

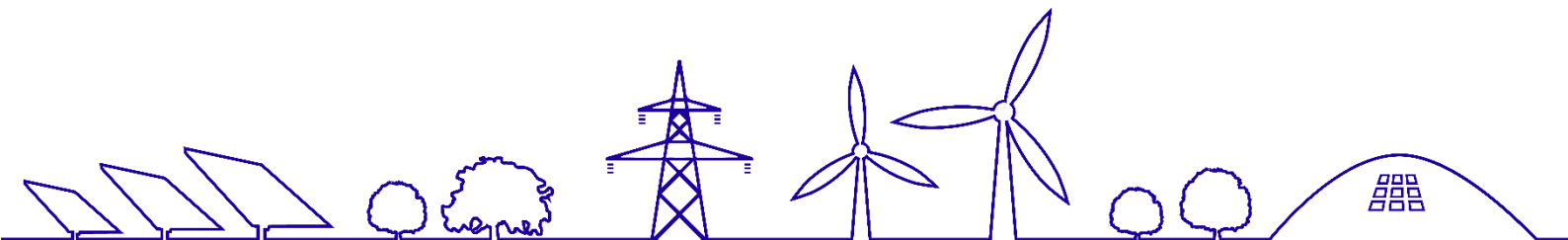


Kommunale Wärmeplanung für die Stadt Bad Krozingen

im Konvoi mit
Gemeinde Hartheim am Rhein und
Stadt Staufen im Breisgau



Fachgutachten
September 2024



Kommune: Stadt Bad Krozingen
Basler Str. 30
79189 Bad Krozingen



Erstellt durch: badenovaNETZE GmbH
Tullastraße 61
79108 Freiburg



Verfassende: Philip Lotte
Karla Müller
Dr. Marc Krecher
Marco Schneider
Johannes Drayß

Förderkennzeichen: BWKWP 22509
Gefördert durch das
Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft Baden-Württemberg



Freiburg, September 2024

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in diesem Bericht auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
KARTENVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
ZIELSETZUNG UND VORGEHEN DER KOMMUNALEN WÄRMEPLANUNG	1
1. AKTEURSBETEILIGUNG	4
1.1 AKTEURSANALYSE	4
1.2 BETEILIGUNGSKONZEPT	5
2. BESTANDSANALYSE	7
2.1 STRUKTUR DER STADT BAD KROZINGEN.....	7
2.2 ERFASSUNG DES GEBÄUDEBESTANDS	9
2.3 AKTUELLE VERSORGUNGSSTRUKTUR	14
2.4 WÄRMEBEDARF DER GEBÄUDE	20
2.5 ENDENERGIEVERBRAUCH WÄRME	21
2.6 SEKTORENKOPPLUNG UND STROMBEDARFSDECKUNG.....	27
2.7 ERNEUERBARE GASE.....	28
2.8 KENNZAHLEN DER BESTANDSANALYSE	31
3. POTENZIALANALYSE	33
3.1 ENERGIEEINSPARUNG	33
3.2 STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ	34
3.3 ERNEUERBARE ENERGIE FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG	39
3.4 ERNEUERBARE ENERGIE FÜR DIE STROMERZEUGUNG	51
3.5 ERNEUERBARE GASE.....	55
3.6 ZUSAMMENFASSUNG DER POTENZIALE.....	59
4. ZIELSZENARIO KLIMANEUTRALER GEBÄUDEBESTAND 2040	63
4.1 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN DES ZIELSZENARIOS	63
4.2 ZUKÜNFTIGER WÄRMEBEDARF 2030 UND 2040	65
4.3 DECKUNG DES ZUKÜNFTIGEN WÄRMEBEDARFS NACH ENERGieträgern	66
4.4 ZUKÜNFTIGE VERSORGUNGSSTRUKTUR 2030 UND 2040	70
4.5 TRANSFORMATION DES ERDGASNETZES	74
4.6 SENKEN FÜR RESTEMISSIONEN.....	76
4.7 KENNWERTE DES ZIELBILDS	78
5. KOMMUNALE WÄRMEWENDESTRATEGIE	80
5.1 KOMMUNALE HANDLUNGSFELDER FÜR DIE WÄRMEWENDE	81
5.2 MAßNAHMEN DES KOMMUNALEN WÄRMEPLANS 2024.....	83

6.	FORTSCHREIBUNG UND AUSBLICK.....	89
6.1	FORTSCHREIBUNG DES KOMMUNALEN WÄRMEPLANS	89
6.2	AUSBLICK	89
7.	METHODIK.....	90
7.1	ENERGIE- UND THG-BILANZ	90
7.2	SOLARPOTENZIAL	93
7.3	ERDWÄRMESONDENPOTENZIALE	93
7.4	LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPENPOTENZIALE	95
7.5	GRUNDWASSERPOTENZIALE	96
7.6	ZIELSZENARIO.....	97
8.	GLOSSAR	98
9.	LITERATURVERZEICHNIS	102
10.	ANHANG.....	105
10.1	STECKBRIEFE DER FERNWÄRME-EIGNUNGSGEBIETE UND FÜR DIE DEZENTRALE WÄRMEVERSORGUNG	105
10.2	GEBÄUDESTECKBRIEFE.....	131

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Übersicht des Projektablaufs und der Akteursbeteiligung	4
Abbildung 2 – Logo für die kommunale Wärmeplanung im Konvoi Bad Krozingen, Staufen, Hartheim.	6
Abbildung 3 – Anteil der Wohngebäude nach Baualter und WSchV in Bad Krozingen	10
Abbildung 4 – Verteilung der Gebäudearten in Bad Krozingen	12
Abbildung 5 – Energieträgerverteilung der Zentralanlagen und Fernwärmeanteil in Bad Krozingen	17
Abbildung 6 – Einbaujahr der Zentralheizkessel in Bad Krozingen nach Energieträger (Datengrundlage: Schornsteinfegerstatistik 2021)	18
Abbildung 7 – Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs nach Energieträgern (2021)	22
Abbildung 8 – Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren nach Energieträgern (2021)	24
Abbildung 9 – Wärmeverbrauch der 28 kommunalen Liegenschaften mit dem größten Verbrauch nach Bauwerkszuordnung	25
Abbildung 10 – Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren nach Energieträgern (2021)	26
Abbildung 11 – Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK im Vergleich zum Stromverbrauch im Jahr 2021	28
Abbildung 12 – Wärmebedarf der Wohngebäude sowie theoretisches Energieeinsparpotenzial	36
Abbildung 13 – THG-Bilanz des Wärmeverbrauchs nach Sektor und Energieträger	37
Abbildung 14 – Techniken der Oberflächennahen Geothermie und ihre Leistungsfähigkeit	42
Abbildung 15 – Unterscheidung der zwei grundlegenden tiefeingeothermischen Verfahren (aus GeORG-Kartenviewer)	47
Abbildung 16 – Stromerzeugungspotenziale mit Photovoltaik in Bad Krozingen	55
Abbildung 17 – Versorgungssicherheit durch Schließung der Winterlücke (Powerloop, 2020)	56
Abbildung 18 – Industrieller Wärmebedarf nach Wirtschaftszweigen (Agentur für erneuerbare Energien, 2017)	58
Abbildung 19 – Erneuerbare Strompotenziale in Bad Krozingen	59
Abbildung 20 – Erneuerbare Wärmepotenziale in Bad Krozingen	60
Abbildung 21 – Entwicklung des Energieverbrauchs für die Wärme nach Sektoren im Zielszenario	66
Abbildung 22 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Erzeugungsart	67
Abbildung 23 – Möglicher Energieträgermix der zentralen Wärmeversorgung im Jahr 2040	67
Abbildung 24 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Energieträger	68
Abbildung 25 – Entwicklung der wärmebedingten THG-Emissionen bis zum Jahr 2040	69
Abbildung 26 – Stromverbrauchsszenario der Stadt Bad Krozingen	70
Abbildung 27– Übersicht der Speicherkapazität und Ausspeicherdauer verschiedener Speichertechnologien (Sternier & Stadler, 2014)	73
Abbildung 28 – Häufigkeit der jeweiligen Gebäudetypen in der Stadt Bad Krozingen	131
Abbildung 29 – Häufigkeit der Gebäudealtersklassen in der Stadt Bad Krozingen	131
Abbildung 30 – Beispielhafter Gebäudesteckbrief für den Typ EFH-E	136

Kartenverzeichnis

Karte 1 – Projektgebiet des Konvois	1
Karte 2 – Gliederung der Stadt Bad Krozingen und Ihrer Ortsteile (Hintergrundkarte: TopPlus-Web-Open/copyright).....	8
Karte 3 – Räumliche Verteilung der Gebäude nach den Baualtersklassen, bezogen auf Baublöcke. (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2024).....	11
Karte 4 – Gebäudestruktur im Ortsteil Bad Krozingen-Stadt (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2024)	13
Karte 5 – Gasnetzinfrastruktur in Bad Krozingen - Kernort (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2024).....	15
Karte 6 – Wärmenetz der badenovaWÄRMEPLUS (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2024).....	16
Karte 7 – Durchschnittliches Heizungsalter auf Baublockebene.....	19
Karte 8 – Vorwiegender Energieträger der Heizanlagen auf Baublockebene (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2024).....	20
Karte 9 – Endenergiebedarf Wärme der Stadt Bad Krozingen auf Baublockebene (Smart Geomatics GmbH).....	27
Karte 10 – Einsparpotenziale durch energetische Sanierung der Wohngebäude in Bad Krozingen (Ausschnitt; Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023).....	35
Karte 11 – Verteilung der Wasserschutzzonen auf der Gemarkung Bad Krozingen nach LGRB - ISONG BW (Stand 2023).....	43
Karte 12 – Ergiebigkeit der Grundwasser führenden Gesteine nach LGRB Baden-Württemberg	45
Karte 13 – Lage der Potenzialflächen für Windenergieanlagen (blaue Flächen) auf der Gemarkung Hartheim (Planentwurf des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein, 2024) sowie potenzielle Anlagenstandorte (Das grüne Emissionshaus).....	53
Karte 14 - Mögliches Flächenpotenzial für PV-Freiflächenanlagen auf Grundlage der Offenlage des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein (RSVO)	54
Karte 15 – Übersicht der farblich markierten zentralen Eignungsgebiete	72
Karte 16 - Fernwärme-Eignungsgebiete der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Bad Krozingen (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2024)	105

Tabellenverzeichnis

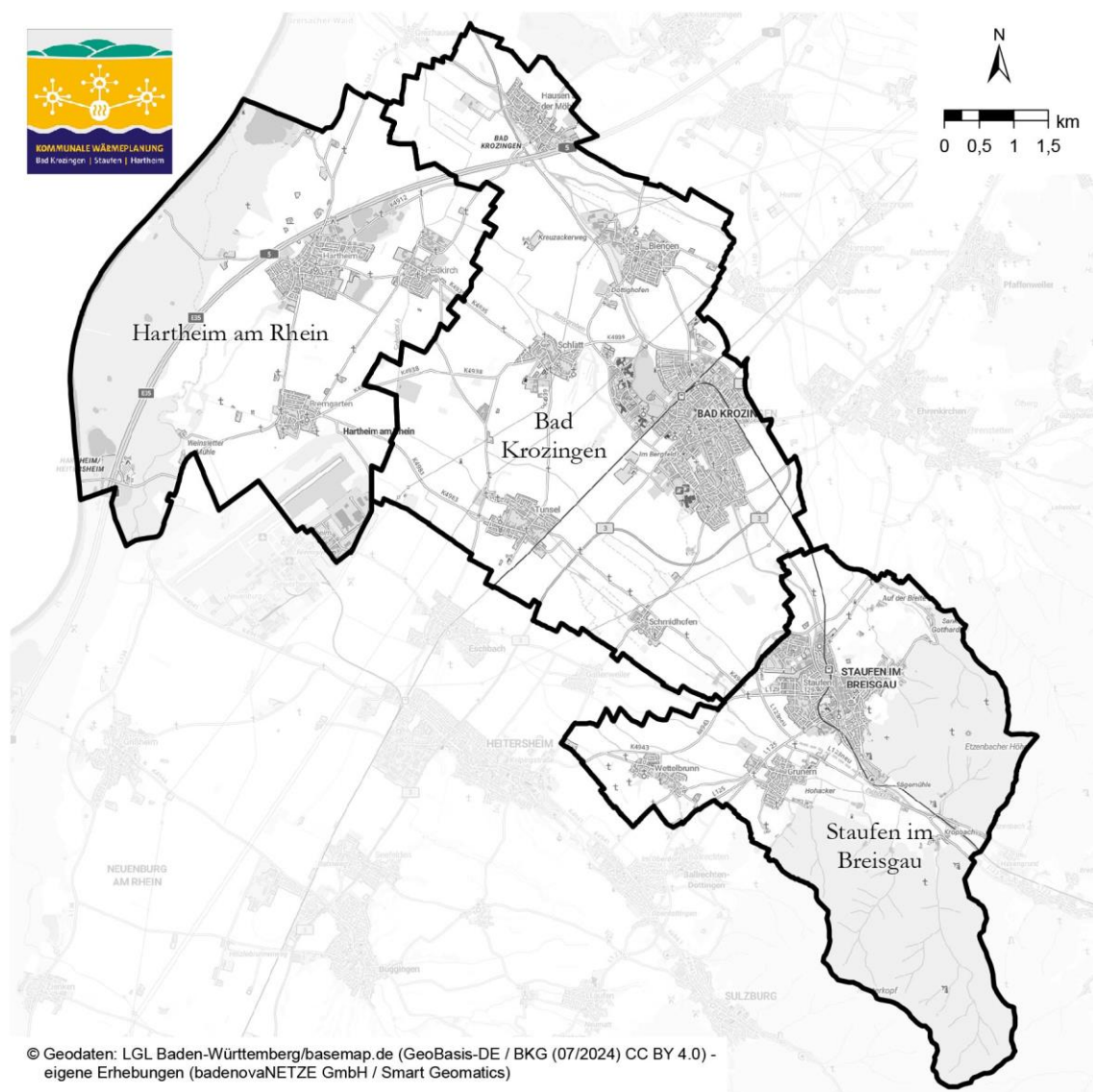
Tabelle 1 – Chronologie der Baualtersklassen nach der Deutschen Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt GmbH, (2005)	9
Tabelle 2 – Endenergieverbrauch für Wärme der Stadt Bad Krozingen nach Energieträger in Zahlen (2021)	23
Tabelle 3 – Begriffsabgrenzung erneuerbarer Gase (Angelehnt an VKU, (2017))	29
Tabelle 4 – Unterscheidung der Bezeichnungen für Wasserstoff nach Produktionsverfahren	29
Tabelle 5 – Wesentliche Kennzahlen der Bestandsanalyse.....	32
Tabelle 6 – Energetisches Potenzial einiger landwirtschaftlichen Reststoffe in der Stadt Bad Krozingen	41
Tabelle 7 – Übersicht der nutzbaren Erzeugungspotenziale aus erneuerbaren Energien in Bad Krozingen	62
Tabelle 8 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2021	78
Tabelle 9 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren abgeschätzt für das Jahr 2030	78
Tabelle 10 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren abgeschätzt für das Jahr 2040	79
Tabelle 11 – Genutztes Endenergiepotenzial zur klimaneutralen Wärmeversorgung.....	79
Tabelle 12 – THG-Emissionen und -Einsparungen durch Einspeisung erneuerbarer Energien (Datengrundlage: IFEU 2024).....	91
Tabelle 13 – Emissionsfaktoren für die Wärmeerzeugung (2021) (Quelle: IFEU 2024)	92
Tabelle 14 – Bewertung der Datengüte der Energie- und THG-Bilanz nach Sektoren (inkl. Stromverbrauch).....	92
Tabelle 15 – Vorgegebene Untergrundparameter	93
Tabelle 16 – Vorgegebene Sondenparameter	94
Tabelle 17 – Berechnete spezifische Wärmeentzugsleistungen und Temperaturwerte	94
Tabelle 18 – Vorgegebene Parameter zur Berechnung der Wärmebedarfsdeckung	95
Tabelle 19 – Vorgegebene Durchschnittswerte zur Berechnung der Sondenbelegungsdichte	95
Tabelle 20 – Abschätzung des Wärmeerzeugungspotenzial aus Grundwasser	96
Tabelle 21 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Strom nach Erzeugungsart für die Jahre 2030 und 2040	97
Tabelle 22 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Wärme nach Energieträger für die Jahre 2030 und 2040	97

Abkürzungsverzeichnis

BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
CO _{2e}	CO ₂ -Äquivalente
EU	Europäische Union
FFÖ-VO	Freiflächenöffnungsverordnung
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GIS	Geographisches Informationssystem
GWP	Global Warming Potential
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
ISONG-BW	Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg
ITG	Instituts für technische Gebäudeausrüstung
IWU	Institut für Wohnen und Umwelt
KEA-BW	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KWP	kommunale Wärmeplan
LUBW	Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg
MWh	Megawattstunde
PtG	Power-to-Gas
PV	Photovoltaik
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
THG	Treibhausgas
WSchV	Wärmeschutzverordnung

Zielsetzung und Vorgehen der kommunalen Wärmeplanung

Die Abmilderung des Klimawandels ist in Deutschland und in Baden-Württemberg seit 2011 zu einem prioritären Ziel ausgerufen worden. Für die als „Große Transformation“ bezeichnete nationale Politik ist vor allem die Dekarbonisierung der Energieversorgung von zentraler Bedeutung (WBGU, 2011). Während im Elektrizitätssektor durch den Ausbau der erneuerbaren Stromquellen, wie z.B. Windenergie und Photovoltaik, bereits wesentliche Fortschritte gemacht wurden, wird nun die ebenso notwendige Wärmewende in den Fokus gebracht. Im Jahr 2021 wurden rund 85 % der Wärme in Baden-Württemberg mit fossilen Wärmequellen, wie z.B. Heizöl und Erdgas, erzeugt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022). Gleichzeitig sinkt der Wärmebedarf der Bestandsgebäude nur langsam, da energetische Sanierungen hohe Investitionskosten verursachen können.



Karte 1 – Projektgebiet des Konvois

Das Land Baden-Württemberg hat im Jahr 2023 den notwendigen Maßnahmen im Wärmesektor mit einer Novellierung des Landes-Klimaschutzgesetzes Rechnung getragen und für alle großen Kreisstädte im Land eine verpflichtende kommunale Wärmeplanung festgesetzt. Städte und Gemeinden, die keine Kreisstädte sind, können diesen, nach dem aktuellen Bundesgesetz, bis zum 30.06.2028 erstellen. Gerade kleinere Kommunen können sich zusammenschließen und die Wärmeplanung im Konvoi durchführen. Durch diese interkommunale Zusammenarbeit können bei der Planung Synergieeffekte gehoben werden. Die Kommunen Bad Krozingen, Staufen und Hartheim haben sich darauf geeinigt, die kommunale Wärmeplanung im Konvoi durchzuführen. Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist, dass die Kommunen eine Strategie für die Wärmeversorgung entwickeln, um einen klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahr 2040 zu erreichen. Der kommunale Wärmeplan besteht aus den folgenden vier Arbeitspaketen, nach denen sich auch dieses Gutachten gliedert:

1. Bestandsanalyse

Die Energie- und Gebäudeinfrastruktur sowie der Energieverbrauch und die damit entstehenden Treibhausgasemissionen (THG) werden für das Stadtgebiet möglichst gebäudescharf erfasst und ein sogenannter digitaler Zwilling der jeweiligen Kommune wird erstellt.

2. Potenzialanalyse

Die lokalen Potenziale zur Versorgung der Kommune mit erneuerbaren Energien werden erhoben. Dabei fließt die Betrachtung erneuerbarer Wärmequellen (Solarthermie, Geothermie, Biomasse etc.), erneuerbarer Stromquellen (Photovoltaik, Windenergie, Wasserkraft etc.) und Abwärme (Industrie, Abwasser, Rechenzentren etc.) mit ein. Zudem wird das Potenzial steigender Energieeffizienz berechnet, sodass die Menge an benötigter erneuerbarer Energie im Jahr 2040 minimiert wird.

3. Zielszenario

Auf Basis der Bestands- und Potenzialanalyse wird ein energetisches Zielszenario für das Jahr 2040 mit Zwischenziel 2030 erstellt. Dieses soll die zukünftige (klimaneutrale) Energieinfrastruktur unter Einbindung der ermittelten Potenziale darstellen. Dabei werden auch sogenannte Eignungsgebiete beschrieben, in welchen zukünftig die Wärmeversorgung zentral über Wärmenetze oder dezentral erfolgen soll.

4. Wärmewendestrategie mit Maßnahmenkatalog

Mit der Wärmewendestrategie soll das erstellte Zielszenario erreicht werden. Ein Katalog führt auf, wie die Kommune mit verschiedenen Maßnahmen in ihrer Gesamtheit die klimaneutrale Wärmeversorgung erreichen kann. Von diesen Maßnahmen müssen fünf Maßnahmen bereits in den ersten fünf Jahren nach Erstellung in die Umsetzung kommen. Der kommunale Wärmeplan (KWP) soll alle sieben Jahre fortgeschrieben werden.

Im Auftrag der Stadt Bad Krozingen stellt das folgende Gutachten die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung mit dem Stand August im Jahr 2024 dar. Der kommunale Wärmeplan wurde in Abstimmung mit der kommunalen Verwaltung seit Anfang 2023 erstellt. Beim Wärmeplan sind die geografisch zugeordneten Daten des Wärmeverbrauchs (der sog. digitale Zwilling), der Potenziale und der perspektivischen Infrastruktur ein wichtiges Ergebnis. Dieses wird der Stadt zur weiteren Bearbeitung übergeben, damit diese fortlaufend angepasst und bearbeitet werden können. Eine Fortschreibung des Wärmeplans der Stadt Bad Krozingen wird nach aktuellen gesetzlichen Vorgaben spätestens bis zum Jahr 2031 erfolgen müssen.

Der kommunale Wärmeplan richtet sich zunächst an das Wirkungsfeld der Kommune, sowohl als umsetzende Instanz als auch als Auftraggeberin. Ziel ist es, Maßnahmen zu definieren, die von der Stadt direkt umgesetzt werden können. Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass der Zielzustand eines klimaneutralen Gebäudebestands für die Stadt Bad Krozingen nur durch ein Mitwirken auf bundesweiter politischer Ebene und mit großen Anstrengungen der lokalen Akteure und der Bürgerinnen und Bürger der Stadt gelingen wird. Mit dem Betrieb des Fernwärmenetzes im

Kurgebiet sowie rund um das Rathaus und im Areal die Schwimmbadstraße haben die Stadt und die badenovaWärmePLUS bereits wichtige Erfahrungen sammeln können, um den Wärmeplan und dessen langfristige Ziele umsetzen zu können.

1. Akteursbeteiligung

Die Erarbeitung des kommunalen Wärmeplans der Stadt Bad Krozingen hat unter Beteiligung lokaler Akteure und Stakeholder stattgefunden. Hierzu wurden verschiedene Informationsformate, Workshops und Veranstaltungen verwendet, die im Folgenden beschrieben werden. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Ablauf des kommunalen Wärmeplans und über die Akteursbeteiligung, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurde.

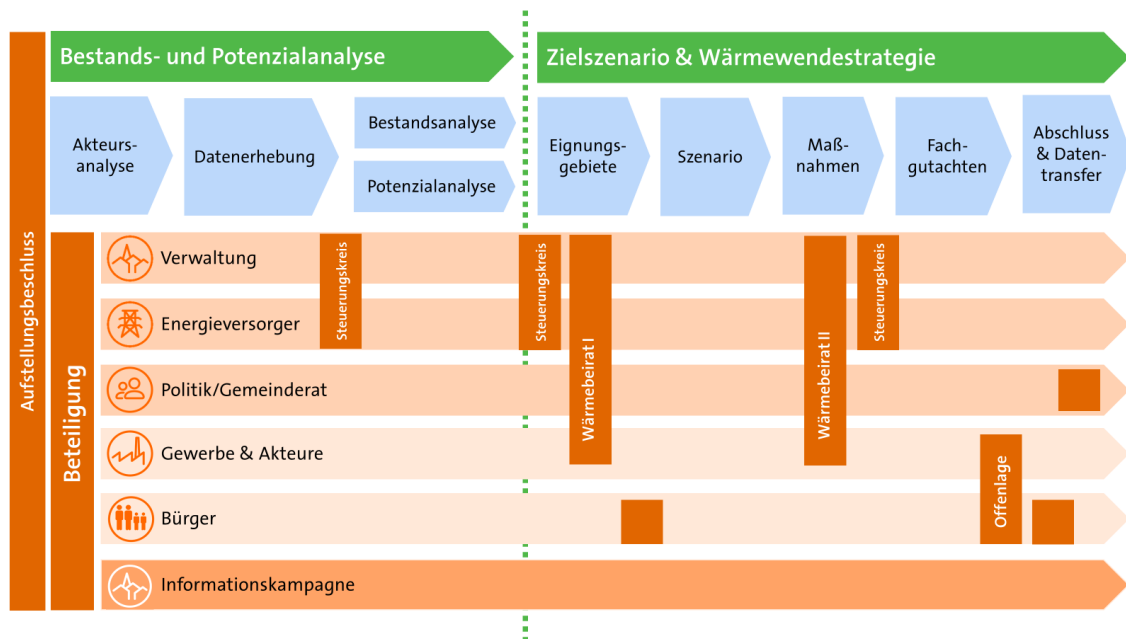


Abbildung 1 – Übersicht des Projektablaufs und der Akteursbeteiligung

Im Steuerungskreis haben vornehmlich Personen mitgewirkt, die Entscheidungsbefugnisse und relevante Aufgabenbereiche zur Bearbeitung der kommunalen Wärmeplanung übernommen haben. Dies waren die Bürgermeister der drei am Konvoi beteiligten Kommunen, die Bauamts- und/oder Rechnungsamtsleiter und Personen, die von Seiten der Verwaltung zur Unterstützung der KWP bestimmt waren. Der Wärmebeirat setzt sich einerseits aus interessierten Bürgerinnen und Bürgern zusammen, andererseits aus Gemeinderäten und aus aktiv mitwirkenden Personen aus der Verwaltung oder den Versorgungsunternehmen. Die erste Veranstaltung mit dem Wärmebeirat erfolgte in einer Videokonferenz, die zweite in Präsenz. Die Steuerungskreise trafen am jeweiligen Veranstaltungsort zusammen.

1.1 Akteursanalyse

Vor Beginn des Beteiligungskonzepts wurde eine Akteursanalyse durchgeführt, die die relevanten Akteure, lokalen Stakeholder und wichtigen Entscheidungsträger im Hinblick auf die Wärmewende in der Stadt identifiziert.

Folgende Akteure wurden in Bad Krozingen identifiziert:

- > Stadtverwaltung
- > Energieversorger
- > Gemeinderatsgremium

- > Bürgerschaft
- > Kur- und Bäder GmbH
- > AKK (Arbeitskreis Klimaschutz)
- > Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Ziel ist eine sinnvolle und ganzheitliche Beteiligung, um Ansichten, Anregungen und das lokale Wissen in die Planung mitaufzunehmen sowie eine breite Akzeptanz zu erreichen. Dabei sollen die Ergebnisse und Maßnahmen schließlich bei den relevanten Akteuren platziert werden, dass eine nahtlose Umsetzung erfolgen kann.

1.2 Beteiligungskonzept

Durch die Einbindung lokaler Akteure soll das bestehende Wissen im Kontext der kommunalen Wärmeplanung integriert und somit die Akzeptanz von erarbeiteten Lösungen erreicht werden. Dazu wurden im Rahmen der Konzepterarbeitung mehrere Veranstaltungen und Informationsformate durchgeführt, die im Folgenden beschrieben werden.

1.2.1 Regelmäßige Jour Fixe mit Vertretern der kommunalen Verwaltungen

Im Rahmen des Projektmanagements wurden im zweiwöchigen Rhythmus Abstimmungstermine zwischen dem Projektteam (bestehend aus badenovaNETZE und Stadtwerke Müllheim-Staufen) und dem Kernteam der kommunalen Verwaltungen durchgeführt. Dabei konnte der Fokus vor allem auf die Lösung operativer Herausforderungen sowie auf die Abstimmung der zu erarbeitenden Inhalte gerichtet werden.

1.2.2 Wärmewendebeirat

Im Projekt wurde zur Beteiligung der relevanten Akteursgruppen ein Gremium mit dem Namen „Wärmewendebeirat“ gegründet. Zweck dieses Gremiums war die Einbindung der lokalen Entscheidungsträger und Multiplikatoren in die Erstellung der kommunalen Wärmepläne. Die Zusammensetzung des Wärmewendebeirats wurde von den Kommunen bestimmt und bestand aus Vertretern der Stadtverwaltung, Gemeinderatsfraktionen, Bürgerakteursgruppen sowie Vertretern des Handwerks.

Während der ersten Veranstaltung wurden die Ergebnisse aus der Bestands- und Potenzialanalyse vorgestellt und mit den Mitgliedern erörtert. Diese Ergebnisse wurden um das lokale Wissen der Akteure ergänzt und damit verifiziert. Zudem fungierten die Mitglieder des Wärmewendebeirats als Multiplikatoren nach außen und sorgten so für eine Weitergabe der Erkenntnisse aus der Sitzung.

Die zweite Sitzung befasste sich mit der Vorstellung und Diskussion der Eignungsgebiete für zentrale, bzw. dezentrale Wärmeversorgung. Hier wurde die Karte der Eignungsgebiete dem Beirat präsentiert und das Vorgehen für die Einteilung erörtert. Der zweite Teil der Veranstaltung wurde, unter Moderation von Klaus Hoppe (Klaus Hoppe Consulting), als interaktiver Workshop zur Maßnahmenfindung durchgeführt. In Kleingruppen, die den einzelnen Kommunen zugeordnet waren, wurden Maßnahmenvorschläge erarbeitet, die maßgeblich Einfluss auf die im Wärmeplan enthaltenen Maßnahmen nahmen. So wurde sichergestellt, dass die Maßnahmen umsetzungsorientiert und zielführend gestaltet sind.

1.2.3 Markenzeichen

Zur optimalen Kommunikation der Inhalte des Wärmeplans an Externe wurde von badenova-NETZE ein Markenzeichen bzw. Signet erstellt. Dieses Logo soll den Wiedererkennungswert des Wärmeplans steigern und somit die Wärmewende und deren Akzeptanz vor Ort steigern.



Abbildung 2 – Logo für die kommunale Wärmeplanung im Konvoi Bad Krozingen, Staufen, Hartheim.

1.2.4 Bürgerinformationsveranstaltung

Die Umsetzung des kommunalen Wärmeplans muss von der Bevölkerung mitgetragen werden. Aus diesem Grund wurden zwei Bürgerveranstaltungen durchgeführt. Die Zwischenergebnisse (Arbeitspakete 1 & 2 sowie die Eignungsgebiete) wurden am 01. Februar 2024 auf einer öffentlichen Veranstaltung online präsentiert. Die Veranstaltung stieß auf großes Interesse, so dass ca. 80 Personen daran teilnahmen. Den Teilnehmenden wurde zudem die Möglichkeit eingeräumt Fragen zu stellen.

Der Zeitpunkt der zweiten Veranstaltung wurde so ausgewählt, dass diese als Abschluss des Projekts dient und über den gesamten Prozess und die erarbeiteten Ergebnisse informieren kann. Durch die Entscheidung zur Offenlage in Kombination mit der Bürgerveranstaltung wurde maximale Transparenz und Beteiligung sichergestellt und der Wärmeplan gesetzeskonform erarbeitet.

1.2.5 Offenlage

Gemeinsam mit der Stadt Bad Krozingen wurde entschieden, dass der kommunale Wärmeplan vor dem Feststellungsbeschluss durch den Gemeinderat der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollte, um den Akteuren und der Bürgerschaft die Möglichkeit zu geben, sich über die geplanten Maßnahmen im Detail zu informieren und sie an der Wärmeplanung zu beteiligen. Es gingen keine Einwände zur Niederschrift ein.

1.2.6 Gemeinderatssitzungen

Das Projekt wurde am 21. Oktober 2023 im Rahmen einer Klausurtagung des Gemeinderats in Konstanz vorgestellt. Hierbei wurde den Teilnehmenden ausführlich die kommunale Wärmeplanung nähergebracht sowie der aktuelle Stand des Projekts vorgestellt. Einzelne Gemeinderatsvertreter (aus jeder Fraktion) waren zusätzlich über den Wärmewendebeirat beteiligt. Das vorliegende Fachgutachten wird abschließend dem Gemeinderat zur Beschlussfassung vorgelegt.

2. Bestandsanalyse

In der Bestandsanalyse wird der energetische Ist-Zustand der Stadt Bad Krozingen erfasst. Ein wichtiger Baustein der Bestandsanalyse ist die Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz. Diese erfasst sämtliche Energieverbräuche auf der Gemarkungsfläche der Stadt über den Zeitraum eines Jahres und ordnet diese Verbräuche den wichtigsten Sektoren (private Haushalte, Wirtschaft, kommunale Liegenschaften, Verkehr) zu. Die Energie- und Treibhausgasbilanz liefert einen ersten Einblick in den energetischen Ist-Zustand der Stadt und wird nach einer einheitlichen Methodik erstellt, so dass das Ergebnis auch mit anderen Kommunen vergleichbar ist.

Da beim Transport von Wärme mit großen Verlusten zu rechnen ist, ist die räumliche Zuordnung von Wärmesenken und -quellen bei der Erstellung des kommunalen Wärmeplans ein weiterer wichtiger Baustein. Daher wurden im Rahmen der Bestandsanalyse räumliche Daten des Gebäudebestands, der Energieinfrastruktur und des Energieverbrauchs digital erfasst und ausgewertet.

