestands- sowie Zielnetzes relevante Auswirkungen. Geeignete Standorte sind unter anderem Konversions- und Altlastenflächen sowie Trassen entlang von Autobahnen und Schienen oder Grün- und Landwirtschaftsflächen. Diese Flächen sollten eine ungehinderte südliche Sonneneinstrahlung erhalten. Auch Parkplätze können sich für Solarthermieanlagen eignen.

Abbildung 17 zeigt die im Stadtgebiet Waldkraiburg ermittelten Potenzialflächen für Freiflächen-Solarenergie. Die blau schraffierten Bereiche kennzeichnen allgemeine Potenzialflächen, die sowohl für

[4] *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. 17.05.2023. Fraunhofer ISE, Dr. Harry Wirth
[5] *Kommunale Wärmeplanung, Handlungsleitfaden*. 12.2020. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
[6] *Bundesrat für Solaranlagen in Überschwemmungsgebieten*. 31.03.2023, Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz – Gesetzentwurf – hib 242/2023. www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-941120

Freiflächen-Photovoltaik (FFPV) als auch für solarthermische Anlagen (FFST) grundsätzlich geeignet sind.

Die orangefarbenen Flächen markieren die bauplanungsrechtlich privilegierten Bereiche nach § 35 Abs. 1 Nr. 8b BauGB. Diese Privilegierung gilt für alle Vorhaben zur Nutzung solarer Strahlungsenergie und umfasst damit sowohl Photovoltaik- als auch Solarthermie-Freiflächenanlagen. Anlagen innerhalb dieser 200-m-Abstandszone entlang von Autobahnen und Schienenwegen können in der Regel schneller genehmigt werden.

Die gelb dargestellten Bereiche zeigen hingegen ausschließlich die nach § 37 Nr. 2c EEG förderfähigen Freiflächen-Photovoltaikflächen. Gemäß EEG § 37 Nr. 2c sind Flächen innerhalb von 500 m Abstand zu Autobahnen und Schienenwegen EEG-vergütungsfähig nach erfolgreicher Ausschreibung. Da das EEG ausschließlich der Förderung der Stromerzeugung regelt, bezieht sich diese 500-m-Förderkulisse ausschließlich auf Photovoltaik und nicht auf Solarthermie.

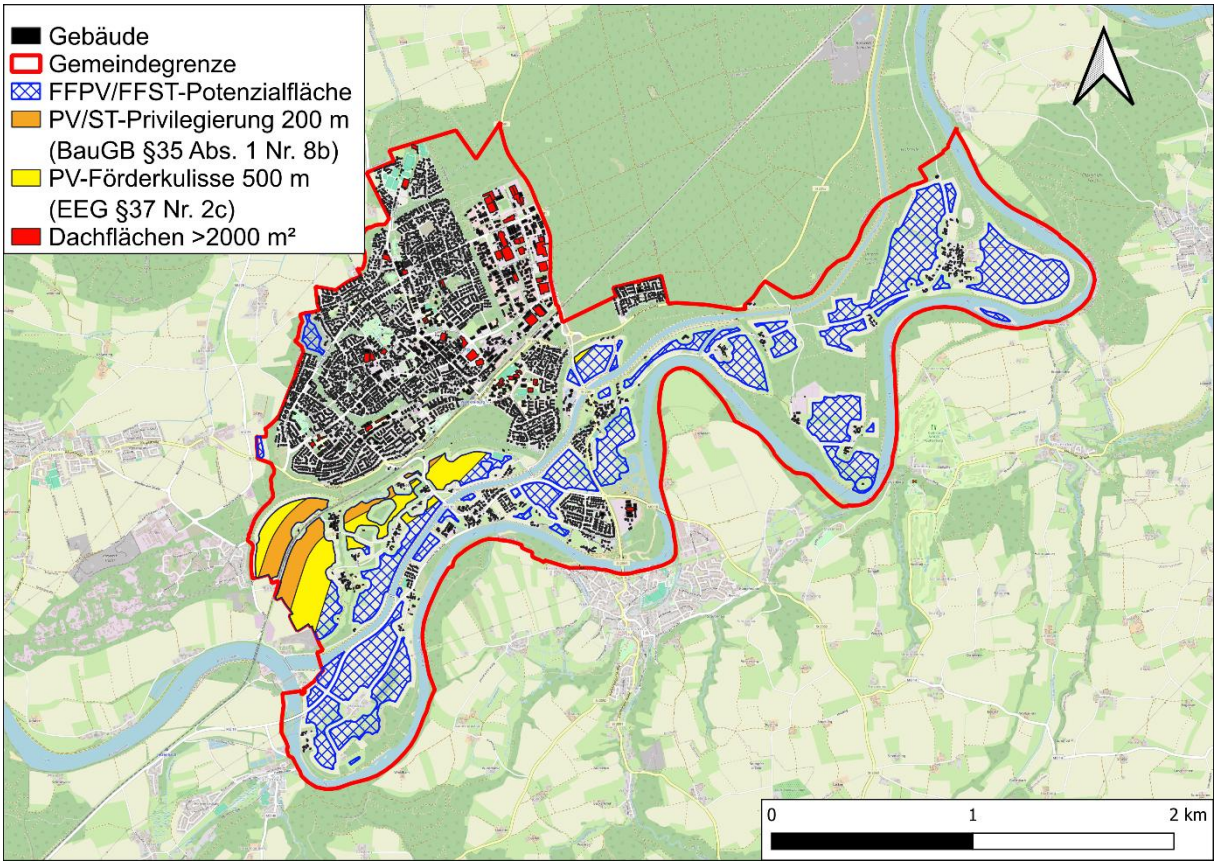


Abbildung 17: Solarthermie-Potenzialflächen in Waldkraiburg

Dachflächen mit einer Fläche von mehr als 2.000 m² werden ebenfalls in Betracht genommen. Dabei wurden 44 Objekte identifiziert, die über eine Dachfläche von mehr als 2.000 m² verfügen. Insgesamt stehen 185.606 m² Dachfläche zur Verfügung und sind in roter Farbe gekennzeichnet. Die Potenzialflächen in Waldkraiburg sind in Tabelle 17 nach den jeweiligen Kriterien ausgewiesen.

Tabelle 17: Solarthermie-Potenzialflächen in m²

	Potenzialfläche [m²]
FFPV/FFST-Potenzialfläche	3.955.893
Davon EEG-Förderfläche	349.306
Davon BauGB-Fläche	897.231
Gebäude > 2.000 m²	185.606
Gesamtpotenzialfläche	**4.141.499**

Für FFST-Anlagen kann gemäß Handlungsleitfaden Freiflächensolaranlagen ein Verhältnis von Land- zu Kollektorfläche von 2 bis 2,5 angesetzt werden.[7] Das bedeutet, dass pro Hektar Landfläche etwa 4.000–5.000 m² Kollektorfläche realisiert werden können. Bei einem spezifischen Kollektorertrag von rund 400 kWh/m² (Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung[8]) ergibt sich daraus ein Wärmeertrag von ca. 2.000 MWh je Hektar Landfläche, was umgerechnet etwa 200 kWh pro m² Landfläche entspricht. Auf die für Waldkraiburg ermittelte potenzielle Freifläche von 4.141.499 m² übertragen, könnten somit jährlich rund 828.300 MWh Wärme erzeugt werden. In der Realität liegen die Kollektorflächenerträge, vor allem in den südlichen Abschnitten Deutschlands, mittlerweile bei 480 – 520 kWh/m^2. Grundsätzlich ist eine Aufteilung der Kollektorfläche bei FFST möglich, jedoch steigen hiermit die Investitionskosten. Vor allem bei Dachanlagen, die grundsätzlich teurer ausfallen als Freiflächenanlagen, ist die Aufteilung meistens unvermeidbar.

Ein Großteil der in Abbildung 17 dargestellten Potenzialflächen für Freiflächen-Solarenergie liegt im westlichen und südlichen Stadtgebiet von Waldkraiburg. Diese Flächen befinden sich damit überwiegend außerhalb der dicht besiedelten Bereiche und in größerer Entfernung zu potenziellen Netzeinspeisepunkten. Die maximale Entfernung zwischen Kollektorfreiflächen und dem Punkt der Wärmenetzeinspeisung wird in Anlehnung an der *„Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung"* auf 1.000 m gesetzt[9]. Zudem liegt zwischen den identifizierten Flächen und dem bestehenden Wärmenetz teilweise der Fluss, wodurch ein Anschluss technisch aufwendig wäre und mit erheblichen Wärmeverlusten verbunden wäre.

Solarthermie reicht in einem Wärmenetz meist nicht als einzige Wärmequelle aus. Solare Wärme kann zur Vorwärmung verwendet werden, mit Kurzzeit-Wärmespeicher oder mit saisonalen Wärmespeichern[10].

Angenommen es werden auf PV-Freiflächenanlagen pro kWp etwa 10 m^2 Fläche benötigt[11], ergibt sich bei 950 Volllaststunden[12] ein Gesamtpotenzial von 395.589kW$_p$, oder ca. 375.810 MWh pro Jahr.

[7] *Handlungsleitfaden Freiflächensolaranlagen*. 09.2019, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
[8] *Kommunale Wärmeplanung, Handlungsleitfaden*. 12.2020. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
[9] *Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung*. 08.2021 Beitrag zur Berichtspflicht EnEff-RL, Artikel 14, Anhang VIII. Umweltbundesamt. CLIMATE CHANGE 54/2021
[10] *Solarthermie und Holzenergie im Wärmenetz*. 30.09.2020. C.A.R.M.E.N. e.V.
[11] *Leitfaden Freiflächen-Photovoltaikanlagen*. C.A.R.M.E.N. e.V. Stand: März 2023
[12] Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. 17.05.2023, Fraunhofer ISE

Die Kosten von Solarthermieanlagen sind sowohl von der Anlagengröße, vom Kollektortyp als auch von der Anlagenfläche abhängig. Abbildung 18 stellt die Kostenfunktion für FFST mit Vakuumröhren graphisch dar.

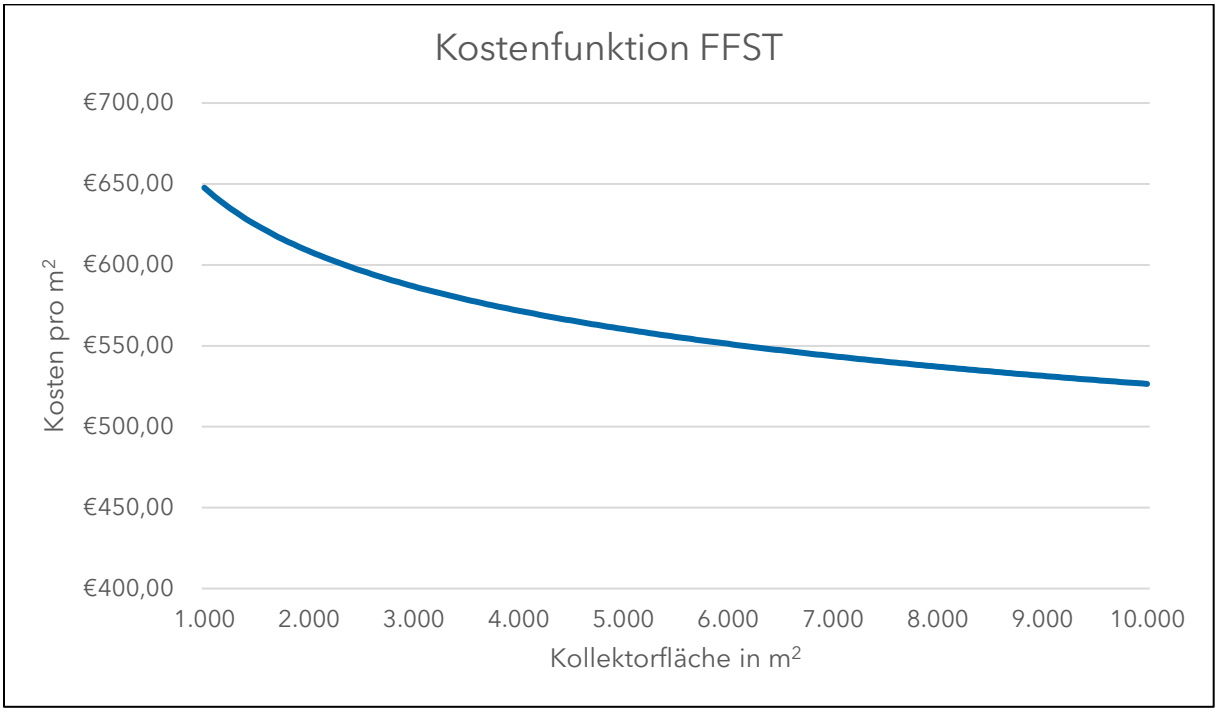


Abbildung 18: Kostenfunktion von FFSt mit Vakuumröhren

Die Lebensdauer sowie die Wartungs- und Instandsetzungskosten von Solarthermieanlagen werden in Tabelle 18 aufgelistet.

Tabelle 18: Nutzungsdauer und Kosten von Solarthermieanlagen gemäß VDI 2067

Kollektortyp	Wartung- und Instand-setzungskosten	Nutzungsdauer nach VDI 2067
Absorber	1,5%	18,00
Flachkollektor	1,5%	20,00
Vakuum-Röhren	1,5%	18,00

4.3 Umweltwärme

4.3.1 Oberflächennahe Geothermie

Prinzipiell wird bei der Geothermie zwischen oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie unterschieden. Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Wärme der obersten Erdschicht auf niedrigem Temperaturniveau, die über Sonden, Brunnen oder Erdwärmekollektoren auf ein Arbeitsmedium übertragen und dann mittels Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gehoben wird. Vor der Installation von Erdwärmepumpen soll immer überprüft werden, ob Grundwasseranschluss und ausreichend hohe Temperaturniveaus bzw. ausreichende Leitfähigkeiten des Bodens vorhanden sind, um einen entsprechend hohen COP zu erreichen.

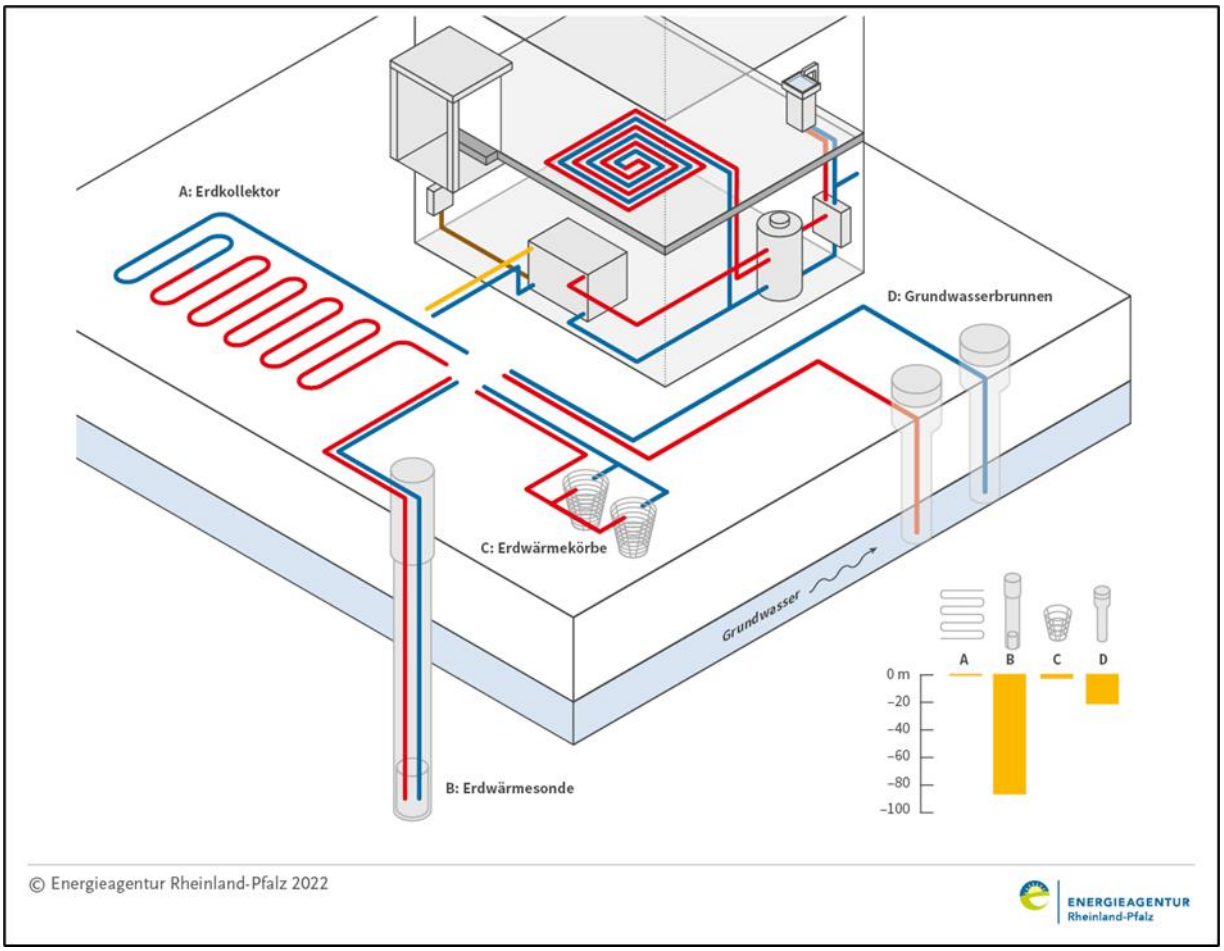


Abbildung 19: Überblick über Wärmeentzugstechnologien zur Nutzung oberflächennaher Geothermie

Nicht jedes Grundstück ist für oberflächennahe Geothermie geeignet. Aus gewässerschutzrechtlichen Gründen ist die Wärmeförderung mittels Erdwärmesonden häufig sogar verboten. In den meisten Fällen ist eine Einzelfallprüfung durch die Fachbehörde erforderlich.

Die folgende Karte (Abbildung 20Abbildung 20) des Energie-Atlas Bayern zeigt die Gegebenheiten in Waldkraiburg hinsichtlich des Potenzials für Erdwärmesonden, -kollektoren und Grundwasserwärmepumpen.[13]

[13] www.geoportal.bayern.de

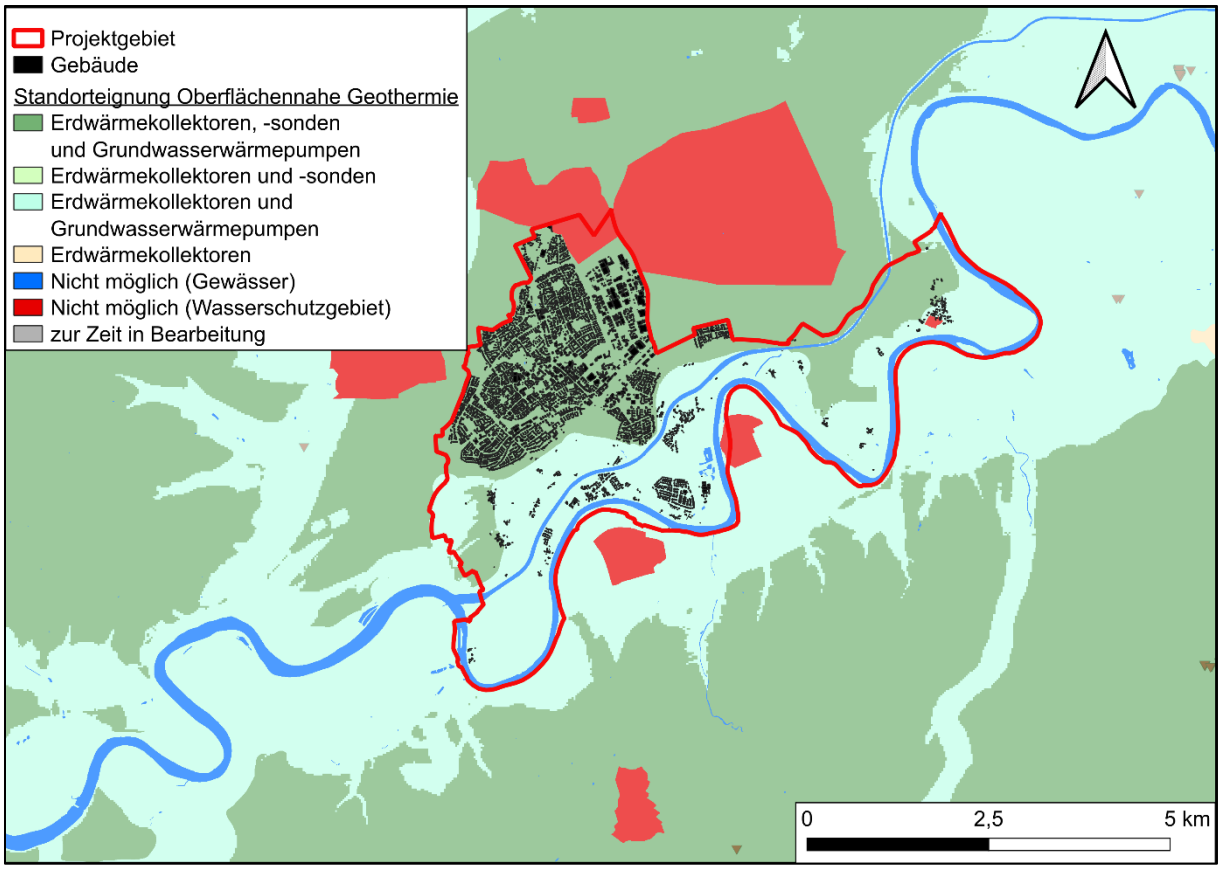


Abbildung 20: Standorteignung für oberflächennahe Geothermie in Waldkraiburg
Quelle: Energie-Atlas Bayern

Die Abbildung 20 zeigt, dass im Großteil des Stadtgebietes, insbesondere in den Siedlungsbereichen, gute Voraussetzungen für die Genehmigung alle Arten der oberflächennahen Geothermie gegeben sind. Lediglich im Norden der Stadt besteht durch ein Wasserschutzgebiet örtlich kein Potenzial. In der Umgebung von Flüssen kann zudem artesisch gespanntes Grundwasser auftreten, wodurch diese Bereiche nicht für den Einsatz von Erdwärmesonden geeignet sind. Oberflächennahe Geothermie wird oft für die Versorgung einzelner Gebäude genutzt, jedoch sind auch größere Anlagen zur Speisung eines Wärmenetzes möglich. Hier könnten sich an vielversprechenden Standorten die Durchführung von Machbarkeitsstudien zu Grundwasser- und Erdwärme anbieten.

4.3.1.1 Erdwärmesonden

Erdwärmesonden werden in Bohrungen von 20 – 100 m, manchmal sogar bis 400 m Tiefe eingebracht, wonach die Bohrlöcher mit einem Material maximaler Wärmeleitfähigkeit aufgefüllt werden. Für Erdwärmesonden ist die spezifische Wärmeleitfähigkeit des Bodens sehr relevant. In der Stadt liegt diese bis zu 100 m zwischen 1,8 W/(m*K) und 2,4 W/(m*K), wie in Abbildung 21 deutlich wird. Gemäß VDI-Richtlinie 4640 können Wärmeleitfähigkeiten im Bereich von 1,5 – 2,5 W/(m*K) nur als mittelmäßig bewertet werden.

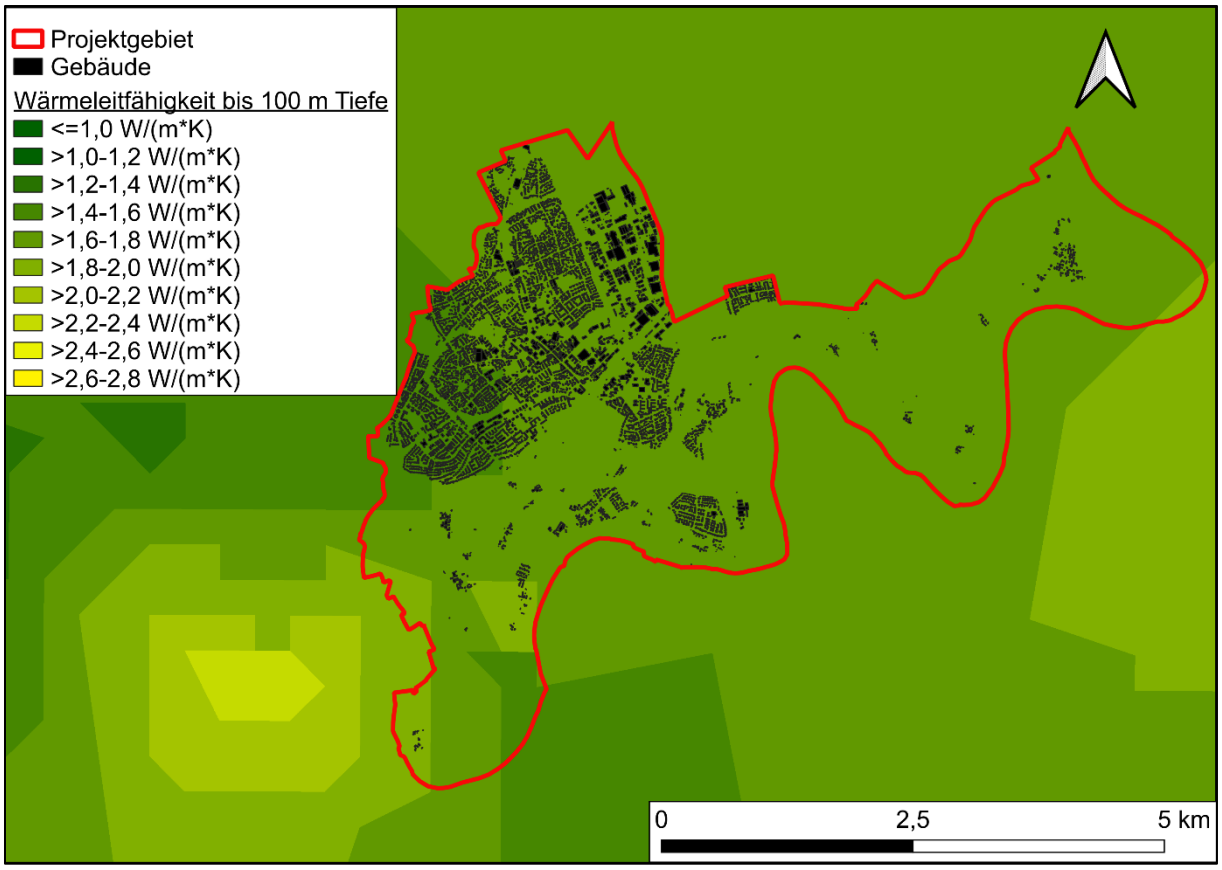


Abbildung 21: Wärmeleitfähigkeit im Projektgebiet bis 100 m Tiefe
Quelle: lfu.bayern.de

Eine Kombination von einem Erdsondenfeld und einer Überbauung mit Solarthermieanlagen ist laut Aussagen verschiedenen Hersteller möglich. Solche Kombinationen ergeben sehr hohe Flächennutzungsraten. Zudem kann überschüssige Wärme der Solarthermieanlagen (die meistens im Sommer anfällt, wenn die Heizlast der Wärmeabnehmer niedrig ist) über die Erdsonden in den Boden geführt werden. Mit diesem Prinzip wird das Erdsondenfeld regeneriert, um die Langlebigkeit der Anlage sicher zu stellen. Wird mehr Wärme zugeführt als entnommen wird, so funktioniert das Erdsondenfeld als saisonaler Wärmespeicher. Mehr Informationen zu Wärmespeichern sind im Kapitel 4.9 verfügbar.

Erdsondenfelder müssen jährlich regeneriert werden, um eine Auskühlung zu verhindern. Um ein Erdsondenfeld langfristig zu betreiben, muss ein Teil der Wärmemenge, die aus dem Boden entzogen wird, wieder zurückgeführt werden. Ein Erdsondenfeld kann somit nicht durchgehend als Wärmequelle genutzt werden. Wird im Sommer Überwärme, oder sonstige Wärme, in das Erdsondenfeld eingespeist, so kann es im Winter als Wärmequelle benutzt werden. Erdsondenfelder eignen sich aufgrund der niedrigen Temperaturen vor allem gut für Wärmenetze mit niedrigeren Vorlauftemperaturen. Bei höheren Vorlauftemperaturen können nur geringe COP-Zahlen der Wärmepumpen erreicht werden. Bei der Einspeisung der Wärme im Sommer muss zudem beachtet werden, dass die Bodentemperatur nicht mehr als 15 °C oberhalb der ungestörten Bodentemperatur ansteigt. Zurzeit werden Erdsondenfelder lediglich in Wärmenetzen mit niedrigeren Temperaturen sowie in der Wohn- und Gewerbebau eingesetzt, wo die Temperaturen nicht über z.B. 75 °C steigen.