Durch das novellierte Klimaschutzgesetz des Landes ist die Stadt Bad Krozingen im Rahmen der Erstellung des kommunalen Wärmeplans berechtigt, Daten des Energieverbrauchs und der Energieinfrastruktur der lokalen Netzbetreiber und Schornsteinfeger zu erheben. Diese Daten wurden um Informationen zum Gebäudebestand und statistischen Daten der Sanierungszustände und Wärmebedarfe ergänzt. In einem Geographischen Informationssystem (GIS) konnten diese Gebäude- und Energiedaten mit Lageinformationen der Gebäude der Stadt aus dem amtlichen Kataster gekoppelt werden. Für diesen Arbeitsschritt wurde mit dem Dienstleister Smart Geomatics Informationssysteme GmbH aus Karlsruhe zusammengearbeitet. Das Ergebnis ist ein digitaler Zwilling der Energieversorgung der Stadt Bad Krozingen, bei dem Energiemengen nicht nur beziffert, sondern auch räumlich verortet und online dargestellt werden können. Dieser digitale Zwilling dient als Grundlage für die anschließende Auswertung der energetischen Potenziale und für die Beschreibung des Ziel-Zustands eines klimaneutralen Gebäudebestands. Zudem kann er als planerische Grundlage für die Umsetzung der Maßnahmen des kommunalen Wärmeplans dienen.

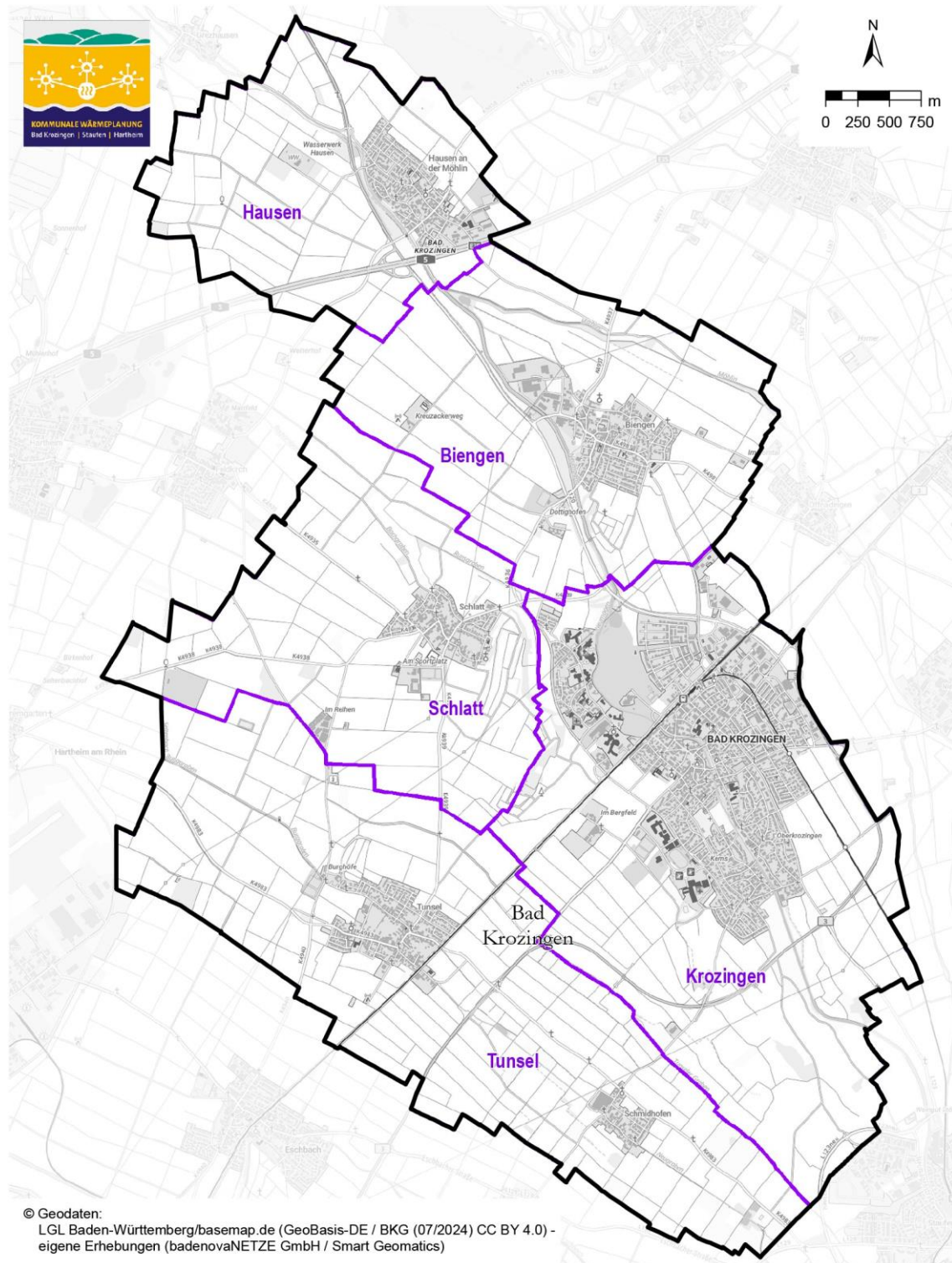
Während die gebäudescharfe Bearbeitung der Daten einen großen Mehrwert bei der Erstellung des Wärmeplans liefert, sind in diesem Fachgutachten und auch in den digitalen Karten/Daten sämtliche sensiblen Daten als Dichtekarten aggregiert, um den Datenschutz zu gewährleisten. Gebäudescharfe Daten der Schornsteinfeger und der Energieversorger müssen zudem nach Erstellung des Wärmeplans der Auftraggeberin übergeben und beim Auftragnehmer selbst gelöscht werden.

Im folgenden Kapitel werden die wesentlichen Methoden und Ergebnisse der Bestandsanalyse festgehalten. Zunächst werden Strukturmerkmale der Stadt und der Gebäude ausgewertet und beschrieben. Es folgt eine Übersicht der Energieinfrastruktur der Stadt sowie die Auswertung des Wärmeverbrauchs und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Anschließend wird auf die Themen Sektorenkopplung und Stromerzeugung in der Stadt Bad Krozingen und die Rollen von erneuerbaren Gasen eingegangen. Abschließend sind die wichtigsten Kennzahlen der Bestandsanalyse tabellarisch festgehalten.

2.1 Struktur der Stadt Bad Krozingen

Bad Krozingen ist eine Stadt im Südwesten Baden-Württembergs. Sie liegt im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, südlich der Stadt Freiburg. Dorthin sind es ca. 14 km Luftlinie, nach Müllheim im Südwesten ca. 13 km. Im Osten grenzt die Stadt an die Vorbergzone des Schwarzwaldes. Im Nordwesten beginnt die Freiburger Bucht mit ihren hügeligen Ausläufern des Markgräfler Landes.

Die Bodenfläche umfasst ca. 3.569 ha. Davon entfallen Stand 2021 nur ca. 305 ha auf Wald und 2.695 ha auf Landwirtschaftsfläche. Die Höhe des Ortes wird mit ca. 233 m ü. NN angegeben. In Bad Krozingen leben 21.029 Menschen (Stand 2021), wobei die Bevölkerungsentwicklung über die Jahrzehnte stetig angestiegen ist. Heute besteht Bad Krozingen aus den Stadtteilen Bad Krozingen, Biengen, Hausen, Schlatt und Tunsel (inkl. Schmidhofen).



Karte 2 – Gliederung der Stadt Bad Krozingen und Ihrer Ortsteile (Hintergrundkarte: TopPlus-Web-Open/copyright)

2.2 Erfassung des Gebäudebestands

Zur Beschreibung der Gebäudestruktur in der Stadt Bad Krozingen wurde die „Deutsche Gebäudetypologie“ des Instituts für Wohnen und Umwelt (IWU) verwendet. Die Einordnung der Gebäude in diese Typologie ermöglicht die Analyse der Energieeinsparpotenziale für einen größeren Gebäudebestand. Bei der Typologie wird davon ausgegangen, dass Gebäude aus einer bestimmten Bauzeit in der Regel ähnliche Baustandards und damit ähnliche thermische Eigenschaften ausweisen (Busch, et al., 2010). Dazu wird der Gebäudebestand nach Baualter sowie nach Gebäudegröße in Klassen eingeteilt. Die Grenzzahre der Baualtersklassen orientieren sich an historischen Einschnitten, an statistischen Erhebungen und an Veröffentlichungen neuer Wärmeschutzverordnungen. In diesen Zeiträumen wird der Gebäudebestand in Hinsicht auf energetischen Baustandards als homogen angenommen, sodass für die einzelnen Baualtersklassen durchschnittliche Energieverbrauchskennwerte der verschiedenen Gebäudetypen bestimmt werden können. Die Gebäudegröße dagegen beeinflusst die Fläche der thermischen Hülle. Mit den mittleren Energieverbrauchskennwerten der jeweiligen Gebäudetypen kann so der energetische Zustand eines gesamten Gebäudebestands ermittelt werden (Busch, et al., 2010).

2.2.1 Baualtersklassen

Die Einteilung nach Baualter erfolgt in dieser Typologie in elf Klassen, die jeweils eine ähnliche Bausubstanz aufweisen (vgl. Tabelle 1).

Baualtersklasse	Charakteristika und Gründe für die zeitliche Einteilung
A: bis 1918	Fachwerksbau
B: bis 1918	Mauerwerksbau
C: 1919 – 1948	Zwischen Ende 1. und Ende 2. Weltkrieg
D: 1949 – 1957	Wiederaufbau, Gründung der Bundesrepublik
E: 1958 – 1968	Ende des Wiederaufbaus, neue Siedlungsstruktur
F: 1969 - 1978	Neue industrielle Bauweise, Ölkrise
G: 1979 – 1983	Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung (WSchV)
H: 1984 – 1994	Inkrafttreten der 2. WSchV
I: 1995 – 2001	Inkrafttreten der 3. WSchV
J: 2002 – 2009	Einführung der Energieeinsparungsverordnung (EnEV)
K: 2010 - 2015	Neubauten nach EnEV und GEG
L: 2016 - heute	Aktualisierung EneV

Tabelle 1 – Chronologie der Baualtersklassen nach der Deutschen Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt GmbH, (2005)

In der Abbildung 3 ist die Anzahl der Wohngebäude in der Stadt Bad Krozingen nach Baualter dargestellt. Demnach sind 63 % der vorhandenen Wohngebäude (Bestandsgebäude) vor Inkrafttreten der zweiten Wärmeschutzverordnung (WSchV) 1984 erbaut worden. Dies ist von besonderem Interesse, da Wärmedämmung damals eine untergeordnete Rolle spielte und das Einsparpotenzial durch Sanierungsmaßnahmen bei diesen Gebäuden besonders hoch ist.

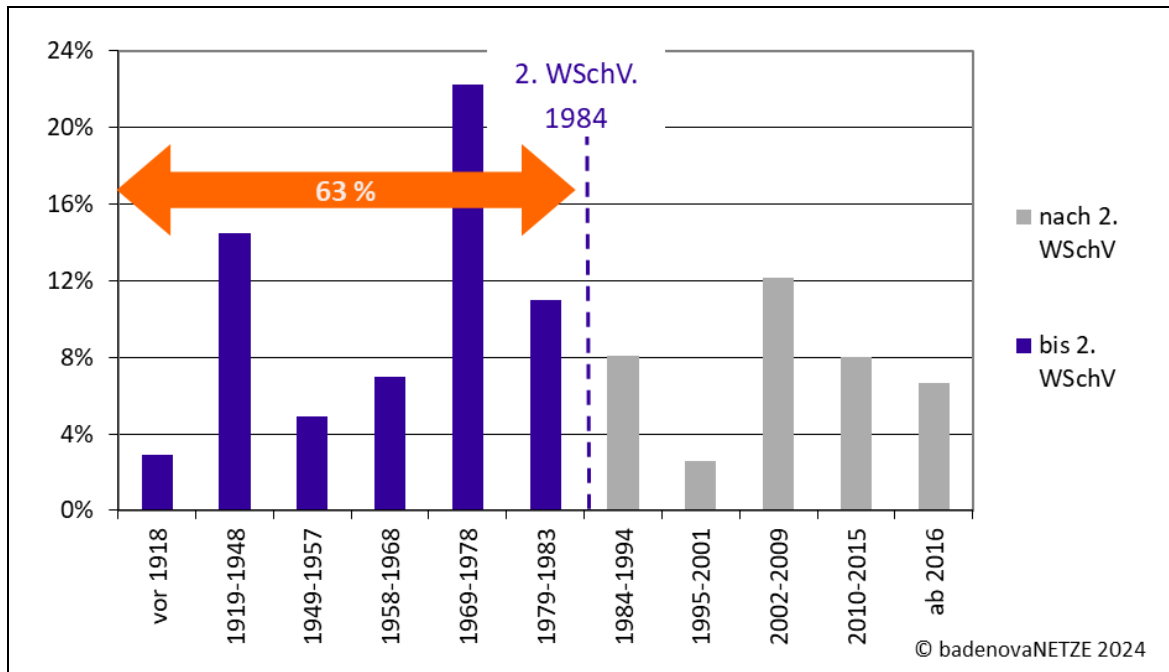
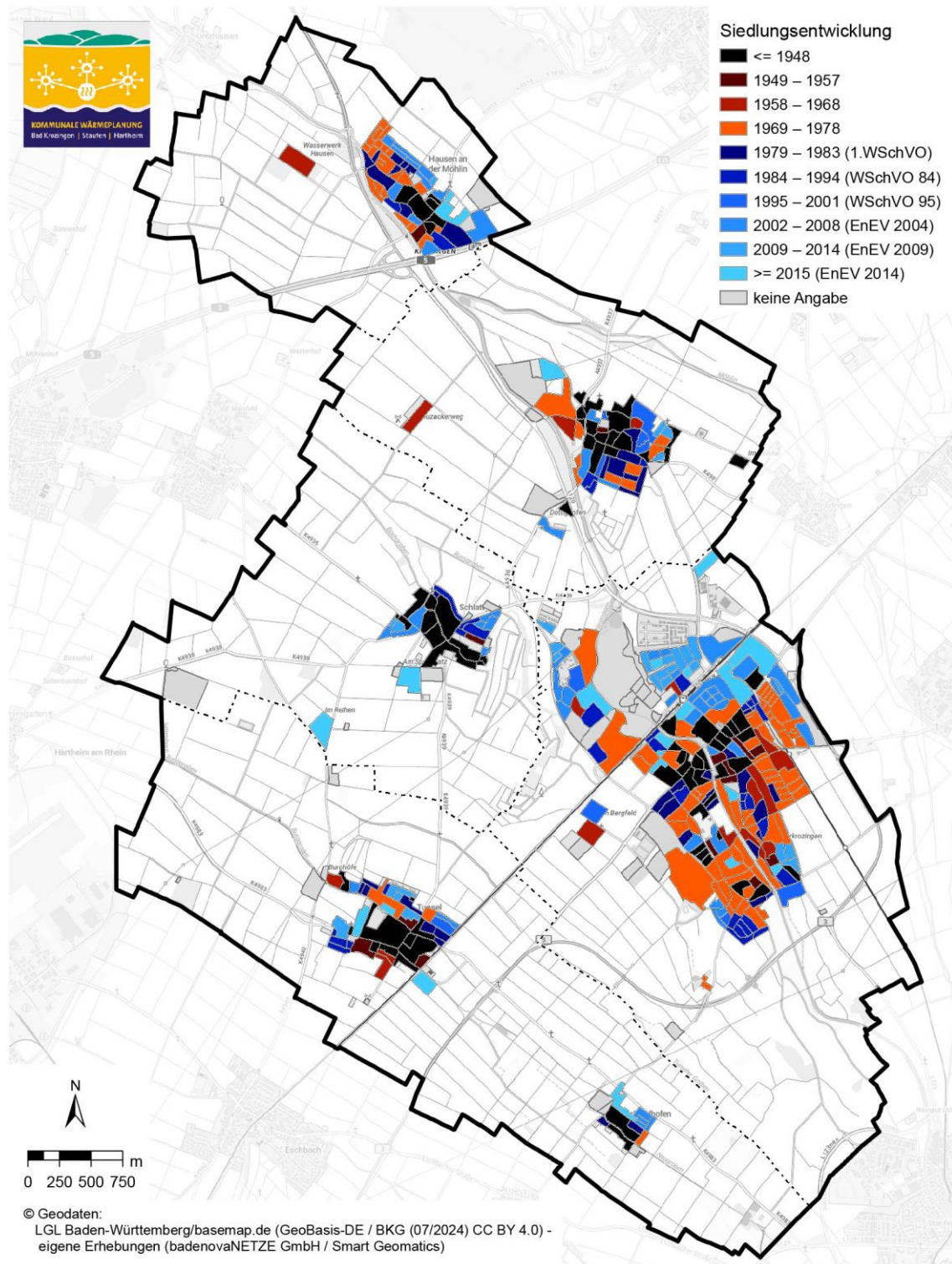


Abbildung 3 – Anteil der Wohngebäude nach Baualter und WSchV in Bad Krozingen



Karte 3 – Räumliche Verteilung der Gebäude nach den Baualtersklassen, bezogen auf Baublöcke.
(Quelle: Smart Geomatics GmbH 2024)

Aus der Einordnung der Gebäude in die Gebäudetypologie lassen sich Aussagen über die Siedlungsstruktur von Bad Krozingen treffen. Hierzu wurden alle Gebäude in Altersklassen und in Baublöcke eingeteilt. Dies erleichtert die schnelle Identifizierung von Gebieten ähnlicher Struktur für mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung. In Bad Krozingen befinden sich zahlreiche Gebäude, die noch vor 1948 erbaut wurden. Danach wurden bis zu einem deutlichen Anstieg in

den 70er Jahren deutlich weniger gebaut. Nach dem Peak in den 70er Jahren wurde deutlich weniger zugebaut bis zu einem kleineren Anstieg Anfang der 2000er Jahre. In der Stadt sind neue Gebäude hinzugekommen, sowohl in neu ausgewiesenen Wohngebieten an den Rändern der Stadt und den Ortsteilen als auch als Nachverdichtung, sodass heute verschiedentlich eine gemischte Gebäudestruktur aufzufinden ist. Aufgrund der stetig steigenden Bevölkerungszahlen der Stadt wurden in den letzten beiden Jahrzehnten und werden auch aktuell neue Baugebiete ausgewiesen.

Vor allem entlang der Hauptstraßen in den Ortsteilen und im Zentrum von Bad Krozingen konzentrieren sich einige der älteren Gebäude mit Baualtern von vor 1948.

2.2.2 Gebäudetypen

Neben dem Gebäudealter, ist auch der Gebäudetyp für die Ermittlung der Energiebedarfswerte und der Energieeinsparpotenziale relevant. In Bad Krozingen wurde daher zur Bestimmung des Raumwärmebedarfs pro m² zwischen den Gebäudearten Einfamilien- und Doppelhäuser, Reihenhäuser, kleine Mehrfamilienhäuser, große Mehrfamilienhäuser und Hochhäuser/Blockbebauung unterschieden, die aufgrund ihrer Gebäudegröße jeweils ähnliche thermische Eigenschaften aufweisen. Die Kriterien der Typen sind die Anzahl der Wohneinheiten. Bei der Unterscheidung zwischen den Einfamilien-/Doppelhäusern und Reihenhäusern muss zusätzlich das Kriterium der Baustruktur herangezogen werden:

- Einfamilienhäuser sind definiert als „freistehendes Wohngebäude mit bis zu 2 Wohneinheiten“
- Doppelhaushälften sind definiert als „zwei aneinandergrenzende Wohngebäude mit jeweils bis zu 2 Wohneinheiten“
- Reihenhäuser sind definiert als „drei oder mehr aneinandergrenzende Häuser mit jeweils bis zu 2 Wohneinheiten“
- kleine Mehrfamilienhäuser haben zwischen 3 und 6 Wohneinheiten
- große Mehrfamilienhäuser haben zwischen 7 und 12 Wohneinheiten
- Hochhäuser/Blockbebauungen haben mehr als 13 Wohneinheiten

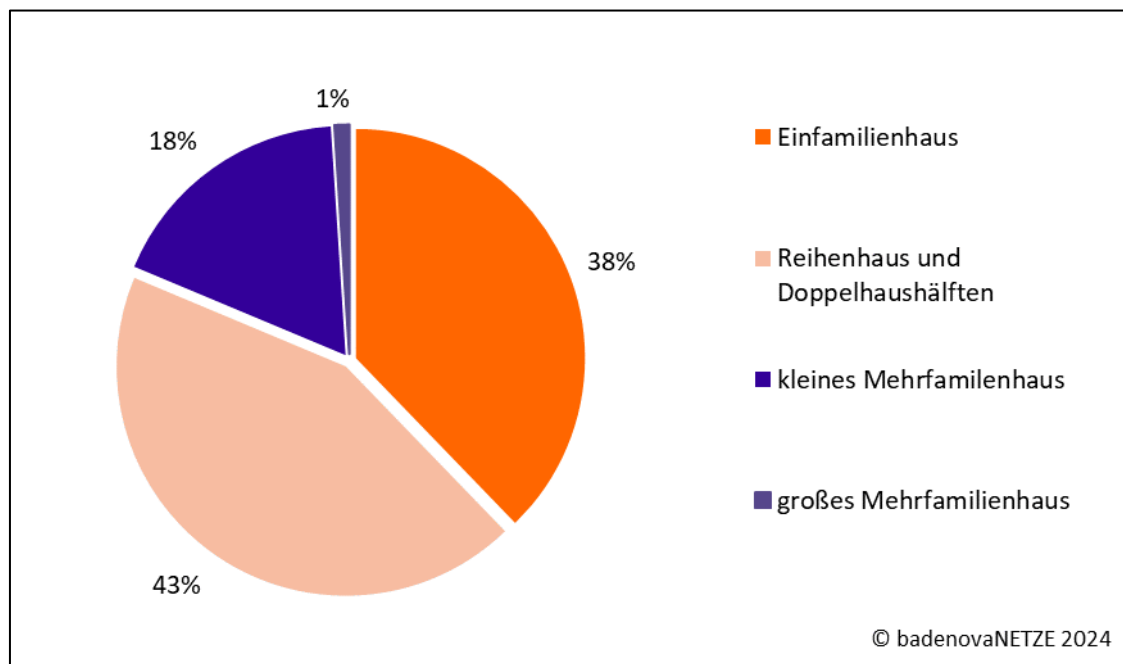
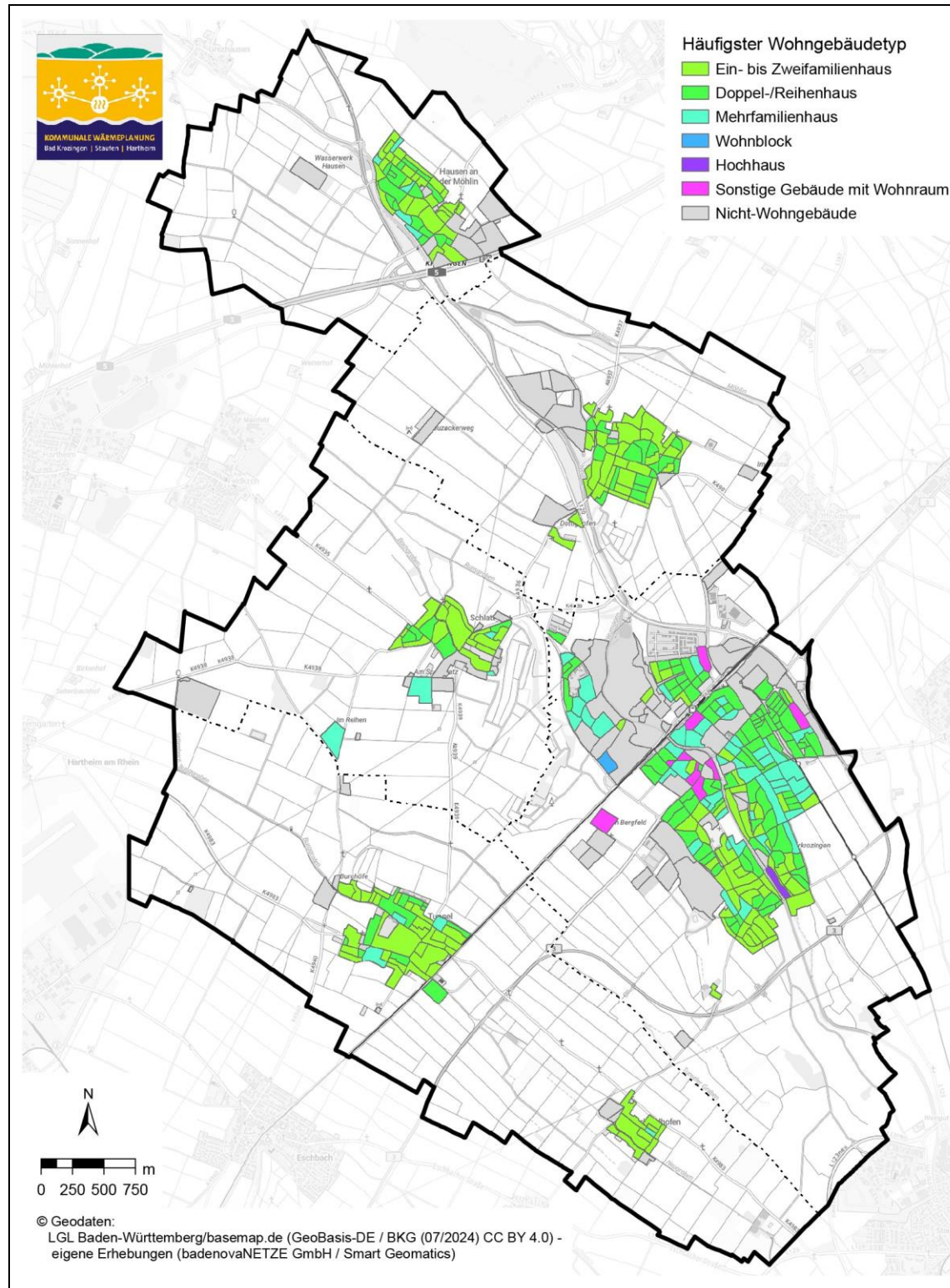


Abbildung 4 – Verteilung der Gebäudearten in Bad Krozingen

Charakteristisch für kleinere Städte sind freistehende Einfamilienhäuser und Reihenhäuser sowie Doppelhaushälften, die in Bad Krozingen 81 % des Wohnbestandes ausmachen (vgl. Abbildung 4). Diese Bebauung spielen bei der Erschließung der Einsparpotenziale eine große Rolle. Zum einen verzeichnen sie im Durchschnitt den höchsten Energieverbrauch pro Einwohner, zum anderen werden Einfamilienhäuser meist vom Eigentümer selbst bewohnt. Der Nutzen von Sanierungsmaßnahmen wirkt sich hier direkt aus und erhöht die Bereitschaft des Eigentümers, Investitionen zur Energieeinsparung vorzunehmen.



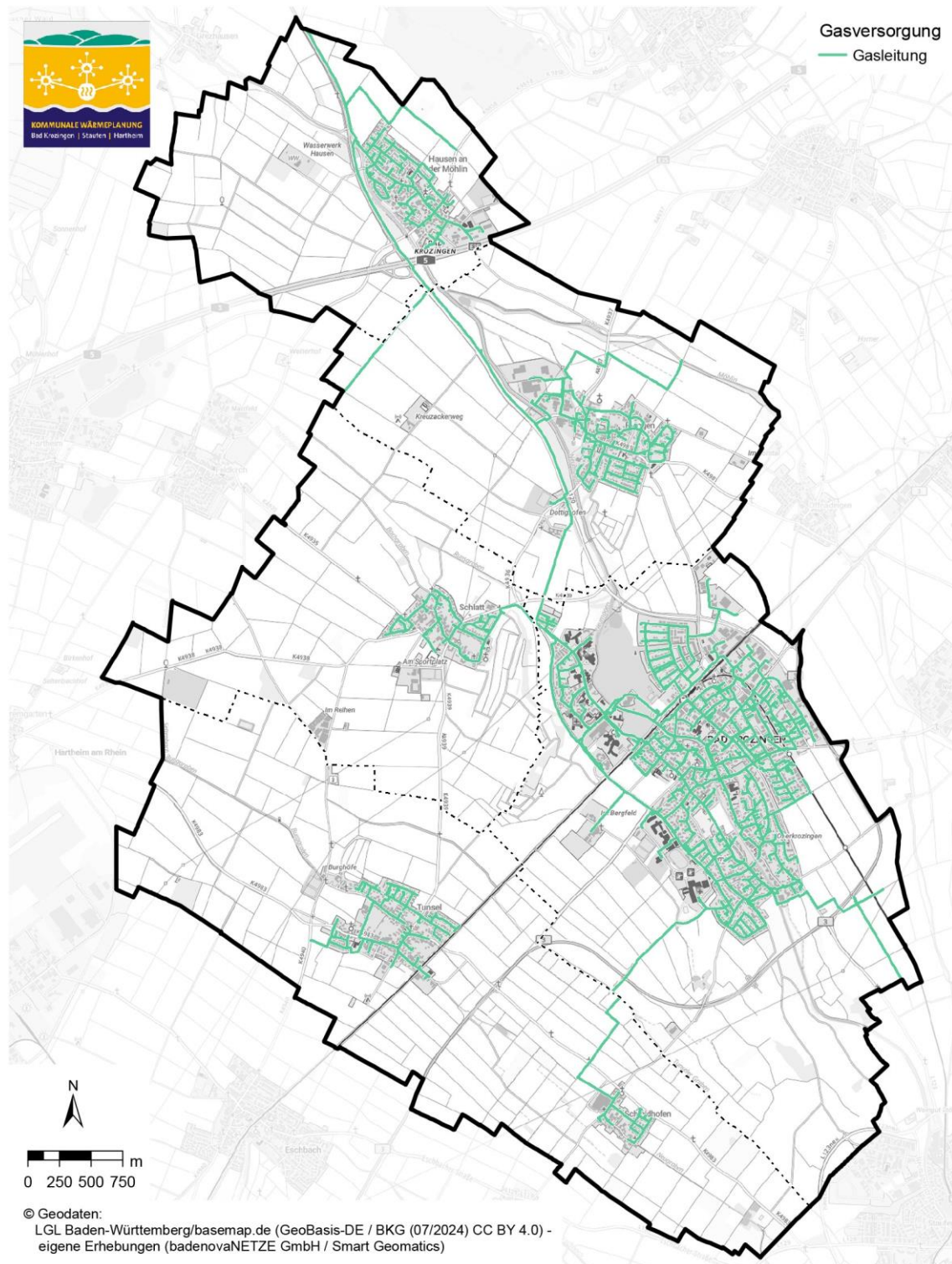
Karte 4 – Gebäudestruktur im Ortsteil Bad Krozingen-Stadt (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2024)

2.3 Aktuelle Versorgungsstruktur

Die Energieinfrastruktur gibt Hinweise zu Art und Menge der zur Wärmeversorgung eingesetzten Energieträger. Zusätzlich werden aus diesen Daten Effizienz- und Einsparpotenziale berechnet. Im folgenden Abschnitt wird der aktuelle Stand der Wärmeenergieversorgung der Stadt Bad Krozingen beschrieben. Zunächst wird der Ausbaustand der Gasnetz- und Wärmenetzinfrastruktur dargestellt. Anschließend folgt eine Auswertung der Heizanlagen Daten.

2.3.1 Gasinfrastruktur, Wärmenetze und Sektorkopplung

Die Stadt Bad Krozingen ist durch ein Erdgasnetz erschlossen. Die Kommune weist eine hohe Leitungsdichte aus, so dass Erdgas den höchsten Anteil an allen Energieträgern besitzt, die zur Wärmeerzeugung in der Stadt dienen. Die Karte 5 gibt einen Überblick über den aktuellen Ausbaustand der Gasnetzinfrastruktur in Bad Krozingen. Insgesamt sind 2021 ca. 128.750 MWh Erdgas (H_i) abgesetzt worden.