4.3.1.2 Erdwärmekollektoren

Für Erdwärmekollektoren wird die spezifische Wärmeleitfähigkeit der Böden bis 2 m Tiefe analysiert. In der Stadt Waldkraiburg liegen diese Werte der Wärmeleitfähigkeit zwischen 1,2 und 1,6 W/m*K. Diese Werte sind als mäßig gut zu bezeichnen.

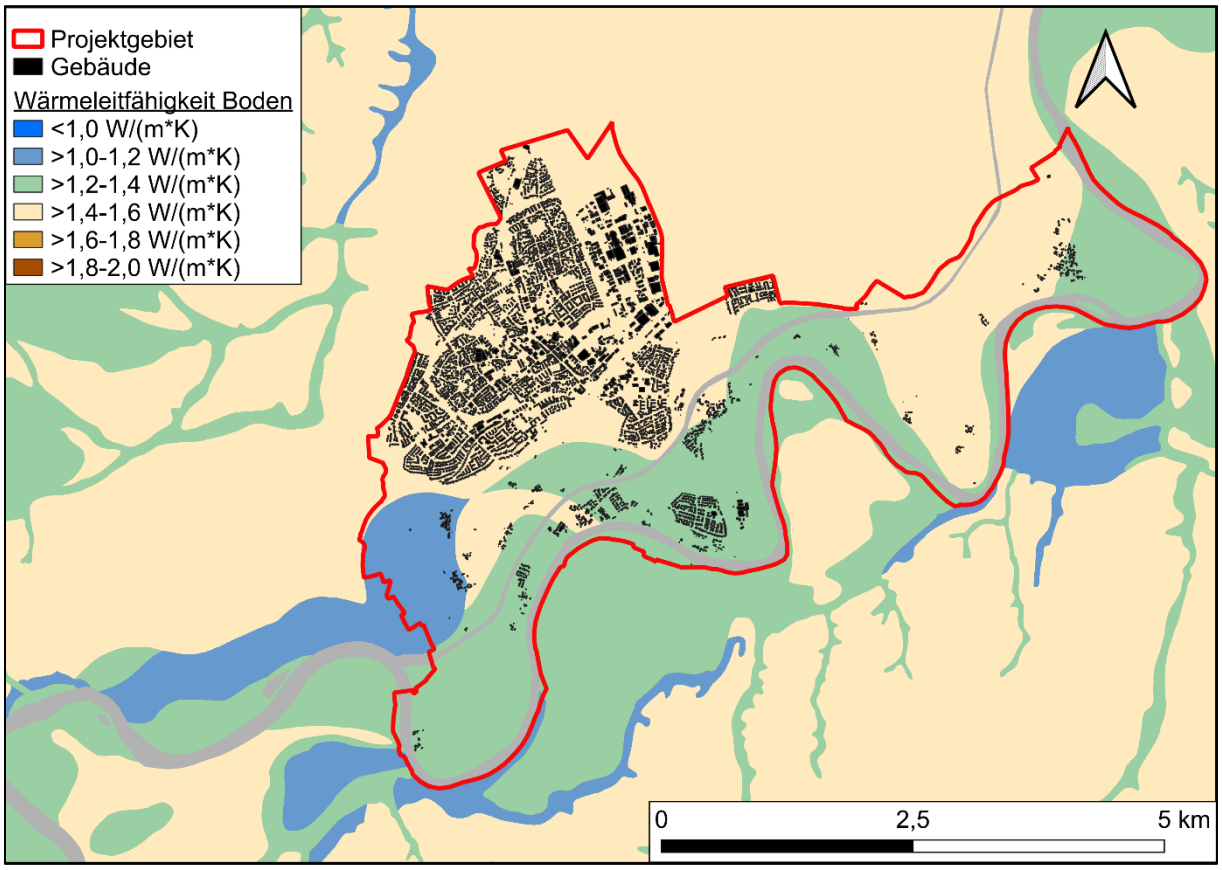


Abbildung 22: Spezifische Wärmeleitfähigkeit bis 2 m Tiefe
Quelle: Energie-Atlas Bayern

Die Grabbarkeit des Untergrundes bis 1 m Tiefe ist eine wichtige Voraussetzung zur Dimensionierung von Kollektoren. Diese ist laut Energie-Atlas Bayern im gesamten Stadtgebiet mit der höchsten Einstufung „mit hoher Wahrscheinlichkeit grabbar" ausgeschildert. Außerdem ist die Leistung der Erdwärmekollektoren stark von den klimatologischen Bedingungen und den jahreszeitlichen Temperaturschwankungen abhängig[14]. Gemäß Daten von Meteoblue herrschen in der Stadt folgende klimatologischen Bedingungen.

[14] www.stmwi.bayern.de

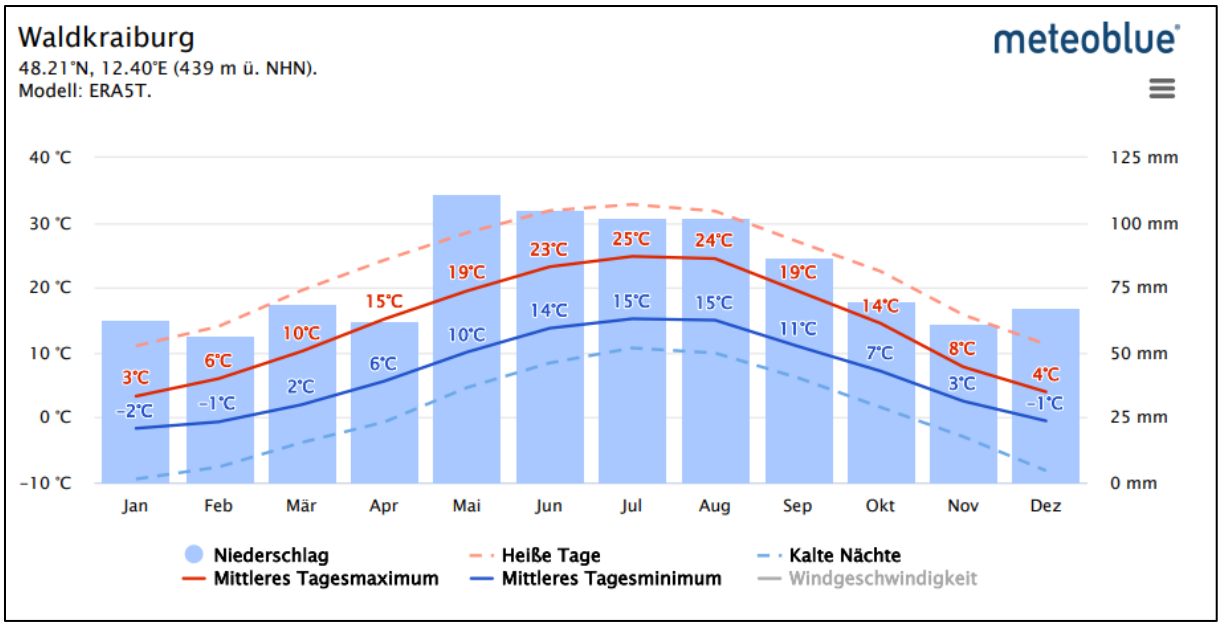


Abbildung 23: Übersicht der klimatologischen Bedingungen in der Stadt Waldkraiburg Datenquelle: www.meteoblue.com

Aus Abbildung 23 geht hervor, dass in Waldkraiburg im Schnitt eine Temperaturschwankung von mehr als 20 °C vorliegt. Im Sommer haben Erdwärmekollektoren gute COP-Werte. Die Nachfrage nach Wärme ist im Sommer zwar nicht so hoch wie im Winter, kann jedoch mit den Kollektoren gut überbrückt werden. Die erhöhten Niederschlagsmengen in den Sommermonaten begünstigen diesen Vorgang, da die Feuchtigkeit im Boden die Wärmeleitfähigkeit erhöht. Im Winter dienen Erdwärmekollektoren mehr für Wärmenetze mit niedrigen Vorlauftemperaturen wie z.B. zur Wärmeversorgung von Neubaugebieten. Zudem eignen sich diese Anlagen für eine dezentrale Wärmeversorgung. Zurzeit werden Erdwärmekollektoren vor allem in der Wohn- und Gewerbebau eingesetzt, wo die Temperaturen nicht über z.B. 75 °C steigen.

Erdwärmekollektoren brauchen sehr große Flächen für die Versorgung größerer Wärmenetze, daher ist eine Kombination von Erdwärmekollektorenfeldern und Solarthermieanlagen nur mäßig realisierbar. Gemäß EnergieAtlas Bayern beträgt die durchschnittliche Entzugsenergie von horizontalen Kollektoren in Waldkraiburg etwa 45 kWh/(m²*a). Die Entzugsenergie von Grabenkollektoren wird auf 97 kWh/(m²*a) geschätzt.

4.3.1.3 Grundwasserwärmepumpen

Für Grundwasserwärmepumpen sind passende Grundwasserflurabstände gefordert. Diese, sowie die Mächtigkeiten vorhandener Aquifere werden in Zuge von Machbarkeitsstudien und Probebohrungen detailliert ermittelt. Bei größeren Projekten werden für die Potenzialermittlung potenzielle Standorte identifiziert, an denen Probebohrungen (Entnahmebrunnen und Schluckbrunnen) gesetzt und Pumpversuche durchgeführt werden. Für die Grundwassernutzung ist die lokale Hydrogeologie relevant. In der Stadt Waldkraiburg sind überwiegend folgende hydrogeologische Gegebenheiten vorhanden:

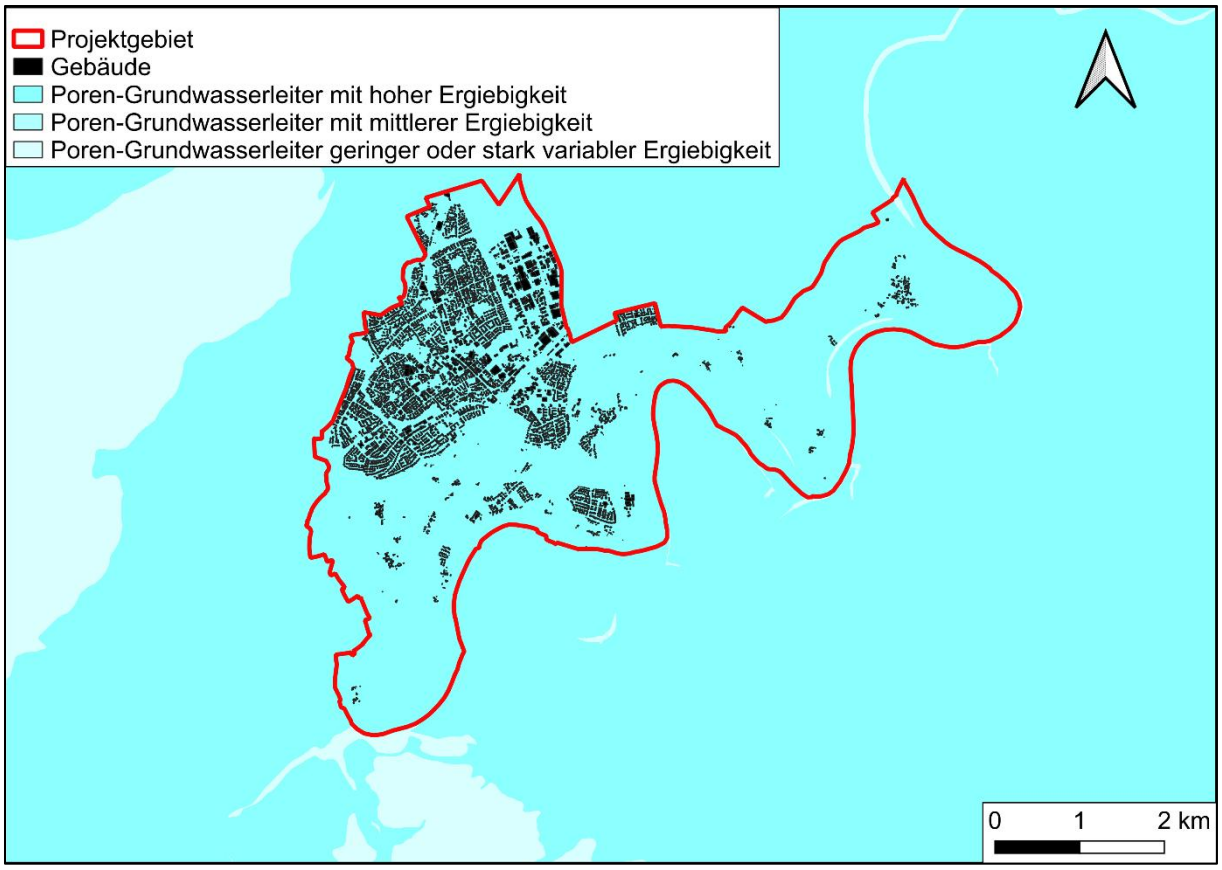


Abbildung 24: Hydrogeologische Klassifikation der Grundwasserleiter
Quelle: www.geoportal.bayern.de

Abbildung 24 demonstriert die hydrogeologischen Gegebenheiten im Stadtgebiet Waldkraiburg und um das betrachtete Projektgebiet. Näherungsweise liegt das gesamte Projektgebiet auf Poren-Grundwasserleitern mit hoher Ergiebigkeit. Hier sind Grundwasserwärmepumpen besonders geeignet, zum einen aufgrund des sehr ergiebigen Grundwasservorkommens und zum anderen durch die kurzen Leitungswege zum Wärmenetz oder den dezentralen Haushalten. Die genaue Menge an verfügbarem Grundwasser kann über Probebohrungen und Pumpversuchen ermittelt werden. Sind hohe Mengen und Fließraten vorhanden, so ist das Wärmepotenzial vielversprechend. Es gibt zudem die Möglichkeit, beliebig viele Förder- und Schluckbrunnen (ausreichend Abstand zwischen den Anlagen vorausgesetzt) zu installieren, um die Gesamtleistung zu erhöhen.

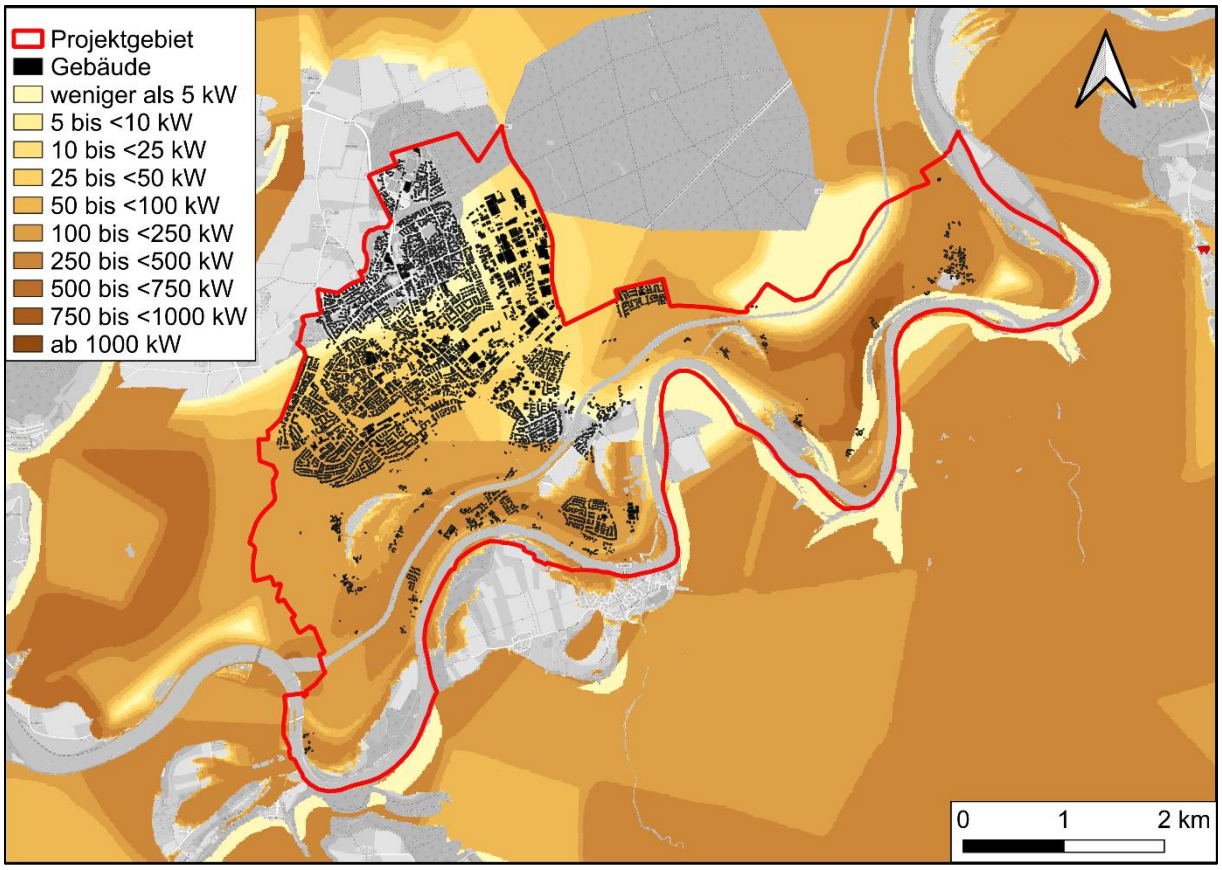


Abbildung 25: Entzugsleistungen bei 100 m Brunnenabstand
Quelle: Energie-Atlas Bayern

Abbildung 25 demonstriert die Entzugsleistung für Grundwasserwärmepumpen pro Brunnenpaar mit einem Abstand von 100 m. Diese Brunnenpaare werden meist für zentrale Versorgungsnetze oder größere Gewerbegebiete errichtet. Die höchsten Entzugsleistungen von bis zu 1.000 kW sind in den dunkelbraun dargestellten Bereichen erreichbar. Der überwiegende Teil des Stadtgebietes liegt im Bereich zwischen 100 und 500 kW, während im dicht bebauten Zentrum deutlich geringere Werte vorherrschen. In den Rand- und Übergangsbereichen bieten sich jedoch gute Voraussetzungen für eine dezentrale Wärmeversorgung durch Grundwasserwärmepumpen.

Kostentechnisch sind die drei oben genannten Technologien sehr ähnlich. Je nach Erkundungsarbeit können bei den Bohrungen unterschiedlich hohe Kosten entstehen. Auch bei den Wärmepumpen variieren die Preise je nach Kältemittel, Quelltemperatur und Temperaturhub stark und liegen bei größeren Wärmepumpen (> 1MW) z. B. zwischen 250 €/kW und 950 €/kW. Bei kleineren Wärmepumpen betragen die Kosten oft mehr als 1.000 €/kW. Meistens fallen die Sole/Wasser Wärmepumpen etwas teurer aus.

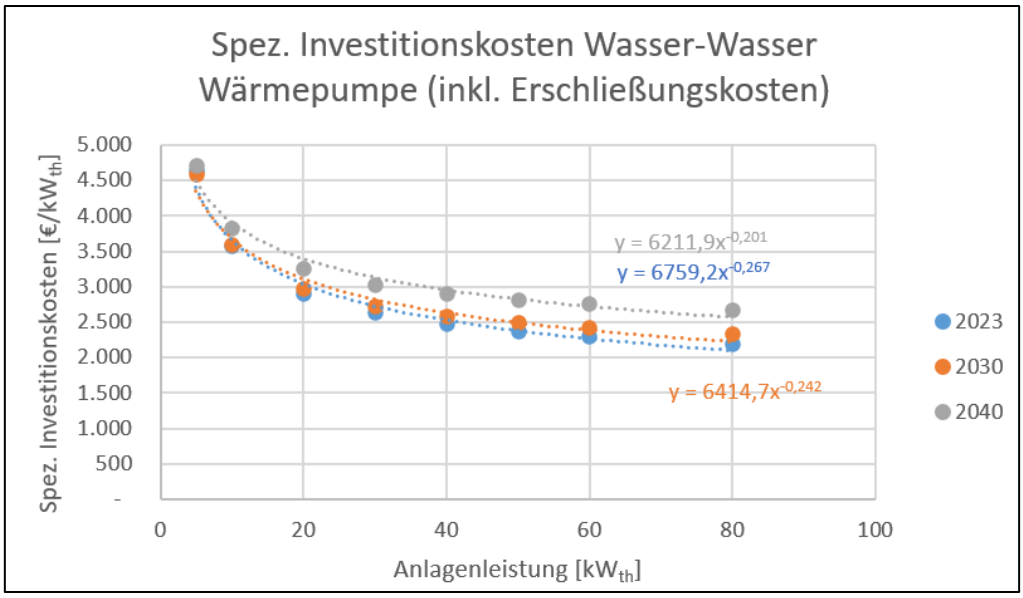


Abbildung 26: Investitionskosten für Grundwasserwärmepumpen gemäß Prognos AG et al. (Technikkatalog Wärmeplanung)

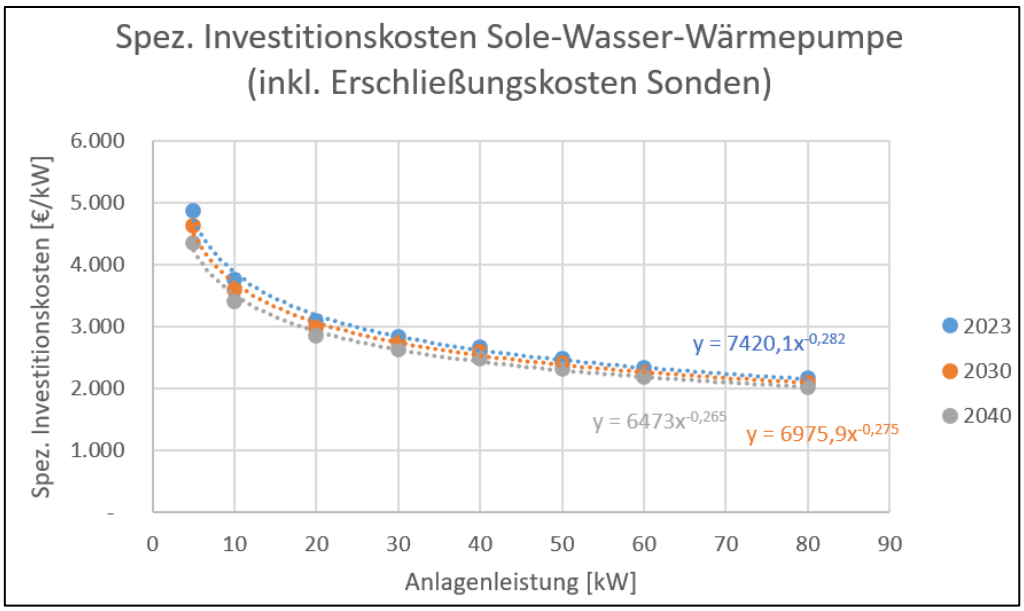


Abbildung 27: Investitionskosten für Sole-Wasser Wärmepumpen (Erdsonden) gemäß Prognos AG et al. (Technikkatalog Wärmeplanung)

Tabelle 19: Nutzungsdauer und Kosten von Wärmepumpen gemäß VDI 2067

Wärmepumpe	Wartung- und Instand-setzungskosten	Nutzungsdauer nach VDI 2067 (Jahre)
Luft/Wasser	2,5%	18,00
Sole/Wasser	2,5%	20,00
Wasser/Wasser	2,5%	20,00

4.3.2 Flusswasser

Die Stadt Waldkraiburg verfügt durch den Bau des Innkanals über zwei separate Flussstrecken, die sich potenziell für Flusswasserwärmepumpen eignen. Der Innkanal führt in ca. 20 km Länge zum Kraftwerk Töging. Das Laufkraftwerk Töging hat eine Leistung von 120 MW und erzeugt im Jahr ca. 697.500 MWh Strom. Die Wassermengen im Innkanal werden über die Wehranlage Jettenbach geregelt. Die Wehranlage gibt 35 bis 50 m^3/s in das ursprüngliche Flussbett ab (www.verbund.com). Das übrige Wasser wird in den Innkanal geleitet. Der Inn zeigt in der Stadt Wasserburg am Inn einen Mittlerer Abfluss (MQ) von 357 m^3/s (www.gkd.bayern.de). Laut dem Gewässerkundlichen Dienst Bayern verfügt der Inn bei Kraiburg über einen MQ von 102 m^3/s. Somit ergibt sich ein MQ-Wert von ca. 255 m^3/s für den Innkanal in Waldkraiburg. Die Wassertemperatur des Inns in Wasserburg liegt gemäß Gewässerkundlichem Dienst Bayern in einem typischen Jahr zwischen ca. 2 °C und 17 °C.

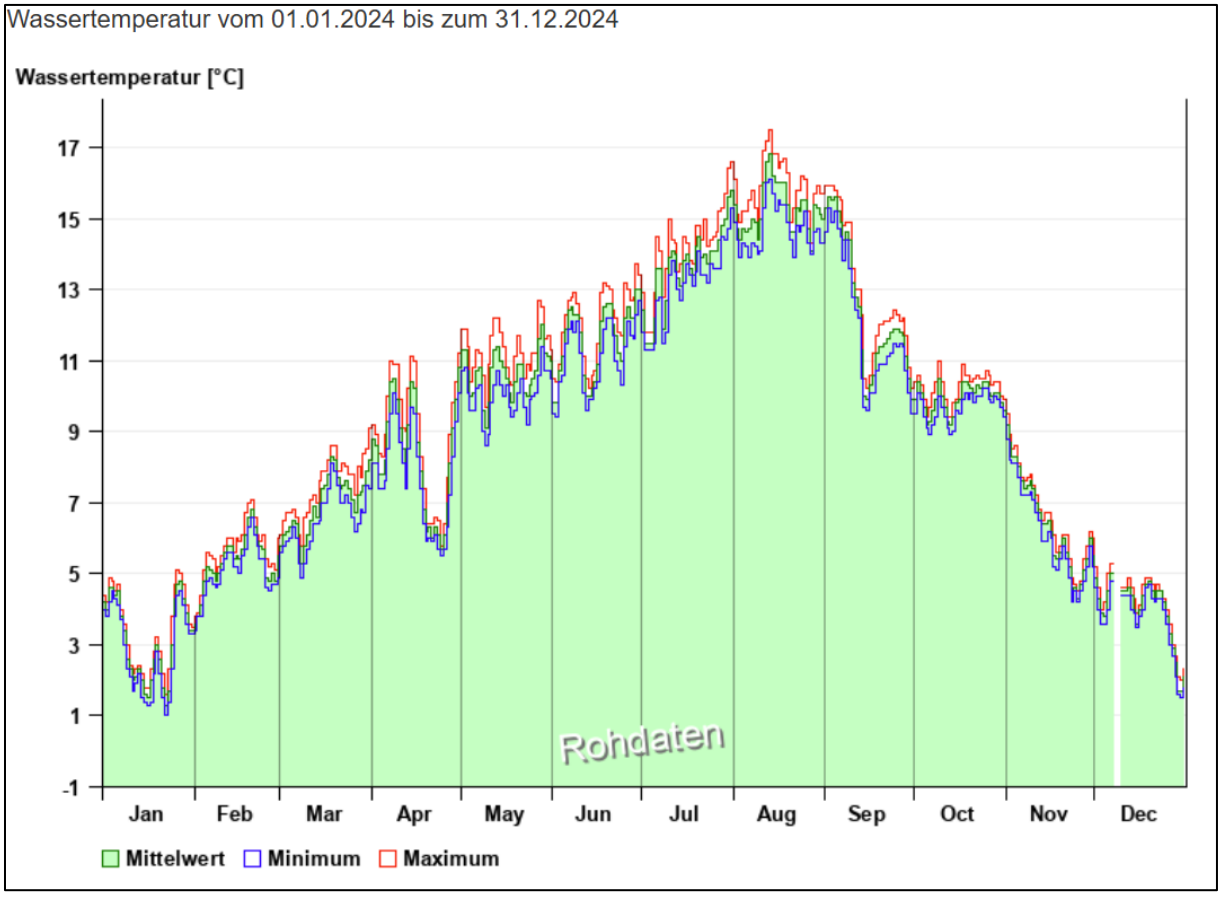


Abbildung 28: Übersicht der Wassertemperaturen im Inn an der Messstelle Wasserburg am Inn im Jahr 2024 Quelle: Gewässerkundlicher Dienst Bayern

Es wurde Rücksprache mit dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) Rosenheim gehalten, um zu ermitteln, wie viel Wasser des Inns über eine Flusswärmepumpe geleitet werden darf. Zudem wurde nachgefragt, um wie viel Grad das Wasser gekühlt werden darf. Gemäß Aussage des WWA darf ca. 1 m^3/s entnommen werden. Eine Abkühlung durch eine Wärmepumpe wird als unkritisch gesehen, eine Erwärmung (bspw. zur Kälteerzeugung) wäre nicht erlaubt. Eine potenzielle Flusswärmepumpe kann somit nicht zu Kühlzwecken genutzt werden.

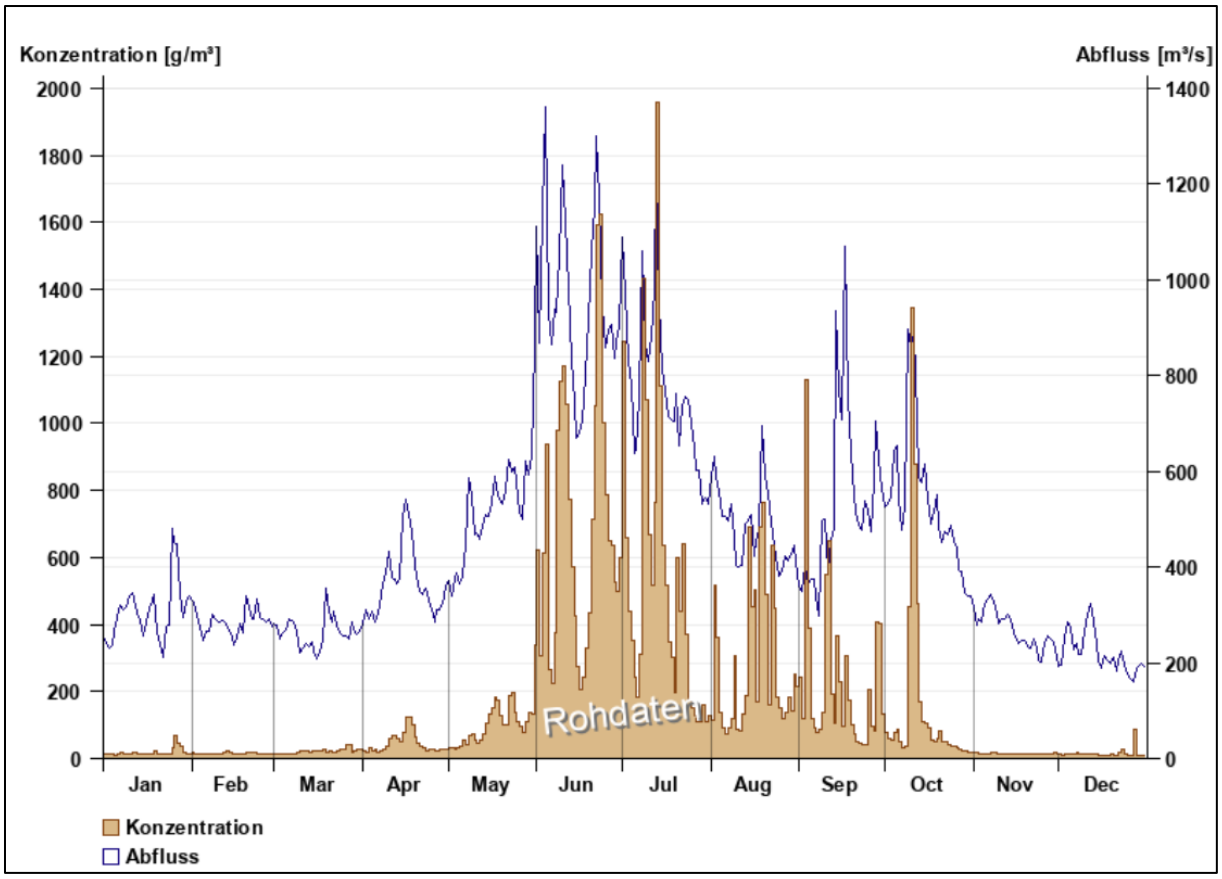


Abbildung 29: Abfluss und Schwebstoffmengen im Inn an der Messstelle Wasserburg am Inn im Jahr. 2024 Quelle: Gewässerkundlicher Dienst Bayern

Eine Flusswasserwärmepumpe darf das entnommene Wasser bis zu einer Mindesttemperatur von 3 °C abkühlen, um der Grundeisbildung ab 3 °C vorzubeugen. Wasser hat bei diesen Temperaturen eine spezifische Wärmekapazität zwischen 4,18 und 4,2 kJ/(kg·K). Mit einer Temperatursenkung von 2 K und einer Wasserentnahme von etwa 1.000 l/s könnten so 8.380 kJ/s oder 2,33 kWh/s Wärmeenergie gewonnen werden.

$$P_{Kälte} = 4.190 \frac{J}{kg * K} * \frac{1.000\ kg}{s} * 2K = 8.380\ kW$$

Mit dieser Kälteleistung können je nach eingesetzter Wärmepumpe und erforderlichem Temperaturniveau Heizleistungen von über 10 MW erreicht werden. Geht man konservativ von einer Heizleistung von 10 MW und 4.000 Volllaststunden pro Jahr aus, ergibt sich eine jährliche Wärmebereitstellung von rund 40 GWh. Da außerhalb der kältesten Tage in der Regel höhere Entzugsleistungen möglich sind, handelt es sich um eine vorsichtige Abschätzung.

In den Sommermonaten transportiert der Inn viele Schwebstoffe (Abbildung 29). Bei Hochwasser kann mehr als 1.000 g/m³ transportiert werden. Relativ regelmäßig wird 100 g/m³ überschritten. In den Wintermonaten reduziert sich die Menge an Schwebstoffen erheblich. Oft werden nur einstellige Werte gemessen. Der Anteil an Schwebstoffen hat einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer der Filter, die vor den Wärmetauscher installiert werden. Je nach geplanter Entnahmestelle und Art sind zudem unterschiedliche Aspekte wie die Gewässerunterhaltung, Geschiebeproblematik, natürliche Gewässerentwicklung/-verlagerung, Verklausung, Durchgängigkeit für Gewässerorganismen, Verwendung von wassergefährdenden Stoffen, Vereisungsproblematik etc. zu beachten.

4.3.3 Seewasser

Es sind keine ausreichend großen Seen in der Stadt Waldkraiburg vorhanden, die den Einsatz einer Seewasserwärmepumpe erlauben.

4.3.4 Luft

Die Umgebungsluft ist generell überall verwendbar, jedoch werden Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht immer präferenziell eingesetzt. Luft-Luft-Wärmepumpen eignen sich nicht für den Einsatz in einem Wärmenetz. Luft-Wasser-Wärmepumpen sind zwecks Lärmschutz gemäß Vorgaben des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (§ 22 Abs. 1 BImSchG) zu errichten und zu betreiben. Die oben beschriebenen Umweltwärmequellen erreichen höhere Effizienzzahlen als Luft-Wasser-Wärmepumpen und sind somit oft als vorrangige Option zu betrachten. Luft-Wasser-Wärmepumpen kommen vor allem in den Gebieten in Frage, wo entweder keine andere Umweltwärme mittels Wärmepumpen erschlossen werden kann oder bei zu großer Entfernung anderer Potenziale zu den Siedlungsflächen.[15]

Luft-Wasser-Wärmepumpen gibt es mittlerweile auch in höheren Leistungsbereichen bis zu mehreren hundert kW und sogar im MW-Bereich. Moderne Luft-Wasser-Wärmepumpen schaffen auch bei sehr niedrigen Temperaturen noch hohe Vorlauftemperaturen (z. B. von -12 °C auf 85 °C) mit oft akzeptablen COP-Werten. Die maximal erreichten Vorlauftemperaturen können für Low-Ex Wärmenetze und teilweise auch für normale Wärmenetze ausreichend sein.

Aufgrund des Lärm- und Sichtschutzes eignen sich vor allem landwirtschaftliche Flächen sowie Gewerbeflächen (inkl. Dachflächen, je nach statischer Eignung) für den Betrieb großer Luftwärmepumpen. Kleinere, dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpen lassen sich nahezu überall installieren und wirtschaftlich betreiben, vorausgesetzt der Abstand zu den benachbarten Gebäuden ist ausreichend. Auch in Altbauten kann der Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe sinnvoll und lohnenswert sein.

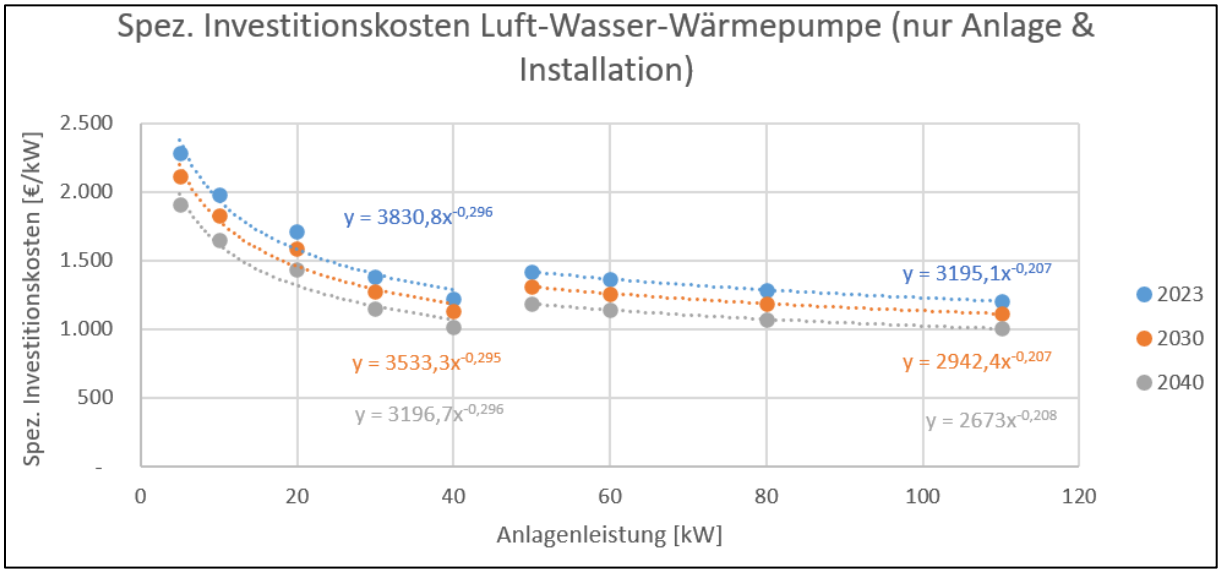


Abbildung 30: Investitionskosten für Luft-Wasser Wärmepumpen gemäß Prognos AG et al. (Technikkatalog Wärmeplanung)

[15] *Kommunale Wärmeplanung, Handlungsleitfaden.* 12.2020. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

4.3.5 Abwasser

Abwasser steht das ganze Jahr zur Verfügung und unterliegt relativ geringen Temperaturschwankungen. Durch Wärmeübertragung über Wärmetauscheranlagen kann dem Abwasser Energie in Form von Wärme entzogen werden. Über den Carnot-Prozess in einer Wärmepumpe kann so das Wasser eines externen Wasserzyklus auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und zum Heizen oder zur Warmwasserversorgung verwendet werden. Die Wärmerückgewinnung von Abwasser kann sowohl in der Kläranlage als auch in der Kanalisation stattfinden. Die Abwärme aus dem Kläranlagen-Auslauf ist jedoch aufgrund eines niedrigeren Feststoffvorkommens besser für Großwärmepumpen geeignet[16]. Ein Mindestdurchfluss von 15 l/s (Tagesmittelwert bei Trockenwetter) sowie Kanalquerschnitte von mindestens 800 mm werden oft gefordert[17]. Beim Kläranlagen-Auslauf können oft mehrere Grad K dem Wasser entzogen werden, da die Wassertemperatursenkung keine Prozesse mehr beeinflusst.

Die Abfluss-Daten der Kläranlage zeigen einen mittleren Durchfluss von 88 l/s. Wird das Wasser um 4 °C abgekühlt, so werden dem Klärwasser ca. 0,41 kWh/s entzogen. Je nach Art der Wärmepumpe können hiermit z.B. ca. 0,57 kWh/s an Wärme erzeugt werden. Bei ca. 4000 Volllaststunden ergibt dies eine Wärmemenge von 8.208 MWh. Das Abwasserpotenzial in Waldkraiburg zeigt sich in Folge als sehr hoch. Je nach Jahreszeit muss jedoch aufgrund der hohen Vorlauftemperaturen mit niedrigen COP-Werten und hohen Stromkosten gerechnet werden, wenn diese Wärmequelle für das bestehende Wärmenetz mit hohen Vorlauftemperaturen benutzt wird.

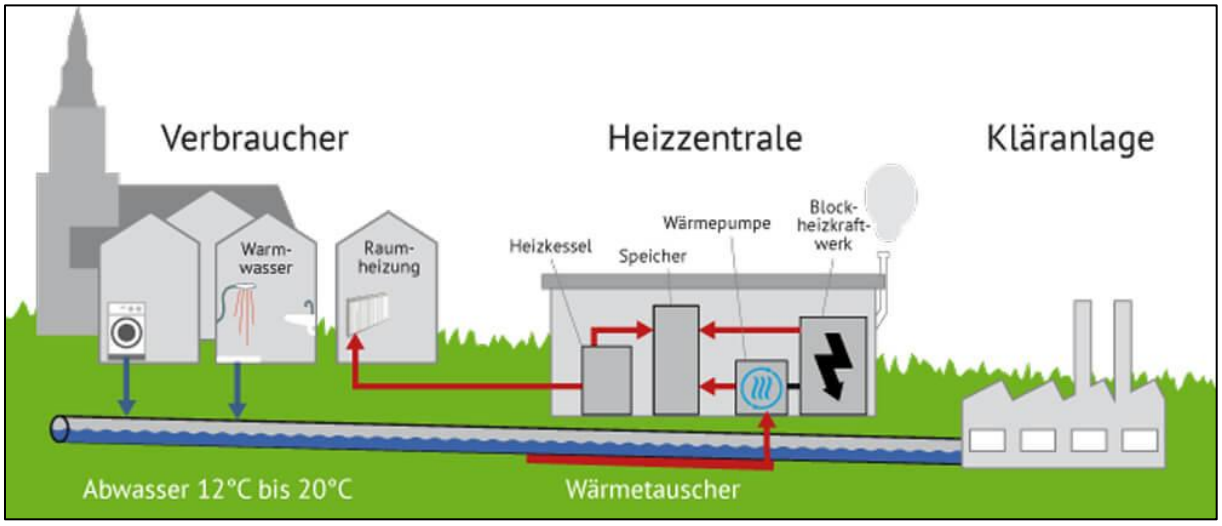


Abbildung 31: Funktionsprinzip der Abwasserwärmepumpe mit Wärmetauscher im Kanal Bildquelle: klima-jentzsch.de

[16] *Ratgeber Energie aus Abwasser.* 09.2019, Bundesverband Wärmepumpe e.V.
[17] Kleyböcker A. et al., *Factsheet – Heat recovery from wastewater*, EU H2020 (2023).

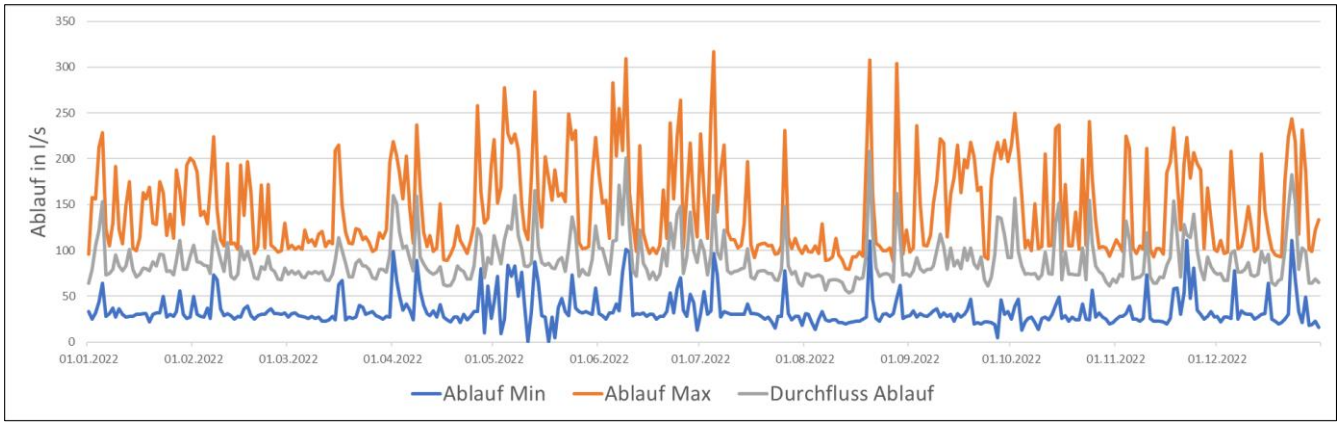


Abbildung 32: Ablaufwerte der Kläranlage der Stadt Waldkraiburg im Jahr 2022

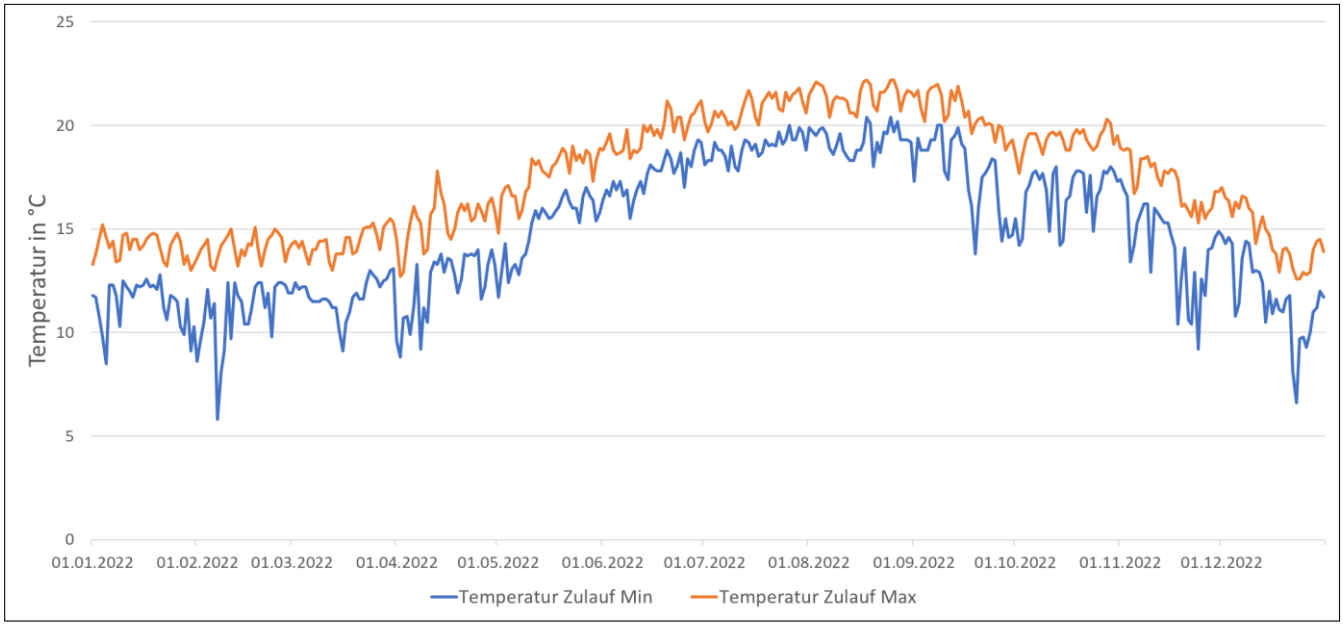


Abbildung 33: Temperaturwerte des Zulaufes der Kläranlage der Stadt Waldkraiburg im Jahr 2022

Die Kosten der Nutzung der Umweltwärme sind hauptsächlich abhängig von den Kosten der Wärmepumpen sowie von ggf. anfallenden Erkundungs- oder Naturschutzarbeiten. Je nach Erkundungsarbeit können bei eventuellen Bohrungen unterschiedliche Kosten entstehen. Auch bei den Wärmepumpen entstehen je nach Kältemittel, Quelltemperatur und Temperaturhub Preise mit hoher Schwankung, die sich bei größeren Wärmepumpen (> 1MW) z. B. zwischen 250 €/kW und 1.000 €/kW befinden. Bei kleineren Wärmepumpen beträgt diese Zahl oft mehr als 1.000 €/kW. Die nachfolgende Tabelle entstammt aus dem AGFW Praxisleitfaden für Großwärmepumpen (2023)[18]

[18] *Praxisleitfaden Großwärmepumpen.* 07.2023, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V

Spez. Investition (gesamt) in Mio. €/MW$_{th}$	Rauchgas	Abwasser	Abwärme	Grundwasser	Luft
0,5 – 1 MW$_{th}$	0,53 – 0,63	1,23 – 1,91	0,97 – 1,3	1,18 – 1,72	0,9 – 1,12
1 – 4 MW$_{th}$	0,46 – 0,53	0,72 – 1,23	0,72 – 0,97	0,77 – 1,18	0,73 – 0,9
4 – 10 MW$_{th}$	0,44 – 0,46	0,62 – 0,72	0,67 – 0,72	0,69 – 0,77	0,7 – 0,73

Abbildung 34: Spezifische Höhen der Gesamtinvestition von Großwärmepumpen in Abhängigkeit der genutzten Wärmequelle Quelle: AGFW Praxisleitfaden Großwärmepumpen (2023)

Zudem ist anzumerken, dass die Investitionskosten der Wärmepumpe nur ca. 50 % der Gesamtkosten ausmachen (Abbildung 35).

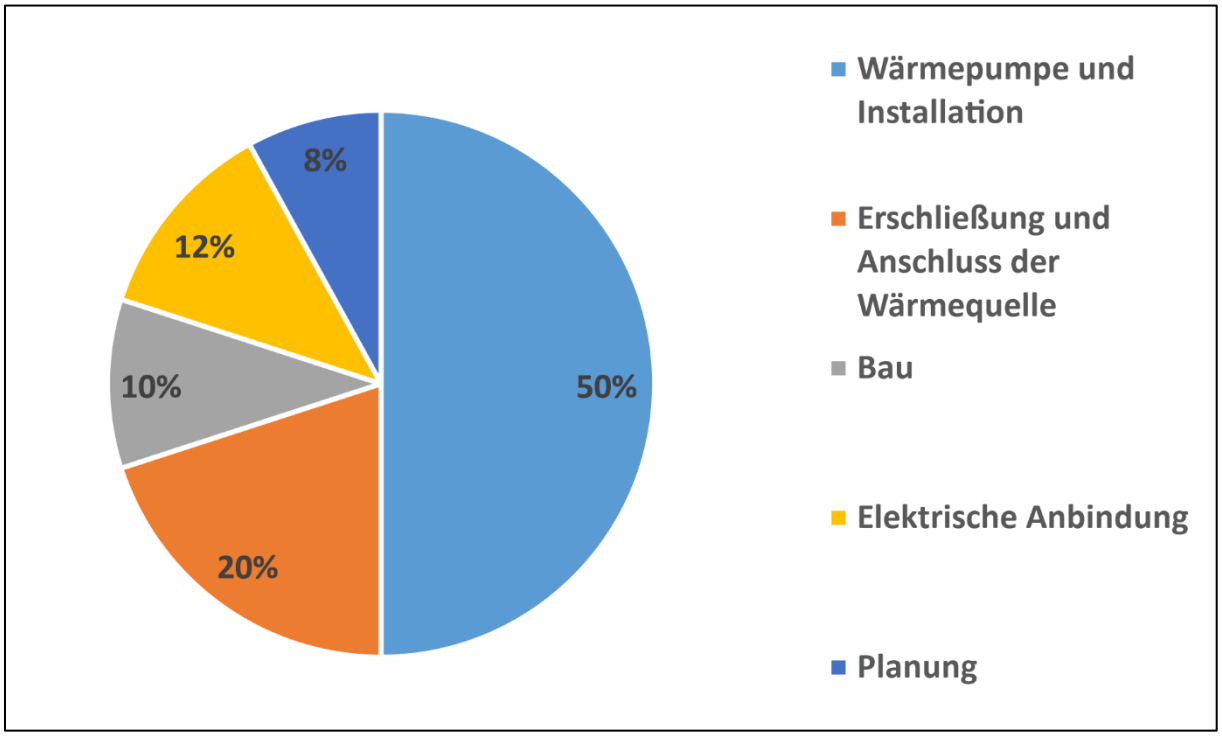


Abbildung 35: Aufteilung der Gesamtinvestition auf Einzelposten Quelle: AGFW Praxisleitfaden Großwärmepumpen (2023)

Die Nutzungsdauer und Kosten der drei verschiedenen Wärmepumpentechnologien gemäß VDI 2067 werden in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20:Nutzungsdauer und Kosten von Wärmepumpen gemäß VDI 2067

Wärmepumpe	Wartung- und Instand-setzungskosten	Nutzungs-dauer nach VDI 2067
Luft/Wasser	2,5%	18,00
Sole/Wasser	2,5%	20,00
Wasser/Wasser	2,5%	20,00

4.4 Tiefe Geothermie

4.4.1 Hydrothermale Geothermie

Im Gegensatz zur oberflächennahen Geothermie nutzt die Tiefengeothermie die hydrothermalen Aquifere in mehreren Tausend Metern Tiefe. Durch mindestens eine Förder- und eine Reinjektionsbohrung wird warmes Wasser aus der Tiefe nach oben befördert, die Wärme über Wärmetauscher abgegeben und anschließend wieder ins Erdreich zurückgepresst. Die gewonnene Wärme wird dann in ein Nah- oder Fernwärmenetz eingespeist. Ist das Temperaturniveau des Wassers ausreichend hoch (ca. 120 °C), kann damit auch Strom erzeugt werden. Die Stromerzeugung aus Tiefengeothermie hat gegenüber vielen anderen erneuerbaren Stromerzeugungsarten den Vorteil, dass sie grundlastfähig ist.

Abbildung 36 gibt Aufschluss darüber, wo aus geologischen Gründen in Waldkraiburg tiefengeothermische Stromerzeugung und Wärmegewinnung theoretisch möglich ist bzw. an welchen Stellen eine dezidierte Exploration der möglichen Aquifere Sinn machen könnte. Es wird deutlich, dass tiefengeothermische Wärmeversorgung aus geologischer Sicht im kompletten Stadtgebiet möglich sein könnte. Tiefengeothermische Stromerzeugung ist nur in etwa 10% der Stadt möglich.