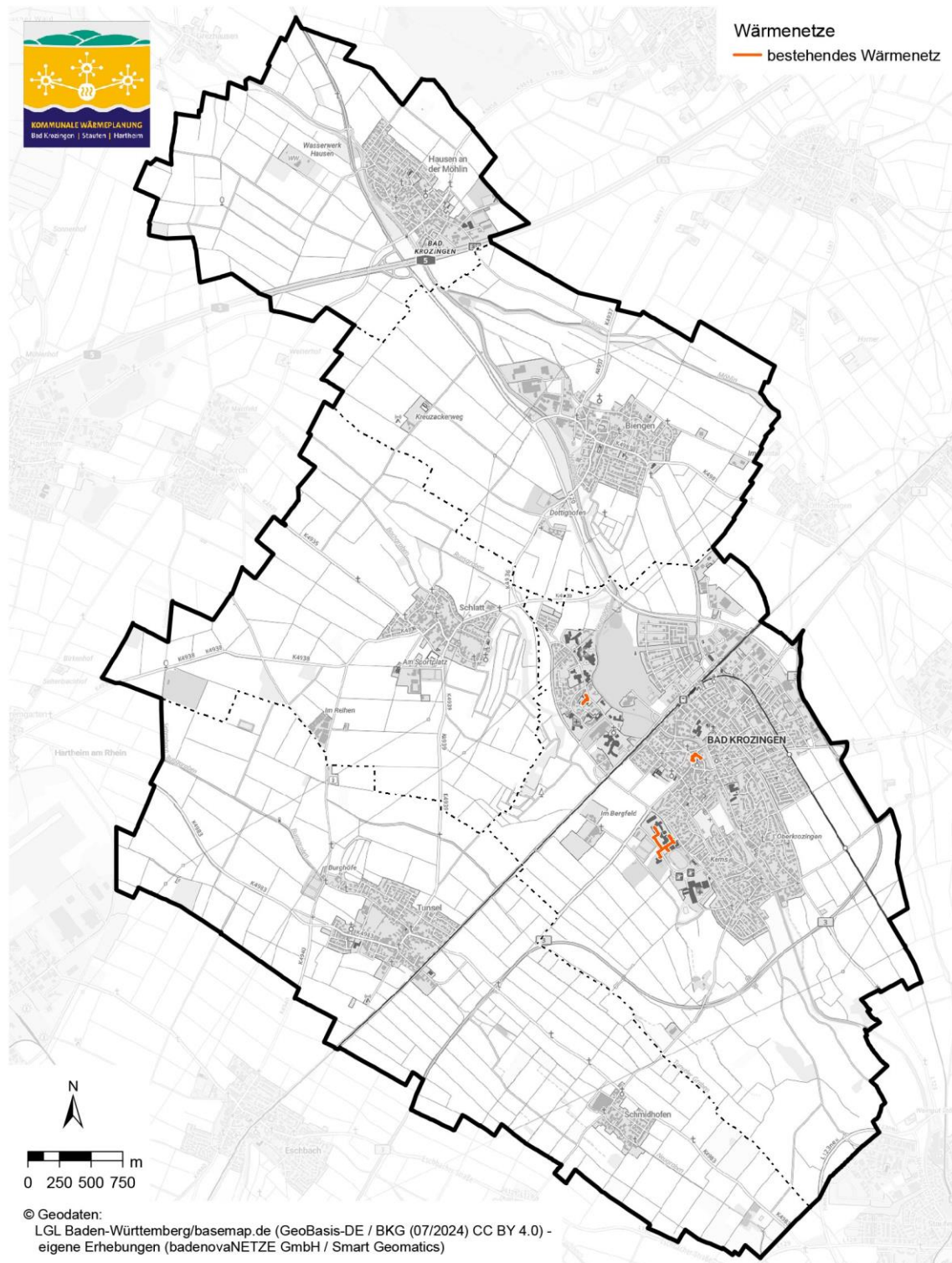


Karte 5 – Gasnetzinfrastruktur in Bad Krozingen - Kernort (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2024)

Wärmenetze spielen bei der aktuellen Wärmeversorgung der Stadt Bad Krozingen bisher eine untergeordnete Rolle. In der Stadt wird aktuell ein Fernwärmenetz der badenovaWÄRMEPLUS betrieben, welches öffentliche Liegenschaften (darunter das Kreisdgymnasium und das Aquarado-Schwimmbad) versorgt. Ein weiteres Wärmenetz wird von der Kur & Bäder GmbH & Co. KG betrieben, welches vor allem das Thermalbad Vita Classica, Teile der Theresienklinik sowie weitere Verwaltungs- und Kurbauwerke versorgt. Als zentrale Anlagen werden hier zwei Gas-Blockheizkraftwerke betrieben, die von einer 250 m² großen Solarthermieranlage unterstützt werden. Photovoltaikanlagen und die Blockheizkraftwerke decken heute schon ca. 30 % des

Strombedarfs der Kur & Bäder GmbH. Die zentrale Versorgung erfolgt über ein Blockheizkraftwerk mit ca. 330 kW thermischer Leistung, welches überwiegend mit Biomethan betrieben wird und ca. 1.800 MWh Wärme liefert. Ein drittes Wärmenetz versorgt die Packi-Klinik und angrenzende Gebäude in der Herbert-Hellmann-Allee 25 und 29 sowie in der Straße Im Rheintal.

In der Karte 6 sind die drei Wärmenetze der dargestellt.



Karte 6 – Wärmenetz der badenovaWÄRMEPLUS (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2024)

In der Stadt waren bis zum Jahr 2021 laut dem Stromnetzbetreiber badenovaNETZE GmbH 175 Nachtspeicherspeicherheizungen und 238 Wärmepumpen installiert. Im Bilanzjahr 2021 haben Wärmepumpen ca. 4 % zur Haushaltswärme beigetragen haben.

Der Anteil der Stromerzeugung durch KWK-Anlagen liegt insgesamt bei 3,5 % des gesamten Stromverbrauchs der Stadt Bad Krozingen.

2.3.2 Breitbandinfrastruktur

Während das Breitbandnetz überwiegend in den Gehwegen verlegt wird, findet der Bau der Fernwärmeleitungen im Straßenkörper statt. Der Ausbau der Breitbandinfrastruktur bietet daher nur gelegentlich Synergieeffekte mit einem potenziellen Ausbau der Fernwärmeinfrastruktur. In beiden Fällen ist aber der Tiefbau ein wesentlicher Kostenfaktor und zugleich auch eine Belastung für die Anwohner. Synergieeffekte können unter günstigen Bedingungen demnach in der Minimierung der Belastung durch einen zeitgleichen Ausbau beider Systeme erreicht werden.

In Bad Krozingen wird das Glasfasernetz durch die Firma Stiegeler betrieben. Weite Bereiche der Stadt weisen bereits eine Glasfaser-Infrastruktur auf.

2.3.3 Erzeugungsanlagen

Wesentlicher Bestandteil der lokalen Wärmeinfrastruktur sind die vor Ort installierten Heizanlagen. Hierzu wurden Daten durch eine Abfrage bei den örtlichen Schornsteinfegern ermittelt und ausgewertet. Diese enthalten Angaben zur installierten Leistung, zu Energieträgern und Einbaujahr der Anlagen. Die Daten wurden ergänzt durch Angaben des Stromverteilnetzbetreibers zu Nachtspeicherheizanlagen und Wärmepumpen.

Auf Grundlage der Heizanlagenstatistik der Schornsteinfeger wird ein Großteil der Zentralheizanlagen in Bad Krozingen mit Erdgas (37 %) und Heizöl (33 %) betrieben. Holz wird in 9 % der Heizanlagen verwendet. In weniger als 1 % der Fälle erfolgt die Wärmeversorgung über Fernwärmeübergabestationen (vgl. Abbildung 5). In Bad Krozingen sind außerdem mit Stand 2021 vom Stromnetzbetreiber 175 Nachtspeicher-Stromheizungen (5 %), 238 Wärmepumpen (7 %) und vier KWK-Anlagen (0,1 %) verzeichnet.

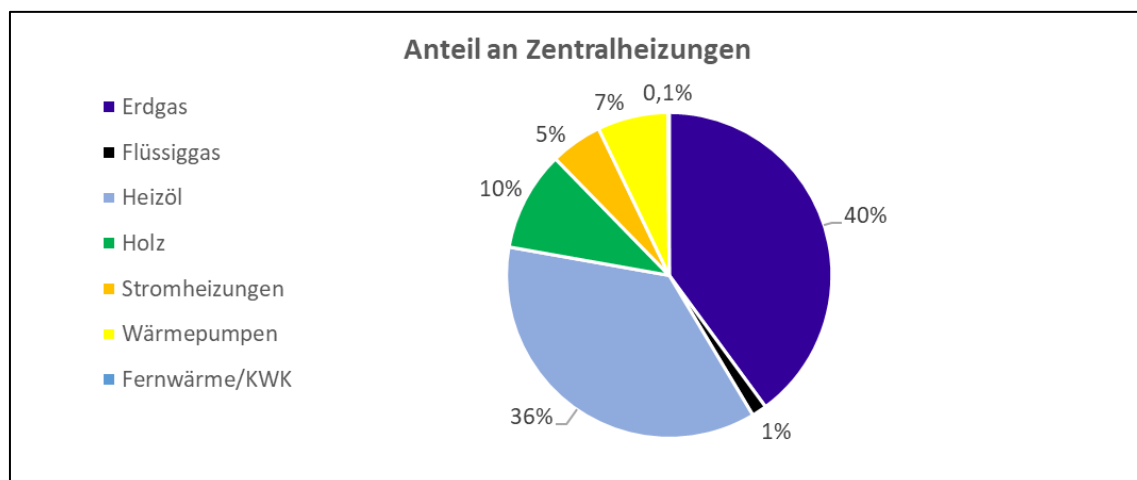


Abbildung 5 – Energieträgerverteilung der Zentralanlagen und Fernwärmeanteil in Bad Krozingen

Laut einer lokalen Erkenntnis wurden viele Heizungsanlagen in Bad Krozingen noch mit Einrohrheizungen installiert. Es liegen jedoch keine entsprechenden, räumlich verortbaren Daten dazu vor. Der Ersatz dieser veralteten Heizungssysteme durch Wärmepumpen zieht weitere Peripheriekosten nach sich, die vom Fördermittelgeber ebenfalls bezuschusst werden.

Die Auswertung des Einbaujahrs der Heizanlagen zeigt, dass ca. 32 % der Zentralheizanlagen bereits älter als 23 Jahre sind (Abbildung 6). Karte 6 stellt das vorwiegende Alter der installierten Heizanlagen auf Baublockebene räumlich dar.

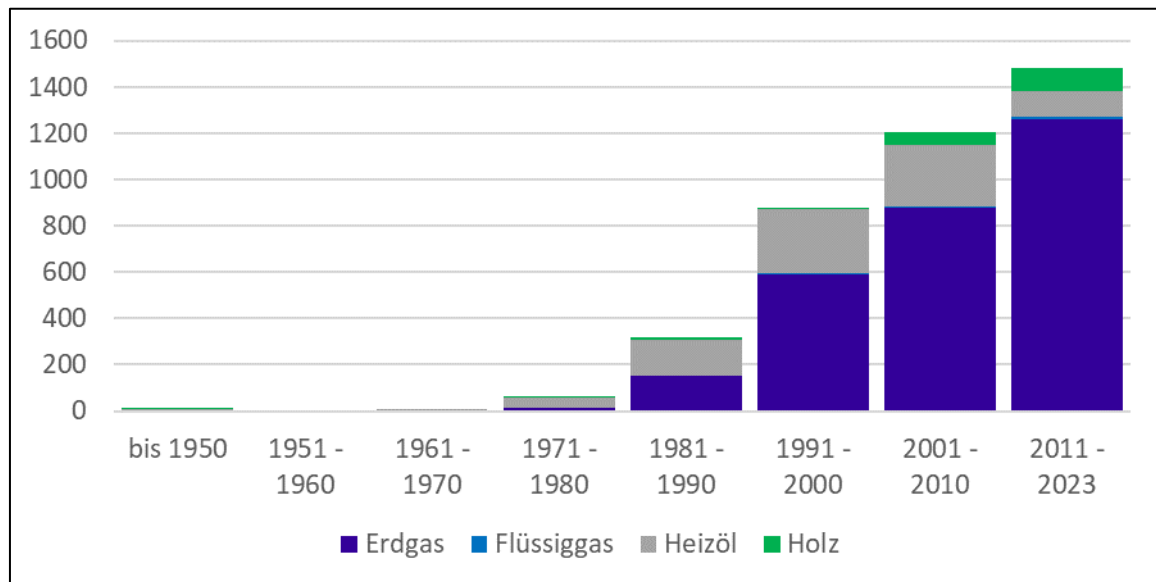
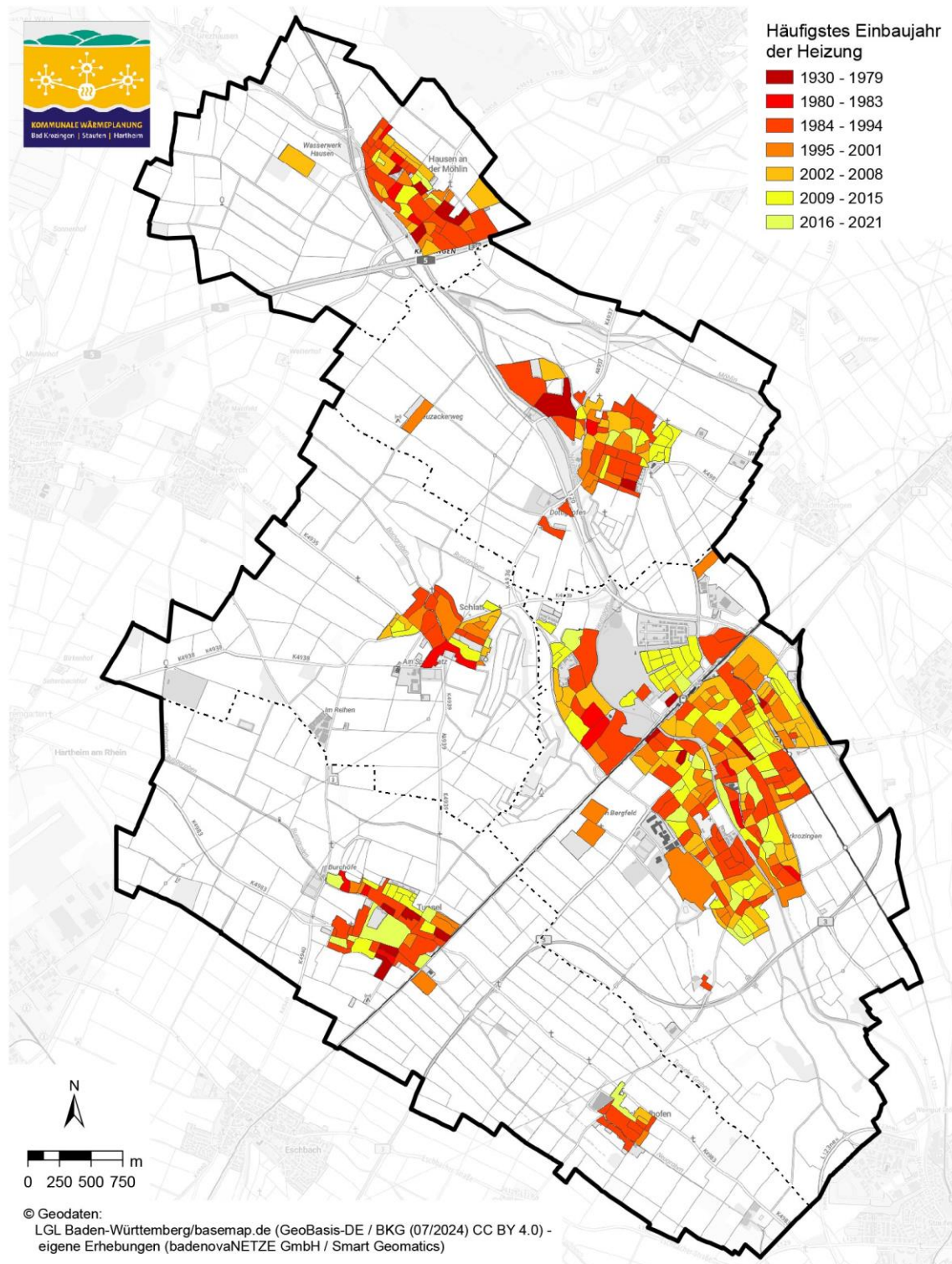
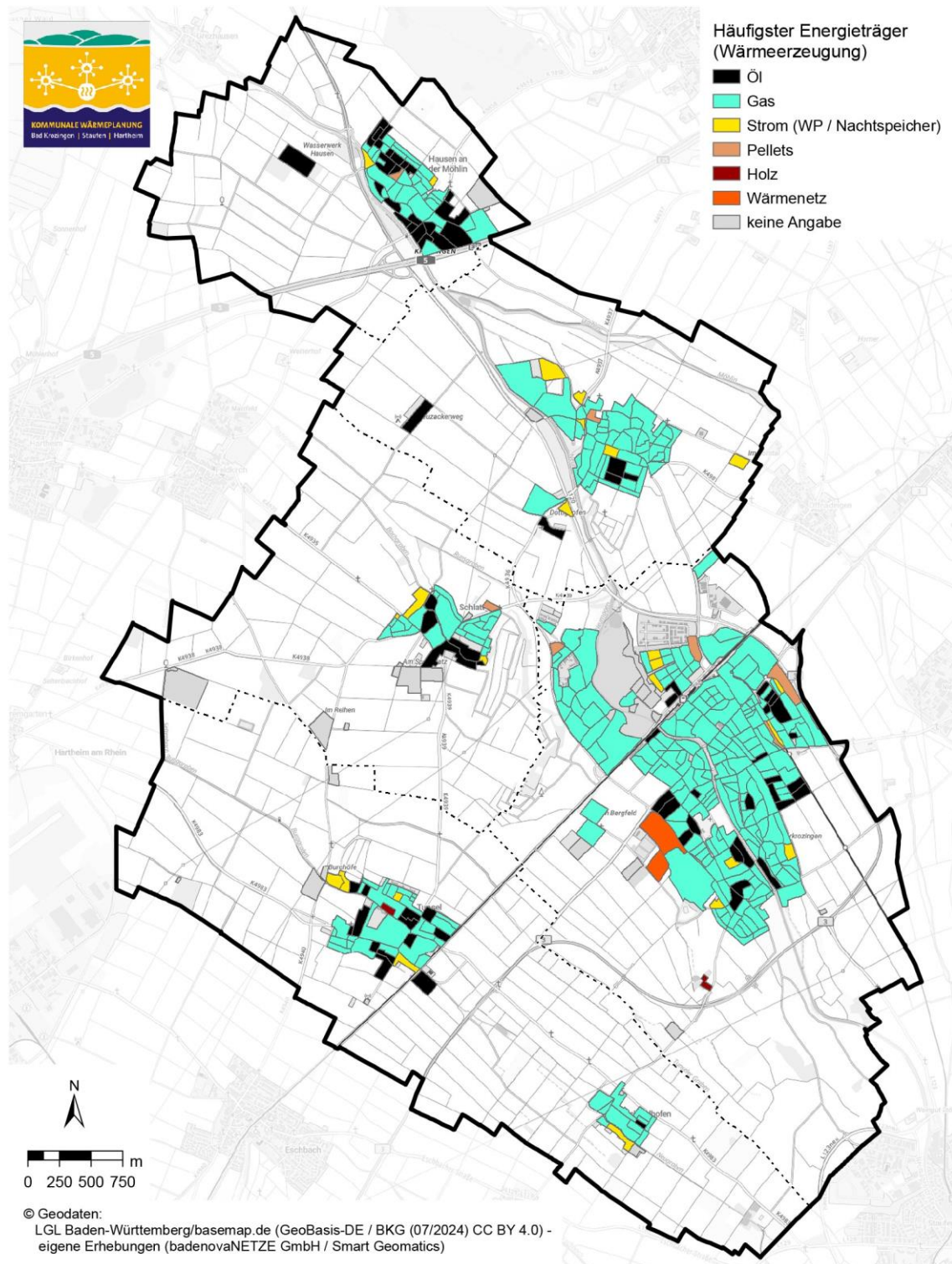


Abbildung 6 – Einbaujahr der Zentralheizkessel in Bad Krozingen nach Energieträger (Datengrundlage: Schornsteinfegerstatistik 2021)



Karte 7 – Durchschnittliches Heizungsalter auf Baublockebene

Karte 8 veranschaulicht die vorwiegenden Energieträger der Zentralheizanlagen auf Baublockebene. Es wird der hohe Anteil an Erdgas- und Heizölheizungen deutlich.



Karte 8 – Vorwiegender Energieträger der Heizanlagen auf Baublockebene (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2024)

2.4 Wärmebedarf der Gebäude

Die Ermittlung des Wärmebedarfs und die Energieeinsparpotenziale im Gebäudebestand basieren auf den Angaben zum Gebäudetyp und einem durchschnittlichen Sanierungszustand, der

aus regionalen Daten für jeden Gebäudetyp ermittelt wurde. Durch die Typologie werden Gebäude mit ähnlichen thermischen Eigenschaften zusammengefasst. Für jeden Gebäudetyp wurden vom IWU entsprechende Kennwerte des Wärmebedarfs statistisch ermittelt. Zudem liegen Kennwerte für die durchschnittliche Energieeinsparung durch energetische Sanierungsmaßnahmen (Wärmeschutzfenster, Außenwanddämmung, Dachdämmung, Kellerdeckendämmung) vor (Hamacher & Hausladen, 2011). Somit können sowohl der Wärmebedarf jedes Gebäudes als auch die möglichen Einsparpotenziale durch Sanierungsmaßnahmen bestimmt werden. Die Vorgehensweise orientiert sich am Leitfaden Energienutzungsplan (Hamacher & Hausladen, 2011).

Der Wärmebedarf der Gebäude stellt den Nutzenergiebedarf des Gebäudes dar. Der tatsächliche Endenergieverbrauch wird von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst und weicht in der Regel vom Wärmebedarf ab. Hierzu zählen das Nutzerverhalten, die Anzahl der dort lebenden Personen, die passive Wärmenutzung (Erwärmung durch Sonneneinstrahlung), interne Wärmegegewinne (Erwärmung durch Elektrogeräte), die Witterung, der Wirkungsgrad der Heizung und Wärmeverluste im Heizsystem. Der Wärmebedarf der Gebäude ist eine wichtige Grundlage für die Berechnung der Potenziale und des Zielbilds. Zur weiteren Beschreibung des Ist-Zustands der Stadt Bad Krozingen wird der Endenergieverbrauch im nächsten Abschnitt näher beschrieben.

2.5 Endenergieverbrauch Wärme

Während der Wärmebedarf aufzeigt, wie viel Energie die Gebäude für Raumwärme und Warmwasser benötigen, um ein konstantes Temperaturniveau zu erreichen, erfasst der Endenergieverbrauch die tatsächlich vor Ort eingesetzte Energiemenge. Damit können Faktoren wie die Wirkungsgrade der Heizanlagen, das Nutzerverhalten und der Energieverbrauch für die Prozesswärme im Gewerbe betrachtet werden. Der Endenergieverbrauch für Wärme (Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme) der Stadt Bad Krozingen, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren, wurde mit einer Energie- und THG-Bilanz für das Jahr 2021 mit dem für das Land Baden-Württemberg konzipierten Tool BICO2 BW (Version 3.1) ermittelt (IFEU (2024)).

2.5.1 Datenquellen Endenergieverbrauch Wärme

Folgende Daten wurden für die Berechnung der Energie- und THG-Bilanz der Stadt Bad Krozingen zum Energieverbrauch für Wärme erhoben und ausgewertet:

- Der Erdgasnetzbetreiber badenovaNETZE GmbH stellte die aktuellen Gasverbrauchsdaten zur Verfügung.
- Der Wärmenetzbetreiber badenovaWÄRMEPLUS GmbH & Co. KG stellte die Wärmeherzeugungs- und Verbrauchsmengen der jeweiligen Anlagen für beide in Bad Krozingen existierenden Wärmenetze zur Verfügung.
- Der Stromnetzbetreiber badenovaNETZE GmbH lieferte Daten zum Stromverbrauch der gesamten Stadt und zum Stromverbrauch für Nachtspeicherheizanlagen und Wärmepumpen.
- Für den nicht-netzgebundenen Verbrauch wurden aggregierte Daten des Landesamtes für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) zur Ermittlung des Energieverbrauchs kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen herangezogen. Diese wurden ergänzt um Daten der örtlichen Schornsteinfeger, die Angaben zu Leistung und eingesetzten Energieträgern beinhalten.

- Der Bestand an Solarthermie wurde von der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) zur Verfügung gestellt. Die Daten beinhalten allerdings nur Anlagen, die durch das bundesweite Marktanreizprogramm gefördert wurden.
- Detaillierte Wärmeverbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften wurden von der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt.
- Das Tool BICO2-BW ergänzt und plausibilisiert die Daten, z.B. mit Auswertungen zu den verursacherbezogenen THG-Emissionen der Stadt Bad Krozingen vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg und anhand von Zahlen zu den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten der Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie verarbeitendes Gewerbe der Bundesagentur für Arbeit

2.5.2 Gesamtendenergieverbrauch Wärme

Nach dem Ergebnis der Energie- und THG-Bilanz betrug der Gesamtendenergieverbrauch für Wärme in Bad Krozingen 210.086 MWh im Jahr 2021. Die installierte Leistung zur Wärmebereitstellung liegt entsprechend der Schornsteinfegerstatistik bei ca. 92 MW. Nach den Sektoren betrachtet, hatte der Wärmeverbrauch der privaten Haushalte den höchsten Anteil am Wärmeverbrauch der Stadt, gefolgt vom Wirtschaftssektor. Die kommunalen Liegenschaften hatten nur einen geringen Anteil am Wärmeverbrauch.

Nach den vorliegenden Informationen wurden zur Deckung des Wärmebedarfs im Jahr 2021 in Bad Krozingen zu ca. 90 % die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl eingesetzt (vgl. Abbildung 7). Die Fernwärme hat einen Anteil von 2 % und enthält als Energieträger teilweise Biomethan, überwiegend aber Erdgas. 7 % des Wärmeverbrauchs der Stadt wurden durch die erneuerbaren Energien Energieholz, Solarthermie und Umweltwärme gedeckt. Heizungsstrom hat einen Anteil von ca. 1 %. Einen Anteil von 0,45 % hatten sonstige erneuerbare Energieträger. Die Aufteilung und eingesetzte Energiemengen sind in Tabelle 2 dargestellt.

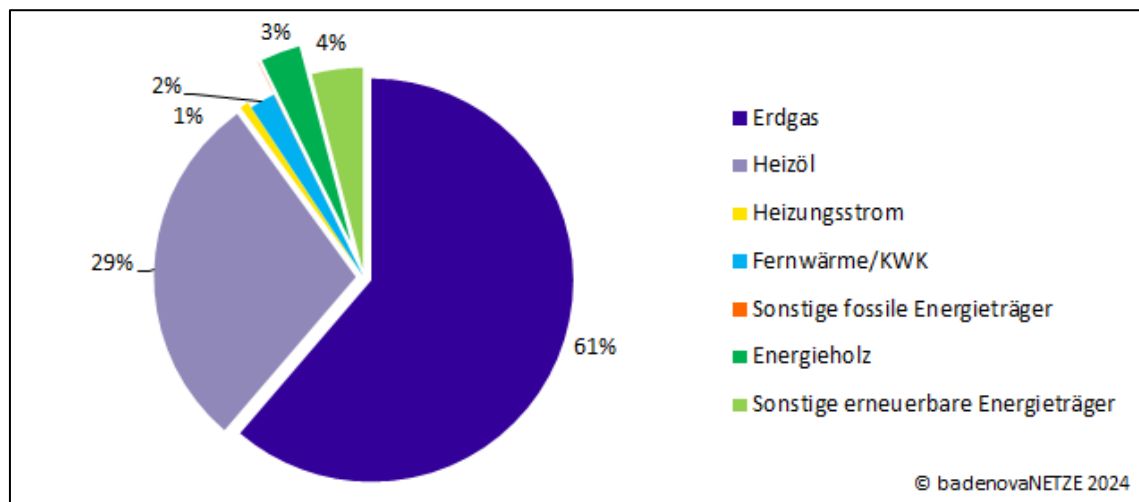


Abbildung 7 – Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs nach Energieträgern (2021)

Tabelle 2 – Endenergieverbrauch für Wärme der Stadt Bad Krozingen nach Energieträger in Zahlen (2021)

Energieträger	Wärmeverbrauch (MWh im Jahr 2021)	Anteil am Gesamt- wärmeverbrauch
Erdgas	128.742	61 %
Heizöl	60.324	29 %
Heizungsstrom	1.443	1 %
Kohle	28	0,01 %
KWK/Fernwärme	4.286	2,04 %
Flüssiggas	0	0 %
Sonstige Energieträger	35	0,02 %
Energieholz	6.667	3 %
Solarthermie	2.081	1 %
Umweltwärme	5.531	3 %
Erneuerbare Energien in der Industrie	950	0,45 %
Gesamt	210.086	

Abbildung 8 zeigt nochmals detailliert die Aufteilung der Energieträger auf den Wärmeverbrauch der Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und kommunale Liegenschaften. Hierbei wurde der Wirtschaftssektor zum einen nach Gewerbe, Handel und Dienstleistung („Gewerbe und Sonstiges“) sowie zum anderen nach der Industrie („verarbeitendes Gewerbe“) aufgeteilt. Der Sektor verarbeitendes Gewerbe wurde zudem in Raum- und Prozesswärme unterteilt. Es wird sichtbar, dass der Sektor private Haushalte mit 62 % den höchsten Anteil am Wärmeverbrauch hat und dass nach wie vor hauptsächlich die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl eingesetzt werden. Der Sektor Wirtschaft hat insgesamt einen Anteil von ca. 37 % am Gesamtwärmeverbrauch der Stadt. Die übrigen 1 % des Wärmeverbrauchs werden für die kommunalen Liegenschaften eingesetzt.

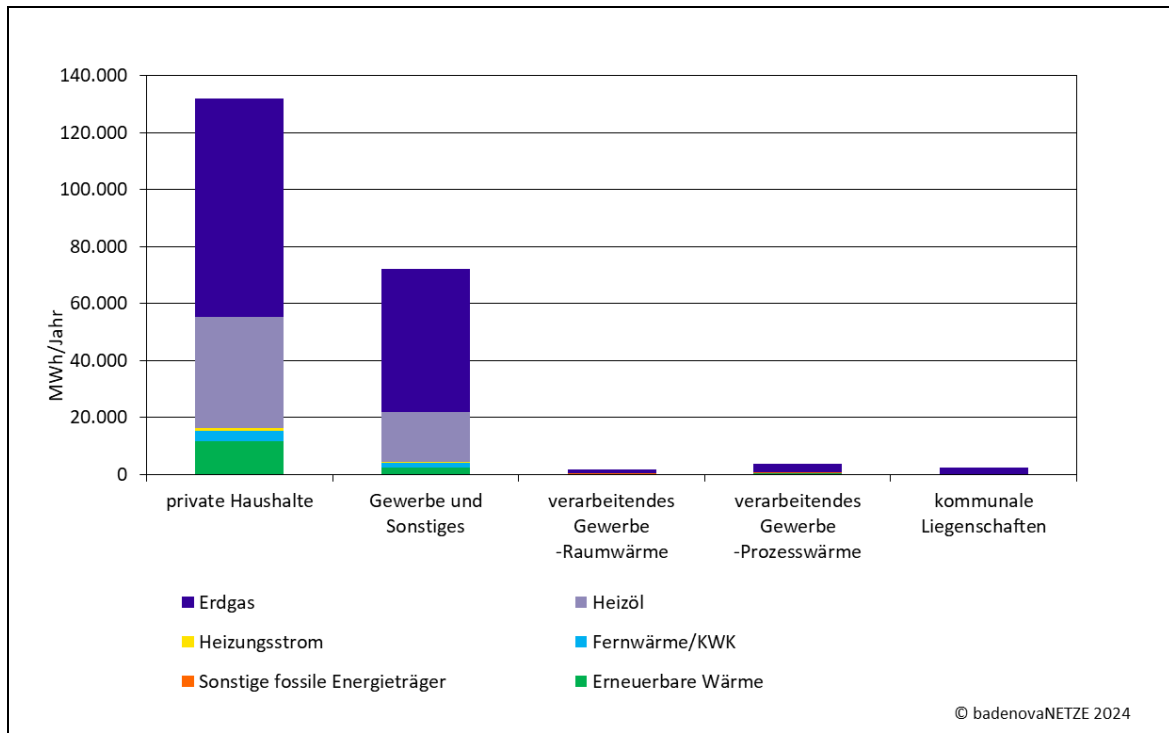


Abbildung 8 – Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren nach Energieträgern (2021)

2.5.3 Wärmeverbrauch der kommunalen Liegenschaften

Für die kommunalen Liegenschaften wurden im Jahr 2021 2.523 MWh Energie für die Wärmeversorgung benötigt. 2.189 MWh davon sind dem Erdgasverbrauch zuzuordnen und mit Fernwärme oder KWK-Anlagen werden 44 MWh gedeckt. 105 MWh sind Heizöl zuzuordnen, 187 MWh des Wärmeverbrauchs werden durch Energieholz gedeckt. Eine Aufteilung der wichtigsten beheizten kommunalen Gebäude sowie der größten Verbraucher ist der Abbildung 9 zu entnehmen.

Zu den Landesliegenschaften gehört in der Stadt Bad Krozingen das Kreisgymnasium.

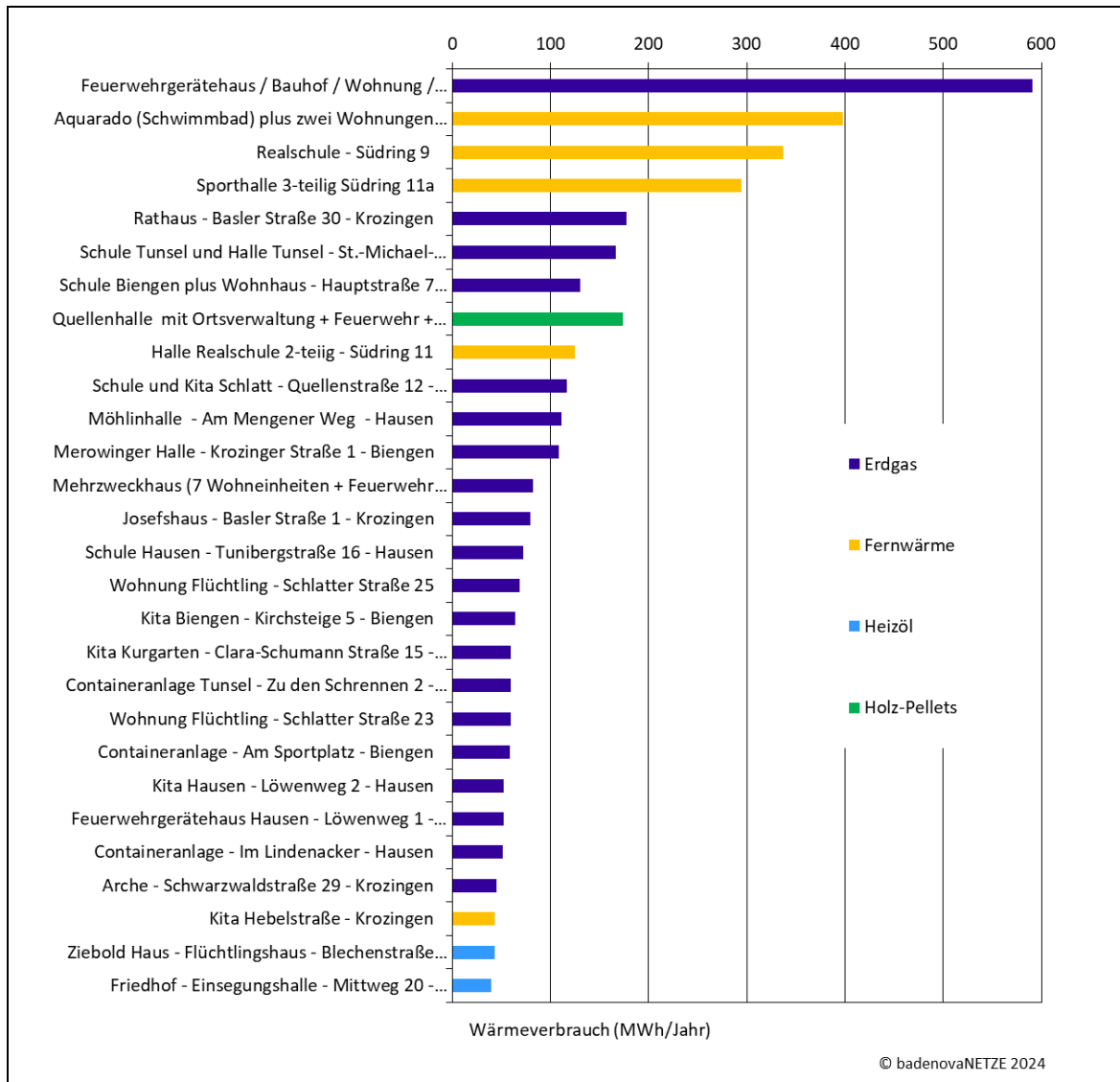


Abbildung 9 – Wärmeverbrauch der 28 kommunalen Liegenschaften mit dem größten Verbrauch nach Bauwerkszuordnung

2.5.4 Endenergieverbrauch für Prozesswärme/-kälte

Während der Wärmeverbrauch der Sektoren private Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie der kommunalen Liegenschaften dem Bedarf für Raumwärme zuzuordnen ist, benötigt der Sektor verarbeitendes Gewerbe/ Industrie auch Prozesswärme und -kälte. Eine getrennte Betrachtung des Wärmeverbrauchs für die Prozesswärme ist für die Wärmeplanung von Bedeutung, denn die benötigten Mengen, Temperaturen und Lasten unterscheiden sich bei der Prozesswärme und -kälte stark von der Raumwärme. Dadurch sind die Potenziale zur Umstellung auf erneuerbare Energien zur Deckung des Prozesswärmebedarfs begrenzt.

Abwärmerelevante Produktionsunternehmen der Stadt Bad Krozingen wurden im Rahmen der Erstellung des kommunalen Wärmeplans von der Stadtverwaltung angeschrieben und um die Mitteilung der wichtigsten Daten zum Energieverbrauch und evtl. Potenziale befragt. Da nicht alle Betriebe angeschrieben wurden und eine Zuordnung des Wärmebedarfs auf die Prozesswärme- bzw. Kälte in der Regel auch nicht möglich ist, wurde der Prozesswärmeverbrauch

mithilfe einer statistischen Auswertung der Ergebnisse der Energiebilanz berechnet¹. Demnach lag der Prozesswärmeverbrauch in der Stadt Bad Krozingen im Jahr 2021 bei 3.779 MWh und machte somit 2 % des Gesamtwärmeverbrauchs der Stadt aus. In Bad Krozingen sind Unternehmen unterschiedlichster Branchen vertreten. Neben zahlreichen kleineren Betrieben sind auch größere Unternehmen der Glasherstellung in Bad Krozingen ansässig.

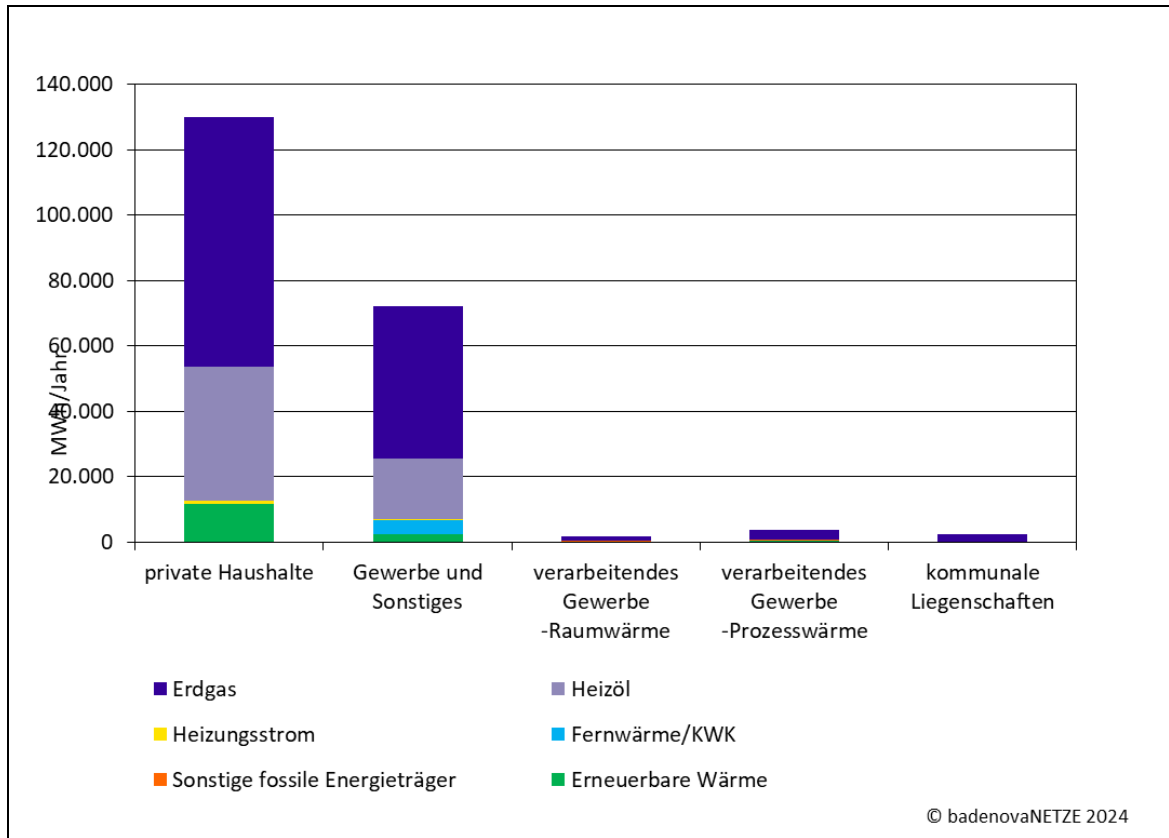


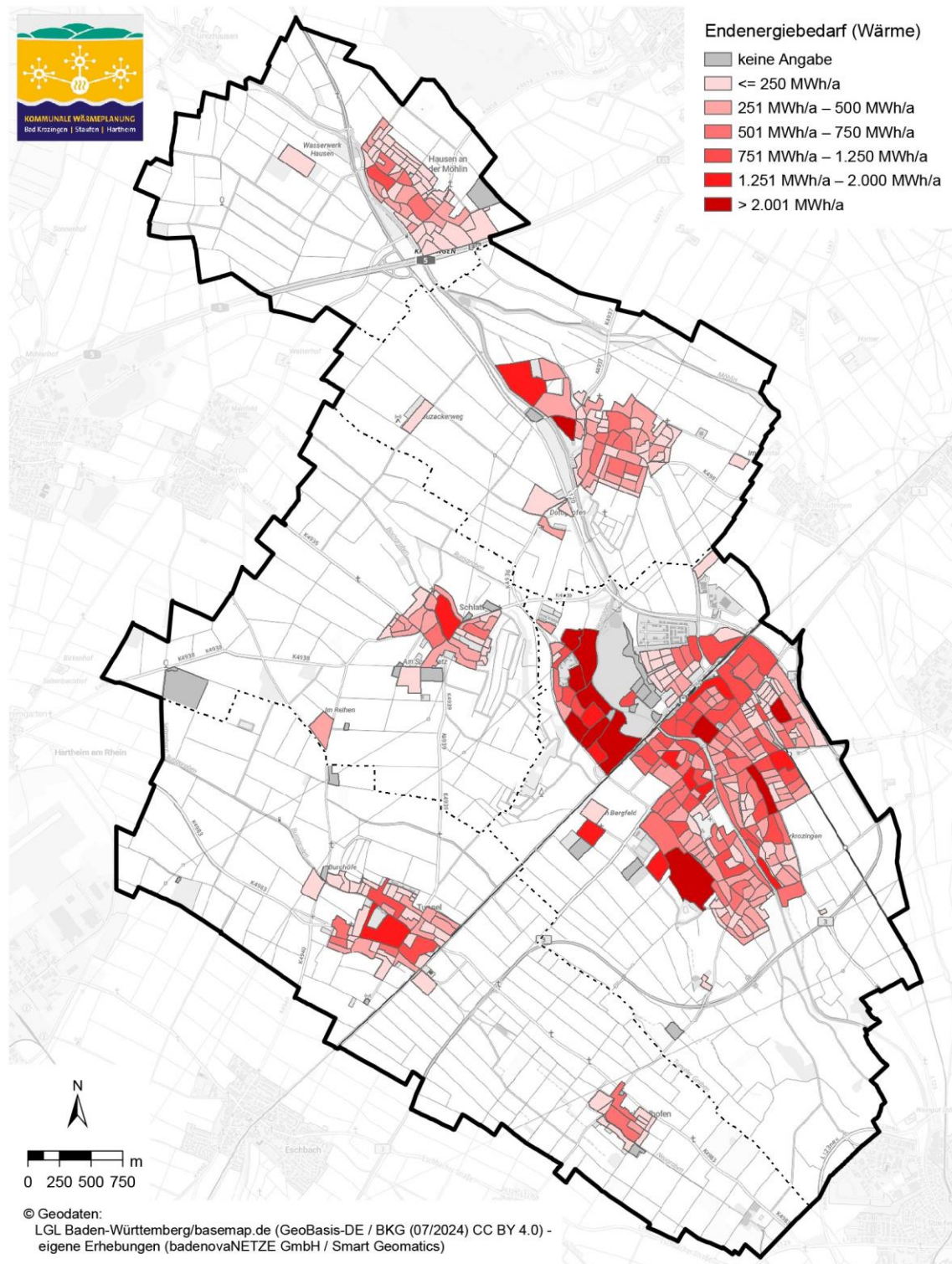
Abbildung 10 – Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren nach Energieträgern (2021)

2.5.5 Räumliche Verteilung des Wärmeverbrauchs

Anhand der Gebäudeeigenschaften, der Heizanlagenstatistik und der Verbrauchsdaten der leitungsgebundenen Energieträger, konnte die räumliche Verteilung des Wärmeverbrauchs im GIS ermittelt werden. Karte 9 zeigt den Wärmeverbrauch der Gebäude und Betriebe in Bad Krozingen aggregiert und bezogen auf Gebäudeblöcke. Dabei ist erkennbar, dass die höchsten Wärmedichten sich in den Industrie- und Gewerbegebieten sowie im Kurgebiet der Stadt konzentriert.

Zu beachten ist, dass die aggregierte Wärmedichte stark von der Baublockgröße und den möglicherweise nur punktuell darin befindlichen Großverbrauchern abhängig ist. Für die operative Vorgehensweise bei der Wärmeplanung sind die gebäudescharfen Werte und die Wärmedichte auf Straßenzugsebene von größerer Relevanz.

¹ Der Anteil der Prozesswärme und -kälte am Endenergieverbrauch der Industrie betrug in Deutschland im Jahr 2017 68,6 % (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019)



Karte 9 – Endenergiebedarf Wärme der Stadt Bad Krozingen auf Baublockebene (Smart Geomatics GmbH)

2.6 Sektorenkopplung und Strombedarfsdeckung

Bei der kommunalen Wärmeplanung liegt der Fokus auf eine möglichst klimaneutrale Wärmeversorgung. Dabei werden die zwei anderen großen Bereiche der Energiebilanz einer Stadt, Stromverbrauch und Mobilität, größtenteils ausgeblendet. Allerdings sind diese drei Bereiche nicht gänzlich voneinander zu trennen, denn die Bereiche Mobilität (durch die Verbreitung von

Elektroantrieben) und Wärme (durch den Einsatz von Wärmepumpen) werden zunehmend durch Strom gedeckt. Vor diesem Hintergrund wurde auch die lokale Stromerzeugung und der lokale Stromverbrauch bei der Bestandsanalyse betrachtet.

Die für die Stadt Bad Krozingen erstellte Energie- und Treibhausgasbilanz enthielt Daten zu den erzeugten Strommengen aus erneuerbaren Energien für das Jahr 2021. Diese wurden ergänzt um die Stromerzeugungsmengen aus KWK-Anlagen. Folgende Strommengen wurden demnach in der Stadt Bad Krozingen im Jahr 2021 lokal erzeugt:

- Photovoltaik (PV) -Anlagen erzeugten 7.886 MWh Strom.
- Biomassekraftanlagen erzeugten 739 MWh Strom.
- KWK-Anlagen erzeugten 2.656 MWh Strom.

Insgesamt wurden demnach im Jahr 2021 ca. 11.281 MWh Strom mit gemarkungsinternen Anlagen erzeugt. Diese deckten somit 15 % des gesamten Stromverbrauchs der Stadt (davon 76 % aus erneuerbaren Energien; vgl. Abbildung 11). Zum Vergleich: Im Jahr 2021 wurden in Baden-Württemberg 30 % des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien erzeugt.

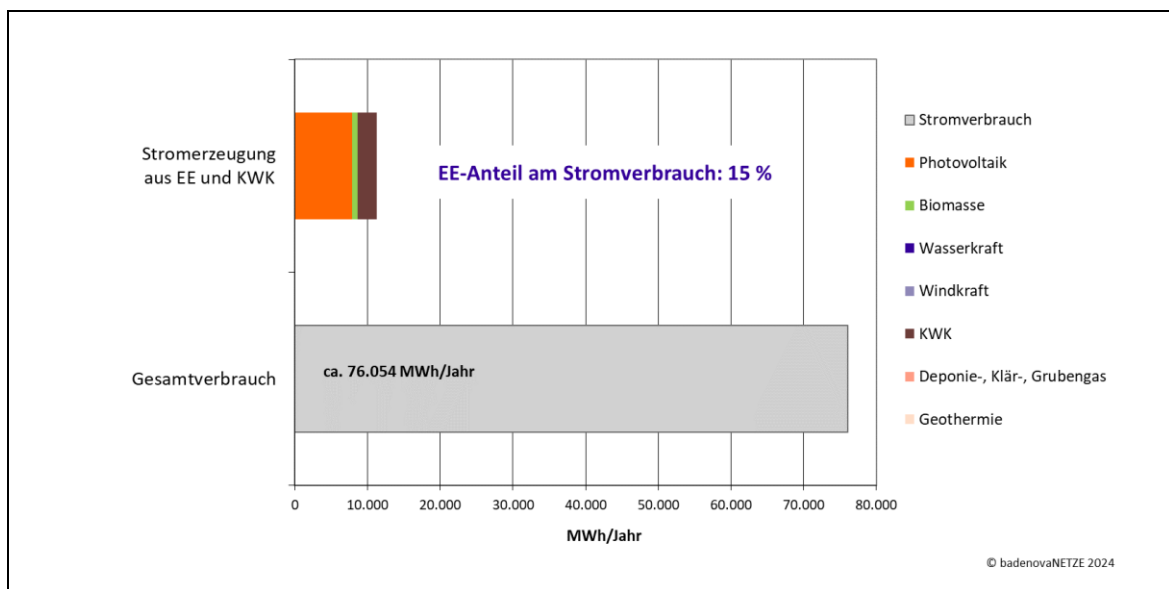


Abbildung 11 – Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK im Vergleich zum Stromverbrauch im Jahr 2021

2.7 Erneuerbare Gase

Im Zuge der Energiewende und dem damit verbundenen Zuwachs einer fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bedarf es neuer Möglichkeiten, diese Energie zu speichern. Zusätzlich wird durch den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen der Stromverbrauch im Winter deutlich steigen, während davon auszugehen ist, dass in den Sommermonaten Überschüsse an Strom aus Photovoltaikanlagen erzeugt werden. Um das Energieangebot mit der Nachfrage zu decken und dadurch Versorgungssicherheit zu gewährleisten, werden in Zukunft sowohl die kurzfristige als auch die saisonale Speicherung von Überkapazitäten notwendig sein (siehe auch Kapitel Speicher).

Während Batteriespeicher kurzfristige Überkapazitäten decken können und in der Elektromobilität eingesetzt werden, können auch saisonale Speicher für die Wärmewende entscheidend

sein. In diesem Zusammenhang sollen in Zukunft erneuerbare Gase eine zentrale Rolle spielen. Bei der Energie- bzw. Wärmewende werden vor allem drei erneuerbare Gase betrachtet: Wasserstoff, synthetisches Methan und Biomethan (Synonym Bioerdgas). Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Herstellungsverfahren, Aufbereitungsschritte und Einsatzmöglichkeiten dieser drei Gase.

Insbesondere bei Wasserstoff wird durch eine zusätzliche Bezeichnung die Herkunft bzw. Gewinnungsart gekennzeichnet (siehe Tabelle 4).

Momentan gilt Wasserstoff als einer der zentralen Hoffnungsträger der deutschen und europäischen Energiewende. Wasserstoff kann im Gegensatz zu Strom und Wärme sehr gut über einen langen Zeitraum gespeichert werden und weist eine relativ hohe Energiedichte auf. Wird Wasserstoff aus erneuerbarem Strom erzeugt, ist er zudem nahezu klimaneutral.

	Biomethan	Power to Gas (PtG)	
		synthetisches Methan	Wasserstoff
Herstellung/ Gewinnung	Vergärung verschiedener Substrate zu Biogas	Gewinnung von Wasserstoff durch Elektrolyse unter Einsatz (überschüssigen EE-) Stroms	
Aufbereitung	Aufbereitung des Biogases	Methanisierung u. a. mit CO ₂ zu erneuerbarem Methan	keine weitere Verarbeitung
Einsatz im Erdgasnetz	Kann zu 100 % in das Erdgasnetz eingespeist und wie herkömmliches Erdgas eingesetzt werden		anteilige Einspeisung in Erdgasnetz möglich

Tabelle 3 – Begriffsabgrenzung erneuerbarer Gase (Angelehnt an VKU, (2017))

Bezeichnung	Definition/Gewinnung
Grauer Wasserstoff	▪ Gewinnung aus fossilen Brennstoffen ▪ am häufigsten angewandtes Verfahren: Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff und CO₂ (Dampfreformierung)
Grüner Wasserstoff	▪ Herstellung durch Elektrolyse von Wasser ▪ Deckung des elektrischen Energiebedarfs durch erneuerbaren Strom
Blauer Wasserstoff	▪ grauer Wasserstoff, dessen CO₂ bei der Entstehung abgeschieden und mittels Carbon Capture and Storage (Abk. CCS) gespeichert wird ▪ bilanziell THG-neutrale Wasserstoffproduktion
Türkiser Wasserstoff	▪ Herstellung durch thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) ▪ Weiteres Reaktionsprodukt ist fester Kohlenstoff ▪ Voraussetzungen für die THG-Neutralität des Verfahrens: ○ Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energiequellen ○ dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs

Tabelle 4 – Unterscheidung der Bezeichnungen für Wasserstoff nach Produktionsverfahren

Die Bestandsanalyse zeigt, dass erneuerbare Gase im Sinne der Tabelle 4 in Bad Krozingen noch keine Rolle spielen. Derzeit sind Energieüberschüsse aus den erneuerbaren Gasen nicht in dem Maße vorhanden, um eine Nutzung der PtG-Technologie in großem Stil wirtschaftlich und energetisch sinnvoll zu gestalten.

Zum heutigen Zeitpunkt gibt es deutschlandweit etwa 35 regenerative PtG-Anlagen mit einer Leistung von insgesamt 30 MW. Die meisten dieser Anlagen sind Pilotanlagen und dienen zu Demonstrations- und Forschungszwecken in kleinem Maßstab.

2.8 Kennzahlen der Bestandsanalyse

In Tabelle 5 sind die wesentlichen Kennzahlen und Ergebnisse der Bestandsanalyse festgehalten.

Beschreibung Kennwert	Wert	Einheit	Bezugsjahr	Datenquelle
Endenergieverbrauch für Wärme der Haushalte	7,37	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
THG-Emissionen für Wärmeverbrauch der Haushalte	2,14	t CO _{2e} /gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
Endenergieverbrauch für Wärme der kommunalen Liegenschaften	0,19	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
THG-Emissionen für Wärme der kommunalen Liegenschaften	0,06	t CO _{2e} /gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
Endenergiebedarf Wärme für Wohngebäude	0,15	MWh/m ² Wohnfläche	2021	Energie- und THG-Bilanz
Stromverbrauch zur Wärmeversorgung der Haushalte	0,11	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
Endenergieverbrauch in GHD und Industrie	5,7	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
THG-Emissionen in GHD und Industrie	1,89	t CO _{2e} /gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
Einsatz erneuerbarer Energien nach Energieträgern				
• Energieholz	0,32	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
• Solarthermie	0,1	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
• Umweltwärme	0,26	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
• Sonstige Erneuerbare (Industrie)	0,05	MWh/gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien an lokaler Stromerzeugung	76	%	2021	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien an lokaler Wärmeerzeugung	7,25	% (+EE-Fernwärme)	2021	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien Strombedarf	11,34	%	2021	Energie- und THG-Bilanz

Beschreibung Kennwert	Wert	Einheit	Bezugsjahr	Datenquelle
Anteil erneuerbarer Energien am Wärmebedarf	7,25	%	2021	Energie- und THG-Bilanz
Nutzung synthetischer Brennstoffe (PtX)	0	MWh/gem. Person	2021	
Stromverbrauch für die Wärmebereitstellung	2.938	MWh	2021	Energie- und THG-Bilanz
Fläche solarthermischer Anlagen	0,13	m ² /gem. Person	2021	Energie- und THG-Bilanz
Fläche PV-Anlagen	0,04	m ² /gem. Person	2021	²
Installierte KWK-Leistung pro Kopf (elektrisch)	0,07	kW/gem. Person	2021	badenovaNETZE
Installierte KWK-Leistung pro Kopf (thermisch)	0,1	kW/gem. Person	2021	³
Installierte Speicherkapazität Strom	k.A.	kW		
Installierte Speicherkapazität Wärme	k.A.	MWh		
Hausanschlüsse in Gasnetzen	2.271	Anzahl	2021	badenovaNETZE
Länge der Transport- und Verteilleitungen in Gasnetzen	k.A.	m	2021	
Hausanschlüsse in Wärmenetzen	k.A.	Anzahl	2021	
Länge der Transport- und Verteilleitungen in Wärmenetzen	Ca. 2.000	m	2021	badenovaWÄRMEPLUS

Tabelle 5 – Wesentliche Kennzahlen der Bestandsanalyse

² Berechnet anhand der Installierten Leistung für PV- Anlagen und Annahmen zu PV-Modulgröße und Leistung nach dem Energieatlas-BW.

³ Thermische Leistung ermittelt anhand installierter elektrischer Leistung und durchschnittliche Wirkungsgrade für KWK-Anlagen (38% elektrisch und 54% thermisch).

3. Potenzialanalyse

Bei der Wärmewende hat die Senkung des Wärmebedarfs durch die Energieeinsparung und die Erhöhung der Energieeffizienz eine hohe Priorität. Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung muss der verbleibende Wärmeverbrauch durch Energie aus erneuerbaren Quellen bzw. synthetischen Brennstoffen, die aus erneuerbaren Energien erzeugt werden, gedeckt werden.

In den folgenden Abschnitten werden diese Potenziale zur klimaneutralen Wärmeversorgung in der Stadt Bad Krozingen beschrieben und nach Möglichkeit beziffert. Dabei werden zunächst Potenziale der Energieeinsparung und Energieeffizienz erläutert, die den Energieverbrauch für Wärme senken können. Anschließend werden Potenziale zur Deckung des Wärmeverbrauchs durch lokale erneuerbare Energien erläutert. Da davon auszugehen ist, dass in diesem Zusammenhang der Stromverbrauch für Wärmeerzeugung steigen wird, werden zusätzlich die Potenziale zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien aufgezeigt. Abschließend werden Potenziale zur Anwendung und Erzeugung von synthetischen Brennstoffen erläutert.

3.1 Energieeinsparung

Bei der Energieeinsparung geht es darum, durch einen bewussten Umgang mit Energie weniger zu verbrauchen. Obwohl die Potenziale bereits gut bekannt sind, ist die Umsetzung solcher Maßnahmen teils schwer zu beeinflussen, da sie nicht durch erprobte technische Maßnahmen schnell umzusetzen sind, sondern vom täglichen Verhalten aller Nutzerinnen und Nutzern abhängen. Das Verhalten wird wiederum stark von Gewohnheiten sowie sozialen und psychologischen Faktoren beeinflusst, was eine Verhaltensänderung erschwert. Trotzdem wird die Energieeinsparung ein wichtiger Baustein der Wärmewende sein. Im folgenden Abschnitt werden einige Möglichkeiten beschrieben, durch die der Wärmebedarf gesenkt werden kann.

3.1.1 Senkung des Wärmebedarfs durch Nutzerverhalten

Eine der effektivsten Maßnahmen zur Reduktion des Wärmebedarfs ist das Absenken der Raumtemperatur. Für jedes Grad der Absenkung sinkt der Energieverbrauch um 6 %. Zusätzlich kann ein zonenweises Heizen bei geschlossenen Zimmertüren ca. 1-3 % Energie einsparen. Das korrekte Lüften in Form von Stoßlüften reduziert Wärmeverluste, allerdings lassen sich die erreichbaren Einsparungen nur schwer abschätzen, weil das Ergebnis sehr vom individuellen Nutzerverhalten abhängig ist. Die Umsetzung solcher Maßnahmen kann zudem durch diverse technische Lösungen erleichtert werden, bspw. mit programmierbaren, digitalen und/oder ferngesteuerten Heizreglern. Einige Sensoren erkennen auch offene Fenster und schalten beim Lüften die Heizung selbstständig aus. Wassersparende Duschbrausen und Armaturen können bis zu 20 % des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung einsparen und mit einem bewussten und sparsamen Verbrauchsverhalten mit Warmwasser können bis zu 10 % Energie eingespart werden (Rehmann, et al., 2022).

Mit Hilfe von organisatorischen Veränderungen bei der Gebäudenutzung (z.B. beim mobilen Arbeiten) lassen sich bei geringer Auslastung und entsprechender Umverteilung der Mitarbeitenden einzelne Gebäudegeschosse teilweise mit abgesenkter Raumtemperatur betreiben und somit unter normalen Randbedingungen bis zu 10 % Energie einsparen. Je größer die Fläche ist, die mit abgesenkten Raumtemperaturen betrieben wird, desto größer kann die Energieeinsparung ausfallen (Rehmann, et al., 2022).

3.2 Steigerung der Energieeffizienz

3.2.1 Effizienz der Heizungssysteme

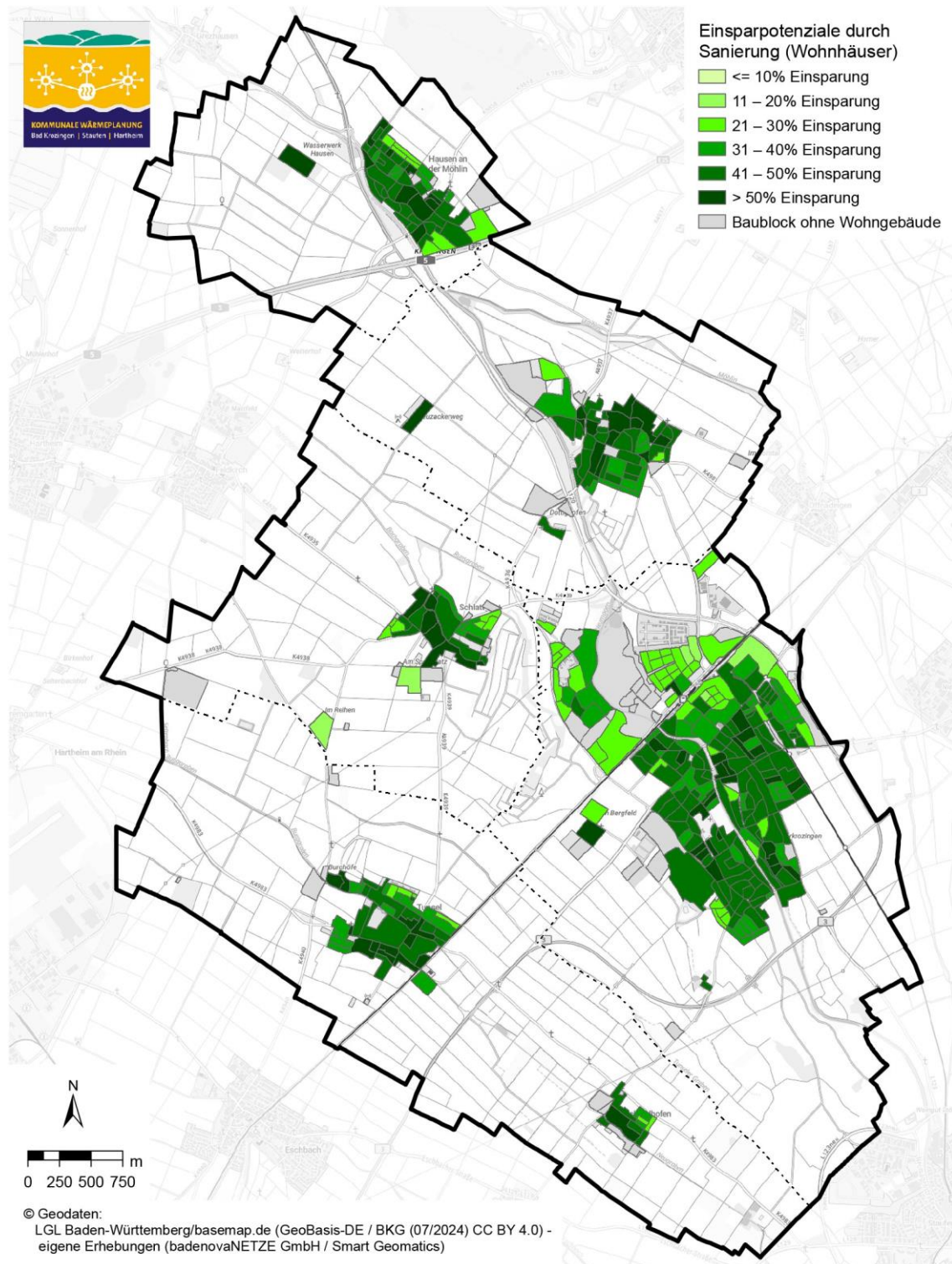
Eine Studie des Instituts für technische Gebäudeausrüstung (ITG) Dresden hat verschiedene Optionen zur Steigerung der Effizienz von Heizsysteme kombiniert und kommt insgesamt auf ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 8-15 % (Rehmann, et al., 2022). Durch die Absenkung der Vorlauftemperatur mittels Einstellung von Anlagenparametern zur Steigerung der Effizienz durch Reduktion von Wärmeverlusten kann eine Energieeinsparung von bis zu 5 % erzielt werden. Auch mit Hilfe einer Nachtabenkung können die Temperaturen im Gebäude gesenkt und somit eine Energieeinsparung zwischen 4- 10 % erreicht werden. Infolge einer Überprüfung und Berücksichtigung der Anwesenheitszeiten und der anschließenden Anpassung von Zeitplänen, lassen sich bis zu 10 % der Endenergie einsparen. Der hydraulische Abgleich ist erforderlich, damit durch alle Heizkörper die notwendige Wassermenge fließen kann. Ist der hydraulische Abgleich durchgeführt worden, lassen sich bis zu 3 % Energie einsparen. Alle diese Maßnahmen sind vor allem auch für einen effizienten Betrieb von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden unverzichtbar. Die Vergrößerung von Heizflächen durch neue und größenangepasste Heizkörper kann in manchen Fällen ausreichen, um auch ältere Gebäude für einen Betrieb von Wärmepumpen zu ertüchtigen. Teilweise wird diese Maßnahme nicht nötig sein, da gerade in alten Gebäuden die Heizkörper bereits überdimensioniert sind, so dass sie jetzt schon für den Wärmepumpenbetrieb geeignet sind.

3.2.2 Monitoring und Optimierung der technischen Anlagen

Bei Nichtwohngebäuden (Gewerbe, verarbeitendes Gewerbe oder öffentliche Liegenschaften) kann die Effizienz und Funktionsweise von technischen Anlagen mit Hilfe eines Monitorings durch engmaschige Kontrollen überprüft und mit geeigneten Gegenmaßnahmen bis zu 10 % Energie eingespart werden. Die Nutzung einer Gebäudeautomation ermöglicht es die vorhandenen Informationen zur tatsächlichen Nutzung des Gebäudes heranzuziehen und den Energieverbrauch um ca. 10-30 % zu senken. Beispielsweise lässt sich mit Hilfe von Sensoren die Präsenz in Räumen erfassen und somit eine bedarfsgerechte Beleuchtung ermöglichen. Darüber hinaus kann mit Hilfe von Temperaturfühlern die Heizung Außentemperaturgeführt betrieben werden. Durch die Nutzung einer automatischen Einzelraumregelung unter Verwendung von programmierbaren elektronischen Thermostatventilen sind Einsparungen zwischen 9-15 % möglich (Rehmann, et al., 2022).