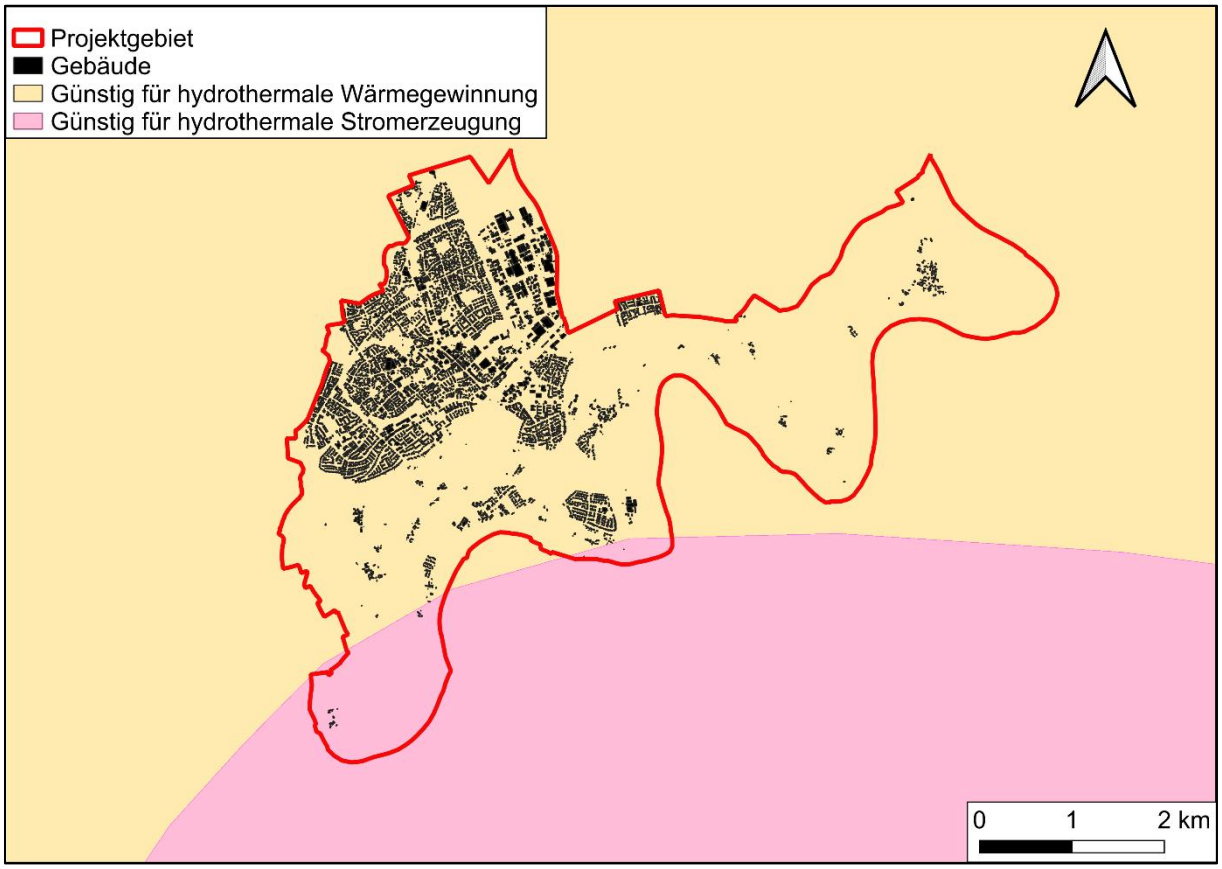


Abbildung 36: Übersicht der möglichen Gebiete für Tiefengeothermie in der Stadt Waldkraiburg Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de

Die wärmeführenden Schichten (Heißwasser-Aquifere) mit Temperaturen über 100 °C liegen – sofern vorhanden – in dieser Region gemäß GeotIS (www.geotis.de) in bohrtechnisch sehr gut erschließbaren Tiefen (ab ca. 2,5 km).

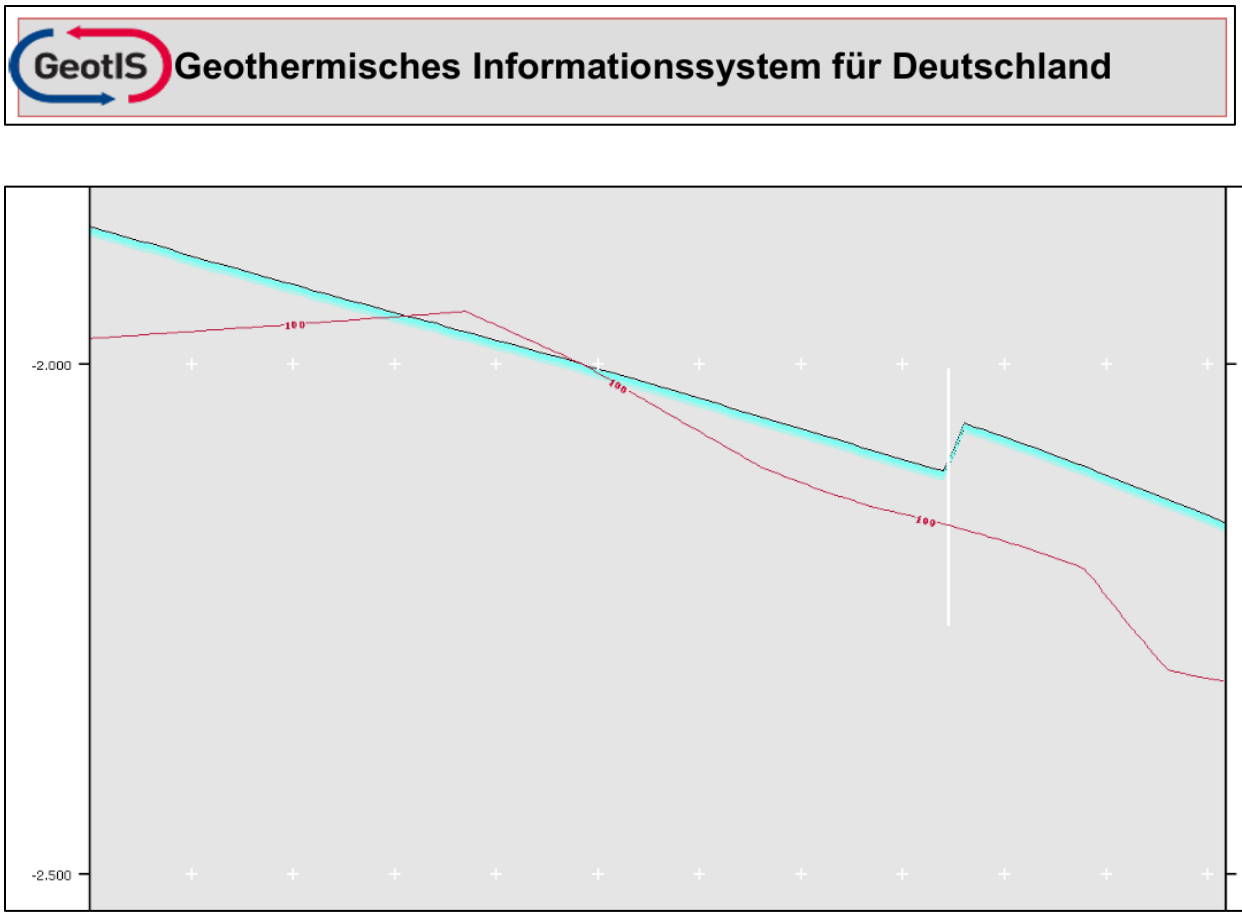


Abbildung 37: Heißwasser-Aquifere mit Temperaturen über 100 °C
Datenquelle: GeotIS, www.geotis.de

Die Geothermiegesellschaft verfügt bereits seit 2011 über eine tiefe Geothermie-Dublette. Bei dieser Anlage wird eine Wärmeleistung von 14 MW und Temperaturen von ca. 107,9 °C am Bohrkopf erreicht. Im Jahr 2022 wurde mit dieser Anlage ca. 38,172 GWh Wärme produziert. In der Tabelle 21 sind Kennzahlen zu der Bestandsanlage dargestellt.

Tabelle 21: Kennzahlen der bestehenden Geothermieanlage in Waldkraiburg

Gesamtwärmeproduktion 2012 - 2022	301.000 MWh
Wärmeproduktion 2022	38.172 MWh
CO_2 Einsparung	61.600 Tonnen (im Vergleich zu Erdgas)
Betriebsstunden 2022	8.595,2
Fördermenge	1.488.995 m^3
Druck Förderbohrung	25,84 bar
Temperatur Wellhead	107,9 °C
Stromverbrauch	2.057.251 kWh

Die erste Dublette wurde 2010/2011 abgeteuft und besteht aus zwei von einem Bohrplatz aus abgelenkten Bohrungen (Th1 und Th2). Der Landepunkt der Th2 Bohrung befindet sich etwa 1,8 km nördlich des Bohrplatzes, während der Landepunkt der Th1 Bohrung nur ca. 650 m südöstlich des Bohrplatzes liegt. Die Malm-Schicht wurde neben den Th1 und Th2 Bohrungen ebenfalls von den Bohrungen Ampfing 1, Giftthal 1, Garching 1 und Tacherting 1 erbohrt. Die Ampfing 1 Bohrung hat die Malm-Schicht bei einer Tiefe von 2.242 m unter GOK bis 2.776 m unter GOK und somit mit einer Mächtigkeit von 534 m angetroffen[19].

Eine zweite geothermische Dublette wird bereits geplant. Wie die erste Dublette wird auch diese Thermalwasser aus dem karbonatischen Untergrund des Malms erschließen, jedoch mit einer angestrebten Zirkulationsrate von ca. 145 l/s. Das geologische Profil in Waldkraiburg wird in der Tabelle 22 beschrieben.

[19] *Waldkraiburg Geothermie - 2. Dublette – Voruntersuchung.* 18.07.2023, TERRA Umwelttechnik GmbH

Tabelle 22: Geologisches Profil in Waldkraiburg Datenquelle: Waldkraiburg Geothermie - 2. Dublette - Voruntersuchung der TERRA Umwelttechnik GmbH vom 18.07.2023

Teufe (m u. GOK)	**Lithostratigraphie**	**Mächtigkeit (m)**
18	Quartär - Pürtener Terrasse	18
277,5	Baden – Sarmat, Obere Süßwassermolasse	259,5
792	Ottnang	514,5
812	Eggenburg	20
1.135	Ober-Eger (Aquitan)	323
1.672	Unter-Eger (Chatt)	537
1.922	Kiscell (Rupel)	250
1.988	Obereozän mit Ampringer Schichten	66
2.413,5	Kreide (Oberkreide + Unterkreide)	425,5
2.718	(ET) Purbeck + Malm (Mesozoikum)	304,5

Insgesamt ist das nötige Investment für Tiefengeothermie sehr hoch und mit großem Risiko negativer Bohrungsergebnisse behaftet. Außerdem sollte ein Mindestwärmebedarf bei vergleichsweise hoher Wärmebedarfsdichte vorhanden sein, um über den Wärmeverkauf die hohen Kosten der Exploration und Installation zu decken. Dies ist in Waldkraiburg nachweislich der Fall, sofern ausreichend hohe Anschlussquoten vor allem von Großverbrauchern erreicht werden.

Die Kosten einer tiefen Geothermieanlage sind vor allem abhängig von den Bohrkosten. Eine Verteilung der Bohrkosten gemäß AGFW Praxisleitfaden 2023[20] wird in Abbildung 38 dargestellt. Die technische Nutzungsdauer einer Geothermieanlage variiert in der Literatur und in der Praxis zwischen ca. 20 und 30 (manchmal sogar bis zu 40) Jahren. Für die Wartung und Instandhaltung können jährlich ca. 26.000 €/MW gerechnet werden. Zusätzlich kommen etwa 100.000 €/a an Öffentlichkeitsarbeit dazu[21].

[20] *Praxisleitfaden Tiefengeothermie*. 06.2023, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
[21] Ebd.

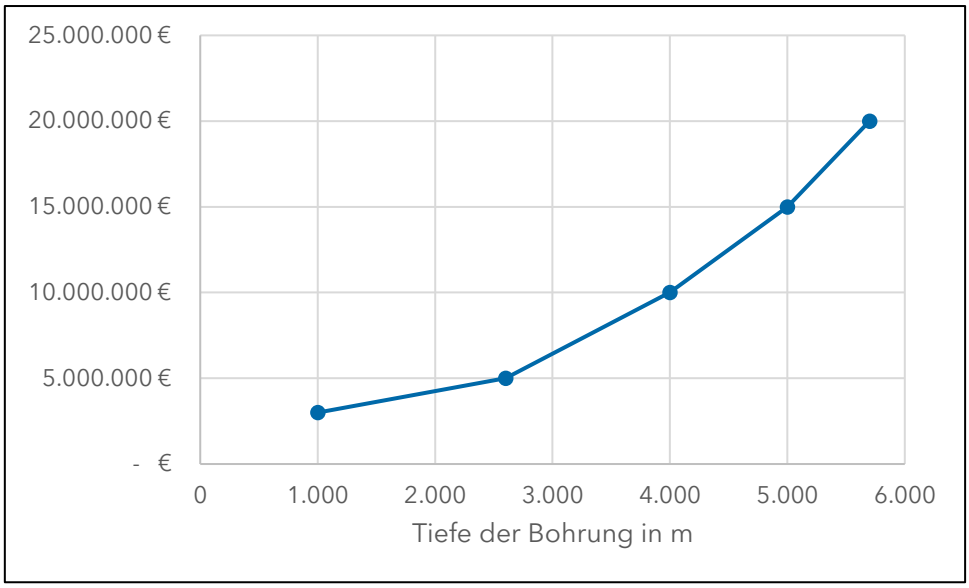


Abbildung 38: Kostenfunktion der Bohrkosten für eine Tiefengeothermieanlage Datenquelle: AFGW Praxisleitfaden Tiefengeothermie

Die Kosten einer tiefen Geothermieanlage sind vor allem abhängig von den Bohrkosten. Eine Verteilung der Bohrkosten gemäß AGFW Praxisleitfaden 2023[22] wird in Abbildung 38 dargestellt. Die technische Nutzungsdauer einer Geothermieanlage variiert in der Literatur und in der Praxis zwischen ca. 20 und 30 (manchmal sogar bis zu 40) Jahren. Für die Wartung und Instandhaltung können jährlich ca. 26.000 €/MW gerechnet werden. Zusätzlich kommen etwa 100.000 €/a an Öffentlichkeitsarbeit dazu[23].

4.4.2 Tiefe Erdwärmesonden

Eine weitere Option zur Nutzung der Tiefengeothermie ist die Einbringung von tiefen Erdwärmesonden. Dabei werden diese Sonden mehr als 400 m tief im Erdreich angebracht und befördern Wärme an die Oberfläche, welche mit Hilfe von hocheffizienten Wärmepumpen auf die nötige Vorlauftemperatur für Heizanlagen gebracht wird. Der Vorteil dieser Technik liegt darin, dass keine Heißwasser-Aquifere benötigt werden und damit das Fündigkeitsrisiko bei null liegt. Allerdings ist die erschließbare Leistung hier begrenzt auf wenige hundert kW, so dass sich diese Technik eher für einzelne Großverbraucher oder als Wärmequelle in kleinen Nahwärmenetzen eignet[24]. In der Regel werden, aufgrund der geringen Leistungen, nur bereits vorhandene Tiefbohrungen genutzt, um die Kosten gering zu halten und die tiefen Erdwärmesonden wirtschaftlich zu machen[25].Abbildung 39 zeigt die im Projektgebiet Waldkraiburg erfassten Bohrungen nach Tiefenklassen, basierend auf den Daten der Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

[22] *Praxisleitfaden Tiefengeothermie*. 06.2023, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.
[23] Ebd.
[24] *Erdwärme – die Energiequelle aus der Tiefe*. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Stand: April 2016
[25] *Praxisleitfaden Tiefengeothermie*. 06.2023, AGFW, Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.

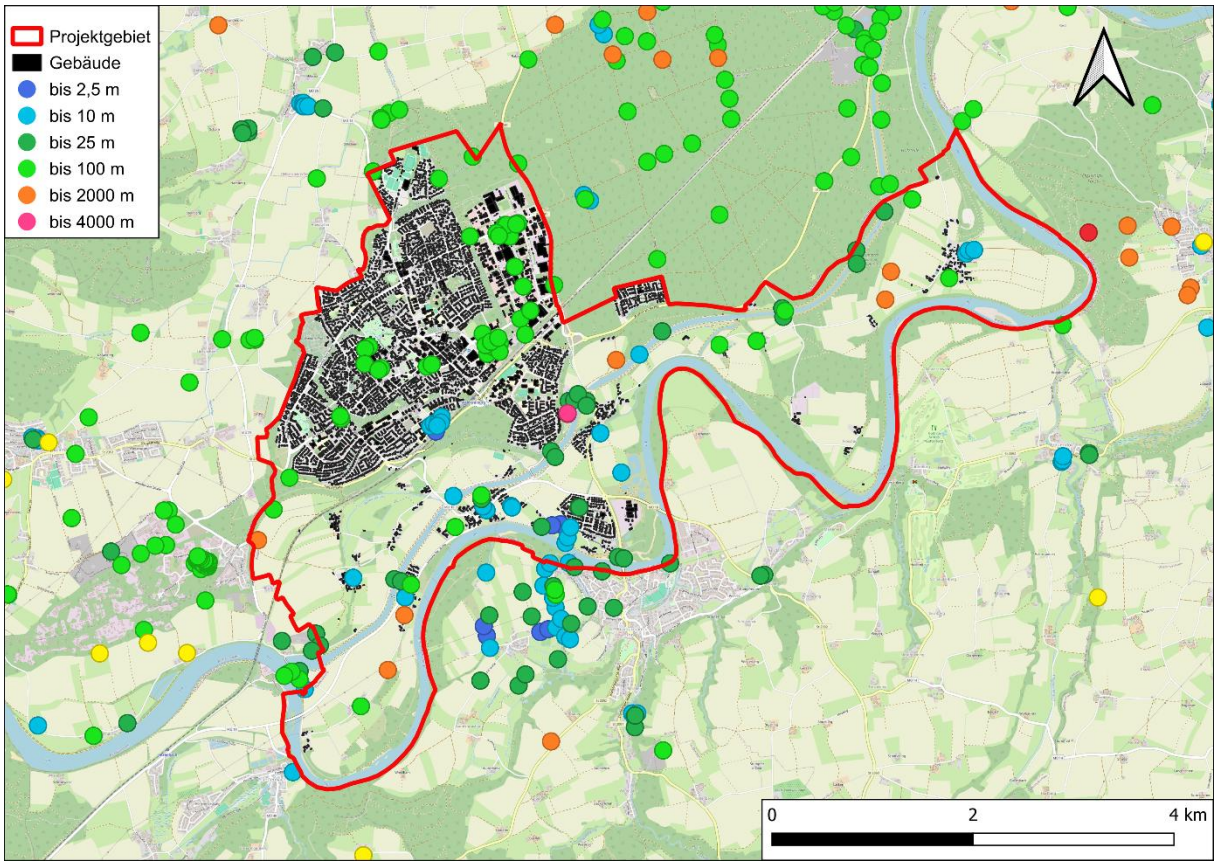


Abbildung 39:Bohrungen nach Tiefenklassen im Stadtgebiet Waldkraiburg
Quelle: Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Im Stadtgebiet von Waldkraiburg sind mehrere Tiefbohrungen mit Bohrtiefen zwischen rund 1.375 m und 1.970 m dokumentiert, die ursprünglich der Rohstofferkundung und -gewinnung dienten. Diese Bohrungen bieten jedoch kein nutzbares Potenzial für eine geothermische Nachnutzung. Darüber hinaus ist eine weitere Bohrung mit einer Tiefe von etwa 2.839 m verzeichnet, die bereits für geothermische Zwecke genutzt wird. Zusätzliche Potenziale für tiefe Erdwärmesonden ergeben sich somit derzeit nicht.

4.5 Biomasse

Laut der Flächenerhebung[26] aus dem Jahr 2023 bestehen in der Stadt ca. 667 ha landwirtschaftliche Fläche (30,9% des Projektgebiets) und etwa 469 ha Wald (21,8% des Projektgebiets). Insgesamt summiert sich die potenzielle Fläche für Biomasseproduktion auf 1.136 ha auf, was einen Anteil von 52,7% der Stadt ausmacht. Laut Energie-Atlas Bayern existiert derzeit für die Stadt Waldkraiburg ein Energiepotenzial aus Waldderbholz von 13.200 GJ, also umgerechnet 3.667 MWh. Reduziert auf eine Flächeneinheit wären das 6 GJ/ha oder 0,17kWh/m². Aus Flur- und Siedlungsholz könnte eine Energiesumme von 2.000 GJ bzw. 556 MWh generiert werden. Zudem gibt der Energie-Atlas Bayern ein Ertragspotenzial für Pappeln auf Kurzumtriebsplantagen mit 16.030 Gj/a an, dieses Potenzial ist jedoch nur theoretisch vorhanden, da hier alle Ackerflächen mit geringer Ackerzahl (≤40) mit guter Wasserversorgung als geeignete Flächen ausgewiesen werden. Tabelle 23 fasst alle Werte zusammen.

[26] *Statistik kommunal 2023* – Bayerisches Landesamt für Statistik, Fürth 2024

Tabelle 23: Biomassepotenzial in Waldkraiburg Quelle: Energie-Atlas Bayern

Biomasse-Art	Energiepotenzial [GJ]	Energiepotenzial [MWh]
Waldderbholz	13.200	3.667
Flur- und Siedlungs-holz	2.000	556
Ertragsholz für Pap-peln	16.030	4.453
Summe	31.230	8.676

Ein zusätzliches Biomassepotenzial befindet sich in den verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzungsvarianten. Gemäß Energie-Atlas Bayern gibt es in Waldkraiburg insgesamt ein technisches Biogaspotenzial von 1.150.493 m^3_{CH4}/a. Dabei ergibt 1 m^3_{CH4} etwa eine Wärmemenge von ca. 10 kWh[27]. Somit resultiert ein Gesamtpotenzial durch Biogas von 11.505 MWh/a. Die potenziellen Biogaserträge sind in Tabelle 24 aufgelistet.

Tabelle 24: Biogaspotenzial in Waldkraiburg Quelle: Energie-Atlas Bayern

Sektor	**Biogaspotenzial**
Pflanzliche Biomasse	**5.295 MWh/a (39,8%)**
Organischer Abfall	**2.738 MWh/a (23,8%)**
Davon kommunales Biogut (Biotonne)	8,9%
Davon kommunales Grüngut	14%
Davon Organik im Hausmüll	38,6%
Davon gewerbliche organische Abfälle	37,4%
Davon Landpflegeabfälle	1,2%
Gülle und Festmist	**3.472 MWh/a (30,2%)**
Davon Gülle	56,9%
Davon Festmist	43,1%
Summe	**11.505 MWh/a**

Die intensive Nutzung von Biomasse bzw. Biomethan ist für die dezentrale Versorgung oder auch für zukünftige Wärmenetze kritisch zu betrachten, denn derzeit werden klimaneutrale Heizanlagen immer häufiger auf Basis von Hackschnitzelanlagen gebaut. Der Holzbestand in Deutschland kann die aktuell anwachsende Nachfrage langfristig nicht decken. Eine mögliche Folge daraus ist, dass die steigende Nachfrage nach Holz und die damit verbundenen potenziellen Engpässe in der

[27] Faustzahlen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., verfügbar auf https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen

Biomasseproduktion zu steigenden Preisen führen werden. Eine EU-weite Lieferung von Biomasse ist derzeit nicht vorgesehen oder gewünscht.

Es ist zudem zu beachten, dass Biomasse nur unter spezifischen Bedingungen als klimaneutral bewertet werden kann. Klimaneutralität ist dann gegeben, wenn die eingesetzte Biomasse nachwächst und dadurch nahezu die gleiche Menge an CO_2 wieder gebunden wird. Da immer mehr Biomasseheizungen eingesetzt werden und das nachhaltige Potenzial in Deutschland und in den umliegenden Ländern begrenzt ist, kann nicht mehr in allen Fällen von tatsächlich nachhaltiger Biomasse gesprochen werden. Das Umweltbundesamt publizierte im Herbst 2024 eine neue Beurteilung von CO_2-Faktoren verschiedener Energieträger.[28] Holz- und Pelletheizungen liegen hier zwischen 0,343 und 0,404 g/kWh und somit höher als Erdgas und Heizöl. Eine Publikation der Landesgesellschaft für Energie und Klimaschutz NRW.Energy4Climate GmbH zieht Daten von verschiedenen Publikationen zusammen.[29] Aus diesen Publikationen leitet die NRW.Energy4Climate GmbH ab, dass ca. 75 % des nachhaltigen Potenzials in Deutschland bereits genutzt wird.

Die Kosten von Biomassekesseln variieren je nach Leistung. Wo sich kleinere Kessel (10–100 kW) zwischen 250 und 2.000 €/kW bewegen, sind größere Kessel bereits ab ca. 150 €/kW verfügbar. Die jährlichen Kosten und die Nutzungsdauer von Biomasseanlagen werden in Tabelle 25 dargestellt. Die Kostenstruktur von Holzhackschnitzelanlagen[30] wird in Abbildung 40 dargestellt. Die Grafik zeigt, dass die Anschaffungskosten der Kessel nur ca. ein Drittel der Investition ausmachen.

Tabelle 25:Nutzungsdauer und Kosten von Biomassekessel gemäß VDI 2067

Biomasse	Wartung- und Instandsetzungskosten	Nutzungsdauer nach VDI 2067
Hackschnitzel	6,0%	15,00
Pellets	6,0%	15,00

[28] *UBA-CO_2-Rechner: Neue Berechnungsgrundlage bei Holzenergie*. 07.11.2024, Umweltbundesamt. Verfügbar auf: https://www.umweltbundesamt.de/uba-co2-rechner-neue-berechnungsgrundlage-bei#33wo-finde-ich-uba-publikationen-und-weitere-informationen-zu-dem-thema

[29] *Nachhaltiger Einsatz von Biomasse*. 01.2023, NRW.Energy4Climate GmbH

[30] *Bericht: Biomasseheizungen für Wohngebäude mit mehr als 1.000 m^2 Gesamtnutzfläche*. 2007, Bremer Energie Institut

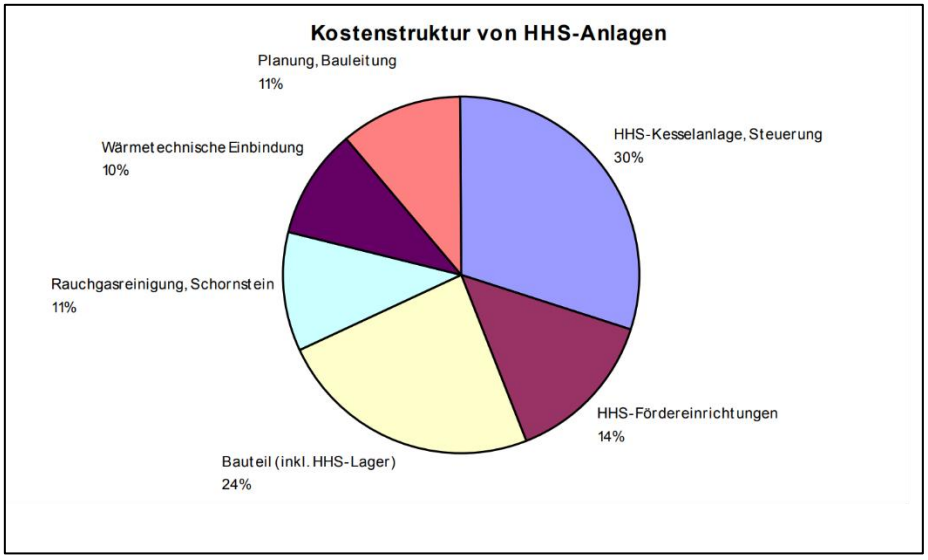


Abbildung 40:Kostenstruktur von Holzhackschnitzelanlagen
Quelle: Bremer Energie Institut

4.6 Thermische Abfallbehandlungsanlagen

Die Stadt Waldkraiburg ist als Teil des Landkreises Mühldorf bereits Mitglied des Zweckverbandes Abfallverwertung Südostbayern (ZAS). Mit dem Standort in Altötting wird seit 1994 ein Müllheizkraftwerk betrieben. Die Errichtung einer eigenen Anlage für Waldkraiburg ist somit als nicht sinnvoll zu betrachten. Eine Klärschlammverbrennungsanlage gibt es in Waldkraiburg nicht. Die Stadt Waldkraiburg ist hinsichtlich der Einwohnerzahl nicht sehr groß, daher fallen nur geringe Mengen Klärschlamm an. Der Bau einer Monoverbrennungsanlage ist generell erst ab großen Mengen Klärschlamm wirtschaftlich und effizient[31]. Für die Stadt Waldkraiburg kommt diese Option momentan nicht in Frage.

4.7 KWK-Anlagen

Das Klärgas der Kläranlage wird über ein BHKW in der Kläranlage bereits benutzt (Eigenstromgewinnung sowie Wärmenutzung im Klärwerk). Hier ergibt sich somit kein zusätzliches Potential.

Das Potenzial für Biogas wurde bereits im Kapitel Biomasse behandelt.

Die hohe Temperatur und die Leistung der Geothermieanlage wird aktuell für die Wärmeversorgung verwendet. Eine Verstromung ist somit aktuell nicht möglich.

Potenzielle Standorte für erdgasbetriebene KWK-Anlagen werden aufgrund der fossilen Energieträgerart hier nicht weiter betrachtet. Wasserstoffbetriebene KWK-Anlagen könnten zukünftig in der Stadt möglich sein, allerdings ist die Wasserstoffversorgung vorerst nicht für die private Wärmeversorgung vorgesehen. Im nachfolgenden Kapitel sind mehr Informationen zum Thema Wasserstoff in der Stadt Waldkraiburg zu finden.

[31] *FAQ zum Bau und Betrieb einer geplanten Klärschlammverbrennungsanlage in Köln-Merkenich*. Stand: 01.12.2021, StEB Köln

4.8 Wasserstoff

Wasserstoff ist in der Wärmeversorgung ein umstrittenes Thema. Am 22. Oktober 2024 genehmigte die Bundesnetzagentur (BNetzA) gemäß § 28q EnWG den Antrag der Fernleitungsnetzbetreiber (FNB) zur Errichtung des Wasserstoffkernnetzes in Deutschland. Das Kernnetz soll große Verbrauchs- und Erzeugungsstandorte von Wasserstoff in Deutschland verbinden und als langfristige Planungsgrundlage für die industriellen Großabnehmer dienen. Nach derzeitigem Planungsstand wird das Kernnetz zu 56 % aus umgewidmeten Erdgasleitungen bestehen.[32] Eine große Unsicherheit liegt im Moment in der Höhe der zukünftig aufgerufenen Preisen. Die Prognosen, die aktuell in der Presse kursieren sind oftmals Bereitstellungskosten. Diese lassen allerdings außer Acht, dass der Wasserstoff in einem Markt gehandelt wird und sich dementsprechend ein Preis einstellen wird, in dem die Renditeerwartungen der Investoren und Anlagenbetreiber einkalkuliert sind. Zudem ist es wahrscheinlich, dass Anlagenbetreiber bzw. Exportländer mit günstigen Bereitstellungskosten ihre Marge erhöhen werden und auch zum globalen Wasserstoffpreis anbieten, anstatt die günstigen Standortvorteile an die Kunden weiterzugeben. Die Ergebnisse des „HYPAT"-Projektes von u.a. dena und Fraunhofer (ISE, ISI und IEG) prognostiziert für 2045 Großhandelspreise für Wasserstoff in Deutschland von 132 €/MWh, ohne Verteilnetzkosten zu berücksichtigen. Ein Einsatz von Wasserstoff in Gebäudewärme wird daher als unwahrscheinlich gesehen. [33]

Für Waldkraiburg ergibt sich ein langfristiger und derzeit unsicherer Zeithorizont im Hinblick auf eine mögliche Versorgung mit Wasserstoff. Nach Angaben von bayernets[34] sowie aus dem Austausch mit Energie Südbayern (ESB) ist frühestens ab 2045 mit einer Wasserstoffleitung im Bereich der Stadt zu rechnen. Konkrete Planungen zu einem Anschluss oder zur Einbindung lokaler Abnehmer liegen aktuell jedoch nicht vor. Aufgrund der großen zeitlichen Distanz, der bislang fehlenden Anschlusskonzepte sowie der weiterhin bestehenden technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Unsicherheiten ist ein praktischer Nutzen für die kommunale Wärmeversorgung frühestens langfristig nach 2045 vorstellbar. Eine belastbare Einschätzung des realisierbaren Potenzials ist zum jetzigen Zeitpunkt daher nicht möglich.

4.9 (Groß)Wärmespeicher

Wärmespeicher gibt es heutzutage in zahlreichen Varianten. In diesem Kapitel wird zuerst kurz auf die verschiedenen Varianten und Möglichkeiten eingegangen.

4.9.1 Pufferspeicher

Pufferspeicher speichern Wärme (oder Kälte) über kurze Zeiträume. Im Normalfall sind hiermit einige Stunden bis maximal Tage gemeint. Pufferspeicher bestehen aus einen wassergefüllten Stahlbehälter, der außenseitig mit Wärmedämmung versehen wurde. Pufferspeicher werden oberirdisch gebaut. In Fernwärmenetzen können Pufferspeicher zur kurzfristigen Spitzenlastabdeckung genutzt werden. Pufferspeicher werden von sehr klein (< 1 m^3 für Einfamilienhäuser) bis sehr groß (8.000 m^3) hergestellt. In Wärmenetzen werden normalerweise Pufferspeicher zwischen ca. 50 und 500 m^3 eingesetzt. Zudem werden oft, z. B. aus Platzgründen, mehrere kleinere Pufferspeicher gebaut.

[32] https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html aufgerufen 10.02.2025
[33] https://hypat.de/hypat/ aufgerufen 10.02.2025
[34] bayernets - erdgas, transport, systeme: H2 Netze (24.11.2025)

4.9.2 Saisonalwärmespeicher / Langzeitwärmespeicher

Es gibt verschiedene Arten von Saisonalwärmespeichern, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

Behälter

Behälter-Wärmespeicher (TTES) werden zum Großteil in den Boden integriert und aus Ortbeton gegossen. Die Innenseite des Behälters besteht aus Edelstahl- oder Schwarzstahlblech. Neuere Behälter gibt es mittlerweile auch ohne Beton und Stahlblech in GFK– oder Stahlkonstruktion. Der Boden, das Dach und die Wände eines Behälters sind mit Schaumglasschotter (Boden) oder Blähglasgranulat (Wand und Dach) gedämmt. Behälter-Wärmespeicher verfügen über Schichtbeladeeinrichtungen, um eine Abkühlung aufgrund von Durchmischung der Temperaturschichten zu vermeiden.

Das Medium von Behälter-Wärmespeichern ist Wasser. Behälter-Wärmespeicher können für drucklose Konditionen oder für Innendruck-Konditionen angefertigt werden. Drucklose Behälter können Temperaturen bis etwa 95 °C aushalten. Zusätzlich befestigte Behälter können über 100 °C standhalten.

Behälter-Wärmespeicher werden erst ab einer Größe von 1.000 m^3 energetisch effizient. Bereits errichtete Anlagen reichen bis zu ca. 12.000 m^3. GFK-Konstruktionen reichen nur bis ca. 6.000 m^3. Die Anlagen können in die Landschaft integriert werden, indem sie mit Bewuchs (z. B. Gras) versehen werden. Der aus dem Boden herausschauende Teil wird so nur als Grashügel wahrgenommen und ist für Personen begehbar. Der Boden soll eine hohe Belastbarkeit und einen tiefen Grundwasserstand (am besten unterhalb der Baugrubensole) aufweisen.

Behälter-Wärmespeicher mit dem Medium Wasser weisen eine geringe Trägheit auf. Sie eignen sich somit gut für die schnelle Abdeckung von Spitzenlasten.

Die Wärmespeicherkapazität von Behälter-Wärmespeichern liegt zwischen 60 und 80 kWh/m^3.[35]

Erdbecken

Erdbecken (PTES) sind im Vergleich zu Behälter-Wärmespeichern flacher mit einer größeren Oberfläche. Erdbecken werden, wie der Namen schon sagt, ebenfalls in den Boden eingebaut. Werden die Seitenwände mit einem Verbau (z. B. Spundwand, Berliner Verbau, Bohrpfahlwand) versehen, so kann der Boden ggf. flach sein. Lässt die oberflächennahe Geologie es zu, sind jedoch geböschte Varianten billiger in der Herstellung. Der Boden und die Wände des Erdbeckens werden entweder durch Blähglasgranulat oder durch Membranschalung gedämmt. Erdbecken der Übergrößen können sogar ohne Dämmung hergestellt werden. Das Dach des Erdbeckens wird entweder durch einen gedämmten schwimmenden oder durch einen gedämmten aufliegenden Deckel abgeschlossen.

Das Medium von Erdbecken besteht entweder aus reinem Wasser oder aus einer Mischung von Wasser und Kies, oder Wasser und Erdreich. Zwar ist die Wärmespeicherfähigkeit von reinem Wasser höher als von den gemischten Varianten, jedoch ist die Tragfähigkeit von Wasser geringer (wichtig für das Dach und dessen Nutzbarkeit), und die entstehende Temperaturschichtung höher. Je höher der Mischanteil ist, umso niedrigere Temperaturen werden erreicht, und umso träger wird das Medium (und somit weniger geeignet für eine schnelle Spitzenlastabdeckung). Für eine vergleichbare

[35] *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Wärmekapazität ist ein Erdbecken mit einem gemischten Medium somit viel größer auszulegen, jedoch sind die Baukosten dafür geringer.[36] In Erdbecken können Temperaturen von 80–95 °C erreicht werden[37] [38].

Erdbecken können indirekt (Wasserkreislauf kommt nicht in direkte Berührung mit dem Medium) oder direkt beladen werden. Bei der direkten Beladung und Entnahme sind, je nach Mischanteil, Filter einzusetzen. Wird nur reines Wasser benutzt, können auch bei Erdbecken Schichtbeladeeinrichtungen eingesetzt werden.

Auch für Erdbecken gilt eine Mindestgröße von 1.000 m^3. Bestehende Erdbecken reichen bis zu 230.000 m^3. Der Boden soll wie bei den Behälter-Wärmespeicher eine hohe Belastbarkeit und einen tiefen Grundwasserstand (unterhalb der Baugrubensole) aufweisen.

Die Wärmespeicherleistung von Erdbecken ist abhängig von der Mischung des Mediums. Erdbecken mit einer Wasser-Kies-Mischung erreichen Wärmespeicherkapazitäten von 30–50 kWh/m^3 (1,3–2 Wasseräquivalent).[39]

Erdsonden

Erdsonden fungieren sowohl als direkte Wärmequelle als auch als Wärmespeicher. Voraussetzungen für Erdsonden sind unter anderem ein geeigneter geologischer Bodenaufbau. Geeignete Flächen für Erdwärmesonden werden im Kapitel 4.3.1.1 angezeigt. Der Wärmespeicherkapazität der Erdwärmesonden ist abhängig von den geologischen und hydrogeologischen Bedingungen. Grundwasserbewegungen können hohe Wärmeverluste verursachen. Je nach den Bedingungen kann der Untergrund bis ca. 80–90 °C erwärmt werden[40]. In Deutschland gibt es hierfür jedoch strenge Regeln (gemäß VDI 4640). Bei Speichertemperaturen über 40 °C sind Einflüsse auf konkurrierende Grundwassernutzungen bei der Anlagenplanung auszuschließen.

Erdwärmespeicher (BTES) werden normalerweise durch Solarthermieanlagen oder ähnlichem in den Sommermonaten mit Wärme befüllt. Die Wärme wird über das Medium Wasser durch die Erdsonden geführt, an das Verfüllmaterial und nachfolgend an den Untergrund weitergegeben. Für die Wärmeentnahme wird die Strömungsrichtung umgedreht. Erdsondenfelder können von der Oberseite mit einer Deckschicht versehen werden, die das Eindringen von Oberflächenwasser verhindert. Eine Wärmedämmung kann zur Oberfläche hin eingerichtet werden, jedoch nicht in andere Richtungen.

Erdsondenfelder sind ab einem Speichervolumen von ca. 20.000 m^3 sinnvoll und erreichen Wärmedichten von ca. 15–30 kWh/m^3 (3–6 Wasseräquivalent)[41].

Der Untergrund zeigt eine hohe Trägheit auf, wodurch Erdsondenwärmespeicher nicht für die Spitzenlastabdeckung geeignet sind. Die Vorteile von Erdsondenfeldern liegen vor allem in den geringeren Baukosten und den Erweiterungsmöglichkeiten.

[36] *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
[37] Addous, M. A. *Berechnen der Größe von Wasserspeichern zum saisonalen Speichern von Wärme bei der ausschließlichen Wärmeversorgung von Häusern mit Solarkollektoren* (Doctoral dissertation, Freiberg (Sachsen), Techn. Univ., Diss., 2006).
[38] *Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling*. 03/2020, IEA DHC
[39] *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
[40] *Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling*. 03/2020, IEA DHC
[41] *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Aquifer

Ein Aquifer-Wärmespeicher (ATES) ist abhängig von einem bereits bestehenden Aquifer im Untergrund, welcher mit Brunnenbohrungen erschlossen wird. Das Grundwasser, das geologisch eingeschlossen sein muss, dient als Speichermaterial. Nicht jeder Aquifer ist aufgrund des Mindestvolumens und der Mindestschichtstärke als saisonaler Wärmespeicher geeignet. Für Aquifer-Wärmespeicher werden „kalte" und „warme" Brunnen eingesetzt. Für die Beladung des Aquifers wird das kalte Wasser entnommen, durch z. B. Solarthermieanlagen aufgeheizt, und in die warmen Brunnen eingeleitet. Es können sich im Untergrund horizontale und vertikale Temperaturschichten bilden.[42] Der Großteil der geeigneten Aquifere liegt in Tiefen von mehr als 100 m, somit ist eine Wärmedämmung nicht möglich. Aufgrund der relativ hohen Wärmeverluste sind Aquifer-Wärmespeicher oft erst ab größeren Größen wirtschaftlich nutzbar.

Die Größe des Wärmespeichers ist abhängig von der Größe des Aquifers. Von oben sind immer nur die Brunnen sichtbar. Die übrige Fläche ist weiterhin normal nutzbar. Die maximale Speichertemperaturen sind von den lokalen Bedingungen (Wasserchemie) abhängig. Bei schlechten Bedingungen können Belagsbildung, Verstopfung, Korrosion und Lösungserscheinungen resultieren. Zudem sind die geochemischen und ökologischen Einflüsse von höheren Speichertemperaturen (70–120 °C) noch Teil der Forschung.[43] In Bestandsprojekten wird bereits mit Temperaturen von bis zu 90 °C gearbeitet (Gouda)[44].

Tabelle 26: Übersicht der Eigenschaften der gängigen Saisonalspeicheranlagen

Speichertyp	Medium	Max. Temperatur	Mindestvolumen	Trägheit	Wärmespeicherkapazität
Behälter	Wasser	>100 °C	1.000 m³	–	60 – 80 kWh/m³
Erdbecken	Wasser / Wasser-Kies	95 °C	1.000 m³	Wasser: – Wasser-Kies: +	Wasser: 60 – 80 kWh/m³ Wasser-Kies: 30 – 50 kWh/m³
Erdsonden	Untergrund	90 °C	20.000 m³	++	15 – 30 kWh/m³
Aquifer	Grundwasser	90 °C	Lokal zu bestimmen, meist sehr groß	+	30 – 40 kWh/m³

[42] Ebd.
[43] Fleuchaus, P., Schüppler, S., Stemmle, R., Menberg, K., & Blum, P. (2021). Aquiferspeicher in Deutschland. Grundwasser, 26(2), 123-134.
[44] Addous, M. A. Berechnen der Größe von Wasserspeichern zum saisonalen Speichern von Wärme bei der ausschließlichen Wärmeversorgung von Häusern mit Solarkollektoren (Doctoral dissertation, Freiberg (Sachsen), Techn. Univ., Diss., 2006).

Thermochemische Wärme- und Kältespeicher

Thermochemische Wärmespeicher basieren auf chemisch reversiblen Reaktionen sowie Ab- und Adsorptionsprozessen. Es können sehr hohe spezifische Wärmekapazitäten erreicht werden. Bei der Speicherbeladung werden chemische und / oder physikalischen Reaktionen durch zugeführte Wärme bewirkt. Die Entladung basiert auf der Umkehrbarkeit dieser Reaktionen. Je nach Medium können Temperaturen zwischen ca. 50 und 500 °C, oder sogar bis 1450 °C erreicht werden. Diese Speichermethode ist somit gut geeignet für den Einsatz in Fernwärmenetzen.

Thermochemische Wärmespeicher können die Wärme über einen langen Zeitraum mit nur sehr wenigen Verlusten speichern. Es gibt jedoch noch sehr wenig thermochemische Wärmespeicher in Betrieb, da sie noch Bestandteil der aktuellen Forschung sind[45].

Latentwärmespeicher

Zu den Latentwärmespeichern gehören Eisspeicher und Phasenwechselmaterialien-Speicher (PCM-Speicher). Aufgrund von sehr geringen Betriebstemperaturen[46] eignen sich große Eisspeicher generell nur für den Einsatz in kalten Nahwärmenetzen.

PCM-Speicher werden zurzeit noch nicht in größeren Größenordnungen eingesetzt und sind für Wärmenetze Teil der aktuellen Forschung. PCM-Speicher basieren auf einer Speicherung und Freigabe von Wärme bei Phasenwechsel des Speichermediums. Je nach Medium werden sehr hohe spezifische Wärmespeicherkapazitäten erreicht. Es können Temperaturspannen zwischen -50 und 600 °C abgedeckt werden. Bei den etwas gängigeren Salzhydraten und Paraffinen werden Temperaturen zwischen 0 und 100 °C erreicht. Derzeit gibt es noch keine Produkte auf dem Markt, die in einem aktuellen oder einem potenziellen Wärmenetz in Aßling eingesetzt werden können.[47]

Power-to-Heat-Anlage (Elektrodenheizkessel)

Das Prinzip Power-to-Heat (PtH) basiert auf der Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme. Dies kann zum Beispiel mit Widerstands-Heißwasserkesseln oder Elektroden-Heißwasserkesseln geschehen. Eine Kombination von Wasserspeichern und PtH-Anlagen kann unter Umständen die Wirtschaftlichkeit erhöhen und ist generell gut geeignet für die Abdeckung von Spitzenlasten. Diese Methode ist jedoch stark abhängig von (erneuerbarem) Strom, und in welchen Mengen dieser kurzfristig vorhanden ist. Diese Elektrodenheizkessel sind für Anschlüsse zwischen 5 und 20 kV ausgelegt. Aktuelle Projekte zeigen Leistungsklassen zwischen 550 kW_{th} und 100 MW_{th}. Sie eignen sich bei Wärmenetzen mit Vorlauftemperaturen zwischen 80 und 130 °C[48].

4.9.3 Potenzialflächen Wärmespeicher

Die Dimensionierung eines Wärmespeichers wird unter anderem durch den Wärmeerzeuger, die gesamte zu speichernde Wärmemenge sowie die Wärmeabnahme bestimmt. Dies, sowie die Sinnhaftigkeit eines Wärmespeichers, die von den aktuellen und zukünftigen Erzeugern und Verbraucherprofilen abhängig ist, wird erst in späteren Planungsschritten im Detail betrachtet und ist nicht Bestandteil der Potenzialanalyse. Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass die Überwärme, die

[45] *Thermische Energiespeicher für Quartiere*. 2021, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
[46] *Ebd.*
[47] *Thermische Energiespeicher für Quartiere*. 2021, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
[48] Ebd.

z. B. bei Solarthermieanlagen im Sommer anfällt, sich in einem Saisonalspeicher für den Gebrauch in der Wintersaison speichern lässt.

Die Platzanforderungen der jeweiligen Wärmespeichermethoden können sehr unterschiedlich ausfallen. Wichtig ist jedoch, dass die Wärmespeicher nah am Wärmenetz, und optimalerweise nah am Betriebsstandort, platziert sind.

Erdsondenwärmespeicher können lediglich in den in Kapitel 4.3.1.1 erwähnten Flächen errichtet werden. Da Erdsondenfelder auch gut in grüne Infrastruktur integriert werden können, ergeben sich hier auch Park- und Sportflächen (ohne Baumbewuchs) als Potenzialflächen. Der Platzbedarf ist abhängig von der Dimensionierung des Wärmespeichers.

Pufferspeicher und kleinere Behälterwärmespeicher können sehr gut auf Betriebsgeländen aufgebaut werden, solange ausreichend Platz zur Verfügung steht. Werden größere Behälterwasserspeicher oder Erdbeckenspeicher errichtet, so sind baumfreie Freiflächen notwendig. Je nach Ausführung können diese Anlagen ebenfalls gut in die grüne Infrastruktur integriert werden, wie es zum Beispiel in Augsburg oder Eggenstein gemacht wurde.

Abbildung 41: Kies-Wasser Erdbecken in Eggenstein Bildquelle: Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

Die Kosten für Wärmespeicher richten sich nach der Komplexität der Herstellung sowie der Größe des Speichers. In Abbildung 42 werden die Kosten pro m^3 für verschiedene Saisonalspeicher anhand von Projekten dargestellt. In der Regel sind Saisonalspeicher auf eine Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren ausgelegt[49].

[49] *Saisonalspeicher*. Solites, Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

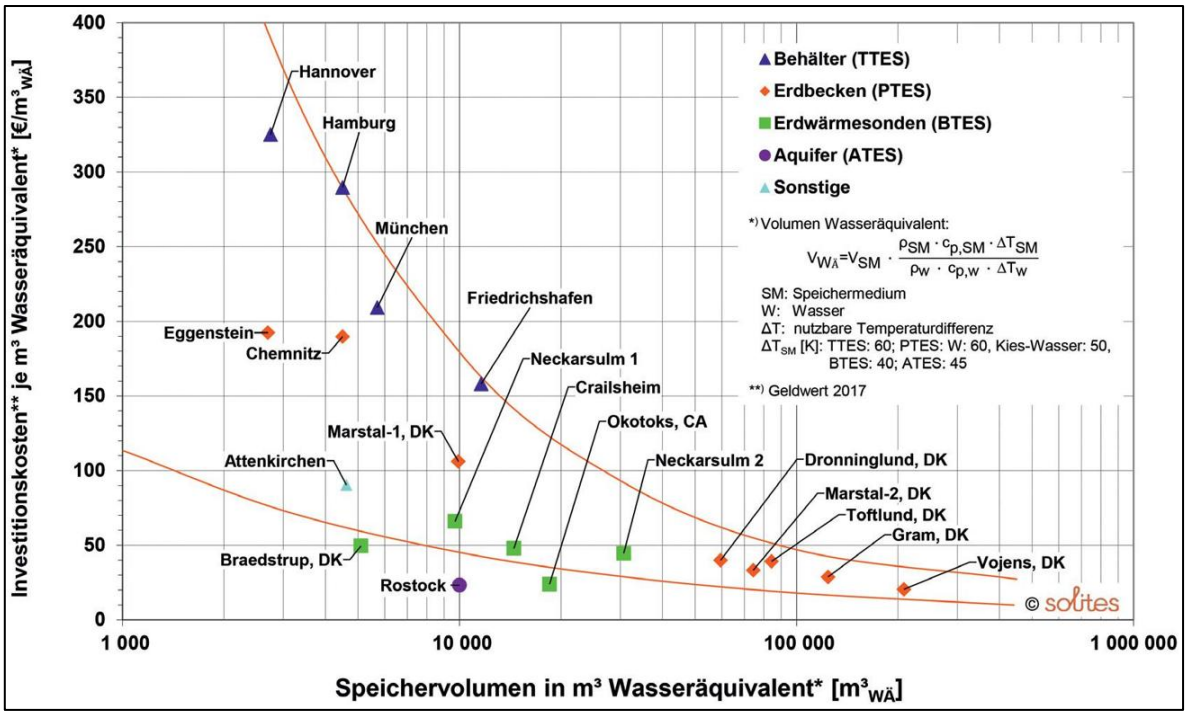


Abbildung 42: Kosten von verschiedenen Saisonalspeichervarianten pro m³
Quelle: Saisonalspeicher.de

4.10Zusammenfassung der Potenziale

Die vorhandenen Potenziale in der Stadt Waldkraiburg werden in Abbildung 43 zusammengefasst. Zudem werden in Abbildung 44 die Wärmegestehungskosten für typische dezentrale Versorgungsfälle gemäß einer Studie des Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln dargestellt[50].

[50] Wärmegestehungskosten für verbrauchsnahe Wärmeerzeugung in Wohngebäuden. 2023, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln

Energieträger / Stadtgebiete	Ab-wärme	PV/ ST	Bio-masse	Biogas	Luft-Wärme-Pumpe	Erd-sonde	Erd-kollek-tor	Grund-wasser-wärme	Fluss-wasser	Abwas-ser	Wasser-stoff	Tiefen-geo-thermie
Zentrales Stadtgebiet	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓
Pürten	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-
Niederndorf	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
Ebing	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-

Abbildung 43: Theoretische energetische Potenziale der Stadt Waldkraiburg

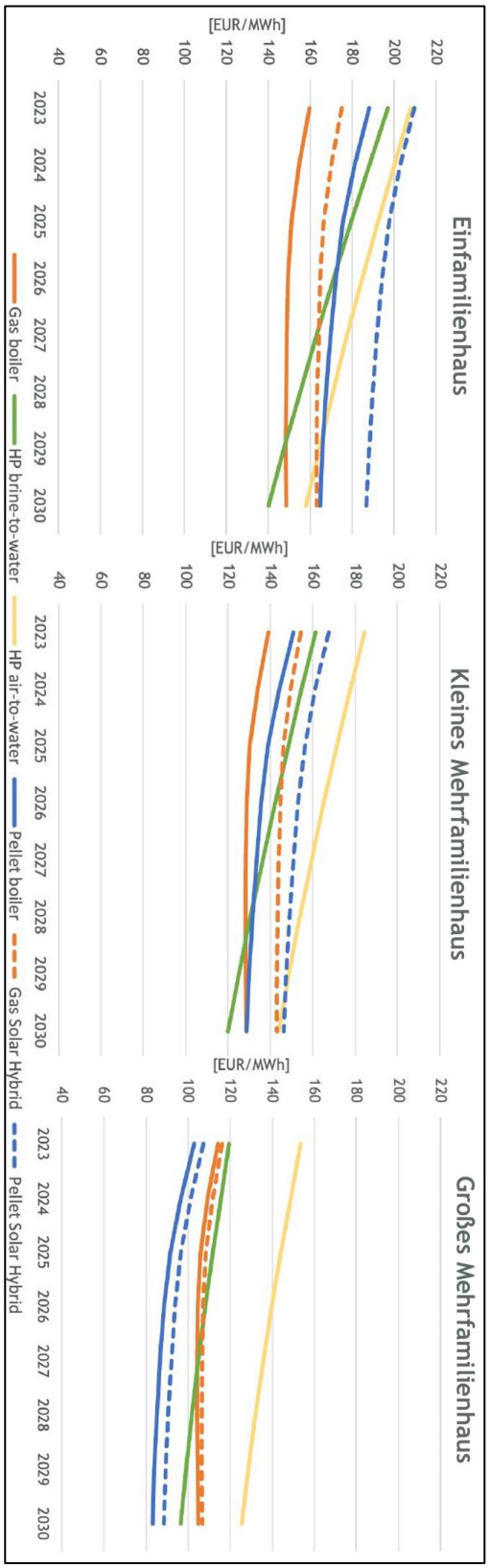


Abbildung 44: Wärmegestehungskosten in einem mittleren Preisszenario nach Gebäudetypen in Deutschland gemäß Studie des Energiewirtschaftliches Instituts an der Universität Köln

Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile pro Energieträger beleuchtet.

Tabelle 27: Vor- und Nachteile der jeweiligen Energieträger

Energieträger	Vorteile	Nachteile
Solarthermie/ Photovoltaik	- Fast CO_2-frei - Langlebig - Hohe Vorlauftemperaturen möglich (110 °C)	- Teure Installation - Wärme oft dann verfügbar, wenn nicht benötigt - Funktioniert oft nicht als einziger Erzeuger
Biomasse	- Großflächig verfügbar und installierbar - Hohe Temperatur - Relativ billig	- Zunehmende Nachfrage - Sinkende Qualität - Nur CO_2-neutral, wenn nachhaltige Biomasse eingesetzt wird
Luftwärmepumpe	- Fast überall installierbar - Im Sommer hoher Coefficient of Performance (COP)	- Im Winter niedriger COP - Vorlauftemperatur < ca. 85 °C - Geräuschpegel
Erdsonden/-kollektoren	- Hoher COP erreichbar - Konstante Quelltemperaturen	- Auskühlung des Bohrlochs - Viele Restriktionen für Installation - Hohe Investitionskosten
Grundwasserwärmepumpe	- Hoher COP erreichbar - Konstante Quelltemperaturen	- Viele Restriktionen für Installation - Hohe Investitionskosten
Flusswasserwärmepumpe	- Hoher COP erreichbar - Sehr hohe Leistungen möglich	- Viele Restriktionen für Installation - Kompliziertes Genehmigungsverfahren - Hohe Investitionskosten - Schwankende Temperaturen
Abwasserwärmepumpe	- Hoher COP erreichbar - Temperaturen im Sommer sowie im Winter gut	- Nur ab bestimmten Rohrdurchmesser und Abflussmengen installierbar
Wasserstoff	- Bestehendes Gasnetz ggf. teilweise weiter nutzbar - Sehr flexibel - Hohe Temperaturen erreichbar	- Hohe Kosten - Derzeit noch nicht klimaneutral - Generell im Industriesektor mehr benötigt
Tiefengeothermie	- Evtl. hohe Temperaturen erreichbar - Im Betrieb sehr zuverlässig und kosteneffizient	- Sehr hohe Investitionskosten - Fündigkeitsrisiko

5 Zielszenarien und Entwicklungspfade

In Abstimmung mit der Stadt und der Stadtwerke Waldkraiburg wurde für das gesamte Stadtgebiet ein Zielszenario entwickelt. Die Bestands- und Potenzialanalyse stellt die Grundlage dieser Einteilung dar. Die Zielszenarien stellen in Fünf-Jahres-Schritten dar, wie sich die Wärmeversorgung der Stadt in den kommenden Jahren entwickeln kann.