3.2.3 Energetische Sanierung der Wohngebäude und Nichtwohngebäude

Die energetische Sanierung von Gebäuden bietet einen großen Hebel, um den Raumwärmebedarf der Gebäude zu senken. In der Stadt Bad Krozingen wurden 63 % des Wohngebäudebestands vor der zweiten Wärmeschutzverordnung 1984 erbaut, d.h. zu einer Zeit, als Energieeffizienz noch keine wesentliche Rolle spielte. Anhand der Klassifizierung der Gebäude in Gebäudetypen (Gebäudealtersklasse und Gebäudeart) wurde das Potenzial durch die energetische Sanierung berechnet. Konkret heißt das, dass im digitalen Zwilling für jedes Gebäude das Einsparpotenzial berechnet wurde. Dabei wurden den einzelnen Bauteilen (Dach, Fenster, Außenwand und Keller) gängige Dämmmaßnahmen der jeweiligen Gebäudetypen hinterlegt und der Wärmebedarf nach einer Sanierung anhand übliche Bauteilflächen des Gebäudetyps ermittelt. Karte 10 zeigt ausgehend vom Gebäudewärmebedarf die Einsparpotenziale durch energetische Sanierung am Beispiel von Bad Krozingen.



Karte 10 – Einsparpotenziale durch energetische Sanierung der Wohngebäude in Bad Krozingen (Ausschnitt; Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023)

In Summe könnten 39 % des aktuellen Wärmebedarfs der Wohngebäude eingespart werden, wenn alle Wohngebäude auf den aktuellen Stand des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) modernisiert werden. In der folgenden Abbildung 12 sind sowohl der momentane Wärmeverbrauch der Wohngebäude (links) sowie das mögliche Einsparpotenzial (rechts) nochmals für die gesamte Stadt Bad Krozingen grafisch zusammengefasst. Durch die weitere Sanierung der Wohngebäude

und der damit einhergehenden Energieeinsparung, könnte die Stadt Bad Krozingen die THG-Emissionen um 12.705 t CO_{2e} jährlich senken (11 % der wärmebedingten THG-Emissionen der Stadt im Jahr 2021). Außerdem kann die energetische Sanierung auch im Sommer für eine deutlich kühlere Raumtemperatur sorgen und hier für eine Senkung des Energiebedarfs sorgen.

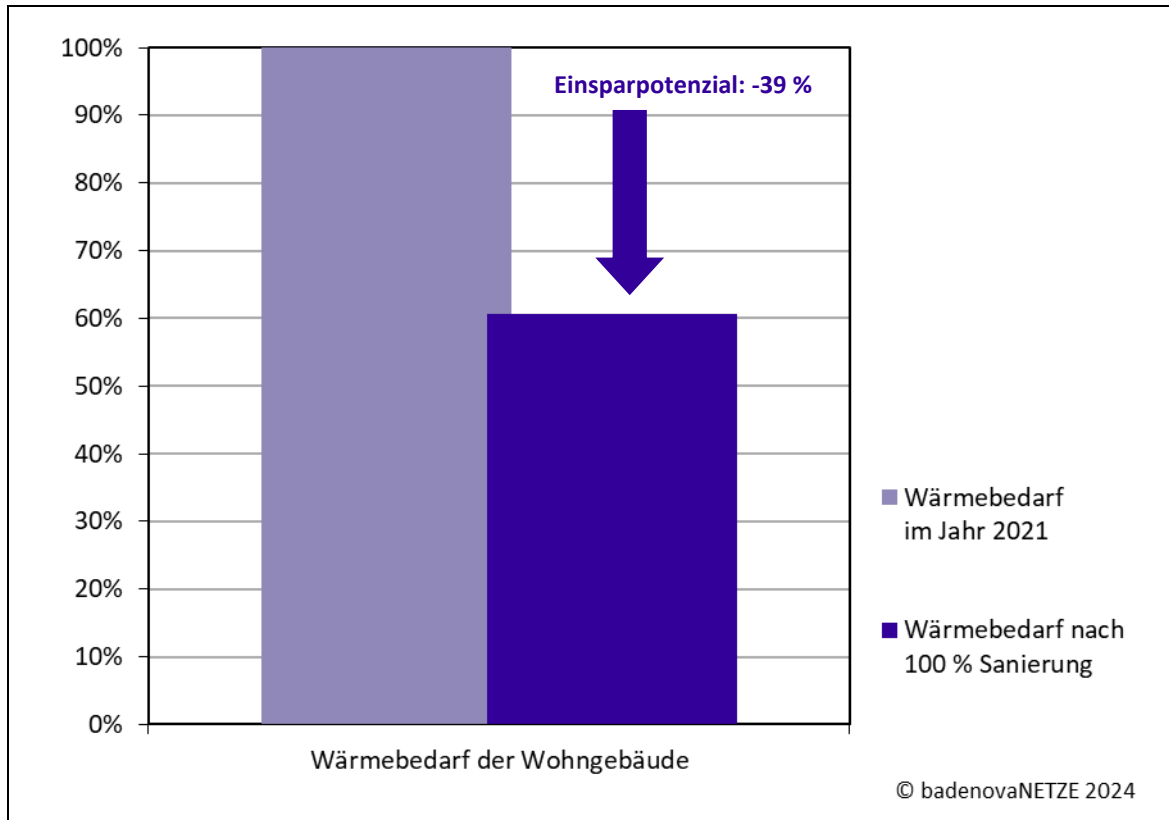


Abbildung 12 – Wärmebedarf der Wohngebäude sowie theoretisches Energieeinsparpotenzial

3.2.4 Treibhausgasbilanz der Wärmeversorgung

Auf Basis der Verbrauchsmengen der jeweiligen Energieträger, berechnet das Bilanzierungstool BICO₂ BW anhand der entsprechenden Emissionsfaktoren die THG-Emissionen des Wärmeverbrauchs. Die Deckung des Wärmeverbrauchs der Stadt Bad Krozingen führte demnach im Jahr 2021 zu THG-Emissionen in Höhe von 53.613 t CO_{2e}. Der überwiegende Anteil ist Erdgas (59 %) und Heizöl (36 %) zuzuordnen. Abbildung 13 zeigt die Aufteilung der wärmebedingten THG-Emissionen nach Sektor und Energieträger. Die kommunalen Liegenschaften waren mit ihrem Wärmeverbrauch für 587 t CO_{2e} im Jahr 2021 verantwortlich.

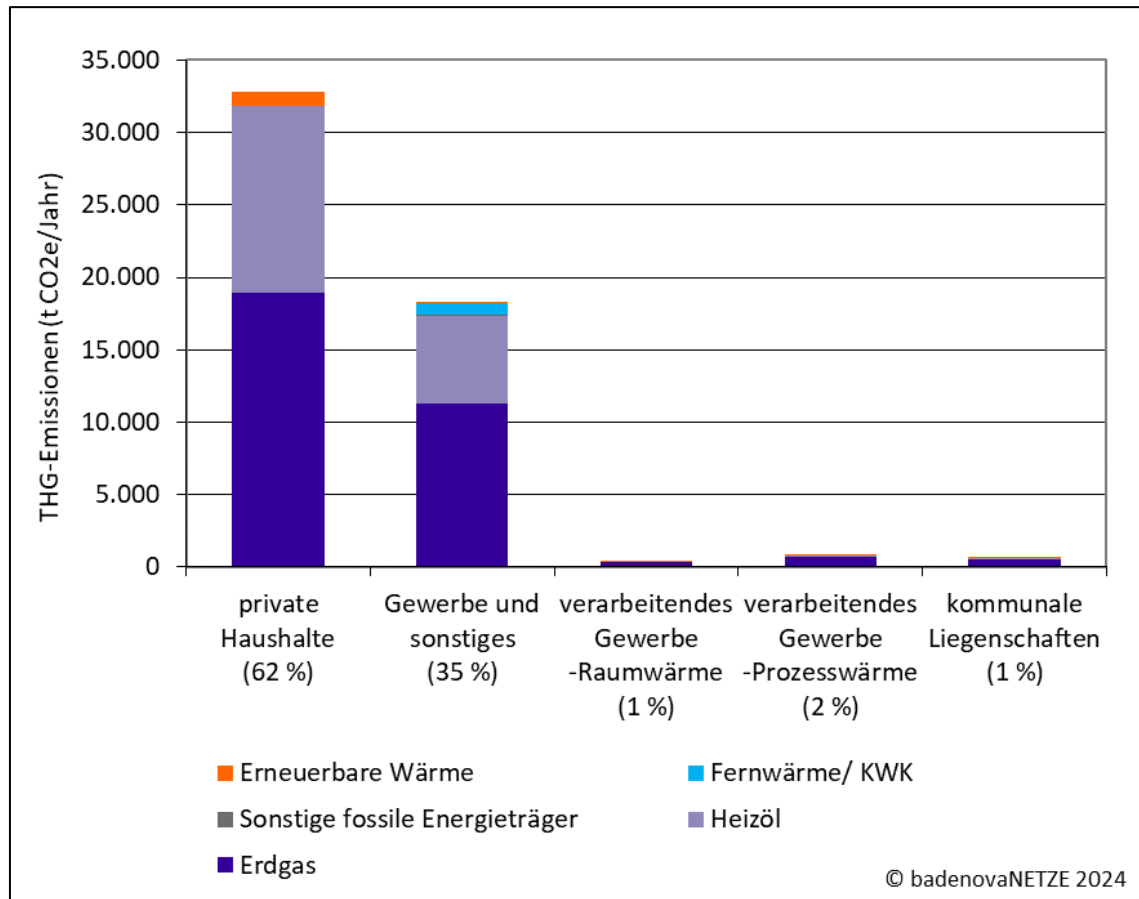


Abbildung 13 – THG-Bilanz des Wärmeverbrauchs nach Sektor und Energieträger

3.2.5 Gebäudesteckbriefe für Mustersanierungen

Zur Ermittlung von Einsparpotenzialen im Wohngebäudebereich bei energetischen Sanierungsmaßnahmen wurde eine Gebäudetypisierung der Wohngebäude der Stadt Bad Krozingen durchgeführt. Diese Gebäudetypisierung ermöglicht eine vereinfachte Abbildung des Wohngebäudebestands der Stadt und dient als Grundlage zur Berechnung der Einsparpotenziale. Konkret wurden dafür alle Wohngebäude nach den Kategorien Gebäudetyp und Gebäudealter eingeteilt nach der Methodik des IWU (IWU, 2005).

Die häufigsten Gebäudetypen der Wohngebäude in Bad Krozingen sind:

- 1) Reihenhaushaus Baualtersklasse F (Baujahr zw. 1958 – 1968)
- 2) Einfamilienhaus Baualtersklasse C (Baujahr zw. 1919 – 1948)
- 3) Einfamilienhaus Baualtersklasse F (Baujahr zw. 1969 - 1978)
- 4) Reihenhaushaus Baualtersklasse J (Baujahr zw. 2002 – 2009)
- 5) Reihenhaushaus Baualtersklasse C (Baujahr zw. 1919 – 1948)
- 6) Reihenhaushaus Baualtersklasse K (Baujahr zw. 2010 – 2015)
- 7) Einfamilienhaus Baualtersklasse G (Baujahr zw. 1979 – 1983)
- 8) Einfamilienhaus Baualtersklasse J (Baujahr zw. 2002 – 2009)
- 9) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse F (Baujahr zw. 1969 - 1978)
- 10) Reihenhaushaus Baualtersklasse G (Baujahr zw. 1979 – 1983)
- 11) Reihenhaushaus Baualtersklasse H (Baujahr zw. 1984 – 1994)

- 12) Reihenhaushaus Baualtersklasse L (Baujahr zw. 2016 – aktuell)
- 13) Einfamilienhaus Baualtersklasse H (Baujahr zw. 1984 – 1994)
- 14) Einfamilienhaus Baualtersklasse E (Baujahr zw. 1958 – 1968)
- 15) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse C (Baujahr zw. 1919 – 1948)
- 16) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse E (Baujahr zw. 1958 – 1968)
- 17) Reihenhaushaus Baualtersklasse D (Baujahr zw. 1949 – 1957)
- 18) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse G (Baujahr zw. 1979 – 1983)

Die oben genannten Wohngebäudetypen decken insgesamt ca. 3.250 Wohngebäude in der Stadt und damit ca. 80% des Wohngebäudebestands in Bad Krozingen ab.

Um die Sanierungspotenziale am eigenen Gebäude für Gebäudeeigentümer greifbar und nutzbar zu machen, wurden für vierzehn dieser Gebäudetypen der Stadt (die neuen Baualtersklassen J, K und L werden aufgrund des ausbleibenden Sanierungsbedarf hier ausgespart) sogenannte Gebäudesteckbriefe erstellt (vgl. Abbildung 30). Die Gebäudesteckbriefe zeigen beispielhaft Mustersanierungen am jeweiligen Gebäudetyp auf und beschreiben somit die Potenziale zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle und zur Optimierung bzw. Umstellung der Wärmeversorgung konkret für den jeweiligen Gebäudetyp.

Die jeweils vierseitigen Gebäudesteckbriefe stellen die wichtigsten Daten der einzelnen Beispielgebäude zusammen und bieten eine übersichtliche Darstellung des Ist-Zustands und der durch energetische Modernisierung erzielbaren Energieeinsparungen. Darüber hinaus werden beispielhafte technische Anlagenlösungen und die damit einhergehenden Investitionskosten dargestellt. Auf der letzten Seite sind abschließend entsprechende Hinweise zu Förderprogrammen und gesetzlichen Rahmenbedingungen zu finden.

Ziel der Steckbriefe ist es, eine Hilfestellung für die energetische Klassifizierung von Bestandsgebäuden zu geben und hierfür systematische Ansätze, Kriterien und typische Kennwerte zu liefern. Die Wirksamkeit von energetischen Maßnahmen wird exemplarisch demonstriert. Ausgehend von Beispielgebäuden verschiedener Größen und Altersklassen werden typische Energiekennwerte sowie das Einsparpotenzial dargestellt. Das Niveau des rechnerischen Energiebedarfs wird dabei abgeglichen, um typischerweise in Bestandsgebäuden auftretende Verbrauchskennwerte abzubilden.

Die in den Gebäudesteckbriefen dargestellten Gebäude stellen Fallbeispiele dar, deren Eigenschaften exemplarisch für den jeweiligen Gebäudetyp sind. Die von der IWU erstellte Gebäudetypologie ermöglicht einige grundsätzliche Aussagen, die Vereinfachungen und exemplarische Betrachtungen voraussetzen, dabei jedoch die Bandbreite der Praxis nicht wiedergeben können. Viele Details der möglichen Umsetzung von Energiesparmaßnahmen am konkreten Objekt lassen sich nur mit einem Experten vor Ort klären. Deshalb eignen sich die Gebäudesteckbriefe als erste Übersicht für Eigentümer und für den Einstieg in die Themen Energieeffizienz des Gebäudes und des Heizsystems, die im optimalen Fall von einer Energieberatung durch einen neutralen Energieeffizienzexperten vor Ort gefolgt werden.

Im Anhang (vgl. Abbildung 30) ist beispielhaft der Gebäudesteckbrief für ein Einfamilienhaus mit einem Baualter zwischen 1958 und 1968 (Baualtersklasse E) abgebildet. Alle dreizehn im Rahmen des kommunalen Wärmeplans der Stadt Bad Krozingen erarbeiteten Gebäudesteckbriefe werden der Stadt Bad Krozingen digital zur Verfügung gestellt. So können diese auf der Homepage der Stadt veröffentlicht oder im Rahmen von Veranstaltungen und Sanierungskampagnen verwendet werden.

3.2.6 Raumwärme der kommunalen Liegenschaften

Die Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Bad Krozingen weist einen Wärmeverbrauch der kommunalen Liegenschaften von ca. 2.523 MWh/a aus. Unter Anwendung der Studie des ITG Dresden zur Steigerung der Effizienz von Heizsystemen kann ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 8-15 % (Rehmann, et al., 2022) angesetzt werden, so dass ohne Gebäudesanierungen der Verbrauch um mindestens 202 bis 378 MWh/a gesenkt werden kann.

3.2.7 Prozesswärme

Wesentliche Effizienzpotenziale bieten bei der Prozesswärme diverse Modernisierungs- und Optimierungsmaßnahmen, durch die der Energieverbrauch im Schnitt um bis zu 15 % gesenkt werden kann. Der Einsatz von energieeffizienten Anlagenkomponenten wie drehzahlgeregelte Pumpen und Ventilatoren, regelbarer Brenner und großer Wärmeübertragungsflächen stellen schnelle und wirksame Maßnahmen dar. Zudem können Wärme- und Dampferzeugungsanlagen modernisiert werden. Immerhin sind 80 % der industriellen Wärmeanlagen in Deutschland älter als zehn Jahre und entsprechen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik.

Weitere Potenziale bietet die Wärmerückgewinnung. Bei der industriellen Wärmeerzeugung werden durchschnittlich 40 % der Abwärme an die Umgebung abgegeben. Die bisher ungenutzte Abwärme kann für das Heizen von Gebäuden, das Aufbereiten von Warmwasser oder zur Vorwärmung von Verbrennungs- und Trocknungsluft verwendet werden. Kann die Wärme nicht im Betrieb genutzt werden, kann sie zudem ausgekoppelt und über ein Wärmenetz weitere Gebäude beheizen (siehe auch Abschnitt 3.3.6).

Eine weitere Senkung des Energieverbrauchs gelingt durch den Umstieg auf effiziente Umwandlungs- und Erzeugertechnologien. Ein Blockheizkraftwerk folgt beispielsweise dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung und erzeugt gleichzeitig Wärme und Strom. Dadurch wird die Abwärme nicht ungenutzt an die Umwelt abgegeben, sondern direkt genutzt. Auch mit Hilfe moderner Wärmepumpen, Wärmespeicher oder Solarthermie kann vorhandene Energie effizienter genutzt werden.

Die Potenziale zur Senkung des Prozesswärmebedarfs lassen sich nur durch eine Untersuchung der bestehenden Anlagen und Prozesse der jeweiligen Betriebe genau beziffern. Eine solche Erhebung übersteigt den Rahmen des kommunalen Wärmeplans. Im Austausch mit den potenziell in Frage kommenden Unternehmen hat sich ergeben, dass es nur bei einer Firma in Bad Krozingen ein möglicherweise nutzbares, allerdings saisonal schwankendes Abwärmepotenzial gibt. Sollte es zu einem Bau des Wärmenetzes in der Altstadt kommen, wäre das tatsächliche Abwärmepotenzial des Unternehmens technisch professionell zu prüfen.

3.3 Erneuerbare Energien für die Wärmeversorgung

Zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestands muss der nach Einspar- und Effizienzmaßnahmen verbleibende Wärmebedarf möglichst treibhausgasarm über erneuerbaren Energieträger gedeckt werden. Im folgenden Abschnitt werden die in der Stadt Bad Krozingen verfügbaren Potenziale zur Wärmeerzeugung aus den folgenden erneuerbaren Quellen beschrieben: Biomasse, oberflächennahe und Tiefengeothermie, Umweltwärme, Solarthermie und Abwärme aus Gewerbe und Abwasser.

3.3.1 Biomasse

Bei der energetischen Nutzung der Biomasse kann zwischen Energieholz und Biogas unterschieden werden. Energieholz in Form von Stückholz, Holzpellets oder Holzhackschnitzel wird aus der Forstwirtschaft sowie der Holzverarbeitenden Industrie gewonnen und wird hauptsächlich für die Wärmeerzeugung genutzt, während Biogas aus verschiedenen Substraten, vor allem aus der Landwirtschaft, erzeugt werden kann und sowohl für die Erzeugung von Strom als auch von Wärme genutzt wird.

Im Rahmen dieser Studie wurde das Potenzial an Biomasse (Biogas und Energieholz) für die energetische Nutzung im Gemarkungsgebiet der Stadt Bad Krozingen durch eine empirische Erhebung ermittelt. Es wird zunächst das technische Potenzial anhand des Massenaufkommens der Biomasse beziffert und anschließend die aktuellen Verwertungspfade berücksichtigt.

Eine effektive Nutzung von Biomasse wird durch eine Kaskadennutzung erreicht. An der Spitze dieser Pyramide steht die Nutzung von Biomasse als Nahrungsmittel. In einer zweiten Nutzungsstufe wird eine stoffliche Nutzung der Biomasse, wie beispielsweise die Herstellung von Baustoffen oder Verpackungsmaterialien, überprüft. Erst im Anschluss ist eine energetische Nutzung sinnvoll. In dieser Studie wird daher der Schwerpunkt auf das Energiepotenzial von Reststoffen gelegt, die bisher keinem Verwertungspfad unterliegen oder durch einen kosteneffizienten und ökologischen Verwertungspfad ersetzt werden können.

3.3.1.1 Biogassubstrat- und Energiepotenziale aus der Landwirtschaft

Die Ermittlung der Biogaspotenziale für die Stadt Bad Krozingen erfolgte mithilfe statistischer Kennzahlen. Laut dem Statistischen Landesamt wurde im Jahr 2021 in der Stadt Bad Krozingen eine Fläche von 2.695 ha landwirtschaftlich genutzt (STALA (2022)). Bei der Bewirtschaftung dieser Flächen entstehen unterschiedliche Reststoffe, die sich für den Betrieb einer Biogasanlage eignen. Tabelle 6 gibt eine Übersicht dieser Reststoffe und deren energetischen Potenziale in der Stadt Bad Krozingen.

Die Nutzung von tierischen Exkrementen als Biogassubstrat ist ökologisch sinnvoll, denn die vergorene Gülle bzw. der ausgefaulte Festmist kann nach der Nutzung in einer Biogasanlage in Form von Biogasgülle als hochwertiger organischer Dünger auf das Feld ausgebracht werden. Die von dem statistischen Landesamt angegebenen Tierbestände in der Stadt Bad Krozingen ergeben ein verfügbares energetisches Potenzial der tierischen Exkremente von ca. 96 MWh/Jahr.

Reststoff Quelle	Anbaufläche (ha) Quelle: STALA 2020	Energetisches Potenzial (MWh/Jahr)
Ackerpflanzen ⁴	2.409	11.922
Dauergrünlandflächen	119	551
Obst-/Weinanbau	139	181

Tabelle 6 – Energetisches Potenzial einiger landwirtschaftlichen Reststoffe in der Stadt Bad Krozingen

3.3.1.2 Biogassubstrat- und Energiepotenziale aus organischen Abfällen

Eine energetische Nutzung von Rest- und Abfallstoffen ist aus ökologischer Sicht sehr attraktiv, da keine Konkurrenz zu Nahrungsmitteln besteht und es sich teilweise um Abfallstoffe handelt, die bisher entsorgt werden müssen.

Die Nutzung der organischen Abfälle der Haushalte der Stadt Bad Krozingen birgt zwar ein energetisches Potenzial von ca. 2.006 MWh/Jahr. Die Verwertung in einer Biogasanlage in Bad Krozingen wird in dieser Studie jedoch ausgeschlossen, da die Entsorgung dieser Abfälle in der Verantwortung des Landkreises Breisgau-Hochschwarzwald liegt.

Betriebe mit organischen Reststoffen haben der Erfahrung nach bereits bestehende Verwertungspfade oder die Abfälle werden außerhalb der Stadt weiterverarbeitet.

3.3.1.3 Gesamterzeugungspotenzial Biogas mit KWK

Ein Potenzial der Kraft-Wärme-Kopplung lässt sich nicht im Allgemeinen ermitteln, da die Anwendung dieser Technik den Besonderheiten der Anforderungen im Gewerbe oder aber den Wirtschaftlichkeitsbedingungen für ein Wärmenetz oder für eine dezentrale Wärmeversorgung privater Haushalte unterliegt. Diese Besonderheiten lassen sich hier nicht bemessen.

Messbar ist aber das Potenzial der Biogasproduktion mit Reststoffen aus der landwirtschaftlichen Produktion und deren Verwendung in einer Biogas-KWK-Anlage. Ausgehend von den vor Ort erzeugten organischen Reststoffen, ergibt sich ein der landwirtschaftlichen Biogasproduktion hinzuaddiertes technisches Potenzial für die Stadt Bad Krozingen von 6.922 MWh/Jahr, was im Rahmen einer Stromerzeugung einem elektrischen Erzeugungspotenzial von ca. 4.845 MWh/Jahr, einer thermischen Nettowärme von 4.153 MWh/Jahr und einer Nennleistung mit ca. 713 kW_{el} entsprechen würde⁵.

⁴ Das Energiepotenzial der Ackerpflanzen verteilt sich in Bad Krozingen auf 28 Haupterwerbslandwirte und 36 Nebenerwerbslandwirte. Eine ökologische Bewertung der Nutzung dieser Biomasse ist abhängig von der Tatsache, ob diese Reststoffe als organischer Dünger oder zur Tierernährung genutzt werden. Im ersten genannten Fall stellt die Nutzung dieser Reststoffe in einer Biogasanlage eine Wertschöpfung dar, da am Ende des Biogasprozesses erneut ein hochwertiger Dünger entsteht. Bei Letzterem ist eine Falluntersuchung notwendig, ob die als Tierfutter genutzte Biomasse kostengünstig und unter ökologischen Gesichtspunkten äquivalent substituiert werden kann.

⁵ Für die Berechnung des Erzeugungspotenzials für Wärme und Strom wurden folgenden Annahmen getroffen: Mit den verfügbaren Substratpotenzialen wird eine Anlage für 6.800 Volllaststunden ausgelegt.

3.3.1.4 Energieholz

Die Quantifizierung der kommunalen Energieholzpotenziale konnte einerseits durch konkrete Holzeinschlagsdaten, andererseits auf Basis von Erfahrungsberichten der zuständigen Forstverwaltung durchgeführt werden.

In der Stadt Bad Krozingen beläuft sich die Waldfläche auf 305 ha. Das eingeschlagene Holz wird teilweise energetisch genutzt und als Hackschnitzel (167 fm/Jahr) und Brennholz (690 fm/Jahr) verwendet. Zusätzlich werden 1.380 fm/Jahr stofflich genutzt. Auf Grundlage der Informationen des zuständigen Forstamtes kann festgestellt werden, dass die Waldfläche in Bad Krozingen bereits nachhaltig bewirtschaftet wird. Der ungenutzte Zuwachs unterliegt in aller Regel den Wiederaufforstungsprogrammen. Zusätzliche energetische Potenziale in relevanter Größenordnung sind daher nicht vorhanden.

3.3.2 Oberflächennahe Geothermie

Bei der Oberflächennahen Geothermie werden solche Erdwärmepotenziale betrachtet, die in bis zu 400 m Tiefe erschließbar sind. Sie wird ausschließlich zur Wärmeversorgung und nicht zur Stromerzeugung genutzt. Dabei wird die in oberflächennahen Erdschichten vorhandene niedrigtemperierte Wärme mit einer Sole aufgenommen und dann in einem Kühlmittelkreislauf mittels einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gehoben. Dieses ermöglicht in der Folge das Heizen eines Gebäudes. In Abbildung 14 sind die verschiedenen Techniken zur Beheizung oder Kühlung von Gebäuden mit Erdwärme dargestellt. Welches System Anwendung findet, hängt wesentlich vom Bedarf, von den Untergrundverhältnissen und von der zur Verfügung stehenden Fläche ab. Für gewerbliche Zwecke, größere Gebäude und Gebäudegruppen bieten sich Erdwärmesonden und Grundwasserbrunnen an. Einfamilienhäuser können vor allem die Erdwärmesonde oder auch Kollektorsysteme nutzen.

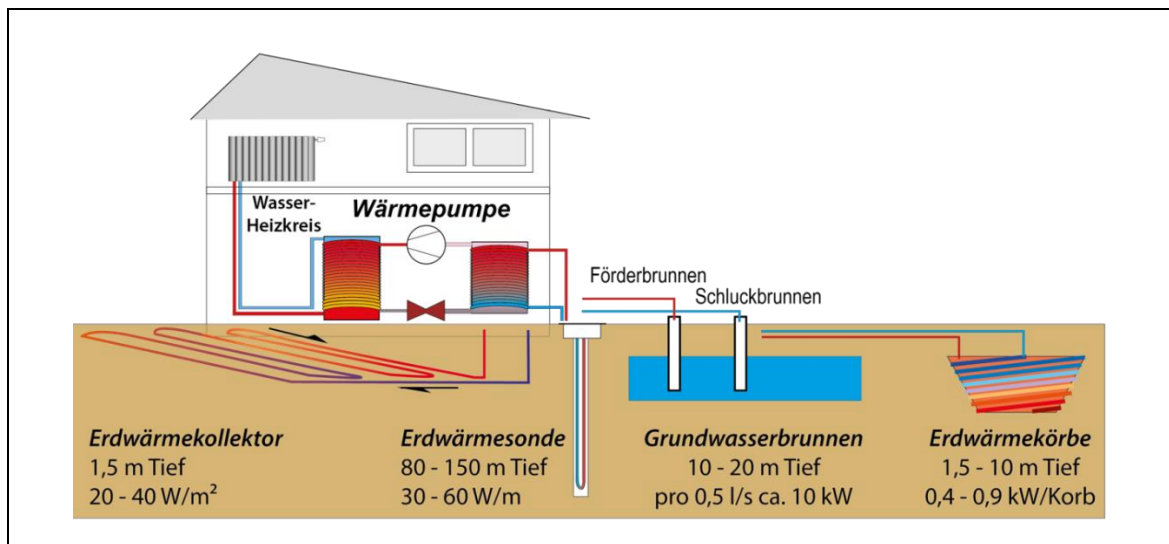
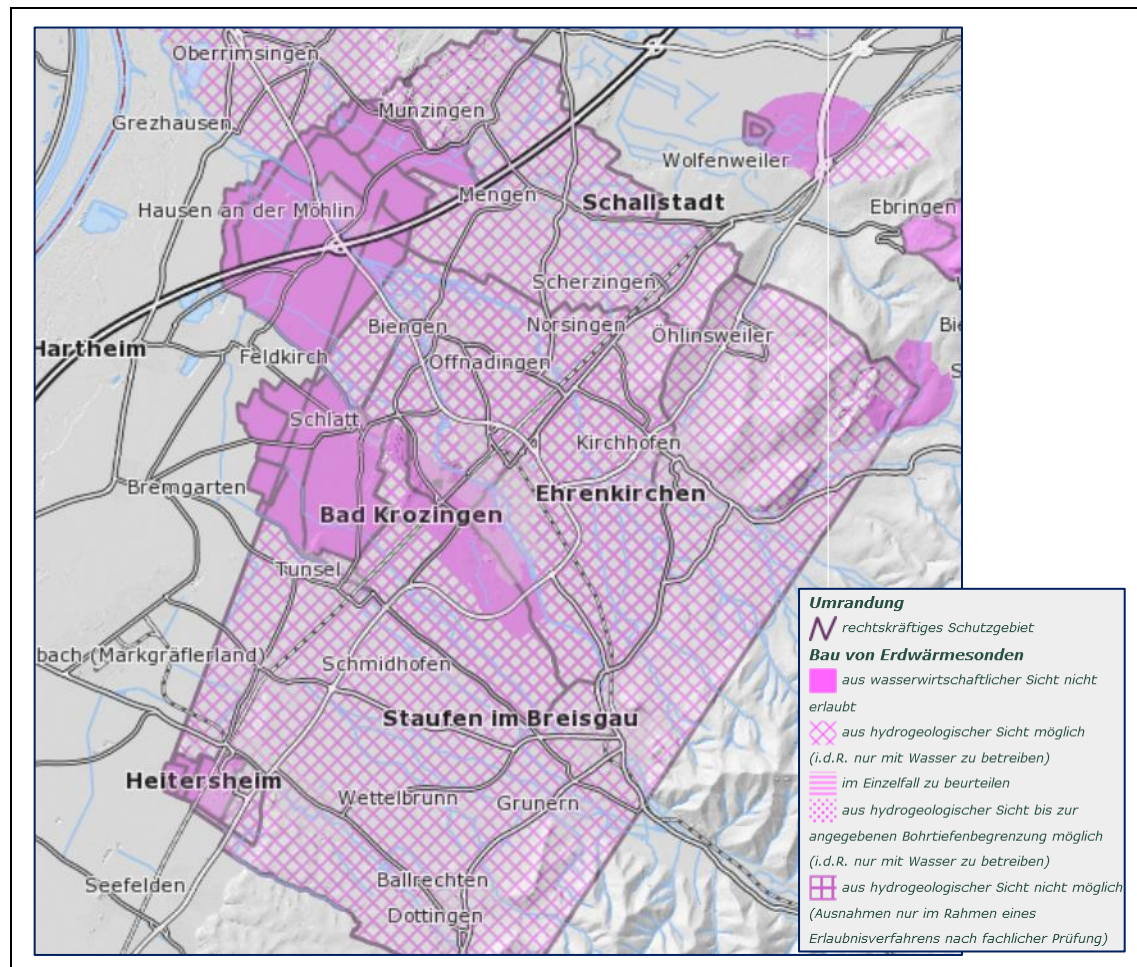


Abbildung 14 – Techniken der Oberflächennahen Geothermie und ihre Leistungsfähigkeit

Elektrischer Wirkungsgrad von 38 %, thermischer Wirkungsgrad von 54 %. Dabei werden 40 % der erzeugten Wärme für den Eigenbedarf der Anlage benötigt.

Das nutzbare Potenzial der Oberflächennahen Geothermie kann wesentlich durch Wasserschutzzonen eingeschränkt werden, da in diesen Gebieten die Nutzung nur sehr bedingt, bis gar nicht möglich ist. In Bad Krozingen ist in allen Siedlungsbereichen die Wasserschutzzone III, teilweise auch die der Zone II ausgewiesen (Karte 11). Die oberflächennahe Geologie bietet daher nur sehr eingeschränkte Potenziale der Wärmenutzung. Der Untergrund in der Umgebung von Bad Krozingen wird wesentlich von grundwasserführenden Kiesen und Sanden der Breisgau- und der Neuenburg-Formationen aufgebaut. Darüber liegt i.d.R. eine Lössdecke, im Liegenden treten Sedimentgesteine des Tertiärs auf. Das Abteufen von Bohrungen liegt innerhalb der Gemarkung in der Wasserschutzzone III unter Erlaubnisvorbehalt. In der Zone II wird das Abteufen nicht genehmigt.



Karte 11 – Verteilung der Wasserschutzzonen auf der Gemarkung Bad Krozingen nach LGRB - ISONG BW (Stand 2023)

3.3.2.1 Erdwärmesonden

Geologisch und rechtlich betrachtet bietet der Untergrund von Bad Krozingen wenig Potenzial für die Anwendung von Erdwärmesonden. Die Wärmeleitfähigkeiten des Untergrundes und die geologisch bedingten thermischen Entzugsleistungen werden vom Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG-BW) zwar nicht angegeben, dürften aber

weitestgehend im geeigneten Bereich liegen.⁶ Dennoch ist im allgemeinen der Untergrund in Bad Krozingen für die Abteufung von Erdwärmesonden wenig geeignet, da weite Gebiete als Wasserschutzzonen ausgewiesen sind. Das bedingt entweder Bohrverbote oder aber Effizienzverluste, da genehmigte Erdwärmesonden dort nur mit Wasser als Wärmeträgermedium betrieben werden dürfen. Alle Erdwärmeprojekte unterliegen daher der Einzelfallbeurteilung durch die Behörde.

Auf der Grundlage der thermischen Werte und der Daten zum Wärmebedarf der Bestandsgebäude konnten die Potenziale zur Nutzung von Erdwärmesonden ermittelt werden. Zunächst wurde das technische Potenzial für jedes Wohngebäude ermittelt. Dabei wird berechnet, wie viele Erdwärmesonden⁷ benötigt werden, um den Wärmebedarf des Gebäudes zu decken. Es wird sowohl mit dem aktuellen Wärmebedarf (2021), als auch mit dem Wärmebedarf nach energetischer Sanierung der Gebäudehülle für die Jahre 2030 und 2040 gerechnet. Dabei wird eine Sanierungsquote angenommen, die ab 2028 einen Sanierungsanteil von 2 % pro Jahr einspart. Wichtige Kriterien sind zudem, ob ausreichend Platz auf dem Grundstück für die entsprechende Anzahl der Bohrungen vorhanden ist. Gebäude, die mehr als vier Sonden benötigen, um den Wärmebedarf zu decken, werden bei der Betrachtung des wirtschaftlichen Potenzials ausgeschlossen. Die Potenzialberechnung gründet folglich auf dem berechneten Wärmeentzug mit bis zu vier Erdwärmesonden bei jeweils 120 m Sondenlänge. Die zugrundeliegenden Berechnungsformeln sind in (Miocic & Krecher, 2022) hinterlegt und berücksichtigen jedes Wohngebäude, welches nicht in einer Wasserschutzzone liegt, da für jede Sondenbohrung eine Bohrerlaubnis vorliegen muss, die im Einzelfall der Prüfung durch die Behörde unterliegt.

Das technisch-energetische Potenzial zur Deckung des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude mit Erdwärmesonden liegt in Bad Krozingen bei ca. 22.000 MWh/Jahr, was 17 % des Wärmebedarfs aller Wohngebäude entspricht. Bis zum Jahr 2040 erhöht sich dieser Anteil aufgrund der Gebäudesanierung auf 18 % des dann erwarteten Wärmebedarfs. Eine geothermische Bedarfsdeckung konzentriert sich vor allem auf die peripheren Wohngebiete mit überwiegend Einfamilienbebauung. Im älteren Stadtgebiet ist kein Potenzial vorhanden, da das Alter und der hohe Wärme- bzw. Leistungsbedarf der Gebäude einer effizienten und wirtschaftlichen Anwendung im Wege stehen. In den eng bebauten Arealen sind dazu auch die Grundstücksflächen oft zu klein, um mehrere Erdwärmesonden abzuteufen. Hinzu kommt die Wasserschutzsituation auf der Gemarkung.

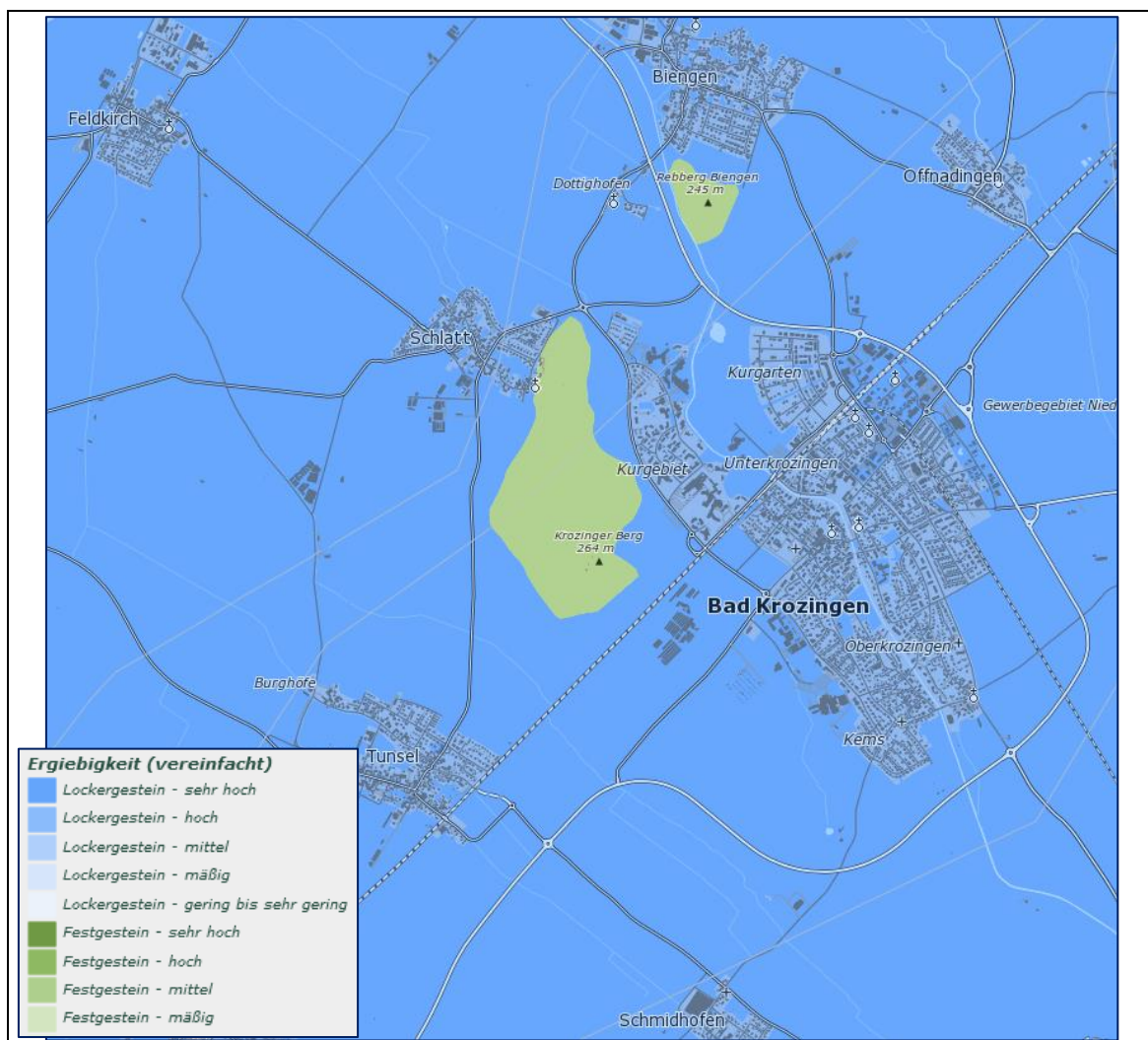
3.3.2.2 Grundwasser

Ein weiteres Potenzial bietet die Installation von Grundwasserbrunnen. Voraussetzung für die Nutzung von Grundwasserwärme ist zunächst, dass das Grundwasser in einer Tiefe von ca. 10 bis 20 m in ausreichenden Mengen förderbar ist. Da die Gemarkung Bad Krozingen in den Wasserschutzzonen II und III liegt, wird die Anwendung der Grundwasser-Wärmepumpe von den zuständigen Behörden sehr restriktiv gehandhabt. In vielen Fällen wird dort keine Erlaubnis zur Nutzung des Grundwassers erteilt werden. Grundsätzlich ist das Abteufen von Brunnen in der Wasserschutzzone IIIB erlaubt, wenn der Wärmekreislauf der Wärmepumpe vom Grundwasser hydraulisch getrennt wird.

⁶ Geologisch bedingte thermische Entzugsleistungen liegen üblicherweise im Bereich von 45 bis 65 W/m Sondenlänge bei 100 m Gesamtlänge. Für Potenzialberechnungen von Einzelsonden werden Werte bis maximal 50 W/m benötigt, für die von Erdwärmesondenfeldern maximal 30 W/m.

⁷ Es wurde mit der technisch-ökonomisch optimalen Länge von 120 m gerechnet

Aus wirtschaftlicher Sicht ergibt die Nutzung der Grundwasserwärme mittels Grundwasserbrunnen und Grundwasser-Wasser-Wärmepumpe vor allem bei größeren Gewerbegebäuden Sinn. Bei niedrigen Heizungsvorlauftemperaturen (Flächenheizungen) kann der Raumwärmebedarf dieser Gebäude in der Regel mit je 1 bis 2 Förder- und Schluckbrunnen gedeckt werden. Zusätzlich kann Grundwasser als Hauptwärmequelle für Wärmenetze sowohl mit niedriger Vorlauftemperatur (sog. kalte Nahwärme, wie z.B. bei Neubaugebieten) als auch mit hoher Vorlauftemperatur effizient eingesetzt werden. Letzteres bedarf einer Großwärmepumpe, um die nötige Heiztemperatur zu erreichen. Bei konventionellen Fernwärmenetzen mit hohen Vorlauftemperaturen kann Grundwasser ein Teil der Grundlast abdecken. Für Einfamilienhäuser ist es in der Regel nicht wirtschaftlich, Grundwasserwärme zur Wärmebedarfsdeckung zu nutzen.



Karte 12 – Ergiebigkeit der Grundwasser führenden Gesteine nach LGRB Baden-Württemberg

Ausreichende Grundwasser-Förderleistungen bei 10 bis 20 m tiefen Brunnen wären laut ISONG-BW auf der Gemarkung Bad Krozingen in allen Teilen des Stadtgebietes zu erwarten. Karte 12 zeigt die vom LGRB erfasste Ergiebigkeit des Grundwasserleiters, wobei hier eine hohe Ergiebigkeit (dunkelblau) mit einem hohen technischen Grundwasserpotenzial zu bewerten ist. Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen flächendeckend bei mindestens $1 - 2 \times 10^{-3}$ m/s.

Das lokale Potenzial lässt sich nur grob über eine Berechnungsformel zum Grundwasserandrang quantifizieren (vgl. Kapitel 7.5). Bei einer Fördermenge von 12 l/s liegt die Entzugsleistung in

Abhängigkeit von der Temperaturspreizung am Wärmetauscher bei ca. 200 kW je Brunnen. Bei einem Grundwasserförderbrunnen könnte somit eine effiziente Wärmeleistung von 274 kW bei einem Leistungskoeffizienten von $COP = 3,75$ im Bestandsgebäudebereich generiert werden. Die Angabe eines kumulierten Potenzials zur Wärmeerzeugung aus dem Grundwasser lässt sich methodisch mit den Möglichkeiten einer Wärmeplanung nicht quantifizieren, ist aber rein technisch betrachtet als hoch einzustufen. 10 Brunnen können auf der Gemarkung 2,74 MW thermische Leistung im Bestandsgebäudebereich und ca. 6.576 MWh Wärme generieren. Bohrungen und Grundwassernutzung werden jedoch auf weiten Teilen der Gemarkung wegen der komplexen Untergrundstruktur und wegen der Wasserschutzzonen behördlich restriktiv gehandhabt.

3.3.2.3 Risiken der Oberflächennahen Geothermie

Das Regierungspräsidium Freiburg, Abt. 9 LGRB, verweist auf folgende Bohrrisiken:

- Bohrtechnische Schwierigkeiten durch Karsthohlräume und –spalten
- Sulfathaltige, aggressive Wässer
- Erdgasaustritt

Insgesamt dürfen diese Bohrrisiken im Einzelfall nicht überbewertet werden. In den weitaus meisten Fällen sind diese technisch handhabbar. Ein Abteufen von Bohrungen in Anhydrit führenden Gesteinsschichten bei gleichzeitig erhöhtem Porenwasserdruck (Arteser) wird von der Behörde allerdings zu Recht sehr restriktiv gehandhabt, weshalb die Wahrscheinlichkeit für einen erzwungenen Bohrabbruch durch Anhydrit/Gips insbesondere bei ganzen Sondenfeldern relativ hoch ist.

Bei der Nutzung des Grundwassers sollten zudem folgende Hinweise berücksichtigt werden:

- Die Gewässerchemie muss vor einer Nutzung des Grundwassers untersucht werden.
- Voruntersuchungen zur Grundwasser-Ergiebigkeit sind nötig.
- Zu beachten sind zudem hydraulische Sicherungen von Grundwasser-Schadensfällen im Nahbereich von Grundwasserbrunnen, welche beim ggf. anstehenden Wasserrechtsverfahren zu berücksichtigen sind.
- Die gegenseitige thermische Beeinflussung durch benachbarte Brunnen ist numerisch zu bestimmen

3.3.3 Tiefengeothermische Potenziale

Die Tiefengeothermie wird grob unterschieden in eine hydrothemale und in eine petrothermale Tiefengeothermie. Die Abbildung 15 stellt den Unterschied zwischen den beiden grundlegenden Verfahren dar. Bei der hydrothermalen Tiefengeothermie werden thermalwasserführende Gesteinshorizonte angebohrt und zur Wärmeversorgung genutzt. Mit der petrothermalen Geothermie wird ein natürliches Wärmereservoir in großer Tiefe durch hydraulische Stimulierungsverfahren erschlossen.

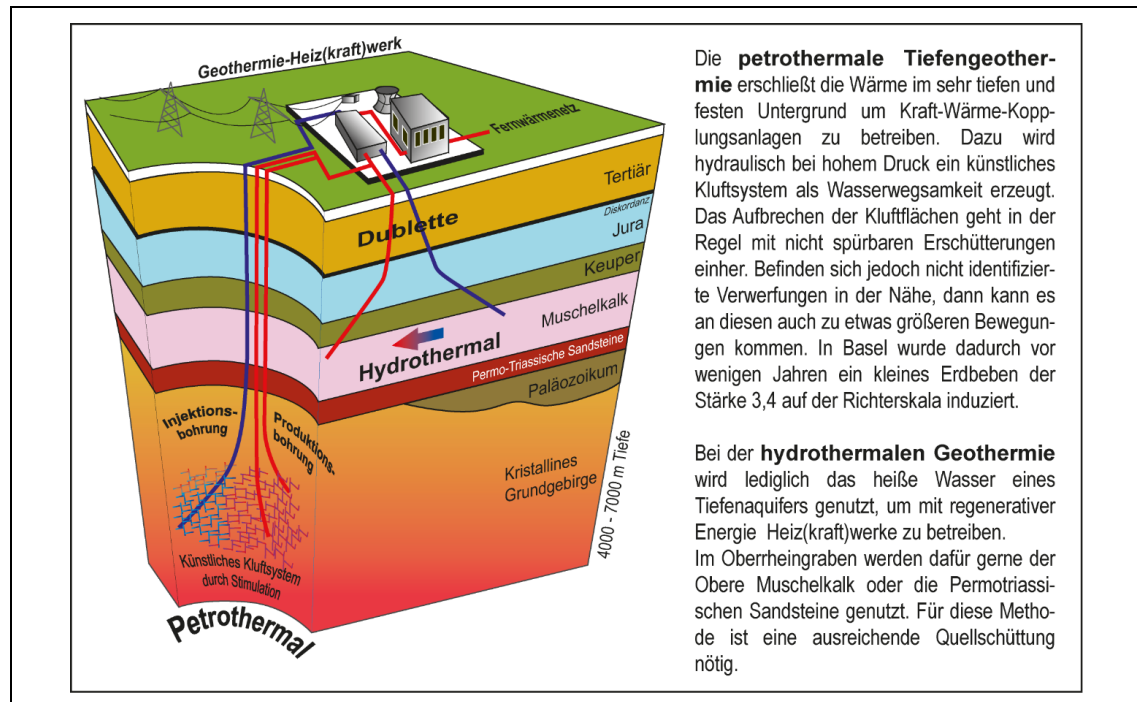


Abbildung 15 – Unterscheidung der zwei grundlegenden tiefengeothermischen Verfahren (aus GeORG-Kartenviewer)

Der Obere Muschelkalk als wichtigster potenzieller Thermalwasserhorizont liegt westlich und nordwestlich von Bad Krozingen in ausreichend großer Tiefe, um die heiße Sole energetisch nutzen zu können. In dieser Situation ist mit einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis für eine geothermische Exploration zu rechnen.

Petrothermale Geothermie wird im tiefen Untergrund und in Gesteinen durchgeführt, in denen Grundwasser nicht frei zirkuliert. Es müssen Klüfte (Risse) im Gestein erzeugt werden, damit Wasser darin zirkulieren kann. Dies wird mit hydraulischen Stimulationsverfahren erreicht. Dabei wird kaltes Wasser mit hohem Druck in das Zielgebiet in den Untergrund gepresst, so dass durch Druck und durch Temperaturabschreckung Klüfte entstehen. Die Stimulation erfolgt modulierend und unter Kontrolle. Es entstehen sogenannte induzierte Mikrobeben, die i.d.R. nicht spürbar sind und die auf die Kluftbildung zurückzuführen sind.

In den westlichen Randgebieten der Gemarkung Bad Krozingen, zu den Nachbarkommunen Hartheim und Breisach, liegen erhebliche tiefengeothermische Potenziale vor, die derzeit im Rahmen einer geothermischen Explorationskampagne bemessen werden. Auf der Grundlage von Vorstudien, die im Auftrag der badenovaWÄRMEPLUS aktuell durchgeführt wurden, liegen diese netto zwischen 82 und 105 GWh/a für den oberen Muschelkalk als Tiefenaquifer. Sollten diese Potenziale gehoben werden, dann besteht auch für Bad Krozingen die Möglichkeit, wesentliche Anteile der Wärmeversorgung zentral mit Erdwärme zu bedienen. Insbesondere das Kurgebiet westlich der Bahnlinie mit einem derzeitigen Endwärmeverbrauch von ca. 0,3 GWh/a könnte umfänglich davon profitieren. Insgesamt wird im Wärmeszenario für Bad Krozingen bis 2040 eine Wärmemenge von 38.212 MWh/a als Tiefengeothermie-Potenzial angesetzt. Der Großteil der Erdwärme soll allerdings mit einer Fernwärmeleitung für die Stadt Freiburg i. Br. bereitgestellt werden.

3.3.4 Umweltwärme

Neben der Nutzung von Geothermie als Wärmequelle kann auch die enthaltene Wärmeenergie der Umgebungsluft genutzt werden. Sogenannte Luft-Wasser-Wärmepumpen entziehen der Umgebungsluft Wärme und geben sie auf einem höheren Temperaturniveau an das Heizsystem ab. Je niedriger der Temperaturhub zwischen Quelle und Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeiten Luft-Wasser-Wärmepumpen. Im Vergleich zu Erdwärmepumpen, die das ganze Jahr über eine gleichbleibende Wärmequelle verfügen, sind Luft-Wasser-Wärmepumpen weniger effizient, aber bei den Anschaffungskosten günstiger. Zudem sind die baulichen Voraussetzungen geringer und dadurch die Installation nahezu in jedem Gebäude möglich. Diese Technologie kann nicht nur in energetisch effizienten Neubauten, sondern auch im Bestand eingesetzt werden. Ein ökologischer und ökonomischer Betrieb wird bei dieser Technologie durch möglichst niedrige Heizsystemtemperaturen bestimmt. Dabei müssen nicht unbedingt Flächenheizsysteme eingesetzt werden, sondern oftmals reichen die vorhandenen, überdimensionierten Heizkörper bereits aus. Eine energetische Sanierung der Gebäudehülle unterstützt den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe. Eine weitere Einschränkung bzw. Ausschlusskriterium ist der Lärmschutz. Für benachbarte Grundstücke müssen die Grenzwerte der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) für die jeweiligen Gebiete eingehalten werden. Bezogen auf die Stadt Bad Krozingen wird die Wärmepumpe, insbesondere der Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen, vor allem im privaten Bereich eine entscheidende Rolle bei der Umstellung von fossil betriebenen Heizanlagen auf erneuerbare Energien spielen. Die Eignung der einzelnen Gebäude muss gesondert betrachtet werden. Das auf Basis eines Wärmepumpenkatasters der badenova-NETZE GmbH berechnete Potenzial für Luft/Wasser-Wärmepumpen beträgt ca. 26.200 MWh/a bezogen auf den heutigen Gebäudewärmebedarf. Das entspricht einer potenziellen Abdeckung des Wohngebäude-Wärmeverbrauchs von ca. 20 %. Bis ins Jahr 2040 kann dieser Anteil durch die Gebäudesanierung auf ca. 39.000 MWh/a gesteigert werden, was dann einen Deckungsanteil von bis zu 30 % bedeuten könnte. Dabei werden nur Wärmepumpen berücksichtigt, die bei der Wärmeversorgung der bis zum Jahr 2040 teilsanierten Gebäude eine Jahresarbeitszahl von dann mindestens 2,8 erreichen. Damit wird die Bedeutung der Gebäudesanierung nochmals hervorgehoben.

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von Umweltwärme sind Oberflächengewässer wie Flüsse und Seen. Der das Stadtgebiet durchfließende Neumagen bietet aufgrund der eher geringen Wasserführung kein Potenzial, um z.B. Neubaugebiete über eine Großwärmepumpe mit Wärme zu versorgen.

3.3.5 Solarthermie

Die Stadt Bad Krozingen hat aufgrund ihrer Lage in Süddeutschland eine günstige Solareinstrahlung, welche für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden kann. Laut Globalstrahlungsatlas der LUBW liegt hier der jährliche Energieertrag, bezogen auf eine horizontale Fläche, bei 1.143 kWh/m² und damit über dem bundesdeutschen Durchschnitt (LUBW, (2023)). Im Jahr 2021 wurden in Bad Krozingen ca. 1,0 % des Wärmeverbrauchs der Stadt durch Solarthermieanlagen gedeckt.

3.3.5.1 Wärmeerzeugungspotenziale auf bestehende Dachflächen

Die Solarstrahlung auf Dachflächen kann sowohl zur Erzeugung von Wärme (Solarthermie) als auch von Strom (Photovoltaik) genutzt werden. Bei der Berechnung des solarenergetischen Potenzials der LUBW wird davon ausgegangen, dass das zur Verfügung stehende Dachflächenpotenzial vollständig zur Erzeugung von Strom durch PV-Module genutzt wird. Um die Potenziale zur Erzeugung von Wärme zu berücksichtigen, wurde in dieser Studie davon ausgegangen, dass das Dachflächenpotenzial nicht vollständig mit PV-Modulen belegt wird, sondern zusätzlich

Wärme durch Solarthermie erzeugt wird. Etwa 60 % des Warmwasserbedarfs eines Wohngebäudes kann in der Regel durch Solarthermieanlagen erzeugt werden. Zur Berechnung des wirtschaftlichen Potenzials zur Wärmeerzeugung mit Solarthermie auf Dachflächen, wurde anhand dieser Kennzahl berechnet. Für die Berechnung der Potenziale zur Stromerzeugung auf Dachflächen (siehe Abschnitt 3.4.3) wurden dementsprechend die Potenzialflächen für die Wärmeerzeugung vom Gesamtpotenzial abgezogen.

Bei der Ermittlung der Potenziale zur Erzeugung von Wärme aus Solarenergie stehen Dachflächenpotenziale im Vordergrund, da bei der Erschließung dieser Potenziale kein zusätzlicher Flächenverbrauch bzw. keine Versiegelung von Flächen erforderlich ist. Zudem kann die erzeugte Wärme direkt im Gebäude genutzt werden. Solche Anlagen sind bereits etabliert und Richtwerte für das Erzeugungspotenzial und die Wirtschaftlichkeit verfügbar, so dass sich das Potenzial auch zuverlässig ermitteln lässt. Unter der Annahme, dass 60 % des Brauchwarmwasser-Bedarfs in Bad Krozingen durch Solarthermie gedeckt werden soll, werden 6.511 MWh/a Solarwärme benötigt. Dazu müsste auf ca. 3 % des Photovoltaikpotenzials verzichtet werden. Durch die Ausschöpfung des Potenzials und der erhöhten Erzeugung von Solarwärme könnten, im Vergleich zum mittleren Emissionsfaktor des Wärmeverbrauchs, insgesamt 1.597 t CO_{2e} /Jahr vermieden werden.

3.3.5.2 Wärmeerzeugungspotenziale auf Freiflächen

Solarthermische Freiflächenanlagen können eine Komponente der zentralen Wärmeerzeugung sein, sofern diese in räumlicher Nähe zum Wärmenetz liegen. Beim Ausbau von zentraler Wärmeversorgung sollten in Zukunft solche Anlagen als eine potenzielle Wärmequelle in Betracht gezogen werden, da sie einen Beitrag zur klimaneutralen und erneuerbaren Versorgung darstellen. Um die Versiegelung neuer Flächen zu vermeiden, können auch bereits versiegelte Flächen, wie Parkplätze als Potenziale betrachtet werden. Ein wirtschaftliches Potenzial lässt sich erst abschätzen, wenn genauere Angaben zu den einzelnen Wärmenetzen und der zur Verfügung stehenden Flächen bekannt sind. Letztere sollten – im Gegensatz zu Photovoltaik-Freiflächen - in der direkten Nachbarschaft zur Wärmesenke errichtet werden. Daraus resultieren deutlich größere Einschränkungen für die Freiflächen-Solarthermie als für die Stromerzeugung auf Photovoltaik-Freiflächen.

Das Gesamtpotenzial der zur Nutzung in Frage kommenden Freiflächen für solare Energie liegt laut Regionalverband Südlicher Oberrhein (RVSO) mit Stand Juni 2024 bei ca. 108 ha Fläche, vorbehaltlich der weiteren Abstimmungen des RVSO mit der Stadt Bad Krozingen. Werden 70 % dieser Fläche genutzt, dann ergibt sich ein solarthermisches Wärmepotenzial von ca. 357.000 MWh/a, was bilanziell 170 % des Wärmeverbrauchs in Bad Krozingen entspricht.

3.3.6 Abwärmepotenziale

3.3.6.1 Abwärmepotenziale im Gewerbe

Im Rahmen des kommunalen Wärmeplans wurden Betriebe in Bad Krozingen, die ein relevantes Abwärmepotenzial aufweisen könnten, angeschrieben und befragt. Daraus ergab sich, dass ein relevantes Wärmepotenzial nicht zu erwarten ist.

Da nur wenige der angeschriebenen Gewerbebetriebe aus Bad Krozingen eine Rückmeldung gegeben haben, sollte dieses Thema von der Stadtverwaltung weiterhin verfolgt werden und ein Austausch mit den Betrieben stattfinden. Manchen Betrieben ist nicht bewusst, dass ein Abwärmepotenzial vorhanden sein könnte. Gleichzeitig können im Austausch auch Hemmnisse gegen eine Auskopplung der Abwärme abgebaut werden.

3.3.6.2 Abwärmepotenziale aus dem Abwasser

In Deutschland stehen etwa 600.000 km Kanalnetz (Statista 2021) mit temperiertem Abwasser zur Verfügung, welches ein Potenzial für die Wärmewende bietet. Diesem in jeder Kommune vorhandenen Kanalnetz können im Abwasserkanal oder im Auslauf einer Kläranlage Wärme entnommen werden. Im Winter liegt die Temperatur in konventionellen Abwasserkanälen mit 10 bis 12 °C deutlich höher als bei anderen Wärmequellen. Im Sommer liegt die Temperatur in den Kanälen bei ca. 15 bis 20 °C und ist damit meist kühler als die Außenluft. Somit bietet sich die Abwasserwärmenutzung nicht nur zum Heizen im Winter, sondern auch zum Kühlen im Sommer an. Die Verfügbarkeit von Abwasser als Wärmequelle bzw. -senke liegt sowohl zeitlich als auch räumlich günstig. Denn größere Mengen an Abwasser fallen in Ballungsräumen und Industriebetrieben an, wo man gleichzeitig einen hohen Energiebedarf hat. Das Angebot (Abwasserwärme) deckt sich dort zeitlich mit dem Bedarf (Wärmeenergiebedarf).

Um Wärme oder Kälte aus dem Abwasserkanal gewinnen zu können gibt es verschiedene Systeme. Die gängigsten sind direkt im Kanal installierte Kanalwärmetauscher sowie Bypasswärmetauscher.

Ein Kanalwärmetauscher kann nachträglich in Kanälen ab einer Nennweite von DN 400 installiert werden. Bei Neubau eines Abwasserkanals können Kanalelemente mit einem integrierten Wärmetauscher eingesetzt werden. Die Wärmetauscher Flächen bestehen aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und sind meist doppelagig, um das Durchströmen eines Zwischenmediums zu ermöglichen. Bei diesem Prozess kann dem Abwasser eine Leistung zwischen 2 und 4 kW pro m² entnommen werden (DBU (2005)). Die Länge eines Kanalwärmetauschers kann ohne weiteres 200-300 m betragen (DWA (2005)). Ein Bypasswärmetauscher entnimmt nur einen Teil des Abwasserstroms. Die Wärme wird hierbei über Doppelrohr- oder Plattenwärmetauscher übertragen.

Der Vorteil gegenüber einem Kanalwärmetauscher ist der nicht notwendige Eingriff in die bestehende Kanalleitung und die Unabhängigkeit von Kanalgröße und Geometrie. Jedoch sind Bypasswärmetauscher aufgrund der hohen Anfangsinvestitionen nur für größere Systeme geeignet (Christ & Mitsdoerffer, 2008).

Nutzbar wird die Wärme mittels einer Wärmepumpe, die die Abwasserwärme auf ein höheres Temperaturniveau bringt. Die Abwasserwärme kann aber mittlerweile auch für die Einspeisung in kommunale Wärmenetze genutzt werden. Wichtige Faktoren bei der Abwasserwärmenutzung sind nach Einschätzungen der Studie des Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU) die Größe des Abwasserkanals, die Durchflussrate des Abwassers im Kanal (mindestens 15 l/s), die Temperatur, die Mindestabnahme, die Verfügbarkeit des Abwassers (Jahreszeitliche Schwankungen oder konstante Verfügbarkeit) und die Distanz zwischen Abwasserwärmequelle und Verbraucher (Dr. Sara Fritz, 2018).

Auch eine ortsansässige Kläranlage bietet im Bereich des Kläranlagenauslauf die Möglichkeit, die Abwärme des Abwassers mit einer Groß-Wärmepumpe zu nutzen, sofern dieser Prozess nicht den Ablauf der Anlage stört.

Für die Sammlung und Reinigung des Abwassers in der Stadt Bad Krozingen ist der Abwasserzweckverband AZV Staufferer Bucht zuständig. Die Kläranlage liegt nicht auf Bad Krozinger Gemarkung. In Bad Krozingen liegen die durchgeleiteten Abwassermengen an der Schnittstelle zum Sammler im Durchschnitt bei 67,5 l/s. Innerhalb der Siedlungsbereiche liegen die Mengen jedoch deutlich darunter, insbesondere in den Teilorten werden nur wenige Liter je Sekunde gemessen. Diese Mengen reichen in der Regel nicht aus, um Abwasser zur Wärmeversorgung in wirtschaftlicher und bezahlbarer Art und Weise zu nutzen. Im Rahmen der Umsetzung der Fernwärmenetze sollte dies aber dennoch im Speziellen vor-Ort geprüft werden.

3.4 Erneuerbare Energien für die Stromerzeugung

Da Wärmepumpen in der Zukunft eine große Rolle bei der Wärmewende spielen sollen, wurden für den kommunalen Wärmeplan auch erneuerbare Potenziale für die Stromerzeugung betrachtet, die den zusätzlichen Stromverbrauch lokal decken könnten. Die Potenziale zur Stromerzeugung aus Biogas wurden bereits im Abschnitt 3.3.1 erläutert. Im folgenden Abschnitt werden die Potenziale zur Stromerzeugung aus Wasserkraft, Windkraft und mit Photovoltaikanlagen auf Dachflächen, Freiflächen und Baggerseen dargestellt.

3.4.1 Wasserkraft

Der aktuelle Stand der Stromerzeugung aus Wasserkraft, sowie deren Potenziale, wurden auf Basis von Daten aus dem Energieatlas BW (LUBW (2020)), die aus einer Erhebung im Jahr 2016 stammen, sowie aus den Angaben des Verteilnetzbetreibers entnommen. Diese Informationen wurden durch Informationen von der Verwaltung der Stadt Bad Krozingen ergänzt und aktualisiert.

Die Ermittlung von Wasserkraft-Anlagenpotenzialen ist über den Energieatlas des Landesamtes für Umwelt und Messung in Baden-Württemberg (Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), 2020) möglich. Die Ermittlung von Ausbaupotenzialen beruht auf der Auswertung dieser Daten.