Aus dem Wärmekataster der Bestandsanalyse wurden Wärmeliniendichten (kWh/(m*a)) für unterschiedliche Anschlussquoten erstellt. Die Stadtwerke gehen im Endausbauszenario von einer Anschlussquote von rund 80 % aus. Diese Quote dient als Grundlage für die weiteren Berechnungen. Die Wärmeliniendichten (Wärmebedarf pro Meter) liefern erste Erkenntnisse über die Wirtschaftlichkeit und technische Eignung von potenziellen Wärmenetzen (Abbildung 45).

Wärmelinien-dichte [MWh/m*a]	Einschätzung der Eignung zur Errichtung von Wärmenetzen
0–0,7	Kein technisches Potenzial
0,7–1,5	Empfehlung für Wärmenetze bei Neuerschließung von Flächen für Wohnen, Gewerbe oder Industrie
1,5–2	Empfehlung für Wärmenetze in bebauten Gebieten
> 2	Wenn Verlegung von Wärmetrassen mit zusätzlichen Hürden versehen ist (z. B. Straßenquerungen, Bahn- oder Gewässerquerungen)

Abbildung 45: Wärmenetzeignung in Abhängigkeit der Wärmeliniendichte gemäß KWW Handlungsleitfaden Wärmeplanung

Die potenziellen Gebiete für Wärmenetze wurden anschließend hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit und Priorität bewertet. Dabei flossen verschiedene Kriterien ein – unter anderem das Vorhandensein von Ankerkunden (z. B. Liegenschaften mit dauerhaft hohem Wärmebedarf), die erwartbare Anschlussquote, der Bestand bestehender Wärme- oder Gasnetze, die Potenziale erneuerbarer Energiequellen sowie mögliche Risiken.

Ziel ist es, den Anteil fossiler Energieträger spätestens bis zum Jahr 2045 vollständig zu eliminieren und eine nahezu klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen.

5.1 Wärmeliniendichten

Die anschließende Abbildung visualisiert die räumliche Verteilung der Wärmeliniendichten in der Stadt Waldkraiburg. Sie verdeutlicht die unterschiedlichen Abstufungen der Wärmeliniendichte und zeigt, in welchen Bereichen eine leitungsgebundene Wärmeversorgung technisch und wirtschaftlich sinnvoll erscheint.

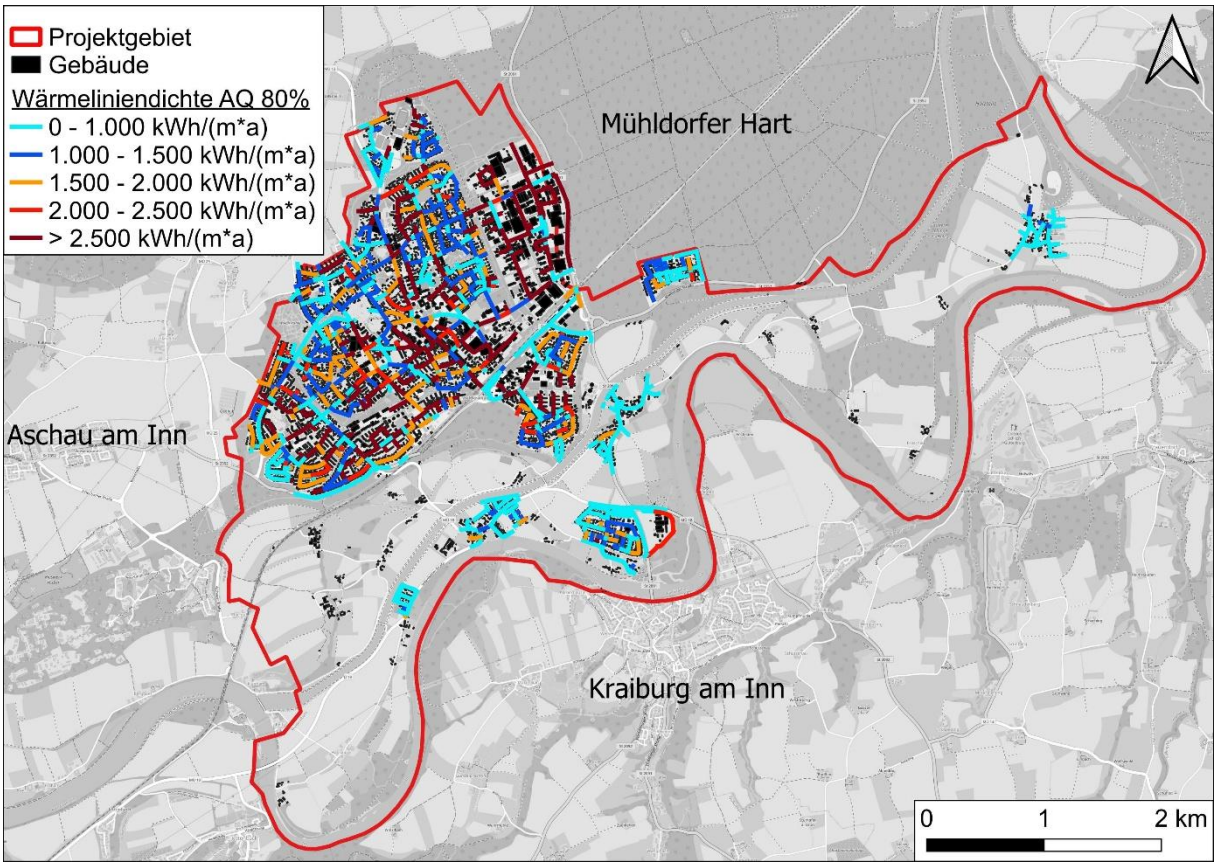


Abbildung 46: Wärmeliniendichten im Projektgebiet, Anschlussquote 80 %

Es wird ersichtlich, dass insbesondere die Bereiche im Stadtgebiet von Waldkraiburg hohe Wärmeliniendichten aufweisen und damit als besonders geeignet für den Aufbau von Wärmenetzen gelten. In den kleinen Ortschaften wie Sankt Erasmus, Niederndorf, Pürten und Ebing finden sich zwar ebenfalls sehr kurze Abschnitte, in denen die Wärmeliniendichten über 1,5 MWh/(m*a) liegen, doch diese werden jeweils nur durch einzelne Großverbraucher verursacht. In diesen Ortschaften ist ein wirtschaftlicher Betrieb eines neuen Wärmenetzes aller Wahrscheinlichkeit nach nicht möglich. Im Folgenden wird daher ausschließlich der Ortskern von Waldkraiburg im Hinblick auf den Wärmenetzausbau vertieft betrachtet.

5.2 Ausbau des Wärmenetzes

Das Ziel der Stadtwerke ist die vollständige Erschließung des gesamten Stadtgebiets. Mit dem bestehenden Netz und den aktuellen Ausbaumaßnahmen wurden bereits wesentliche Schritte in Richtung dieses Ziels umgesetzt. Eine Anschlussquote von 80 % für die gesamte Stadt soll bis zum Jahr 2045 erreicht werden. Dieses Ziel basiert sowohl auf berechneten Kennzahlen als auch auf groben Zeitplänen für die Erschließung verschiedener Stadtgebiete. Die angegebenen Erschließungsjahre stellen eine vorläufige Planung dar, die sich aufgrund von Interessensbekundungen, synergetischen Maßnahmen sowie weiteren Einflussfaktoren künftig ändern kann.

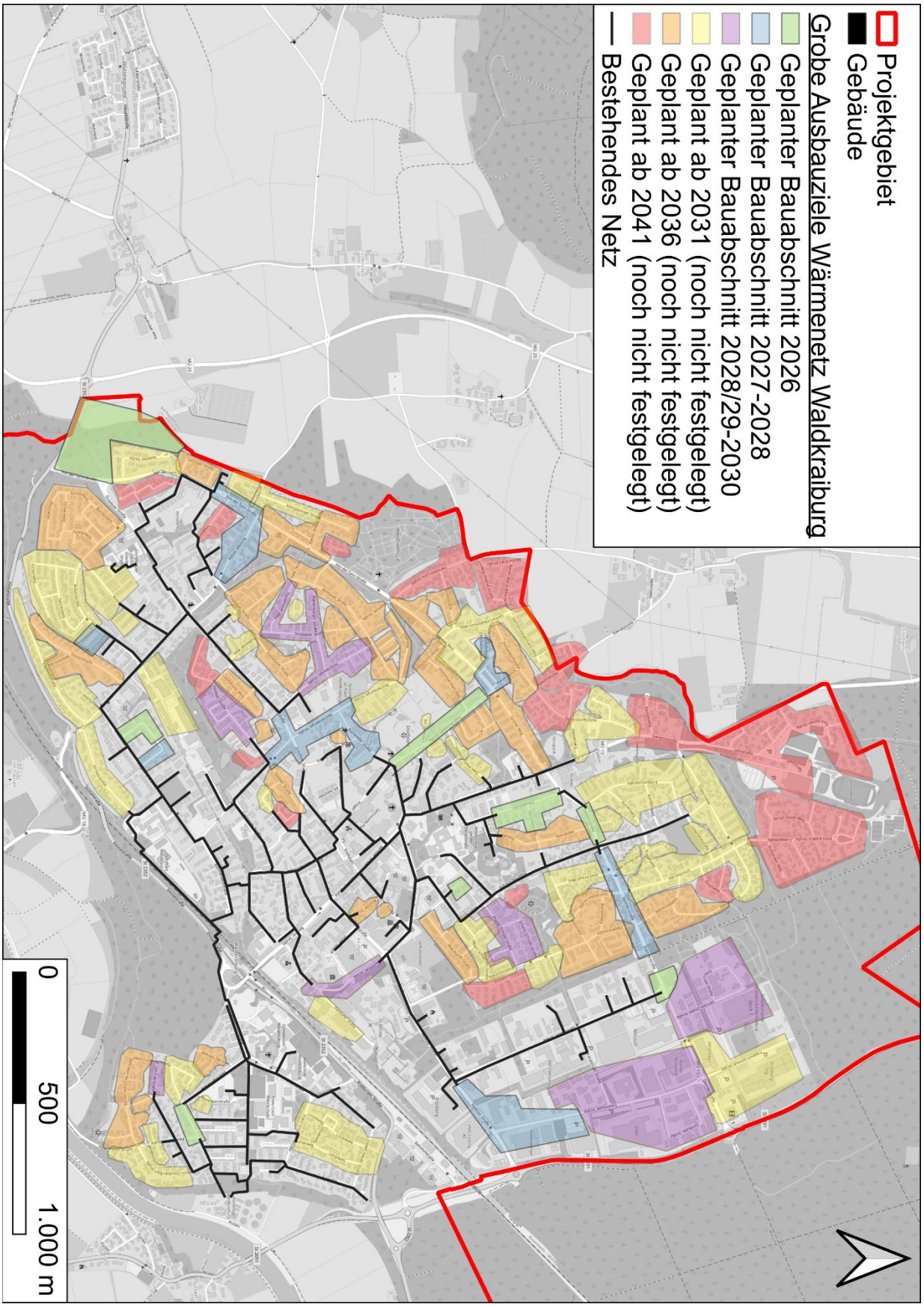


Abbildung 47: Darstellung der groben Ausbauziele des Wärmenetzes der Stadtwerke Waldkraiburg

Die Stadtwerke haben ihre Ausbaupläne bis zum Jahr 2030 bereits detailliert ausgearbeitet. Ab 2030 besteht jedoch eine größere Unsicherheit hinsichtlich der genauen Erschließungsjahre.

5.3 Entwicklung der dezentralen Versorgung

Für Einwohner, die sich gegen einen Anschluss an das Wärmenetz entscheiden oder keine Anschlussmöglichkeit haben, stehen verschiedene Alternativen zur Verfügung. Die lokalen Potenziale der verschiedenen Wärmepumpenarten können der Potenzialanalyse entnommen werden. In den meisten Gebäuden stellen alle Wärmepumpenquellen (Luft, Sole, Grundwasser) eine geeignete Wärmeversorgung dar. In einzelnen Gebäuden, in denen eine Sanierung nicht möglich ist und gelegentlich Vorlauftemperaturen von deutlich über 60 °C erforderlich sind, sollen zukünftig entweder Hybridheizungen (Wärmepumpen in Kombination mit fossilen Spitzenlastkesseln) oder Biomasseheizungen zum Einsatz kommen. Der Gasnetzbetreiber esb hat mitgeteilt, dass der Betrieb des Gasnetzes weiterhin aufrechterhalten werden soll. Fachexperten gehen jedoch davon aus, dass ein langfristiger Anschluss an das Gasnetz aufgrund steigender Netzentgelte infolge sinkender Anschlusszahlen sowie der künftig höheren CO_2-Preise finanzielle Nachteile mit sich bringen kann.

Für die Stadt ergibt sich die wichtige Aufgabe, kleinere Ortschaften außerhalb des Wärmenetzgebiets mit umfassenden Informationen zu technischen Möglichkeiten sowie zu Förderprogrammen zu versorgen.

Die Prozesswärme der Industrie lässt sich aller Wahrscheinlichkeit nach nicht über das Wärmenetz bereitstellen. Aufgrund der hohen Temperaturanforderungen sowie der erforderlichen Flexibilität im Industriesektor bleibt die Option offen, dass die Industrie auf Wasserstoff umsteigt. Während dies, wie in der Potenzialanalyse dargestellt, für den Wohnungsbau voraussichtlich keine wirtschaftlich sinnvolle Lösung darstellt, gibt es für Industriebetriebe mit hohen Temperaturbedarfen oft nur wenige Alternativen. Die genauen Temperaturanforderungen und Bedarfsprofile der Industrie sind jedoch nicht vollständig bekannt, sodass eine präzise Einschätzung derzeit nicht möglich ist. Der Gasnetzbetreiber esb hat jedoch mitgeteilt, dass vor 2045 kein Wasserstoff nach Waldkraiburg geliefert werden soll. Dies bedeutet, dass entweder die Versorgung der Industrie bis 2045 weiterhin über Erdgas erfolgt oder die Industrie auf alternative Energieträger umstellt. Für das Zielszenario in Waldkraiburg wird angenommen, dass die Industrie ihre Prozesswärmeerzeugung teilweise auf Hochtemperatur-Wärmepumpen, Direktstrom sowie Biomethan umstellt. Ab 2045 kann Wasserstoff gegebenenfalls einen Beitrag leisten.

5.4 Entwicklung der Versorgungsstruktur und des Energieträgermixes

Das Zielszenario der Stadt Waldkraiburg basiert auf der Annahme einer jährlichen Energieeinsparung von 1 % infolge energetischer Sanierungsmaßnahmen sowie auf dem schrittweisen Ausbau des Wärmenetzes. Daraus ergibt sich das in Tabelle 28 dargestellte Zielszenario für die Stadt.

Die Tabelle gibt einen Überblick über die mögliche Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Waldkraiburg für die Jahre 2025 bis 2045 in fünfjährigen Schritten. Sie zeigt, wie sich der Wärmebedarf voraussichtlich verändert und welche Rolle verschiedene Formen der Wärmeversorgung und Energieträger künftig spielen könnten.

Die Wärmebereitstellung wird in zentrale und dezentrale Versorgung unterteilt. Das Wärmenetz sieht eine Versorgung von rund 80 % des erschließbaren Stadtgebiets vor. Aufgrund des vergleichsweisen hohen Anteils an Prozesswärme, die voraussichtlich nicht über das Wärmenetz abgedeckt werden kann, wird diese Quote in der Tabelle nicht erreicht. Im Zielszenario wird Wasserstoff in der dezentralen Versorgung ausschließlich für die Prozesswärme in der Industrie eingesetzt.

Tabelle 28: Tabellarische Darstellung des Zielszenarios der Stadt Waldkraiburg bis 2045

Waldkraiburg	**2025**		**2030**		**2035**		**2040**		**2045**	
	%	**MWh**	**%**	**MWh**	**%**	**MWh**	**%**	**MWh**	**2045**	**MWh**
Wärmeverbrauch	100%	261.063	100%	240.894	100%	229.088	100%	217.861	100%	207.183
Dezentrale Wärmeversorgung	**87%**	**226.093**	**69%**	**166.341**	**60%**	**138.206**	**54%**	**117.929**	**48%**	**98.537**
Wärmepumpen	3%	7.133	15%	24.951	20%	27.641	40%	47.172	50,0%	49.268
Biomasse	1%	1.698	4%	6.654	5%	6.910	6%	7.076	7%	6.898
Fossil	94%	211.478	78,5%	130.577	72,8%	100.614	42,6%	50.238	0%	-
Direktstrom	1,9%	4.312	1,5%	2.495	1,0%	1.382	5%	5.896	15,0%	14.780
Solarthermie	0,7%	1.471	1,0%	1.663	1,2%	1.658	1,4%	1.651	2,0%	1.971
Biomethan	0%	-	0%	-	0%	-	5%	5.896	5%	4.927
Wasserstoff	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-	21%	20.693
Zentrale Wärmeversorgung	**13%**	**34.970**	**31%**	**74.554**	**40%**	**90.882**	**46%**	**99.932**	**52%**	**108.647**
Wärmepumpen	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-
Wasserstoff	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-	0,3%	342
Fossil	7%	2.622	0%	-	0%	-	0%	-	0%	-
Tiefengeothermie	93%	32.348	100%	74.554	100%	90.882	100%	99.932	99,7%	108.305
CO_2-Ausstoß Gesamt	**t**	**55.525**	**kg**	**33.071**	**kg**	**25.078**	**kg**	**13.640**	**kg**	**1.633**

Die Prognose zeigt einen möglichen Wandel der Energieträger: Fossile Brennstoffe verlieren im Modell an Bedeutung, während erneuerbare Technologien wie Wärmepumpen, Biomasse oder Solarthermie zunehmend zum Einsatz kommen könnten.

Eine vollständige CO_2-Neutralität kann aufgrund auch künftig verbleibender Emissionen aus Strombereitstellung und Biomassenutzung ohne CO_2-negative Maßnahmen (z. B. Carbon Capture and Storage, CCS) nicht erreicht werden. Im dargestellten Szenario würden die wärmebedingten CO_2-Emissionen auf Basis der Hochrechnungen dennoch um 97 % reduziert werden können.

Der Anteil zentraler Wärmeversorgung könnte im Zuge des Netzausbaus in den kommenden Jahren kontinuierlich steigen. Die Berechnungen zeigen, dass sich die Versorgungsstruktur der Stadt bis 2045 deutlich zugunsten zentraler, erneuerbarer Systeme verschiebt.

Die anschließenden Abbildungen visualisieren die mögliche Entwicklung des Wärmeverbrauchs, des Energieträgermixes und der CO_2-Emissionen über den Betrachtungszeitraum:

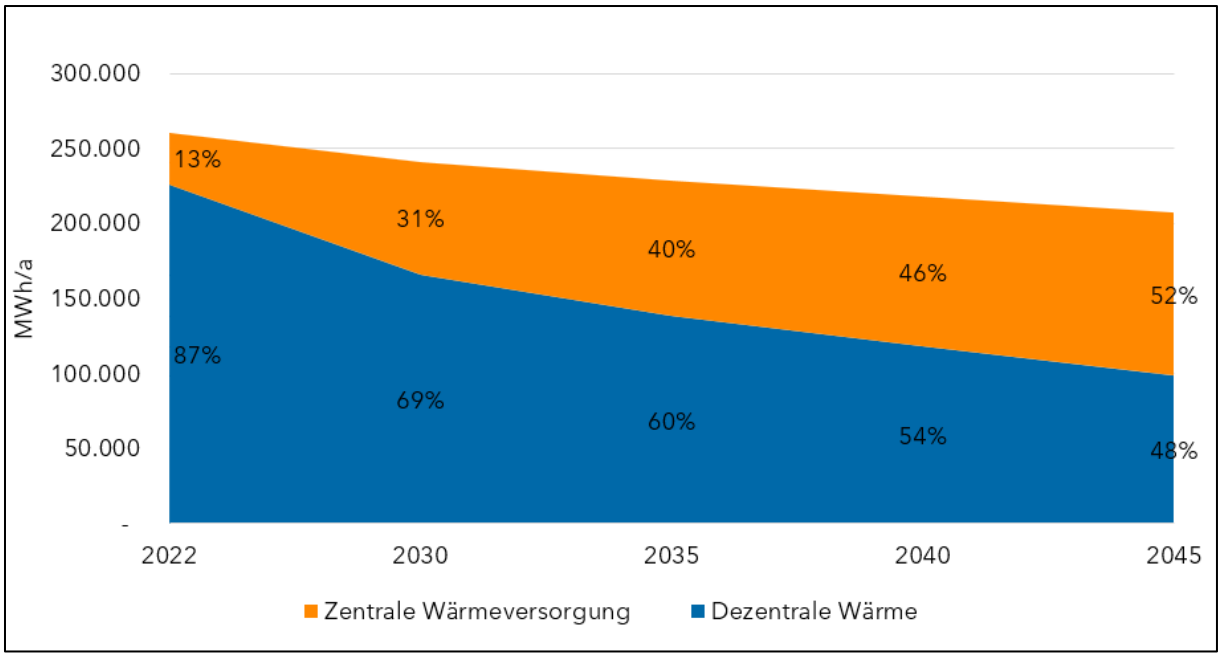


Abbildung 48: Entwicklung der Wärmeversorgungsarten in Waldkraiburg bis 2045

Durch die angestrebte jährliche Sanierungsquote von 1 % sinkt der Gesamtwärmeverbrauch schrittweise. Parallel dazu nimmt der Anteil zentraler Wärmeversorgung durch den Ausbau des Wärmenetzes zu. Dadurch ergibt sich ein Energieträgermix, der zunehmend vom Einsatz von Wärmepumpen geprägt ist. Biomasse behält aufgrund des begrenzten Potenzials eine untergeordnete Rolle. Ergänzend tragen Solarthermie und Direktstrom geringfügig zur Wärmebereitstellung bei. Fossile Energieträger werden bis 2045 vollständig verdrängt.

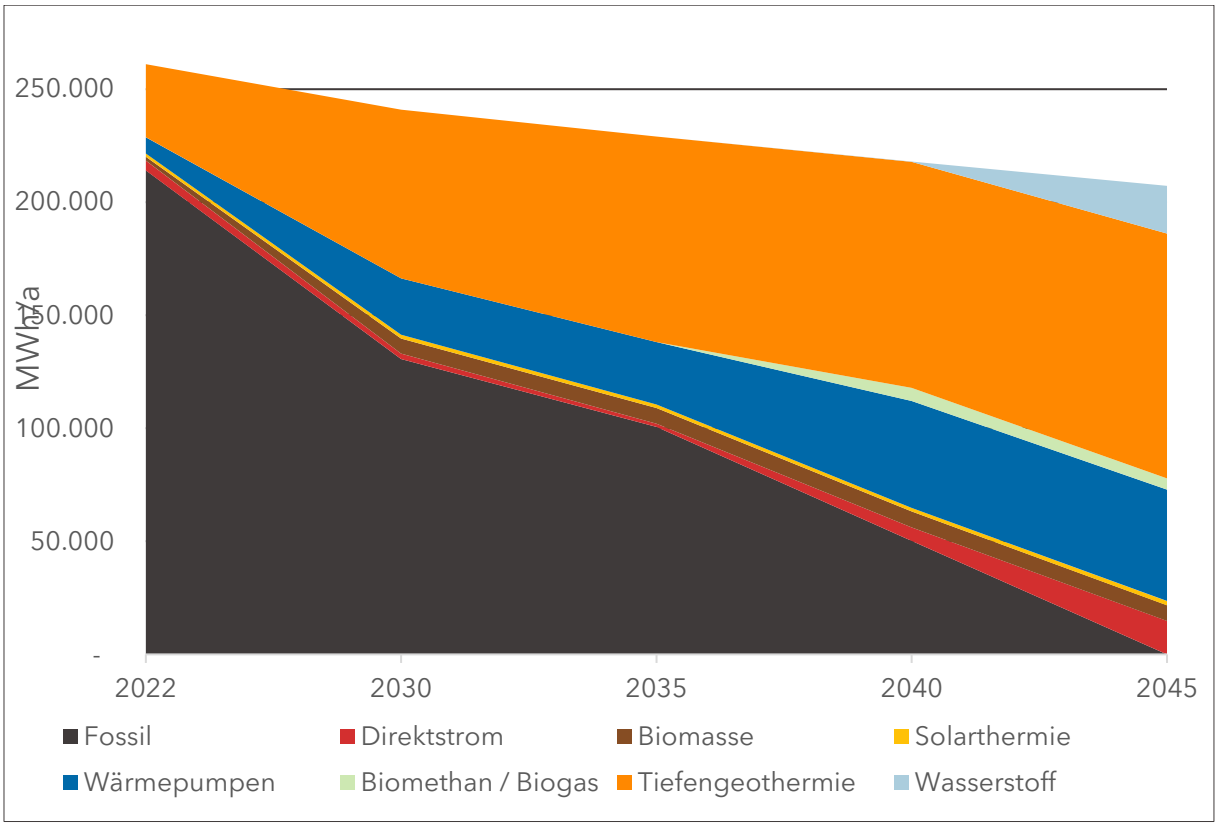


Abbildung 49: Prognose der Energieträgerverteilung in Waldkraiburg bis 2045

Diese Umverteilung des Energieträgermixes wirkt sich unmittelbar auf die CO_2-Bilanz der Stadt aus. Die folgende Abbildung zeigt die prognostizierte Reduktion der Emissionen bis 2045 nach Energieträgergruppen. Bis zum Zieljahr 2045 bleibt Erdgas der mit Abstand größte Verursacher von CO_2-Emissionen. Im Jahr 2045 entfallen jedoch rund 73 % der CO_2-Emissionen auf Wasserstoff.

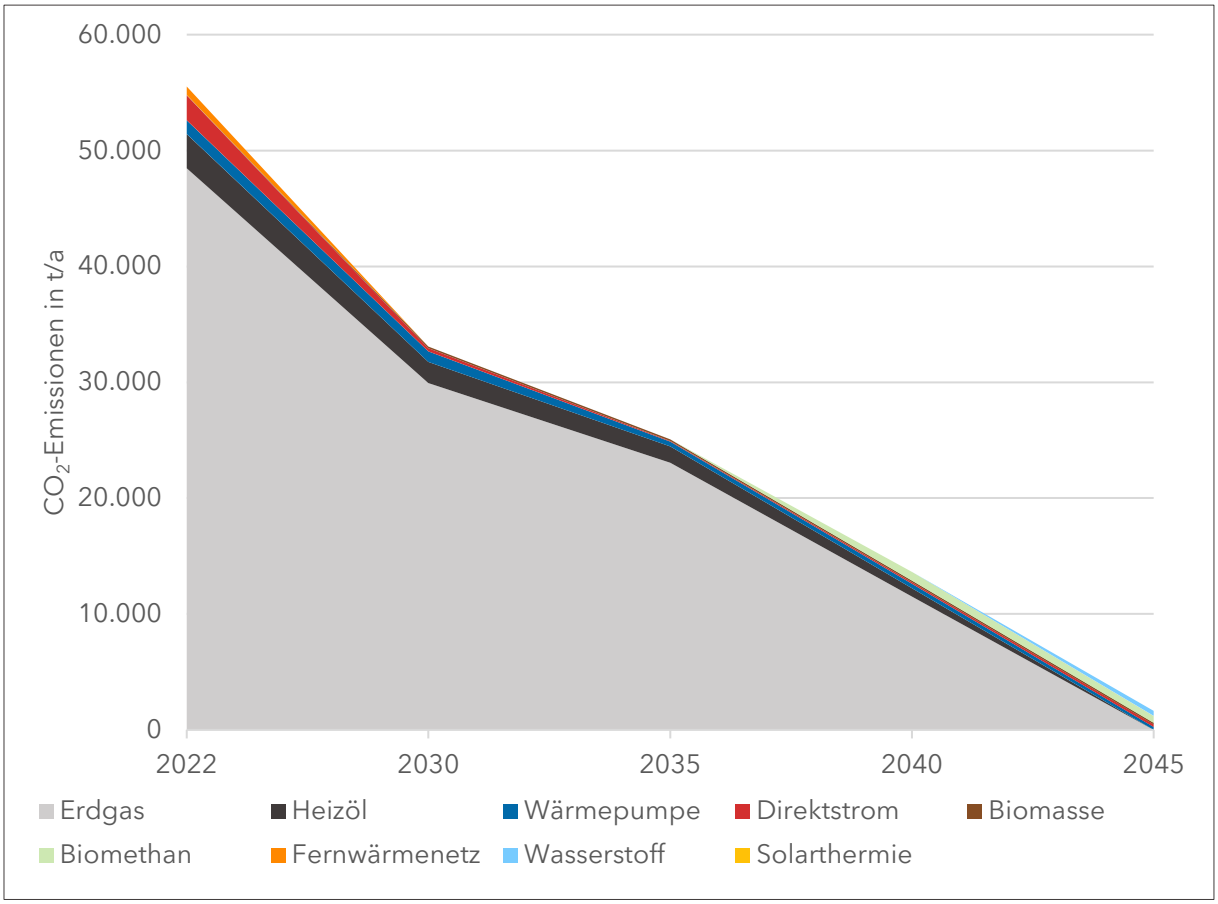


Abbildung 50: Entwicklung der CO_2-Emissionen nach Energieträger bis 2045

5.5 Alternative Szenarien

Neben dem zuvor beschriebenen Zielszenario wurden mehrere alternative Szenarien entwickelt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen zur Sanierungsrate und zur Geschwindigkeit des Wechsels der Energieträger zu untersuchen:

- Zielszenario: Sanierungsrate von 1 %, Klimaneutralität im Jahr 2045
- Best Case: Sanierungsrate von 1 %, Klimaneutralität im Jahr 2040
- SR 1,5 %: Sanierungsrate von 1,5 %, Klimaneutralität im Jahr 2045
- SR 0 %: Sanierungsrate von 0 %, Klimaneutralität im Jahr 2045
- Worst Case: Sanierungsrate von 0 %, der Umstieg auf erneuerbare Heizsysteme verläuft langsamer, sodass die Klimaneutralität bis 2045 nicht erreicht wird.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass sowohl der Ausbau erneuerbarer Heizsysteme als auch die Steigerung der Sanierungsaktivität entscheidende Hebel zur Reduzierung der CO_2-Emissionen im Wärmesektor darstellen.