Bisher ist vom Netzbetreiber badenovaNETZE für das Jahr 2021 keine aktive Wasserkraftanlage verzeichnet. Laut Energieatlas der LUBW ist innerhalb der Gemarkung von Bad Krozingen ein grenzwertiger Anlagenstandort als Wasserkraftpotenzial im Bereich Schwarzwaldstraße, gegenüber vom Neumagen an einem Ausleitungskanal ausgewiesen. Dabei handelt es sich um ein Potenzial von ca. 16 kW elektrisch zur Generierung von 65 MWh Strom pro Jahr.

3.4.2 Windkraft

Bei der Erfassung von Windkraftpotenzialen wurde die Offenlage der Teilfortschreibung „Windenergie“ des Regionalverbands Südlicher Oberrhein (RVSO) herangezogen, der als erste Planungsgrundlage für die Suche nach wirtschaftlichen Standorten dient. Das 2022 neu eingeführte und am 01.02.2023 in Kraft getretene Windenergieflächenbedarfsgesetz des Bundes sieht künftig im Bereich der Windenergie verbindliche Flächenziele (Flächenbeitragswerte) für die jeweiligen Bundesländer vor. Demnach sind in Baden-Württemberg bis zum 31.12.2027 mindestens 1,1 % und bis zum 31.12.2032 mindestens 1,8 % der Landesfläche für Windkraftanlagen auszuweisen.

Dies bedeutet, dass jeder Regionalverband in Baden-Württemberg mindestens 1,8 % der Regionsfläche planerisch für die Windenergienutzung zu sichern hat. Für die Region Südlicher Oberrhein sind demnach Vorranggebiete für Standorte regionalbedeutsamer Windkraftanlagen mit einer Gesamtgröße von mindestens rund 7.300 ha festzulegen.

Windvorranggebiete nach Regionalverbänden sind potenzielle Suchräume für Windkraftanlagen, die vom Regionalverband südlicher Oberrhein ausgewiesen wurden und sich derzeit in der Offenlage befinden. Für konkrete Standorte muss in jedem Fall eine genaue Einzelfallbegutachtung stattfinden.

Bei der Auswertung potenzieller Standorte werden neben der Windgeschwindigkeit, auch immissionsschutzrechtliche Themen wie Schall und Schattenwurf, Naturschutz- und

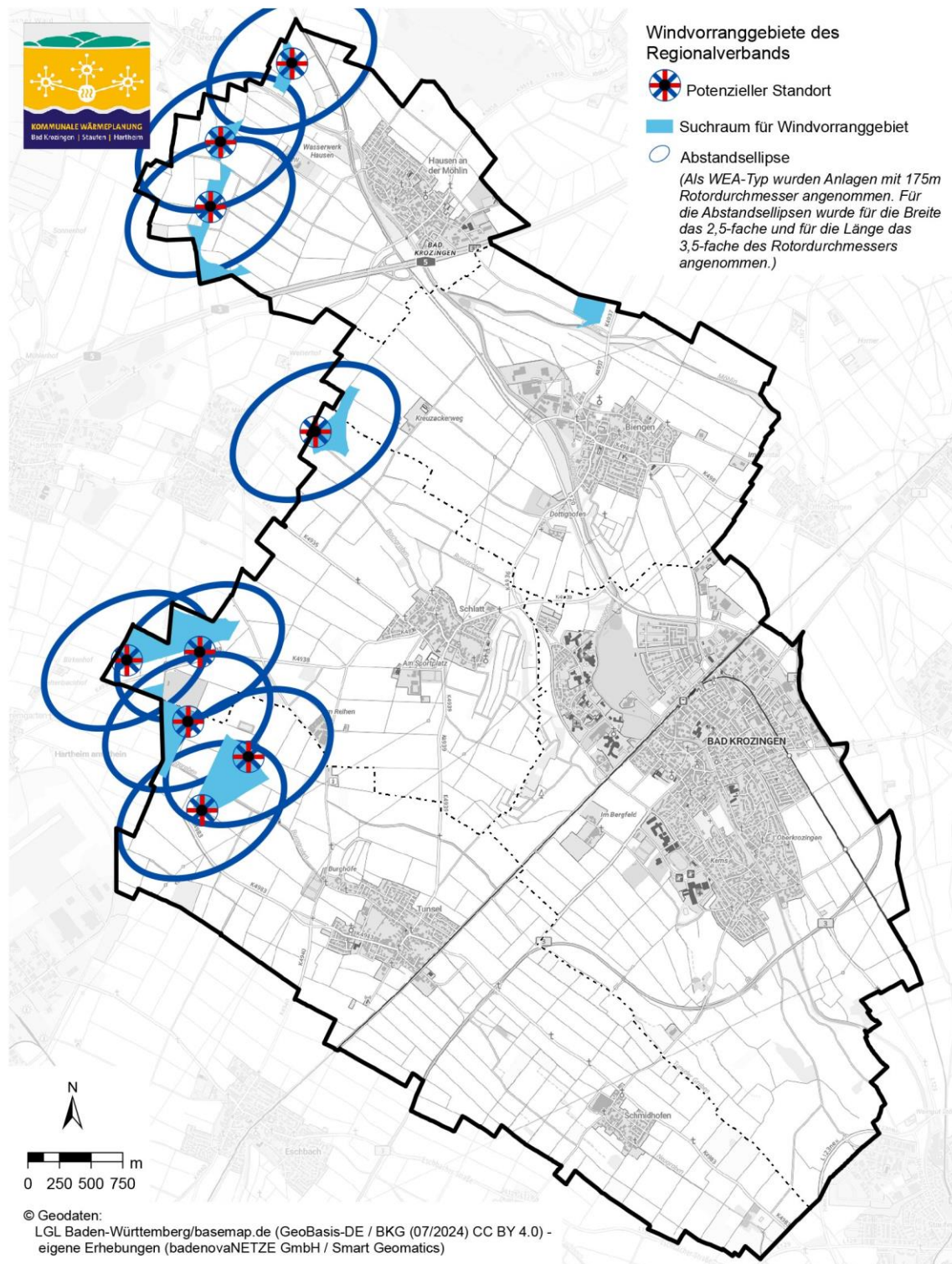
Raumordnungsbelange berücksichtigt. Aus diesem Grund wurden folgende Flächen der Gemeinde als Potenzialgebiet ausgeschlossen:

- Flächen, die < 1000 m von reinen Wohngebieten entfernt sind
- Flächen, die < 500 m von Einzelgebäuden entfernt sind
- Wasserschutzgebiete der Zonen I & II
- Auenflächen der Kategorie 1

Als wirtschaftlich interessant für die Entwicklung von Windkraftanlagen gelten in der Regel Standorte mit hohen mittleren Windleistungsdichten. Für die Bewertung der technisch-wirtschaftlichen Potenzialgebiete wurde der Windatlas Baden-Württemberg (LUBW (2020)) herangezogen und bei der Windhöffigkeit ein Grenzwert von mindestens 215 W/m² in 160 m Höhe vorausgesetzt.

Aufgrund dieser Annahmen bietet die Stadt Bad Krozingen theoretisch Platz für bis zu 9 Windenergieanlagen, die ein Nettostromerzeugungspotenzial ca. 110.000 MWh Strom pro Jahr aufweisen.

Die in Karte 13 aufgeführten potenziellen Standorte für Windkraftanlagen stellen die maximale Ausnutzung der vom RSVO definierten Potenzialflächen dar und sind unter der Annahme einer südwestlichen Hauptwindrichtung (240°) gesetzt. Als Referenzanlagen wurden Anlagen mit 175 m Rotordurchmesser verwendet. Für die Abstandsellipsen wurde für die Breite der 2,5-fache und für die Länge der 3,5-fache Rotordurchmesser angenommen.

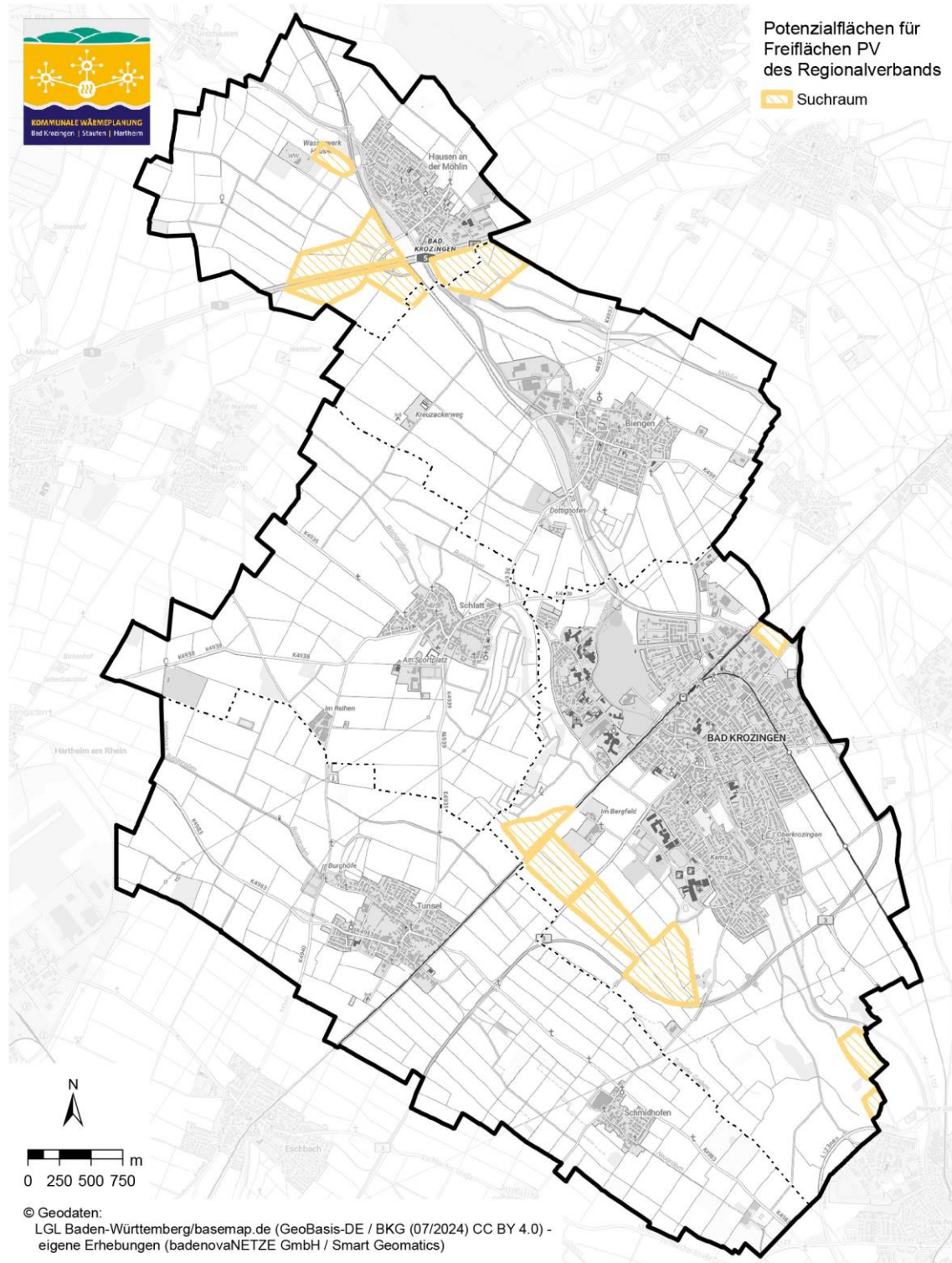


Karte 13 – Lage der Potenzialflächen für Windenergieanlagen (blaue Flächen) auf der Gemarkung Hartheim (Planentwurf des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein, 2024) sowie potenzielle Anlagenstandorte (Das grüne Emissionshaus)

3.4.3 Photovoltaik

Für die Ermittlung der Potenziale zur Stromerzeugung wurde auf die Offenlage des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein (RSVO) zurückgegriffen (vgl. Karte 14). Das darin ausgewiesene

Flächenpotenzial beträgt 108 ha. Werden nur 70 % dieser Potenzialfläche veranschlagt, dann lassen sich dort ca. 75.600 MWh Strom produzieren, sofern sich diese nach der Offenlage bestätigen lassen und Teilflächen nicht auch für die Solarthermie genutzt werden.



Karte 14 - Mögliches Flächenpotenzial für PV-Freiflächenanlagen auf Grundlage der Offenlage des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein (RSVO)

Auch die Flächen, die vom RVSO für die Windenergie ausgewiesen sind, können für PV-Freiflächenanlagen in der Nachbarschaft von Windenergieanlagen genutzt werden.

Weitere Potenziale für die Nutzung von Solarenergie bieten Anlagen über Parkplätzen (beim Neubau eines Parkplatzes ab 35 Stellplätzen ist dies in Baden-Württemberg Pflicht), Balkonanlagen und Anlagen über Agrarflächen. Relevante Potenziale konnten im Rahmen der Studie nicht ermittelt werden.

Die Abbildung 16 zeigt das Stromerzeugungspotenzial mit Photovoltaik auf Dachflächen und Freiflächen im Verhältnis zum Gesamtstromverbrauch der Stadt Bad Krozingen im Jahr 2021. Mit den zur Verfügung stehenden Potenzialflächen könnte die Stadt Bad Krozingen den heutigen Stromverbrauch zu 196 % decken. Durch die Ausschöpfung des Dachanlagen- und des PV-Freiflächenpotenzials könnten, im Vergleich zum deutschen Strommix des Jahres 2021, insgesamt 61.658 t CO_{2e}/Jahr (= 50 %) vermieden werden.

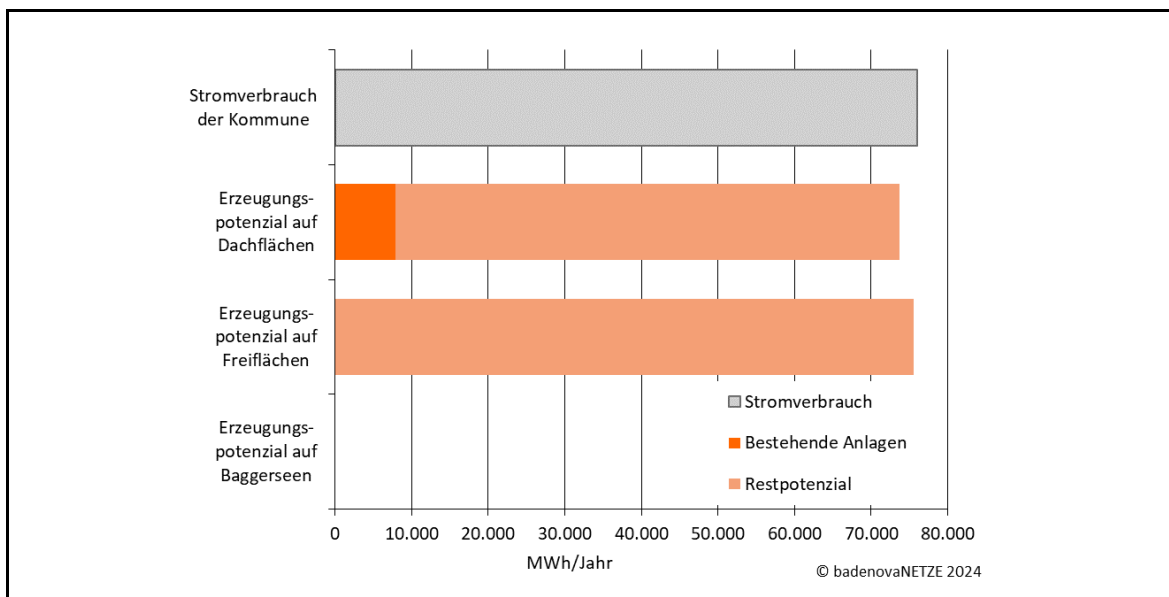


Abbildung 16 – Stromerzeugungspotenziale mit Photovoltaik in Bad Krozingen

3.5 Erneuerbare Gase

Der Power-to-Gas Technologie (PtG) wird eine entscheidende Rolle bei der Energiewende beigemessen. In Zeiten hoher Einspeisemengen von Wind- und Solarenergie bei gleichzeitig niedrigem Bedarf, kann es zu einem Überangebot an Strom kommen. Durch den Ausbau erneuerbarer Energien und die Abschaltung konventioneller Grundlastkraftwerke (Kern- und Kohlekraftwerke) wird dieses Missverhältnis noch größer werden. PtG-Anlagen machen die überschüssige Energie durch die Umwandlung von elektrischer in chemische Energie speicherbar.

Da grüner Wasserstoff aktuell noch sehr rar ist und auch in naher Zukunft nicht unbegrenzt verfügbar sein wird, gilt es zunächst Wasserstoff in die Bereiche zu bringen, in denen er am sinnvollsten eingesetzt werden kann. Dies betrifft vor allem die energieintensiven industriellen Prozesse, welche auf hohe Energiedichten und hohe Temperaturen angewiesen sind. Auch im Schwerlastverkehr ist Wasserstoff eine sehr gute Alternative. Über Brennstoffzellen lässt sich der getankte Wasserstoff in Strom umwandeln, der für den elektrischen Antrieb sorgt. Brennstoffzellenfahrzeuge weisen im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen eine deutlich kürzere „Tankzeit“ und eine höhere Reichweite auf.

Außerdem ist die Speicherefähigkeit von Wasserstoff von zentraler Bedeutung für den Ausgleich der Stromnetzlast. An sonnigen und windigen Tagen kann Überschussstrom per Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert werden. Dieser Wasserstoff kann dann wiederum an Tagen, in denen Strommangel herrscht, wieder in Strom umgewandelt und in das Stromnetz eingespeist werden (Abbildung 17). Zudem lässt sich Wasserstoff auch in das bestehende Gasnetz integrieren.

Die Verfügbarkeit von erneuerbaren Gasen könnte vor allem für das verarbeitende Gewerbe in Bad Krozingen von Bedeutung sein. Um die dort notwendigen, hohen Temperaturniveaus zu erreichen, bedarf es molekülbasierter Energieträger, da hier der Elektrifizierung technische Grenzen gesetzt sind.

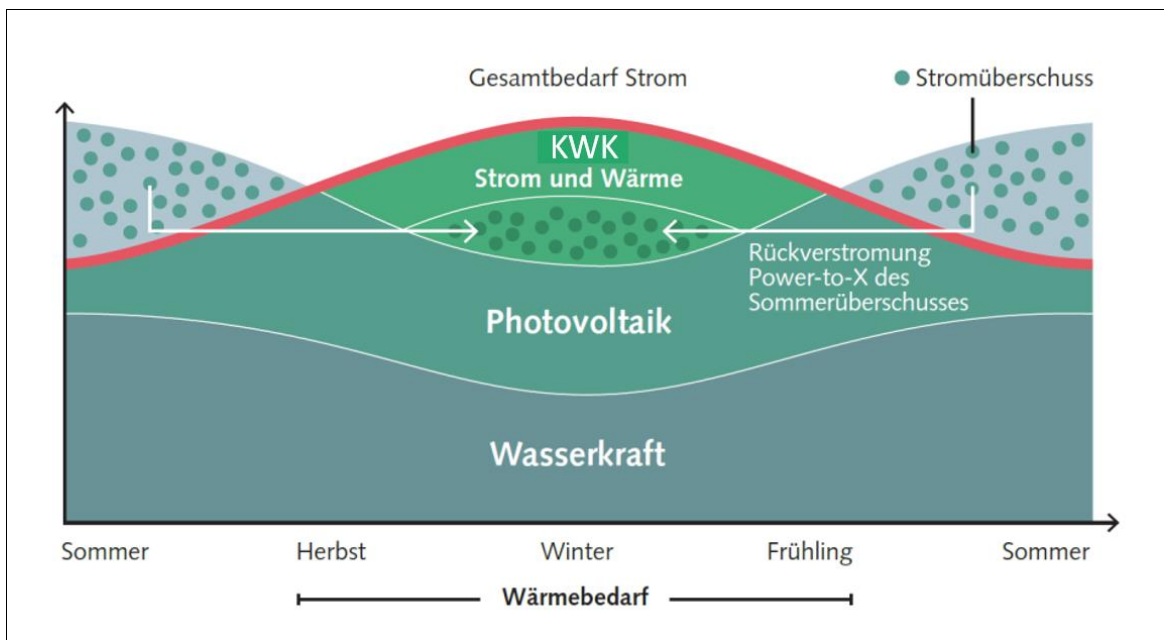


Abbildung 17 – Versorgungssicherheit durch Schließung der Winterlücke (Powerloop, 2020)

3.5.1 Zukünftige Verfügbarkeit von synthetischen Gasen

Wasserstoff und synthetisches Methan sind ebenso vielseitig einsetzbar wie Erdgas. Auch andere Vorteile wie die Speicherbarkeit und die vorhandene Erdgasverteilinfrastruktur können durch den Einsatz dieser Gase genutzt werden. Synthetische-Gase werden jedoch voraussichtlich auch langfristig im Zeithorizont bis 2050 ein knappes Gut bleiben, da auch erneuerbarer Strom nur in begrenzten Mengen zur PtG-Erzeugung zur Verfügung steht bzw. stehen wird. Der Vergleich zwischen der notwendigen Elektrolyseleistung für einen vollständigen Erdgasersatz in Deutschland durch Wasserstoff und die bis 2030 vorgesehenen Elektrolyseleistung, die mit staatlicher Förderung in Deutschland bzw. in der Europäischen Union (EU) aufgebaut werden soll, macht deutlich, dass mittelfristig nicht mit einer deutlichen Dekarbonisierung im Gasbereich durch Wasserstoff zu rechnen ist, auch wenn bis 2030 der Gasabsatz u.a. durch Effizienzmaßnahmen sinkt. Auch die langfristigen Perspektiven sind von hoher Unsicherheit geprägt.

Bad Krozingen liegt im Bereich eines Wasserstoff-Projektgebietes: der RHYN Interco. Im Rahmen des europäischen Kooperationsprojekts mit terranets bw (Gastransportnetzbetreiber für Baden-Württemberg) und GRTgaz (französischer Gastransportnetzbetreiber) wird badenovaNETZE die Gasinfrastruktur in Freiburg und Kehl über den Rhein als verbindendes Element auf den

Transport von Wasserstoff umstellen und, wo nötig, neue Infrastruktur ergänzen. Ziel ist es, potenziellen Großabnehmern in den Regionen Freiburg und Kehl die Möglichkeit einer leitungsgebundenen Wasserstoffversorgung zu bieten. Durch eine Marktkonsultation im Herbst 2023 wurde ein signifikantes Abnahmeinteresse für H₂ von potenziellen Großabnehmern aus den Regionen gemeldet.

Die grenzüberschreitende Verbindung über den Rhein gibt dem Projekt seinen Namen: „RHYn“ ist die Abkürzung für Rhine Hydrogen Network und „Interco“ steht für Interconnection. Für die Anbindung an die französische Region Grand Est und an den European Hydrogen Backbone plant terranets bw eine rund 15 Kilometer lange Wasserstoffleitung, die den Rhein zwischen Fessenheim auf französischer Seite und Hartheim auf deutscher Seite unterqueren wird. GRTgaz stellt die Anbindung an französische Erzeugungsprojekte sowie an den europäischen H₂-Backbone sicher. Die neue Leitung soll an eine bestehende terranets bw Gasleitung, die für den Transport von Wasserstoff umgestellt werden soll, angeschlossen werden. An der Übernahmestation in March-Buchheim beginnt der Verantwortungsbereich der badenovaNETZE. Von dort ausgehend stellt der Gasnetzbetreiber eine bestehende 10 km lange Erdgasleitung, welche die Stationen mit den Industriegebieten Freiburg-Nord und Freiburg-Hochdorf verbindet, auf Wasserstoff um. Die Machbarkeitsanalyse zur Umstellung dieser 10 km Leitung fiel positiv aus. Die Inbetriebnahme soll Ende 2029 erfolgen.

Vor dem Hintergrund dieser Planungen besteht die Möglichkeit, auch Bad Krozingen frühestens ab 2035 mit Wasserstoff zu beliefern. Genutzt wird dieser Energieträger ausschließlich im industriellen Sektor, wo im Szenario bis 2040 eine Energiemenge von ca. 4.700 MWh für die Bereitstellung angenommen wird. Darüber hinaus wird die Verwendung von Wasserstoff mit einer Energiemenge von etwas über 5.300 MWh/a auch für die zentrale Wärmeversorgung, z.B. bei der Anwendung in BHKW's oder in Brennwärtskesseln, angesetzt. Zusammen wird somit ab 2040 ein Potenzial von 10.000 MWh/a genutzt.

3.5.2 Zukünftige Rolle von erneuerbaren Gasen

Bei der Diskussion um die Rolle von PtG in der zukünftigen Energieversorgung spielen daher Überlegungen zur sinnvollen Zuteilung eines knappen Energieträgers eine zentrale Rolle. Die höchste Priorität liegt in den Bereichen, wo Alternativen nur begrenzt oder nicht verfügbar sind. Demnach wird der Einsatz in der Industrie für die stoffliche Nutzung am höchsten priorisiert, gefolgt vom Einsatz für Hochtemperatur-Anwendungen in der Industrie und den Teilen des Verkehrssektors, die nicht durch Elektrifizierung dekarbonisiert werden können (Schiffs-, Schwerlast- und Flugverkehr). Für Niedertemperaturanwendungen wie Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten und Gewerbe können Wärmepumpen, Solarthermie und Biomasse eingesetzt werden. Dadurch besteht eine niedrigere Priorität für den Einsatz erneuerbarer Gase, so dass kein flächendeckender Einsatz von erneuerbaren Gasen bis zum Jahr 2040 zu erwarten ist. Zu dieser Einschätzung kommen auch folgende zwei Studien:

- RESCUE-Studie des Umweltbundesamtes (Purr, et al., 2019)
- Langfristszenarien des Bundeswirtschaftsministeriums (Fraunhofer ISI, Consentec GmbH, ifeu, 2017).

Die jeweiligen Prozesse und die damit verbundenen Temperaturanforderungen unterscheiden sich stark von Branche zu Branche. Abbildung 18 zeigt typische Temperaturanforderungen verschiedener Wirtschaftszweige.

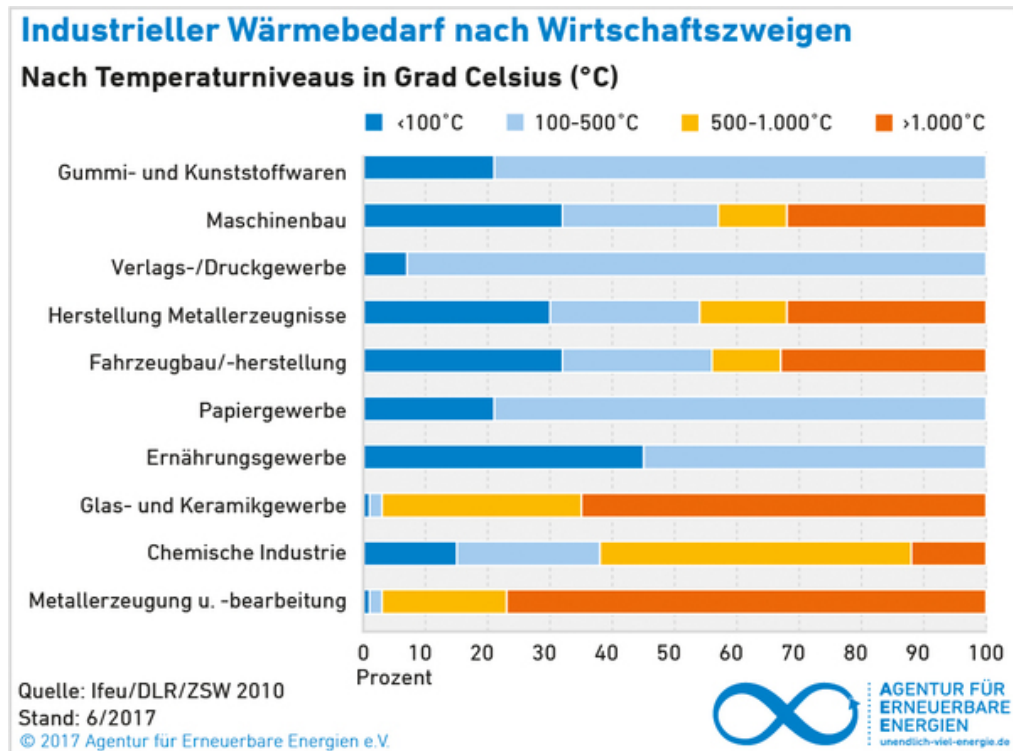


Abbildung 18 – Industrieller Wärmebedarf nach Wirtschaftszweigen (Agentur für erneuerbare Energien, 2017)

3.6 Zusammenfassung der Potenziale

Die Potenzialanalyse zeigt, dass die Stadt Bad Krozingen über Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Energieeinsparung und zur Erzeugung von Wärme und Strom aus erneuerbaren Energien verfügt. In der folgenden Tabelle sind die Potenziale der Stadt Bad Krozingen zur Erzeugung von Wärme und Strom aus erneuerbaren Energien übersichtlich zusammengefasst.

Die Potenziale für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen sowie die Potenziale für erneuerbare Wärme sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellt. Es lässt sich daraus ableiten, dass die Potenziale im Strombereich theoretisch um ein Vielfaches ausreichend sind, um den heutigen Strombedarf in Bad Krozingen erneuerbar zu decken.

Auf der anderen Seite sind die in der Grafik zur Wärmeerzeugung dargestellten Potenziale mit 74 % nicht ausreichend, um die aktuell benötigte Wärmemenge bereitzustellen. Zusätzlich muss der Anteil Tiefengeothermie noch reduziert werden, da ein Großteil für die Wärmeversorgung der Stadt Freiburg vorgesehen ist. Das bedeutet, dass der Wärmebedarf der Gemeinde trotz der theoretischen Potenziale deutlich gesenkt werden muss, um das Ziel der klimaneutralen Wärmeversorgung zu gewährleisten. Zum anderen müssen weitere Potenziale herangezogen werden, die in dieser Grafik bisher nicht auftauchen. Für energieintensive Unternehmen können grüne Gase und Wasserstoff zukünftig eine Alternative zu fossilen Energieträgern darstellen.