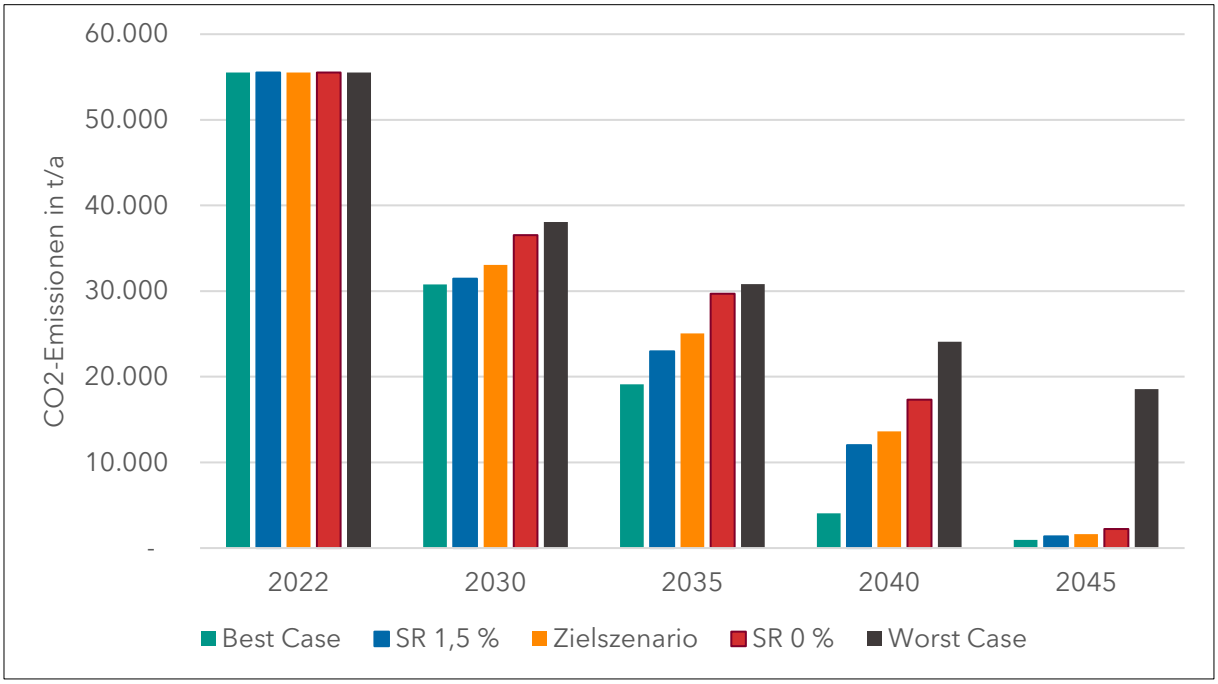


Abbildung 51: Vergleich der CO_2-Emissionen der verschiedenen Varianten in den definierten Stützjahren

Werden die CO_2-Emissionen der Szenarien bis 2045 kumuliert betrachtet, zeigen sich erhebliche Unterschiede. Im „Worst Case" Szenario werden etwa 246.855 t mehr Emissionen verursacht als im „Best Case" Szenario, was die hohe Bedeutung ambitionierter Umsetzungsstrategien verdeutlicht.

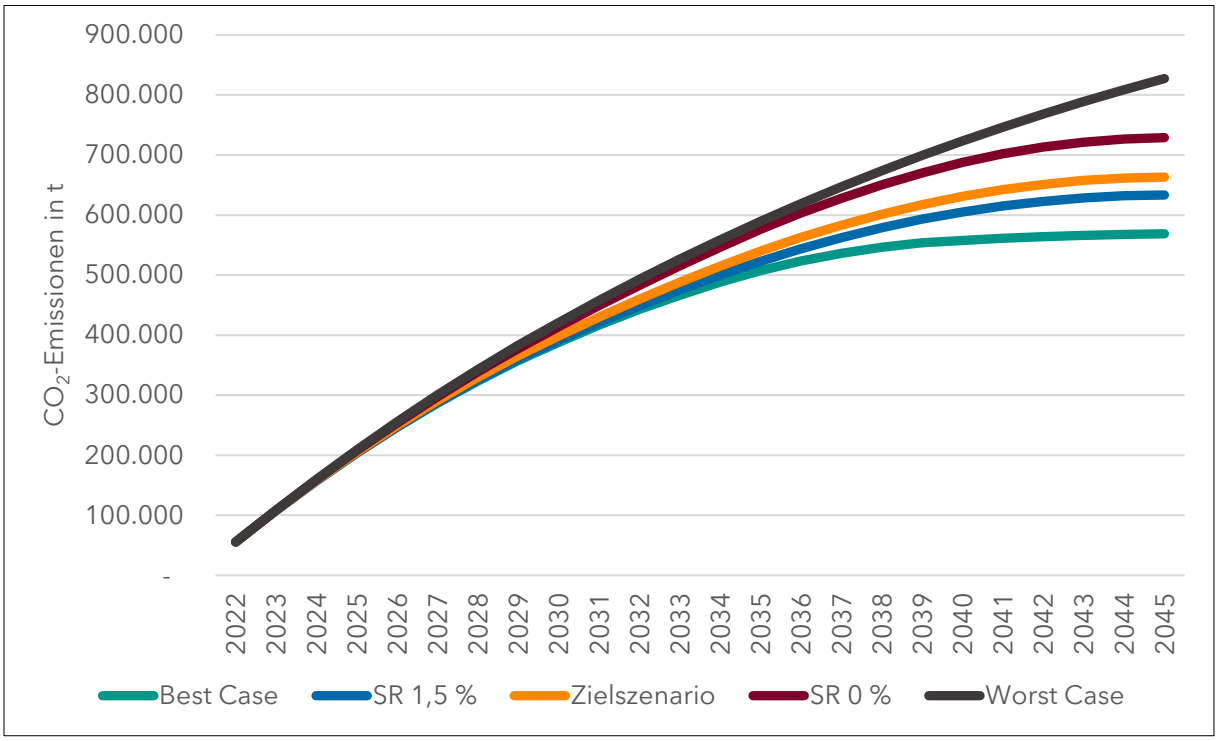


Abbildung 52: Vergleich der kumulierten CO_2-Emissionen der unterschiedlichen Szenarien

6 Maßnahmenkatalog

Im Folgenden werden auf Grundlage der Bestands- und Potenzialanalyse sowie der Zielszenarien geeignete Maßnahmen zur Umsetzung der Wärmewendestrategie für die Stadt Waldkraiburg vorgestellt. Die Maßnahmen wurden in enger Abstimmung mit der Stadt entwickelt und im Steckbrieformat aufbereitet. Jede Maßnahme enthält eine kurze Beschreibung sowie mögliche Maßnahmenbausteine, Kostenabschätzungen und Hinweise zu beteiligten Akteuren. Ziel des Maßnahmenkatalogs ist es, eine klare und praxisorientierte Grundlage für die schrittweise Umsetzung der kommunalen Wärmewende bereitzustellen. Zur besseren Übersicht werden die Maßnahmen fünf Kategorien zugeordnet:

Effizienz-Maßnahmen: Maßnahmen zur direkten Reduktion des Wärmebedarfs, insbesondere durch Gebäudesanierung, Heizungsoptimierung oder effizientes Nutzerverhalten.

Informations- und Beratungsmaßnahmen: Maßnahmen zur Unterstützung von Eigentümerinnen, Bürgern und Unternehmen durch Energie- und Förderberatung sowie durch verständliche Informations- und Kommunikationsangebote.

Planerische Maßnahmen: Maßnahmen zur fachlichen, räumlichen oder strategischen Vorbereitung der Wärmewende wie Quartierskonzepte, Bauleitplanung oder Machbarkeitsstudien.

Organisatorische Maßnahmen: Maßnahmen zur Entwicklung von Strukturen, Zuständigkeiten, Kooperationen oder Beteiligungsmodellen, die eine effektive Umsetzung unterstützen.

Technische und infrastrukturelle Maßnahmen: Maßnahmen zur Entwicklung und Umsetzung technischer Lösungen oder Wärmeinfrastrukturen, z. B. Speicher, erneuerbare Wärmequellen oder Netzausbau.

Jede Maßnahme wird darüber hinaus einer oder mehreren Handlungsebenen zugeordnet, die zeigen, in welchem Bereich des Wärmesystems sie wirkt:

Gebäudeebene: Maßnahmen, die direkt am einzelnen Gebäude ansetzen.

Quartiersebene: Maßnahmen, die räumlich gebündelte Lösungen ermöglichen.

Erzeugungs- & Infrastruktur-Ebene: Maßnahmen, die Energieversorger, Netzbetreiber oder Betreiber technischer Anlagen betreffen.

Organisations- & Steuerungsebene: Maßnahmen, die organisatorische, koordinierende oder strategische Aufgaben betreffen.

Da die Maßnahmen sehr unterschiedliche Anforderungen aufweisen, variiert auch der finanzielle Aufwand. Zur Orientierung werden sie folgenden Kostenkategorien zugeordnet:

(€) < 10.000 €

(€€) 10.001 – 100.000 €

(€€€) 100.001 – 1.000.000 €

(€€€€) > 1.000.000 €

Diese Einordnung ermöglicht eine erste Einschätzung des Aufwands, ohne eine detaillierte Budgetierung vorwegzunehmen. In der folgenden Tabelle 29 werden die Maßnahmen im Überblick dargestellt:

Tabelle 29:Übersicht der Maßnahmen

	Handlungsebene			
	Gebäudeebene	Quartiersebene	Erzeugungs- & Infrastruktur Ebene	Organisations- & Steuerungsebene
Effizienz-Maßnahmen				
Übergreifende energetische Gebäudesanierung	x	x		x
Einbau von smarten Thermostaten mit künstlicher Intelligenz	x	x	x	x
Informations- und Beratungsmaßnahmen				
Energie- und Fördermittelberatung	x			x
Öffentlichkeitsarbeit - Stakeholder Management Thema: „zentrale Wärmeversorgung“		x	x	x
Best-Practice sichtbar machen und Erfahrungen teilen	x			x
Digitale Interessensabfrage für zentrale Wärmeversorgung prüfen		x	x	x
Planerische Maßnahmen				
Bauleitplanung erneuerbare Energien	x	x	x	x
Initiierung/Information/Unterstützung bei Quartierskonzepten	x	x	x	x
Nähere Untersuchung der PV-Freiflächenpotenziale			x	x
Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung			x	x
Organisatorische Maßnahmen				
Energiemanagementsystem für kommunale Liegenschaften	x			x
Finanzielle Bürgerbeteiligung und Gesellschafsformen		x	x	x
Technische und infrastrukturelle Maßnahmen				
Weiterentwicklung der tiefengeothermischen Wärmeversorgung			x	x
Nutzung überschüssiger geothermischer Wärme			x	x
Effiziente dezentrale Wärmeversorgung über Wärmepumpen o. Ä. vorantreiben	x	x	x	
Analyse von Wärmeversorgungslösungen in Gebieten ohne baldigen Wärmenetzausbau		x	x	x
Integration von Energiespeichern ermöglichen			x	x
Synchronisierung der Stromverteilnetze			x	x

6.1 Effizienz-Maßnahmen

6.1.1 Maßnahme 1 (Gebäudesanierung)

Übergreifende energetische Gebäudesanierung	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Das in der Potenzialanalyse aufgezeigte Einspar- und Effizienzpotenzial kann einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Die derzeitige Sanierungsrate von rund 1 % pro Jahr reicht dafür jedoch nicht aus. Gründe sind unter anderem fehlende Markttransparenz, begrenzte Informationen, finanzielle Hürden sowie mangelnde Anreize. Daher besteht die Notwendigkeit, Maßnahmen zur Erhöhung der Sanierungsrate gezielt zu stärken.

BEGINN

2025

INITIATOR

Stadt

KOSTEN INDIVIUELL JE NACH UMFANG: [51]

Dämmung der Fassade: 50 € - 300 € / m²
Dachdämmung: 30 € - 250 € / m²
Fensterdämmung: 550 € - 1000 € / m²
Kellerdämmung: 50 € - 160 € / m²

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

AKTEURE

Stadt, Landkreis, Bauträger, Energieberater, Bürger

FÖRDERUNG

Bundesförderung für effiziente Gebäude (bis zu 20 %)

Bundesförderung Energieberatung für Wohngebäude (50 %)

Bundesförderung für Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme (50 %)

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- **GIS-gestützte Analyse von Sanierungsschwerpunkten:** Über Geoinformationssysteme (GIS) können Gebiete mit ähnlichen Gebäudemerkmalen (Alter, Typ, Verbrauch) identifiziert werden. Stadtrat und Stadtverwaltung können diese Auswertung nutzen, um quartiersbezogene Sanierungsansätze anzustoßen.
- **Bündelung von Bedarfen und Sammelbestellungen:** Werden ähnliche Sanierungsbedarfe zusammengeführt, können Mengenrabatte erzielt und organisatorische Hürden reduziert werden. Relevant für Dämmung, Heiztechnik und weitere Effizienzmaßnahmen.
- **Bereitstellung übersichtlicher Informationen zu Förderprogrammen:** Eine klare und verständliche Aufbereitung relevanter Förderprogramme (z. B. BEG) erleichtert Eigentümer:innen wirtschaftliche Entscheidungen für energetische Maßnahmen.

[51] grünes haus (2025a), grünes haus (2025b)

6.1.2 Maßnahme 2 (effiziente Technologien)

Einbau von smarten Thermostaten mit künstlicher Intelligenz	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Das Nutzerverhalten hat einen spürbaren Einfluss auf den Wärmeverbrauch in Wohngebäuden. Digitale Lösungen wie smarte Thermostate ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung und automatische Anpassung der Heizleistung an das tatsächliche Nutzungsverhalten. Durch den Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) kann die Regelung weiter optimiert werden. Für Eigentümer mit PV-Anlagen bieten ergänzende Smartphone-Apps die Möglichkeit, den selbst erzeugten Strom effizienter zu nutzen, indem z. B. Wärmepumpen oder Ladegeräte von Elektrofahrzeugen bedarfsgerecht an den aktuellen PV-Ertrag angepasst werden.

BEGINN	**DAUER**
2025	Kontinuierlich bis 2045
INITIATOR	**AKTEURE**
Stadt, Bürgerschaft	Stadt, Bürgerschaft, Installateur:innen
KOSTEN INDIVIUELL JE NACH UMFANG: [52] [53] Heizkörperthermostate: 130 € - 175 € Smart-Home-Installation im Einfamilienhaus: 3.000–8.000 € (je nach Ausstattung und Region) Cloud Services: 5 € – 15 € / Monat **(€) gering:** < 10.000 €	

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Verständliche Information zu Funktionsweise und Einsparpotenzialen smarter Thermostate z.B. im Rahmen bestehender Energieberatungsangebote.
- Prüfung des Einsatzes in ausgewählten kommunalen Liegenschaften zur Demonstration der Praxistauglichkeit.
- Information zu Einsatzmöglichkeiten in Kombination mit Wärmepumpen und PV-Anlagen.

[52] anyhelpnow (2025)
[53] HOME & SMART (2025)

6.2 Informations- und Beratungsmaßnahmen

6.2.1 Maßnahme 3 (Beratung)

Energie- und Fördermittelberatung	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Eine qualifizierte Energie- und Fördermittelberatung unterstützt unterschiedliche Akteursgruppen dabei, geeignete Effizienz- und Erneuerbare-Energien-Maßnahmen zu planen und wirtschaftlich zu bewerten. Da Förderprogramme häufig komplex sind, kann die Stadt durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit auf bestehende Beratungsangebote (z. B. der Verbraucherzentrale) hinweisen und relevante Fördermöglichkeiten transparent machen. Für private Eigentümerinnen und Eigentümer stehen insbesondere Förderprogramme der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) im Vordergrund, die Einzelmaßnahmen, Sanierungen und den Einsatz erneuerbarer Heizsysteme unterstützen. Energieberatungen helfen dabei, Einsparpotenziale im Gebäudebestand zu identifizieren, effiziente Heiz- und Anlagentechnik auszuwählen und das Nutzerverhalten zu optimieren. Auf kommunaler und quartiersbezogener Ebene spielen darüber hinaus Programme wie die BEW sowie die KfW-Förderung 432 „Energetische Stadtsanierung" eine wichtige Rolle. Sie unterstützen u. a. den Ausbau und die Transformation von Wärmenetzen sowie Sanierungsmanagement und integrierte Quartierskonzepte.

BEGINN
2025

DAUER
Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR
Stadt, Energieberater

AKTEURE
Stadt, Energieberater, Bürger

KOSTEN INDIVIUELL JE NACH UMFANG:
Werbungskosten (Zeitungsanzeigen, Plakate, Flyer, etc.)
Ggf. konkrete Förderkosten je nach Beratungspaket
Personalkosten Fördermittelberatung

(€) gering: < 10.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Öffentlichkeitswirksame Information über bestehende Energie- und Fördermittelberatungen für Bürger:innen
- Kooperation mit Energieberater:innen / Verbraucherzentrale
- Prüfung und Einordnung geeigneter Förderprogramme für kommunale, quartiersbezogene oder netzgebundene Projekte, insbesondere BEW und KfW 432

6.2.2 Maßnahme 4 (Stakeholder Management)

Öffentlichkeitsarbeit - Stakeholder Management Thema: „zentrale Wärmeversorgung“	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Die zentrale Wärmeversorgung stößt bei vielen Bürgerinnen und Bürgern auf großes Interesse, insbesondere hinsichtlich Verfügbarkeit, Kosten und Zeitplänen. Diese Fragen lassen sich im aktuellen Planungsstand jedoch noch nicht abschließend beantworten, da technische, wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen teilweise offen sind. Um dennoch frühzeitig Akzeptanz und Beteiligungsbereitschaft aufzubauen ist eine klare und realistische Kommunikation notwendig. Der Erfolg des Wärmenetzes hängt maßgeblich von einer ausreichend hohen Anschlussquote ab, die wiederum durch Transparenz, Erwartungsmanagement und kontinuierlichen Dialog erreicht werden kann.

BEGINN

2025

INITIATOR

Stadt, Energieberater:innen, potenzielle Wärmeversorger

KOSTEN INDIVIUELL JE NACH UMFANG:

Werbungskosten (Zeitungsanzeigen, Plakate, Flyer, etc.)
Ggf. konkrete Förderkosten je nach Beratungspaket
Personalkosten Fördermittelberatung

(€) gering: < 10.000 €

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

AKTEURE

Stadt, Energieberater:innen, potenzielle Wärmeversorger, Bürger:innen, Eigentümergemeinschaften

FÖRDERUNG

Förderfähig z. B. über die Kommunalrichtlinie (NKI) im Bereich Kommunikation / Beteiligung

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Entwicklung einer Kommunikationsstrategie mit realistischen Aussagen zu Projektstand und Zeithorizont
- Erstellung verständlicher Informationsmaterialien (Flyer, Website, Videos)
- Durchführung von Bürgerdialogen und Informationsveranstaltungen in relevanten Stadtteilen
- Erfassung von Interessensbekundungen und potenziellen Anschlusswilligen
- Laufende Kommunikation von Zwischenergebnissen und politischen Entscheidungen
- Einrichtung eines strukturierten Erwartungsmanagements (FAQs, Infobrief, Hotline, Ansprechperson)

6.2.3 Maßnahme 5 (Erfahrungsaustausch)

Best-Practice sichtbar machen und Erfahrungen teilen	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Praxisnahe Beispiele erleichtern die Umsetzung der Wärmewende, da sie zeigen, wie energetische Sanierungen oder innovative Versorgungslösungen konkret funktionieren. Durch die Begleitung einzelner Pilotprojekte – z. B. Sanierungen kommunaler oder privater Gebäude – können technische Lösungen, Entscheidungswege und Herausforderungen anschaulich vermittelt werden. Eine regelmäßige Aufbereitung und Darstellung solcher Projekte schafft Transparenz, stärkt das Vertrauen der Bevölkerung und erleichtert insbesondere Eigentümergemeinschaften die Einschätzung von Aufwand, Kosten und Nutzen. Ergänzend kann ein strukturierter Erfahrungsaustausch zwischen Stadt, Fachplanenden, Energieberatenden und Eigentümer:innen dazu beitragen, Hemmnisse frühzeitig zu erkennen und übertragbare Lösungsansätze zu entwickeln.

BEGINN

2025

INITIATOR

Stadt

KOSTEN

Personalkosten für Organisation

(€) gering: < 10.000 €

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

AKTEURE

Stadt, Gebäudeeigentümer:innen, Planungsbüros, Energieberatende

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Auswahl eines oder mehrerer Pilotprojekte (z. B. kommunales Gebäude, privates Sanierungsobjekt)
- Dokumentation der Umsetzung (Fotos, Kostenrahmen, Herausforderungen, Lösungen)
- Öffentlichkeitswirksame Darstellung (Website, Infoabende, kurze Projektsteckbriefe)
- Austauschformate für Eigentümer, Planungsbüros und Energieberatende
- Übertragung der Erkenntnisse auf weitere Quartiere oder Gebäudetypen

6.2.4 Maßnahme 6 (Interessenabfrage)

Digitale Interessensabfrage für zentrale Wärmeversorgung prüfen	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Eine digitale Interessensabfrage kann helfen, den Bedarf für potenzielle Fernwärmeanschlüsse strukturiert zu erfassen. Im Gegensatz zu individuellen Rückmeldungen per Mail oder Telefon ermöglicht eine zentrale Plattform eine einheitliche Datenerhebung, erleichtert die Planung möglicher Ausbaugebiete und kann langfristig zu höheren Anschlussquoten beitragen. Eine solche Lösung könnte z. B. eine einfache Adresseingabe, die Zuordnung zu potenziellen Eignungsgebieten aus der Wärmeplanung sowie Kontaktmöglichkeiten für Rückfragen enthalten. Wenn für ein Gebiet keine zentrale Wärmeversorgung vorgesehen ist, können alternativ passende dezentrale Optionen angezeigt werden. Die Plattform dient damit als Hilfsmittel für Transparenz, Bedarfsermittlung und strategische Ausbauplanung.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt

AKTEURE

Stadt, Bürger, Stadtverwaltung, Klimaschutzmanager

KOSTEN

Kosten für Software
Personalkosten

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Prüfung geeigneter digitaler Tools oder bestehender Plattformen
- Definition der abzufragenden Daten (Adresse, Anschlussinteresse, Gebäudetyp)
- Hinterlegung der Eignungsgebiete aus der Wärmeplanung
- Einrichtung automatisierter Rückmeldungen (zentrale Wärme / Alternativen)

6.3 Planerische Maßnahmen

6.3.1 Maßnahme 7 (Bauleitplanung)

Bauleitplanung erneuerbare Energien	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Die Bauleitplanung bietet die Möglichkeit, die energetische Qualität neuer Quartiere gezielt zu beeinflussen und die Nutzung erneuerbarer Energien zu unterstützen. Durch eine geeignete Ausrichtung der Gebäude, abgestimmte Bebauungsstrukturen sowie Begrünungs- und Verschattungsregelungen kann der Energiebedarf bereits im Planungsprozess reduziert werden. Gleichzeitig können Vorgaben zur Nutzung effizienter Heizsysteme (etwa Wärmepumpen oder kleinere Nahwärmelösungen) frühzeitig berücksichtigt werden. Auch für Gewerbeflächen lässt sich prüfen, ob eine gemeinsame Wärmeversorgung sinnvoll ist. Zu den verfügbaren Instrumenten gehören u. a. Bebauungspläne, städtebauliche Verträge oder Festsetzungen in Grundstückskaufverträgen. Darüber hinaus kann die Stadt Informationsangebote zu erneuerbaren Energien und Effizienzmaßnahmen bereitstellen, um Bauherr:innen und Planende bei energetischen Entscheidungen zu unterstützen.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt, Landkreis

AKTEURE

Stadt, Landkreis, Stadtrat, Verwaltung

KOSTEN

Keine direkten Kosten außer ggf. Rechtsberatung

Zeitlicher Aufwand für Beratungen

(€) gering: < 10.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Bauliche Optimierung durch Verschattungssimulation des Baugebietes, Firstausrichtung, Dachneigung, etc. bei Ausweisung von Neubaugebieten
- Optimierung der Baukörper
- Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards bis zum Passivhaus
- Untersuchung bzw. Vorgabe von effizienten Wärmeversorgungssystemen ((solare) Nahwärme, Wärmepumpen)
- Berücksichtigung der klimatischen Situation bei der Auswahl von Baugebieten
- Verbindliche Festlegung der Richtlinien im Bebauungsplan, städtebaulichen Verträgen usw.

6.3.2 Maßnahme 8 (Quartierskonzepte)

Initiierung/Information/Unterstützung bei Quartierskonzepten	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Quartierskonzepte sind ein wichtiges Instrument der kommunalen Wärmewende, da sie technische, wirtschaftliche und organisatorische Lösungen gemeinsam für mehrere Gebäude entwickeln. Sie ermöglichen die Nutzung effizienter Wärmequellen und Niedertemperaturnetze, reduzieren Wärmeverluste und verringern bauliche Anforderungen an einzelne Gebäude. Zudem können lokale Potenziale wie oberflächennahe Geothermie gemeinsam erschlossen werden. Durch den gebündelten Ansatz lassen sich Herausforderungen wie fehlende Technikräume, begrenzte Flächen oder komplexe Eigentümerstrukturen leichter lösen. Standardisierte Vertragsmodelle sowie abgestimmte Verwaltungsprozesse schaffen Planungssicherheit und erleichtern die Umsetzung. Da das Stadtgebiet langfristig vorrangig über das bestehende Wärmenetz erschlossen werden soll, kommen Quartierskonzepte insbesondere in Rand- und Außengebieten in Betracht. Eine koordinierte Abstimmung mit übergeordneten Wärmeprojekten stellt sicher, dass Quartierslösungen kompatibel bleiben und Synergien genutzt werden.

BEGINN
2025

DAUER
Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR
Stadt, Bürgerschaft

AKTEURE
Stadt, Wohnungsbaugesellschaften, Eigentümer:innen, Planungsbüros, Wärmeversorger, Energieberatende, Verwaltungsstellen

KOSTEN
Wirtschaftlichkeit steigt mit Anzahl der beteiligten Gebäude und Nutzungsdichte

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

FÖRDERUNG
Förderfähig über Programme wie KfW 432, BEW Modul 1 (Machbarkeitsstudien), ggf. Landesprogramme

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Identifikation geeigneter Quartiere (z. B. über Wärmekataster, Sanierungsstand, Eigentümerstrukturen)
- Prüfung technischer Optionen inkl. Niedertemperaturkonzepten und potenzieller Wärmequellen
- Ansprache relevanter Akteure und gemeinsame Zieldefinition im Quartier
- Entwicklung eines Umsetzungskonzepts inkl. Betreibermodellen, Standardverträgen und Wirtschaftlichkeitsbewertung
- Abstimmung mit der Verwaltung zu Genehmigungen, Infrastrukturzugängen und Fördermöglichkeiten

6.3.3 Maßnahme 9 (PV-Freifläche)

Nähere Untersuchung der PV-Freiflächenpotenziale	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Photovoltaik-Freiflächenanlagen können einen wichtigen Beitrag zur lokalen Wärmeversorgung leisten, insbesondere wenn der erzeugte Strom für Wärmepumpen, Wärmenetze oder Speicher genutzt wird. Dadurch lässt sich erneuerbare Wärme wirtschaftlicher bereitstellen. Für die kommunale Wärmeplanung ist daher eine vertiefte Prüfung geeigneter Flächen, möglicher Betreiberstrukturen und der technischen Einbindung sinnvoll. Dabei sind Fragen der Netzanbindung, Nutzung vor Ort sowie potenzielle Kopplungen mit Wärmequellen oder Speichern zu berücksichtigen. Auf EU-Ebene entstehen derzeit neue Regelungen zum Energy Sharing, die die gemeinschaftliche Nutzung lokal erzeugten Stroms innerhalb von Energiegemeinschaften erleichtern sollen. Diese Vorgaben könnten künftig den direkten Einsatz von PV-Strom vor Ort vereinfachen und zusätzliche Handlungsspielräume für kommunale Projekte eröffnen. Die Stadt sollte diese Entwicklungen beobachten, um mögliche Vorteile frühzeitig nutzen zu können.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt, Betreiber von PV-Freiflächenanlagen, Netzbetreiber

AKTEURE

Stadt, Betreiber von PV-Freiflächenanlagen, Netzbetreiber, Planungsbüros, Eigentümer:innen von Flächen, Wärmeversorger

KOSTEN

Projektabhängig je nach Eigentum, Betriebsmodell und technischer Kopplung

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

FÖRDERUNG

Fördermöglichkeiten bestehen im Rahmen des EEG sowie für die Wärmenetzintegration (BEW)

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Identifikation geeigneter Flächen
- Abstimmung mit potenziellen Betreiber:innen und Flächeneigentümer:innen
- Prüfung technischer Optionen zur direkten Nutzung des Stroms vor Ort (z. B. Power-to-Heat)
- Strategische Einbindung in kommunale Wärmenetz- und Quellenplanung
- Festlegung eines standardisierten Kooperationsmodells (z. B. kommunale Beteiligung, Pachtmodell)
- Beobachtung der regulatorischen Entwicklungen zum Energy Sharing und Ableitung kommunaler Chancen

6.3.4 Maßnahme 10 (Fortschreibung)

Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Die regelmäßige (alle 5 Jahre) Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung wurde im Wärmeplanungsgesetz § 25 festgelegt. Im Zuge der Fortschreibung soll für die Stadt die Entwicklung der Wärmeversorgung bis zum Zieljahr aufgezeigt werden. In der kommunalen Wärmeplanung werden Ziele für die Stützjahre definiert. Bei der Fortschreibung muss kontrolliert werden, ob die Ziele erreicht wurden. Ein frühzeitiger Abschluss der Zielszenarien ist erstrebenswert. Wurden die Zielszenarien nicht erreicht, müssen etwaige Fehlentwicklungen in der Wärmeversorgung identifiziert werden, damit diese Hürden in den darauffolgenden Jahren behoben werden können. Auf diese Weise stellt die Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung eine Controlling-Strategie dar.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt

AKTEURE

Stadtrat, Stadtverwaltung, Klimaschutzmanager:innen, ggf. Ingenieurbüros

KOSTEN

Personalkosten
Ggf. Kosten für Ingenieurbüros

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Regelmäßiger Abgleich der definierten Stützjahre und Zielpfade mit der tatsächlichen Entwicklung der Wärmeversorgung
- Fortschreibung von Bestands-, Verbrauchs- und Potenzialdaten als Grundlage für die weitere Planung
- Analyse von Fehlentwicklungen oder Verzögerungen sowie Ableitung von Anpassungsbedarfen
- Weiterentwicklung der Szenarien und des Maßnahmenkatalogs bei veränderten Rahmenbedingungen

6.4 Organisatorische Maßnahmen

6.4.1 Maßnahme 11 (Energiemanagement)

Energiemanagementsystem für kommunale Liegenschaften	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Ein Energiemanagementsystem ermöglicht die systematische Erfassung, Auswertung und Optimierung der kommunalen Energieverbräuche. Grundlage ist ein regelmäßiges Energiecontrolling mit verlässlichen und sicheren Verbrauchsdaten. Für kommunale Liegenschaften bietet sich eine gebäudebezogene Datenerfassung an, z. B. durch regelmäßiges Ablesen von Strom-, Wärme- und Wasserzählern. Für private Haushalte und weitere Verbrauchergruppen können – wie im Wärmeplan – hochgerechnete bzw. aggregierte Daten verwendet werden, um die gesamtkommunale Entwicklung zu verfolgen. Eine spezialisierte Energiemanagement-Software mit webbasierter Datenbank erleichtert Erfassung, Auswertung und Berichtswesen deutlich und ist Tabellenlösungen langfristig überlegen. Wichtig sind klare Zuständigkeiten sowie geeignete Kennwerte (z. B. kWh/m²·a). Die Auswertungen bilden die Grundlage für Effizienzmaßnahmen, ermöglichen die Kontrolle der Zielerreichung und unterstützen die Öffentlichkeitsarbeit. Die bereits im Wärmeplan erhobenen Daten können als Startpunkt für ein verstetigtes kommunales Energiemanagement dienen.

BEGINN
2025

DAUER
Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR
Stadtverwaltung, Gebäudeverantwortliche

AKTEURE
Stadtverwaltung, Gebäudeverantwortliche

KOSTEN
Kosten für Energiemanagementsoftware inkl. Datenbank und Wartung
Zeitaufwand für Verwaltung und Anlagenverantwortliche

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Beschluss zur Einführung eines Energiecontrollings und Auswahl geeigneter Software
- Festlegung von Zuständigkeiten und Aufbau einer vollständigen Datenbasis
- Regelmäßige Erfassung der Verbrauchsdaten gemäß Ableseintervallen
- Auswertung der Daten zur Bewertung und Optimierung umgesetzter Maßnahmen
- Jährliche Berichterstattung und Ableitung weiterer Effizienzmaßnahmen

6.4.2 Maßnahme 12 (Betreibergesellschaft)

Finanzielle Bürgerbeteiligung und Gesellschafsformen	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Der Ausbau erneuerbarer Wärmeerzeugung kann über verschiedene Finanzierungsmodelle erfolgen. Neben klassischen Investitionen durch Kommunen, Unternehmen oder Privatpersonen spielen Bürgergesellschaften und Genossenschaften eine wichtige Rolle, da sie lokale Mittel mobilisieren und Risiken sowie Gewinne gemeinschaftlich tragen. Dies stärkt die Akzeptanz vor Ort und beschleunigt die Umsetzung. Für eine erfolgreiche Projektentwicklung sollten geeignete Rechts- und Organisationsformen frühzeitig geprüft werden, etwa Energiegenossenschaften, GmbH & Co. KG-Modelle oder kommunale Beteiligungsformen. Wichtig ist ein strukturierter Prozess, der wirtschaftliche, rechtliche und organisatorische Aspekte berücksichtigt. Da das Stadtgebiet langfristig vorrangig über das bestehende Wärmenetz versorgt werden soll, sind bürgergetragene oder gemeinschaftliche Modelle insbesondere für Gebiete außerhalb des zentralen Versorgungsgebiets von Bedeutung.

BEGINN

2025

INITIATOR

Stadt, Bürgerschaft

KOSTEN

Abhängig von der gewählten Rechtsform, der Projektgröße und dem Beteiligungsmodell

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

AKTEURE

Bürgerschaft, Genossenschaften, Vereine, Bürgerinitiativen, Banken, Planungsbüros, Kommunalverwaltung

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Prüfung geeigneter Gesellschaftsformen und Beteiligungsmodelle
- Einbindung bestehender regionaler Genossenschaften und Akteure
- Erarbeitung eines Beteiligungskonzepts inkl. Transparenz- und Mitwirkungsstruktur
- Kommunikation des Beteiligungsmodells an Bürger (Informationsveranstaltungen, Flyer, Online-Plattform)
- Beteiligungsstart und Aufbau der Gesellschaftsstruktur

6.5 Technische und infrastrukturelle Maßnahmen

6.5.1 Maßnahme 13 (Tiefengeothermie)

Weiterentwicklung der tiefengeothermischen Wärmeversorgung	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Die tiefengeothermische Nutzung bildet einen wesentlichen Baustein der klimaneutralen Wärmeversorgung und wird bereits zur Deckung eines Großteils des Wärmebedarfs im bestehenden Wärmenetz eingesetzt. Die geologischen Voraussetzungen im Stadtgebiet bieten darüber hinaus weiteres Potenzial zur nachhaltigen Wärmegewinnung. Die bestehende tiefengeothermische Anlage wird von der Stadtwerke Waldkraiburg GmbH betrieben und stellt bereits heute einen zentralen Bestandteil der Wärmeversorgung dar. Vor dem Hintergrund geplanter Netzerweiterungen und der langfristigen Zielsetzung einer weitgehend klimaneutralen Wärmeversorgung wird das Geothermie-Vorhaben gezielt weiter vorangetrieben. Dazu zählen insbesondere die Umsetzung der zurzeit geplanten zweiten Dublette. Ziel dabei ist, den Anteil geothermischer Wärme im Wärmenetz weiter zu erhöhen, einen höheren Versorgungsgrad nachhaltiger Wärme in der Stadt zu ermöglichen und die Wärmeversorgung langfristig abzusichern.

BEGINN

2026

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOREN

Stadt, Stadtwerke Waldkraiburg GmbH

AKTEURE

Stadtwerke Waldkraiburg GmbH, Stadt, Genehmigungsbehörden, Fachgutachter, Bohrfirmen, Spezialtiefbauunternehmen

KOSTEN

Sehr hoher Investitionsbedarf für Bohrungen und Anlagentechnik

(€€€€) sehr hoch: > 1.000.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Planung und Genehmigung der zweiten geothermischen Dublette
- Abstimmung des Geothermieausbaus mit dem Ausbau des Wärmenetzes
- Bohrung und Inbetriebnahme der zweiten Dublette

6.5.2 Maßnahme 14 (Überschüssige Wärme)

Nutzung überschüssiger geothermischer Wärme	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Im Zuge des weiteren Ausbaus der Tiefengeothermie kann es zeitweise zu Wärmemengen kommen, die im bestehenden Wärmenetz nicht vollständig abgenommen werden können. Um diese erneuerbare Wärme dennoch sinnvoll zu nutzen, wird geprüft, ob eine Abgabe an benachbarte Versorgungsgebiete, beispielsweise nach Aschau am Inn, möglich ist. Die Abnahme überschüssiger Wärme kann dort in Verbindung mit geeigneten Speicher- und Verteilstrukturen erfolgen. Voraussetzung hierfür sind eine entsprechende technische Anbindung der Netze sowie vertragliche und organisatorische Abstimmungen zwischen den beteiligten Akteuren. Durch die Weitergabe zeitweise verfügbarer geothermischer Wärme kann die Auslastung der Erzeugungsanlagen erhöht und der Anteil erneuerbarer Wärme in der Region insgesamt gesteigert werden.

BEGINN

2026

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOREN

Stadt, Stadtwerke Waldkraiburg GmbH

AKTEURE

Stadtwerke Waldkraiburg GmbH, Stadt Waldkraiburg, Gemeinde Aschau am Inn

KOSTEN

Sehr hoher Investitionsbedarf für Leitungsanbindung

(€€€€) sehr hoch: > 1.000.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Ermittlung von Umfang, zeitlicher Verfügbarkeit und saisonalen Schwankungen nicht im Netz abgenommener Wärmemengen.
- Bewertung möglicher Übergabepunkte, Leitungsführungen und erforderlicher Netzanpassungen für eine Wärmeabgabe, z. B. Richtung Aschau am Inn.
- Klärung von Zuständigkeiten, Liefermodellen und Kooperationsformen zwischen den beteiligten Akteuren

6.5.3 Maßnahme 15 (dezentrale Versorgung)

Effiziente dezentrale Wärmeversorgung über Wärmepumpen o. Ä. vorantreiben	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Der spezifische Wärmebedarf im Wohnungsbau und im GHD-Sektor ist in den letzten Jahren deutlich gesunken. In Neubaugebieten sind klassische Nahwärmenetze daher oft nicht mehr wirtschaftlich. Wärmepumpen und Solarthermie eignen sich in diesen Bereichen besonders, da sie klimafreundlich und meist wirtschaftlich sind. Technische Weiterentwicklungen ermöglichen inzwischen auch im Bestand einen effizienten Einsatz. Insbesondere in Gebieten, die nicht an ein Wärmenetz angeschlossen werden können, stellen dezentrale Lösungen auf Basis von Wärmepumpen einen geeigneten und zukunftsfähigen Versorgungsansatz dar. Ein verstärkter Einsatz von Wärmepumpen hilft zudem, begrenzte Ressourcen wie Biomasse oder Wasserstoff gezielt für andere Anwendungen zu reservieren.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt, Bohrfirmen

AKTEURE

Stadt, Bürgerschaft, Genehmigungsbehörden, Bohrfirmen

KOSTEN[54]

Investitionskosten für ein Einfamilienhaus (inkl. Installation & Bohrung) in Abhängigkeit der Wohnfläche[55] und je nach Leistung:
Luft-Wärmepumpe: 15.000 – 25.000 €
Wasser-Wärmepumpe: 22.000 – 45.000 €
Sole-Wärmepumpe: 35.000 – 50.000 €

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

FÖRDERUNG

Mit der aktuellen BEG-Einzelförderung sind Förderquoten von etwa 30 bis 70 % möglich

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- **Luft-Wasser-Wärmepumpe:** Geringe Investitionskosten im Vergleich zu anderen Wärmepumpen. Wirkungsgrad schwankt wegen der Außenlufttemperatur, wirtschaftlich jedoch oft geeignet für Ein- und Zweifamilienhäuser.
- **Wasser-Wasser-Wärmepumpe:** Hohe Effizienz durch konstante Grundwassertemperatur. Höhere Investitionskosten, aber besonders für größere Gebäude vorteilhaft. Geeignete hydrogeologische Bedingungen erforderlich.
- **Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdwärme):** Effizient und betriebssicher durch Nutzung von Erdsonden oder Erdkollektoren. Höhere Kosten durch Bohrungen bzw. Flächenbedarf. Passive Kühlung möglich bei vorhandenen Flächenheizungen.

[54] Wärmepumpe: Kosten und Preise im Überblick (2025)
[55] Wärmepumpe: Kosten und Preise im Überblick (2025)

6.5.4 Maßnahme 16 (Speicher)

Integration von Energiespeichern ermöglichen	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

Energiespeicher sind ein zentrales Element der kommunalen Wärmewende. Sie ermöglichen die zeitversetzte Nutzung erneuerbar erzeugter Energie, glätten Lastspitzen und verbessern die Steuerung lokaler Energieflüsse. Mit dem weiteren Ausbau von PV, Wärmepumpen und Power-to-Heat steigt der Bedarf an Speicherlösungen deutlich an. Der Speicherbereich entwickelt sich derzeit dynamisch: sinkende Kosten, neue Technologien wie Hochtemperatur- oder Eisspeicher sowie angepasste regulatorische Rahmenbedingungen erweitern die Einsatzmöglichkeiten. Neben klassischen Wärmespeichern können auch Batteriespeicher eine Rolle spielen, insbesondere für die lokale Nutzung von Solarstrom. Durch die gezielte Standortwahl und die Kopplung an bestehende oder geplante Einspeisepunkte können Speicher zur Entlastung der Netze beitragen und erneuerbare Energien besser integrieren. Wichtig ist, dass sowohl gewerbliche als auch kommunale oder gemeinschaftliche Speicherprojekte planerisch ermöglicht und unterstützt werden etwa durch Flächensicherung, Förderberatung oder geeignete Beteiligungsmodelle.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt, Netzbetreiber

AKTEURE

Stadt, Netzbetreiber, Speichertechnologieanbieter, Wärmeversorger, Bürgerenergiegesellschaften, Projektentwickler

KOSTEN

Projektabhängig je nach Speicherart und Betriebsmodell

(€€) mittel: 10.001 – 100.000 €

FÖRDERUNG

Fördermöglichkeiten bestehen z. B. über BEW (Wärmenetze), KfW-Förderkredite oder Landesprogramme

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Potenzialanalyse für Strom- und Wärmespeicher im Stadtgebiet
- Identifikation strategisch sinnvoller Einspeisepunkte
- Prüfung möglicher Speichertechnologien je nach Anwendungsfall
- Entwicklung kommunaler Speicherprojekte oder Unterstützung privater Initiativen
- Integration in bestehende bzw. geplante Wärme- und Stromprojekte
- Förderberatung und Koordination mit Netzbetreibern

6.5.5 Maßnahme 17 (Synchronisierung der Stromverteilnetze)

Synchronisierung der KWP mit dem Ausbau der Stromverteilnetze	Waldkraiburg	

BESCHREIBUNG

In Bereichen ohne wirtschaftlich realisierbares Wärmenetz sowie für Haushalte, die sich nicht anschließen möchten, wird künftig verstärkt strombasierte Wärmeversorgung eingesetzt vor allem durch Wärmepumpen. Auch wenn ein Teil des benötigten Stroms lokal durch PV-Anlagen bereitgestellt werden kann, führt die Gesamtbelastung zu wachsenden Anforderungen an das Stromverteilnetz. Damit das Netz zukünftige Lasten sicher aufnehmen kann, sind frühzeitige und langfristige Ausbau- und Ertüchtigungsmaßnahmen notwendig. Die im Rahmen der Wärmeplanung prognostizierte Entwicklung der strombasierten Wärmeerzeugung sollte daher in die Netzausbau- und Sanierungsstrategien des örtlichen Verteilnetzbetreibers integriert werden. Eine vorausschauende Planung ermöglicht einen effizienten und kostengünstigen Ausbau und vermeidet spätere Engpässe.

BEGINN

2025

DAUER

Kontinuierlich bis 2045

INITIATOR

Stadt, Örtliche Strom-Verteilnetzbetreiber (VNB)

AKTEURE

Örtliche Strom-Verteilnetzbetreiber (VNB), Kommunalunternehmen, Stadtverwaltung, ggf. Ingenieurbüros

KOSTEN

Keine direkten zusätzlichen Kosten, Personalaufwand für die Abstimmung mit dem VNB

(€) gering: < 10.000 €

MÖGLICHE MAßNAHMENBAUSTEINE

- Klärung inwiefern die Situation bereits in bestehenden Ausbaupfaden des VNB abgebildet ist
- Abschätzung der Größenordnung und geographische Verteilung zusätzlicher elektrischer Lasten im Verteilnetz durch die Wärmewende-Strategie der KWP
- Sicherstellung der Einarbeitung entsprechender Erkenntnisse in die Ausbaupläne des VNB

Anlagen

Anlage 1 – Baujahresverteilung

Anlage 2 – Sanierungspotenzial

Anlage 3 – Wärmeliniendichte

Anlage 4 – Energieträger Heizungen

Anlage 5 – Heizungsart

Anlage 6 – Sektorenverteilung

Anlage 7 – Wärmedichte

Anlage 8 – Grobe Ausbauziel Wärmenetz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geographische Lage von Waldkraiburg Datenquelle Kartenhintergrund: Open Street Maps 8
Abbildung 2: Gebäudebestand nach Baualtersklassen in der Stadt Waldkraiburg (Zensus, 2022) 9
Abbildung 3: Steckbrief Stromdaten Waldkraiburg Stand 2023 Quelle: EnergieAtlas Bayern 10
Abbildung 4: Entwicklung erneuerbare Stromerzeugung Waldkraiburg Quelle: EnergieAtlas Bayern 11
Abbildung 5: Übersichtsplan Erdgasnetz Waldkraiburg 13
Abbildung 6: Jahresgasverbrauch Waldkraiburg nach Sektoren 14
Abbildung 7: Bestandswärmenetzes in der Stadt Waldkraiburg 15
Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung von PV-Neuinstallationen 17
Abbildung 9: Kumulierte Entwicklung der PV-Anlagen in Waldkraiburg 18
Abbildung 10: Jährlicher Zubau und kumulierte Kollektorfläche Solarthermie in Waldkraiburg Quelle: Solaratlas 19
Abbildung 11: Erdwärmesonden und Grundwasserwärmepumpen in Waldkraiburg 20
Abbildung 12: Verteilung des Wärmeverbrauchs nach den Sektoren in Waldkraiburg 22
Abbildung 13: Einsatz der Energieträger in Waldkraiburg 23
Abbildung 14: Treibhausgas-Bilanz nach Energieträgern 24
Abbildung 15:Energieersparnis durch Sanierung Quelle: Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. 25
Abbildung 16: Sanierungsszenarien in Waldkraiburg 31
Abbildung 17: Solarthermie-Potenzialflächen in Waldkraiburg 34
Abbildung 18: Kostenfunktion von FFSt mit Vakuumröhren 36
Abbildung 19: Überblick über Wärmeentzugstechnologien zur Nutzung oberflächennaher Geothermie 37
Abbildung 20: Standorteignung für oberflächennahe Geothermie in Waldkraiburg Quelle: Energie-Atlas Bayern 38
Abbildung 21: Wärmeleitfähigkeit im Projektgebiet bis 100 m Tiefe Quelle: lfu.bayern.de 39
Abbildung 22: Spezifische Wärmeleitfähigkeit bis 2 m Tiefe Quelle: Energie-Atlas Bayern 40
Abbildung 23: Übersicht der klimatologischen Bedingungen in der Stadt Waldkraiburg Datenquelle: www.meteoblue.com 41
Abbildung 24: Hydrogeologische Klassifikation der Grundwasserleiter Quelle: www.geoportal.bayern.de 42
Abbildung 25: Entzugsleistungen bei 100 m Brunnenabstand Quelle: Energie-Atlas Bayern 43
Abbildung 26: Investitionskosten für Grundwasserwärmepumpen gemäß Prognos AG et al. (Technikkatalog Wärmeplanung) 44
Abbildung 27: Investitionskosten für Sole-Wasser Wärmepumpen (Erdsonden) gemäß Prognos AG et al. (Technikkatalog Wärmeplanung) 44
Abbildung 28: Übersicht der Wassertemperaturen im Inn an der Messstelle Wasserburg am Inn im Jahr 2024 Quelle: Gewässerkundlicher Dienst Bayern 45
Abbildung 29: Abfluss und Schwebstoffmengen im Inn an der Messstelle Wasserburg am Inn im Jahr. 2024 Quelle: Gewässerkundlicher Dienst Bayern 46
Abbildung 30: Investitionskosten für Luft-Wasser Wärmepumpen gemäß Prognos AG et al. (Technikkatalog Wärmeplanung) 47
Abbildung 31: Funktionsprinzip der Abwasserwärmepumpe mit Wärmetauscher im Kanal Bildquelle: klima-jentzsch.de 48

Abbildung 32: Ablaufwerte der Kläranlage der Stadt Waldkraiburg im Jahr 2022 49
Abbildung 33: Temperaturwerte des Zulaufes der Kläranlage der Stadt Waldkraiburg im Jahr 2022 49
Abbildung 34: Spezifische Höhen der Gesamtinvestition von Großwärmepumpen in Abhängigkeit der genutzten Wärmequelle Quelle: AGFW Praxisleitfaden Großwärmepumpen (2023) 50
Abbildung 35: Aufteilung der Gesamtinvestition auf Einzelposten Quelle: AGFW Praxisleitfaden Großwärmepumpen (2023) 50
Abbildung 36: Übersicht der möglichen Gebiete für Tiefengeothermie in der Stadt Waldkraiburg Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de 51
Abbildung 37: Heißwasser-Aquifere mit Temperaturen über 100 °C Datenquelle: GeotIS, www.geotis.de 52
Abbildung 38: Kostenfunktion der Bohrkosten für eine Tiefengeothermieanlage Datenquelle: AFGW Praxisleitfaden Tiefengeothermie 55
Abbildung 39:Bohrungen nach Tiefenklassen im Stadtgebiet Waldkraiburg Quelle: Bohrpunktkarte Deutschland der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 56
Abbildung 40:Kostenstruktur von Holzhackschnitzelanlagen Quelle: Bremer Energie Institut 59
Abbildung 41: Kies-Wasser Erdbecken in Eggenstein Bildquelle: Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung 65
Abbildung 42: Kosten von verschiedenen Saisonalspeichervarianten pro m³ Quelle: Saisonalspeicher.de 66
Abbildung 43: Theoretische energetische Potenziale der Stadt Waldkraiburg 67
Abbildung 44: Wärmegestehungskosten in einem mittleren Preisszenario nach Gebäudetypen in Deutschland gemäß Studie des Energiewirtschaftliches Instituts an der Universität Köln 68
Abbildung 45: Wärmenetzeignung in Abhängigkeit der Wärmeliniendichte gemäß KWW Handlungsleitfaden Wärmeplanung 70
Abbildung 46: Wärmeliniendichten im Projektgebiet, Anschlussquote 80 % 71
Abbildung 47: Darstellung der groben Ausbauziele des Wärmenetzes der Stadtwerke Waldkraiburg 72
Abbildung 48: Entwicklung der Wärmeversorgungsarten in Waldkraiburg bis 2045 75
Abbildung 49: Prognose der Energieträgerverteilung in Waldkraiburg bis 2045 75
Abbildung 50: Entwicklung der CO_2-Emissionen nach Energieträger bis 2045 76
Abbildung 51: Vergleich der CO_2-Emissionen der verschiedenen Varianten in den definierten Stützjahren 77
Abbildung 52: Vergleich der kumulierten CO_2-Emissionen der unterschiedlichen Szenarien 77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestand an Wohngebäude und Haushalte in Waldkraiburg (Stand: 2023) Datenquelle: statistik.bayern.de (Staatsregierung 2024) 9
Tabelle 2 Anlagen des Heizkraftwerkes 14
Tabelle 3: Erzeuger der Geothermie-Heizzentrale der Stadtwerke Waldkraiburg 16
Tabelle 4: Im Projektgebiet bestehende BHKW-Anlagen 16
Tabelle 5: THG-CO_2-Mengen in t 24
Tabelle 6: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor Wohnbau in Waldkraiburg 26
Tabelle 7: Hohes Sanierungsszenario im Sektor Wohnbau in Waldkraiburg 27
Tabelle 8: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor kommunale Gebäude in Waldkraiburg 27
Tabelle 9: Hohes Sanierungsszenario im Sektor kommunale Gebäude in Waldkraiburg 28
Tabelle 10: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor GHD in Waldkraiburg 28
Tabelle 11: Hohes Sanierungsszenario im Sektor GHD in Waldkraiburg 29
Tabelle 12: Niedriges Sanierungsszenario im Sektor Industrie in Waldkraiburg 29
Tabelle 13: Hohes Sanierungsszenario im Sektor Industrie in Waldkraiburg 29
Tabelle 14: Zusammengefasstes Sanierungspotenzial im niedrigen Sanierungsszenario der Sektoren ohne Industrie der Stadt Waldkraiburg 30
Tabelle 15: Zusammengefasstes Sanierungspotenzial im hohen Sanierungsszenario der Sektoren ohne Industrie der Stadt Waldkraiburg 30
Tabelle 16: Abwärme Potenziale aus unvermeidbarer Abwärme Waldkraiburg 32
Tabelle 17: Solarthermie-Potenzialflächen in m² 35
Tabelle 18: Nutzungsdauer und Kosten von Solarthermieanlagen gemäß VDI 2067 36
Tabelle 19: Nutzungsdauer und Kosten von Wärmepumpen gemäß VDI 2067 44
Tabelle 20:Nutzungsdauer und Kosten von Wärmepumpen gemäß VDI 2067 50
Tabelle 21: Kennzahlen der bestehenden Geothermieanlage in Waldkraiburg 53
Tabelle 22: Geologisches Profil in Waldkraiburg Datenquelle: Waldkraiburg Geothermie - 2. Dublette - Voruntersuchung der TERRA Umwelttechnik GmbH vom 18.07.2023 54
Tabelle 23: Biomassepotenzial in Waldkraiburg Quelle: Energie-Atlas Bayern 57
Tabelle 24: Biogaspotenzial in Waldkraiburg Quelle: Energie-Atlas Bayern 57
Tabelle 25:Nutzungsdauer und Kosten von Biomassekessel gemäß VDI 2067 58
Tabelle 26: Übersicht der Eigenschaften der gängigen Saisonalspeicheranlagen 63
Tabelle 27: Vor- und Nachteile der jeweiligen Energieträger 69
Tabelle 28: Tabellarische Darstellung des Zielszenarios der Stadt Waldkraiburg bis 2045 74
Tabelle 29:Übersicht der Maßnahmen 79