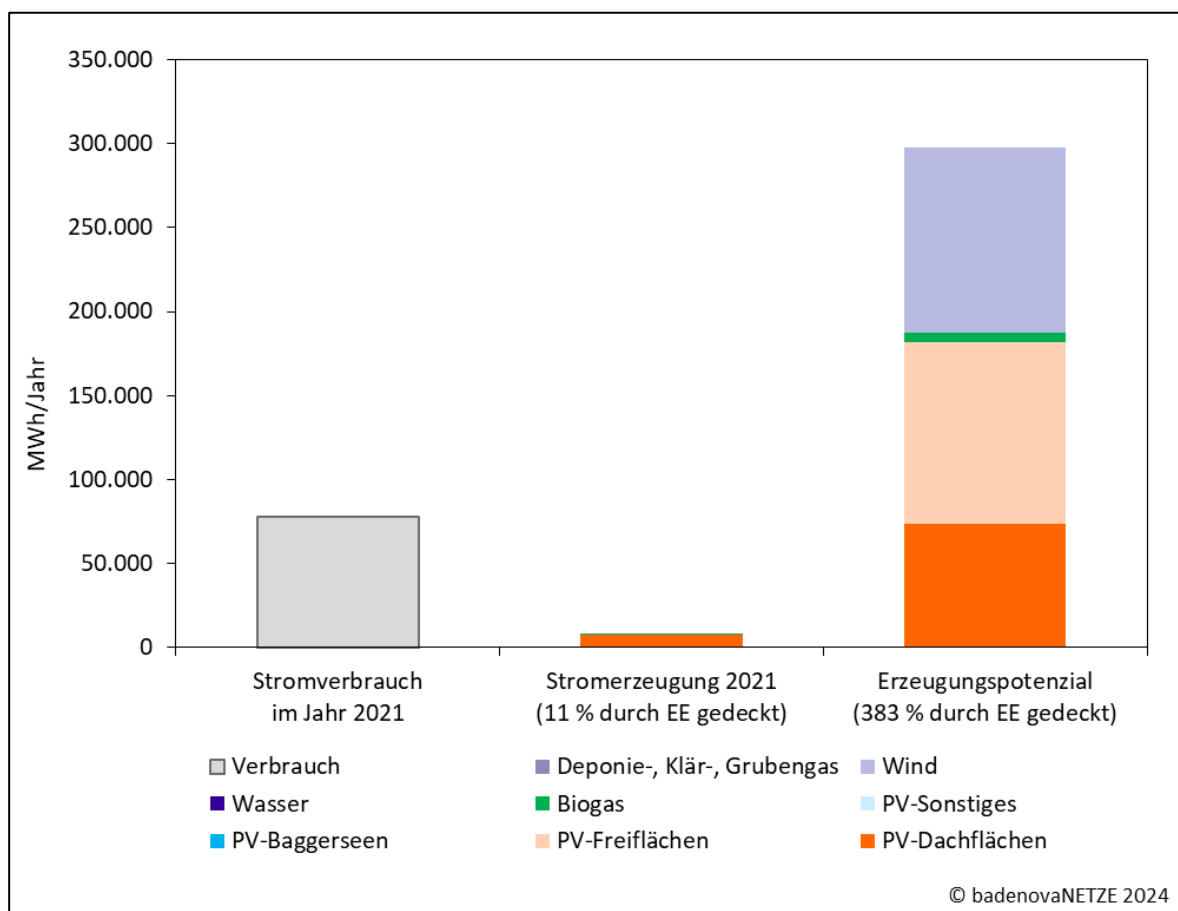


Abbildung 19 – Erneuerbare Strompotenziale in Bad Krozingen

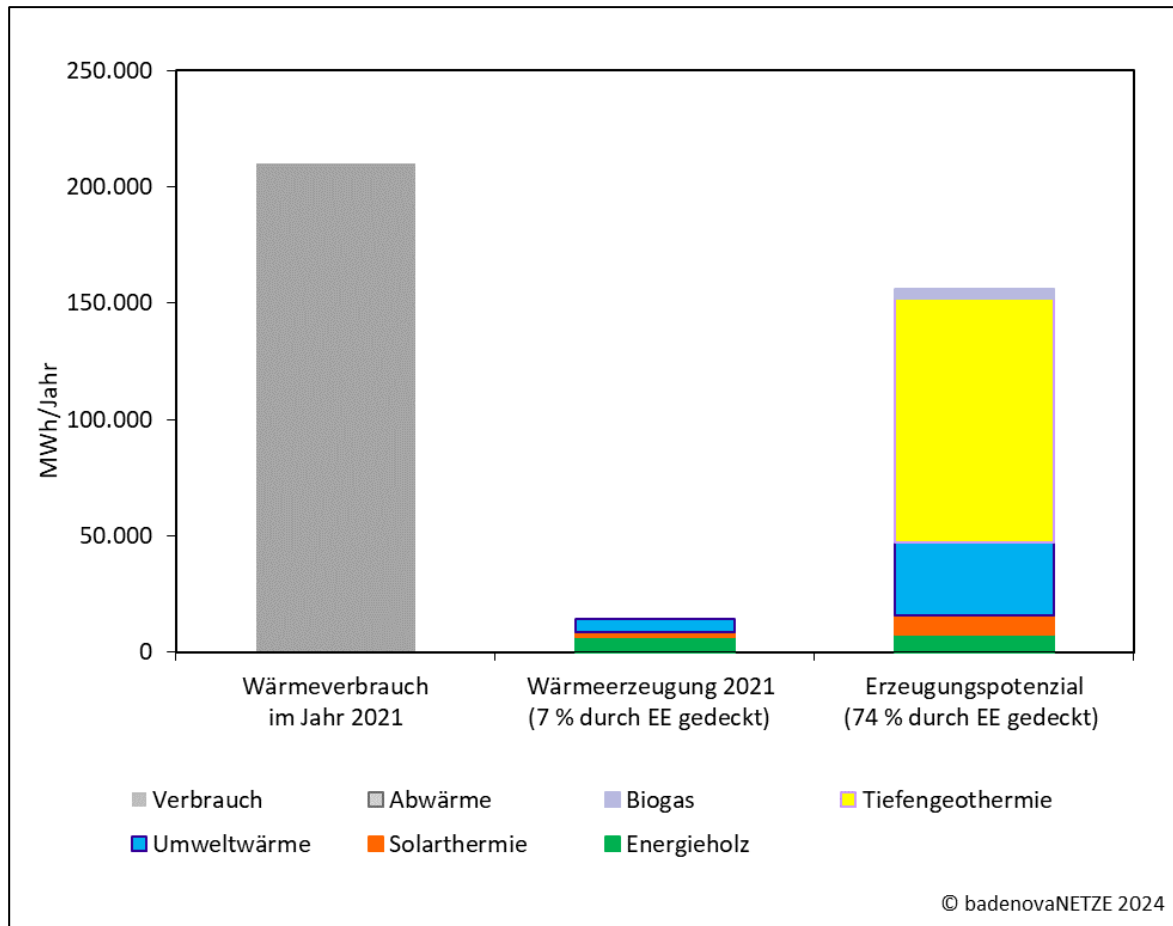


Abbildung 20 – Erneuerbare Wärmepotenziale in Bad Krozingen

Energiequelle		Anwendungsbereich	Erzeugungspotenzial
Biomasse	Biogas - KWK	Stromerzeugung Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	4.845 MWh/Jahr 4.153 MWh/Jahr
	Energieholz	Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	831 MWh/a
Oberflächennahe Erdwärme	Erdwärmesonden	Dezentrale Wärmeversorgung (nicht kumulierbar mit Umweltwärme!)	22.006 MWh/a heute (17 % der HH-Wärme) 23.270 MWh/a ab 2030 (18 % der HH-Wärme) 23.719 MWh/a ab 2040 (18 % der HH-Wärme)
	Grundwasserbrunnen	Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	10 Brunnen könnten z.B. ca. 6.547 MWh an Wärme generieren. Ein flächendeckendes, kumuliertes Potenzial kann nicht berechnet werden.
Tiefengeothermie	Hydrothermale Geothermie	Zentrale Wärmeversorgung	38.212 MWh/a
	Petrothermale Geothermie	Zentrale Wärmeversorgung bei gleichzeitiger Stromerzeugung	Kein Potenzial vorhanden
Solarthermie	Solarthermie auf Dachflächen	Zentrale/ dezentrale Wärmeversorgung	6.511 MWh/Jahr (inkl. Bestandsanlagen)
	Solarthermie auf Freiflächen	Zentrale Wärmeversorgung	357.000 MWh/a
Umweltwärme	Luft	Zentrale/ dezentrale Wärmeversorgung (nicht kumulierbar mit Erdwärme-WP)	26.236 MWh heute (20 % der HH-Wärme) 39.481 MWh ab 2030 (30 % der HH-Wärme) 39.061 MWh ab 2040 (30 % der HH-Wärme)
Wasserstoff	Grüner Wasserstoff	Industrie	Ca. 10.000 MWh/a
Abwärme	Gewerbe	Zentrale Wärmeversorgung	Potenzial technisch-wirtschaftlich nicht messbar
	Abwasser	Zentrale Wärmeversorgung	Potenzial technisch-wirtschaftlich nicht messbar
Windkraft	Wind	Stromerzeugung	110.000 MWh/Jahr
Wasserkraft	Fließgewässer	Stromerzeugung	Kein zusätzliches Potenzial

Energiequelle		Anwendungsbereich	Erzeugungspotenzial
Photovoltaik	Dachflächen	Stromerzeugung	68.074 MWh/Jahr
	Freiflächen	Stromerzeugung	75.600 MWh/Jahr (70 % Belegung der Fläche)
	Parkplatzflächen	Stromerzeugung	Kein Potenzial vorhanden
	Baggerseen	Stromerzeugung	Kein Potenzial vorhanden

Tabelle 7 – Übersicht der nutzbaren Erzeugungspotenziale aus erneuerbaren Energien in Bad Krozingen

Im nächsten Kapitel wird das Zielbild zur klimaneutralen Wärmeversorgung der Stadt Bad Krozingen beschrieben. Dabei wird auf den hier beschriebenen Potenzialen aufgebaut und es werden auch Wechselwirkungen und Abhängigkeiten der verschiedenen Potenziale auf einer Zeitschiene bis zum Jahr 2040 betrachtet.

4. Zielszenario Klimaneutraler Gebäudebestand 2040

Aufbauend auf den Ergebnissen der Bestandsanalyse (Energie- und THG-Bilanz) und der ermittelten Potenziale wird im folgenden Kapitel ein Zielszenario zur perspektivischen Entwicklung des Wärmeverbrauchs und der daraus entstehenden THG-Emissionen auf der Gemarkung der Stadt Bad Krozingen bis zum Jahr 2040 beschrieben. Dabei gilt das Ziel des Landes Baden-Württemberg, bis zum Jahr 2040 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen.

Das Zielszenario stellt jene Entwicklung dar, die notwendig ist, um bis zum Jahr 2040 weitgehende Treibhausgasneutralität zu erreichen. Es fließen die klimapolitischen Zielsetzungen des Landes und der Stadt Bad Krozingen ein, mit welchen dieser Status erreicht werden soll. Es wird angenommen, dass die lokalen Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Energieeinsparung und zum Einsatz von erneuerbaren Energien, bestmöglich bis zum Jahr 2040 ausgeschöpft werden. Somit stellt das Zielszenario keine Prognose der zukünftigen Entwicklung dar, sondern zeigt den Pfad auf, der in der Stadt Bad Krozingen notwendig ist, um die klimapolitischen Ziele zu erreichen.

In den folgenden Abschnitten werden allgemeine methodische Hinweise zur Berechnung des Zielbilds beschrieben. Anschließend wird das Zielszenario beschrieben. Dabei werden zunächst die zugrundeliegenden Annahmen skizziert und die Ergebnisse dargestellt.

Dabei werden zunächst die Entwicklungen des Wärmebedarfs und der dazu eingesetzten Energieträger betrachtet, gefolgt von der daraus berechneten THG-Bilanz bis zum Jahr 2040. Wichtiger Bestandteil des Zielszenarios ist auch die räumliche Beschreibung der zukünftigen Wärmeinfrastruktur der Stadt Bad Krozingen. Hierzu wurde das Stadtgebiet in Eignungsgebiete für die zentrale oder dezentrale Wärmeversorgung eingeteilt. Zudem wird die bevorstehende Transformation des bestehenden Erdgasnetzes erläutert. Zum Schluss wird noch das Thema THG-Kompensation erläutert, da selbst bei größter Anstrengung, die Deckung des Wärmebedarfs der Gebäude in Bad Krozingen auch im Jahr 2040 Restemissionen verursachen wird.

4.1 Berechnungsgrundlagen des Zielszenarios

Das Zielszenario baut auf die Energie- und THG-Bilanz aus der Bestandsanalyse auf. Deshalb liegt auch hier der Fokus auf den energiebedingten Treibhausgasemissionen. Die Ergebnisse des Zielbilds sind ebenfalls in die Sektoren private Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistung, verarbeitendes Gewerbe und kommunale Liegenschaften aufgeteilt. Außerdem werden der Energieverbrauch und die THG-Emissionen nach den eingesetzten Energieträgern ausgewiesen. Das Basisjahr ist das Jahr 2021 und das Zieljahr ist analog zum Ziel in Baden-Württemberg das Jahr 2040 (mit Zwischenziel 2030).

Höchste Priorität bei der Erstellung des Zielbilds hatte die Einbindung und Nutzung lokaler Daten aus Bad Krozingen. Außerdem wurden die Bedarfsentwicklungen aus den angewendeten Studien an eine Prognose der Stadt zur Bevölkerungsentwicklung angepasst. Bei der Entwicklung und der Deckung des Wärmebedarfs nach Energieträger wurden die Ergebnisse der Potenzialanalyse eingesetzt. Zudem wurden die bisher vorhandenen Planungen zum Bau bzw. Erweiterung von Wärmenetzen in der Stadt Bad Krozingen in die Szenarienberechnung eingebunden. Die lokalen Daten wurden durch Werte aus der Studie *Baden-Württemberg Klimaneutral 2040* (Nitsch & Magosch, 2021) ergänzt. Diese Studie wurde ausgewählt, da sie

- eine weitreichende und zugängliche Datenbasis enthält

- sämtliche Energieträger betrachtet
- das Ziel der Klimaneutralität für 2040 aufweist
- spezifisch auf das Land Baden-Württemberg ausgerichtet ist und
- eine hohe Aktualität aufweist

4.1.1 Definition der Klimaneutralität

Das Europäische Parlament gibt folgende Definition der Klimaneutralität:

- „Klimaneutralität bedeutet, ein Gleichgewicht zwischen Kohlenstoffemissionen und der Aufnahme von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Kohlenstoffsinken herzustellen. Um Netto-Null-Emissionen zu erreichen, müssen alle Treibhausgasemissionen weltweit durch Kohlenstoffbindung ausgeglichen werden.“ (Europäisches Parlament, 2022)

Bei der Entwicklung des Zielbilds wird davon ausgegangen, dass die Reduktion der THG-Emissionen zur Erreichung der Klimaneutralität oberste Priorität hat. Da eine Reduktion auf null sehr unwahrscheinlich ist (auch bis 2040 haben die erneuerbaren Energieträger einen geringen THG-Emissionsfaktor), müssten für eine Klimaneutralität Rest-Emissionen kompensiert werden. Konkret heißt das, dass sie an einer anderen Stelle einer Kohlenstoffsinke zugeführt werden müssten.

4.1.2 Berechnungsgrundlagen zur Entwicklung des Wärmebedarfs

Folgende Annahmen wurden bei der Szenarienentwicklung für die kommunale Wärmeplanung der Stadt Bad Krozingen getroffen:

- Der Wärmebedarf der Bestandsgebäude sinkt durch die energetische Sanierung der Gebäudehüllen. Der zukünftige Wärmebedarf der Wohngebäude im Bestand wurde anhand der in der Potenzialanalyse ermittelten Sanierungspotenziale für Wohngebäude berechnet. Dabei wurde eine jährliche Sanierungsrate von 2 % angesetzt. Konkret heißt das, dass jährlich 2 % der möglichen Einsparungen durch Sanierungsmaßnahmen erreicht werden.
- Die Stadt Bad Krozingen wächst und damit wird in Zukunft die beheizte Gebäudefläche in der Stadt ebenfalls wachsen. Anhand einer Prognose für die Stadt Bad Krozingen zur Bevölkerungsentwicklung und konkreten Neubauprojekten wurde dieses Wachstum berücksichtigt. Da die energetischen Anforderungen für Neubauten bereits recht hoch sind, machen diese Neubauten, im Vergleich zum Bestand, einen geringen Anteil des zukünftigen Wärmebedarfs aus.
- Der Wärmebedarf für die Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Industrie sinkt in Zukunft aufgrund energetischer Sanierung der Gebäude und durch Effizienzmaßnahmen. Letztere reduzieren den Energieeinsatz für die Prozesswärme wird (Nitsch & Magosch, 2021).

4.1.3 Berechnungsgrundlagen zur Deckung des Wärmebedarfs

- Im Zielszenario werden im Jahr 2040 keine fossilen Brennstoffe mehr verwendet. Dies entspricht einem möglichst klimaneutralen Zustand und ist auch eine der Grundannahmen in der Studie *Baden-Württemberg Klimaneutral 2040* (Nitsch & Magosch, 2021).
- Der Einsatz von Energieholz und Solarthermie entwickeln sich deutlich stärker, als im Trend der Studie *Baden-Württemberg Klimaneutral 2040* (Nitsch & Magosch, 2021) dargestellt, da sonst die Lücke zu den fehlenden fossilen Energieträgern nicht oder aber nur mit deutlich größeren Mengen an Wasserstoff zu schließen ist.

- Wasserstoff wird bis zum Jahr 2040 sowohl im Sektor verarbeitendes Gewerbe als auch für die zentrale Wärmeversorgung eingesetzt und Öl und Gas ersetzen. Inklusive angenommener Reduktion des Verbrauchs im Sektor Wirtschaft (s.o.) wird der benötigte Wasserstoffbedarf im Wärmebereich auf ca. 10.007 MWh/Jahr geschätzt. Dieser muss von außerhalb importiert werden.
- In den Eignungsgebieten für dezentrale Wärmeversorgung werden Wärmepumpen (Luft-Luft und Luft-Wasser) in Zukunft einen Großteil des Wärmebedarfs decken. Im Jahr 2040 werden in Bad Krozingen ca. 46.249 MWh Umweltwärme benötigt, die in Wohngebäuden zum Einsatz kommt und dezentrale, fossile Energieerzeuger ersetzen soll. Auf Grundlage des Wärmepumpenkatasters ist dieses Potenzial gegeben, wenn zusätzlich auch Erdwärme genutzt wird. Im Gewerbe werden entsprechend dem Szenario 1.712 MWh/a Umweltwärme genutzt.
- Gebiete mit Eignung für zentrale Wärmeversorgung werden zukünftig über Fernwärme versorgt. Für jedes Eignungsgebiet wurde ein zukünftiger Anschlussgrad von 70 % angenommen.

4.1.4 Berechnung der Treibhausgasemissionen

Analog zur THG-Bilanz der Bestandsanalyse werden die zukünftigen THG-Emissionen in den Szenarien anhand der Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger berechnet. Die hier angewendeten Emissionsfaktoren stammen aus dem Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg der KEA-BW (Peters, et al., 2022). Diese stehen für die Strom- und Wärmeerzeugung zur Verfügung. Ursprünglich angedacht für das Zieljahr 2050, sollen nun nach Angaben der KEA-BW die angegebenen Werte für das Jahr 2050 bereits im Jahr 2040 erreicht werden. Demnach wurden die Emissionsfaktoren für das Jahr 2050 bei dem Szenario auf das Jahr 2040 übertragen. Die Werte für das Zwischenjahr 2030 wurde linear interpoliert. Werte für Energieträger, die nicht im Technikkatalog enthalten waren, wurden anhand weiterer Quellen ergänzt. Die für das Zielszenario der Stadt Bad Krozingen verwendeten Emissionsfaktoren sind in Abschnitt 7.6 dargestellt.

4.2 Zukünftiger Wärmebedarf 2030 und 2040

Im Rahmen der Wärmewende lassen sich Emissionen effektivsten durch eine Senkung des Energiebedarfs reduzieren. Dies gelingt zunächst durch Wärmeenergieeinsparung und die Erhöhung der Energieeffizienz. Bei den Gebäuden liegen die größten Potenziale bei der energetischen Sanierung der Gebäudehülle. Im ersten Schritt zur Entwicklung des Zielszenarios wurde deshalb der Wärmebedarf der Stadt Bad Krozingen bis zum Jahr 2040 unter folgende Annahmen berechnet:

Durch umfangreiche Effizienz- und Einsparmaßnahmen im Gebäudebestand und im Wirtschaftssektor sinkt der Wärmebedarf im Zielszenario bis zum Jahr 2040 um 23 % gegenüber dem Jahr 2021. Der Wärmebedarf der Wohngebäude sinkt durch die energetische Gebäudesanierung, erhöht sich aber durch den Zubau neuer Gebäude, so dass bis 2040 eine Einsparung von ebenfalls ca. 15 % erwartet wird. Im Sektor verarbeitendes Gewerbe sinkt der Wärmebedarf bis zum Jahr 2040 nicht. Bei den kommunalen Liegenschaften wird der Wärmebedarf bereits bis zum Jahr 2035 um 29 % gesenkt. Es wird in diesem Szenario davon ausgegangen, dass sich der absolute Wärmeverbrauch der Stadt Bad Krozingen von 210.086 MWh/a im Jahr 2021, auf 161.593 MWh/a reduziert. Für das Zwischenzieljahr 2030 wird mit einem Verbrauch von 184.890 MWh/a gerechnet.

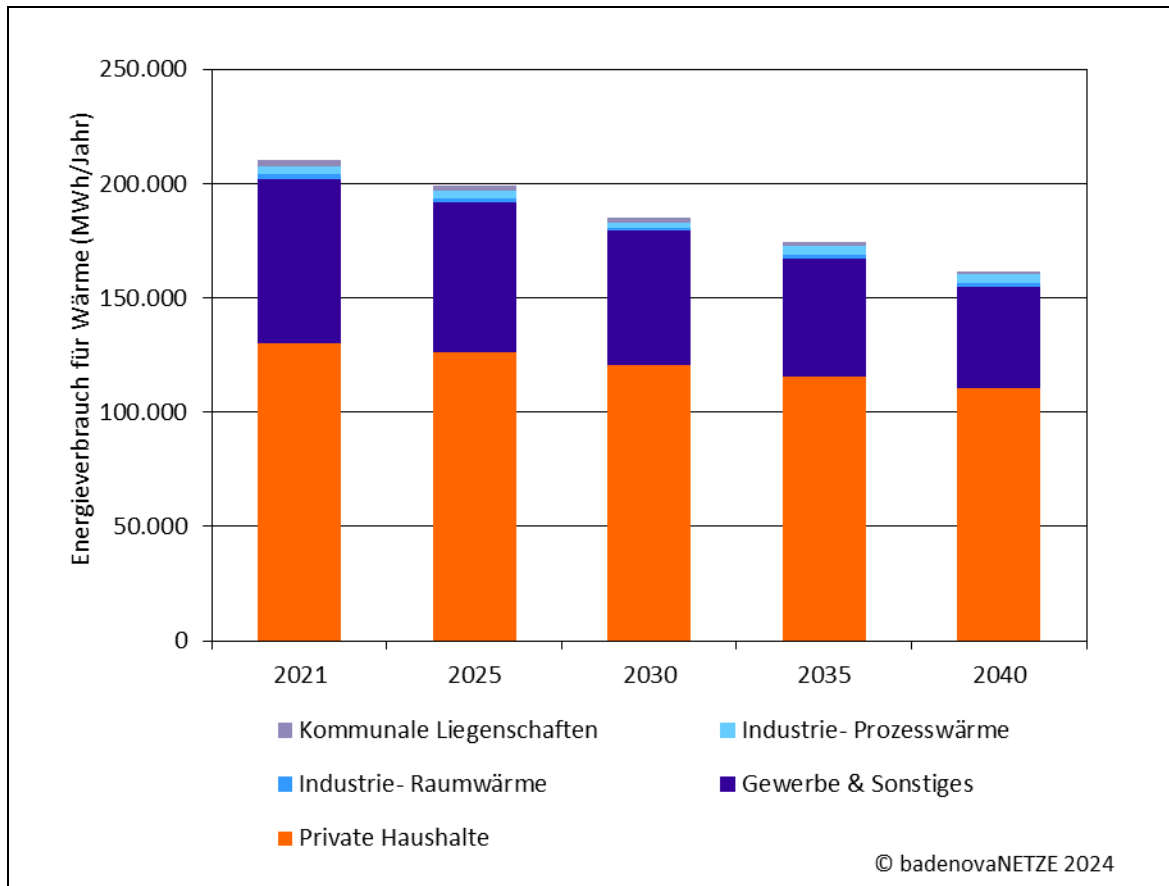


Abbildung 21 – Entwicklung des Energieverbrauchs für die Wärme nach Sektoren im Zielszenario

4.3 Deckung des zukünftigen Wärmebedarfs nach Energieträgern

Nach der Darstellung des zukünftigen Wärmeverbrauchs aller Sektoren wurden die zur Deckung benötigten Energiemengen nach Energieträgern ermittelt. Wesentliche Grundlage waren hierbei die lokalen Potenziale zur erneuerbaren Wärmeerzeugung. Um auch die räumliche Verteilung dieser Potenziale zu berücksichtigen, wurden die Eignungsgebiete für zentrale und dezentrale Wärmeversorgung für die Aufteilung der Wärmemengen auf die Energieträger herangezogen (siehe Kapitel 4.4.). Auch die hier angenommenen Ausbauszenarien der Fernwärmeversorgung, sowie Konzepte des Netzbetreibers zum Ausbau der Fernwärme wurden berücksichtigt.

Bis 2040 steigt der Anteil der Wärme, der mittels einer zentralen Wärmeversorgung bereitgestellt wird, somit auf 56 % (zum Vergleich, im Jahr 2021 wurden 2 % des Wärmeverbrauchs über Wärmenetze versorgt). Abbildung 24 zeigt die Entwicklung des Wärmeverbrauchs nochmals nach Energieträger.

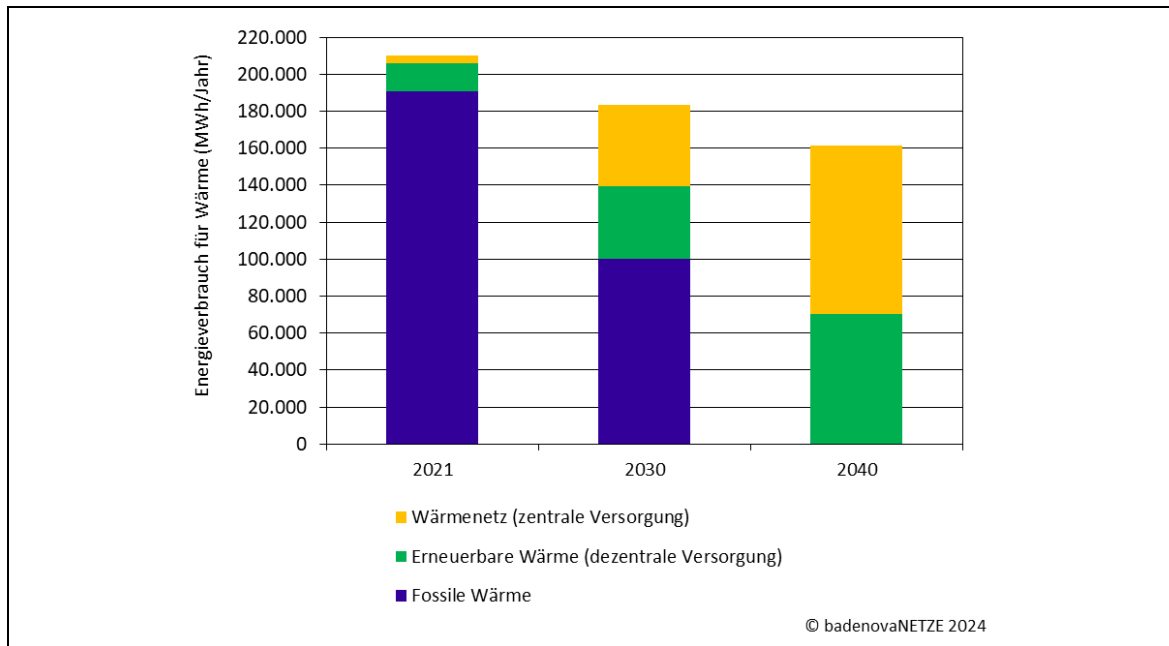


Abbildung 22 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Erzeugungsart

Demnach werden im Zielszenario die fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl und Kohle im Jahr 2040 nicht mehr eingesetzt und vollständig durch erneuerbare Energieträger ersetzt (vgl. Abbildung 23). Bei der dezentralen Wärmeversorgung sind dies voranging Wärmepumpen, während die zentrale Wärmeversorgung aus verschiedenen Energiequellen gedeckt wird (vgl. Abbildung 23). Dabei sollen die tiefe Erdwärme (42 %) und Wärmepumpensysteme (38 %) eine herausragende Rolle spielen, zum Teil aber auch Wasserstoff (6 %), Energieholz (6 %) und Biomethan (8 %).

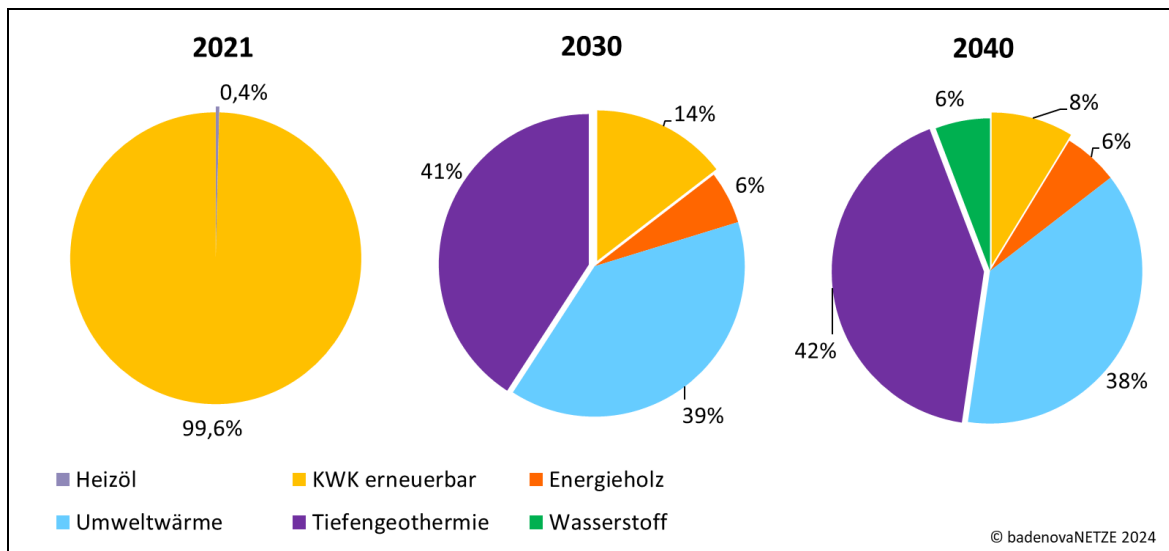


Abbildung 23 –Möglicher Energieträgermix der zentralen Wärmeversorgung im Jahr 2040

Im Jahr 2040 liegt laut des Zielszenarios der gesamte Fernwärmeverbrauch bei ca. 91.275 MWh/Jahr. Der Einsatz von Energieholz wird in Privathaushalten und Gewerbebetrieben bis zum Zieljahr leicht steigen. Im Jahr 2040 werden in Bad Krozingen ca. 48.133 MWh Umweltwärme benötigt, die primär in Wohngebäuden zum Einsatz kommt und dezentrale, fossile Energieerzeuger ersetzen wird. Auf Grundlage des Wärmepumpenkatasters ist dieses Potenzial bis 2040 gegeben. Zum Zwischenzieljahr 2030 müssen grundlegende Entwicklungen bereits

fortgeschritten sein, um das Zielszenario 2040 zu erreichen. Die zeitliche Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Energieträger kann Abbildung 24 oder den Tabellen in Kapitel 4.7 Kennwerte des Zielbilds für die Jahre 2021, 2030 und 2040 entnommen werden.

Außerdem wird der benötigte Wasserstoffbedarf auf ca. 10.000 MWh/Jahr geschätzt (davon 4.700 MWh/Jahr für GHDI, 5.300 MWh/Jahr für Fernwärme/KWK). Dieser muss entweder von außerhalb importiert oder vor Ort mit Überschussstrom hergestellt werden. Im Zwischenzieljahr 2030 wird noch nicht von einer Nutzung von Wasserstoff ausgegangen.

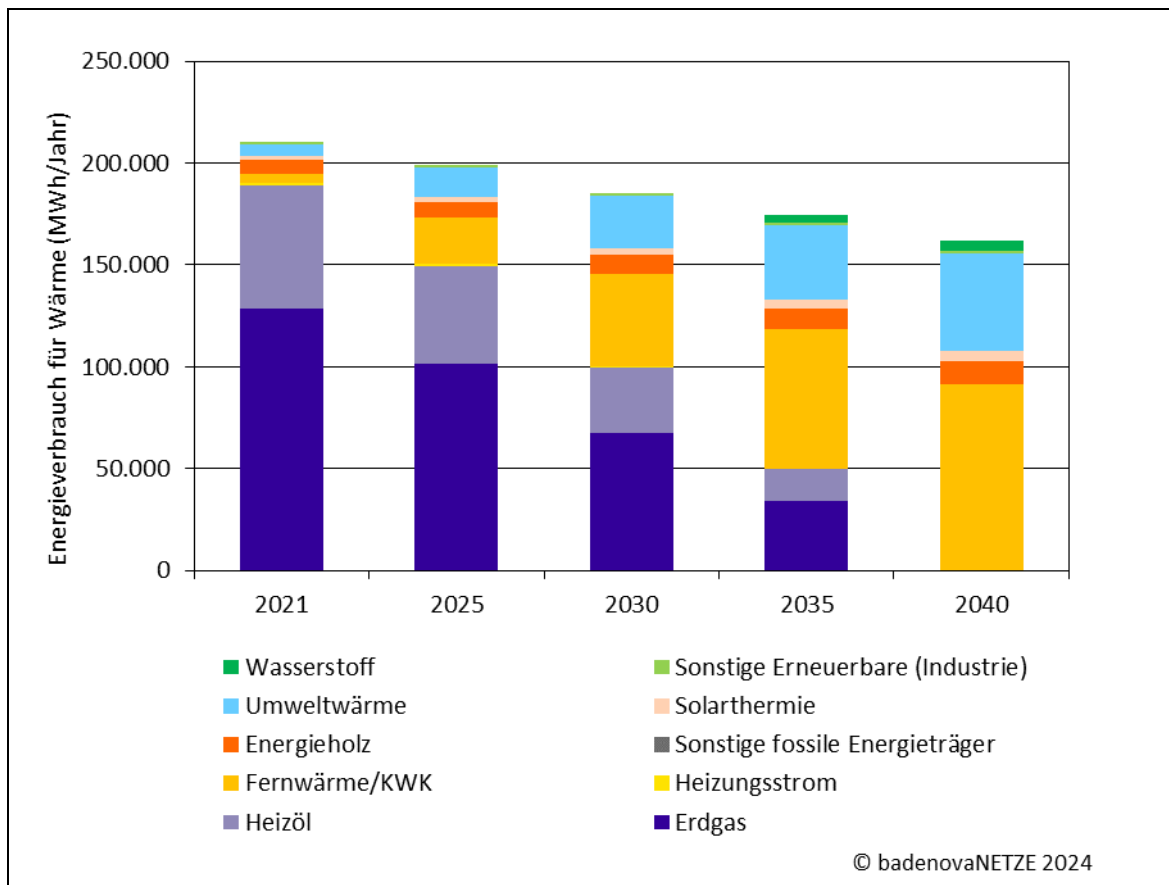


Abbildung 24 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Energieträger

4.3.1 Entwicklung der Wärmebedingten THG-Emissionen im Zielszenario

Anhand der Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger wurden die THG-Emissionen für die Wärmeerzeugung im Zielbild ermittelt. Demnach verursacht die Wärmeversorgung der Stadt Bad Krozingen im Jahr 2040 THG-Emissionen von insgesamt 4.013 t CO_{2e} (Wärmebedingte THG-Emissionen im Jahr 2021: 53.613 t CO_{2e}). Zusammen mit dem Strombedarf verbleibt bis 2040 im Szenario eine Restemission von 6.939 t CO_{2e}. Das bedeutet, dass im Vergleich zum Jahr 2021 die Emissionen in der Stadt Bad Krozingen um insgesamt 94 % sinken müssen bzw. um jährlich knapp 6.147 t CO_{2e} gesenkt werden müssen, um das Ziel bis zum Jahr 2040 zu erreichen. Dies kann nur im erheblichen Maße durch den Zubau und die Nutzung von erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung erreicht werden.

Die Abbildung 25 stellt die szenarische Entwicklung der Treibhausgasemissionen differenziert nach Energieträgern bis 2040 dar.

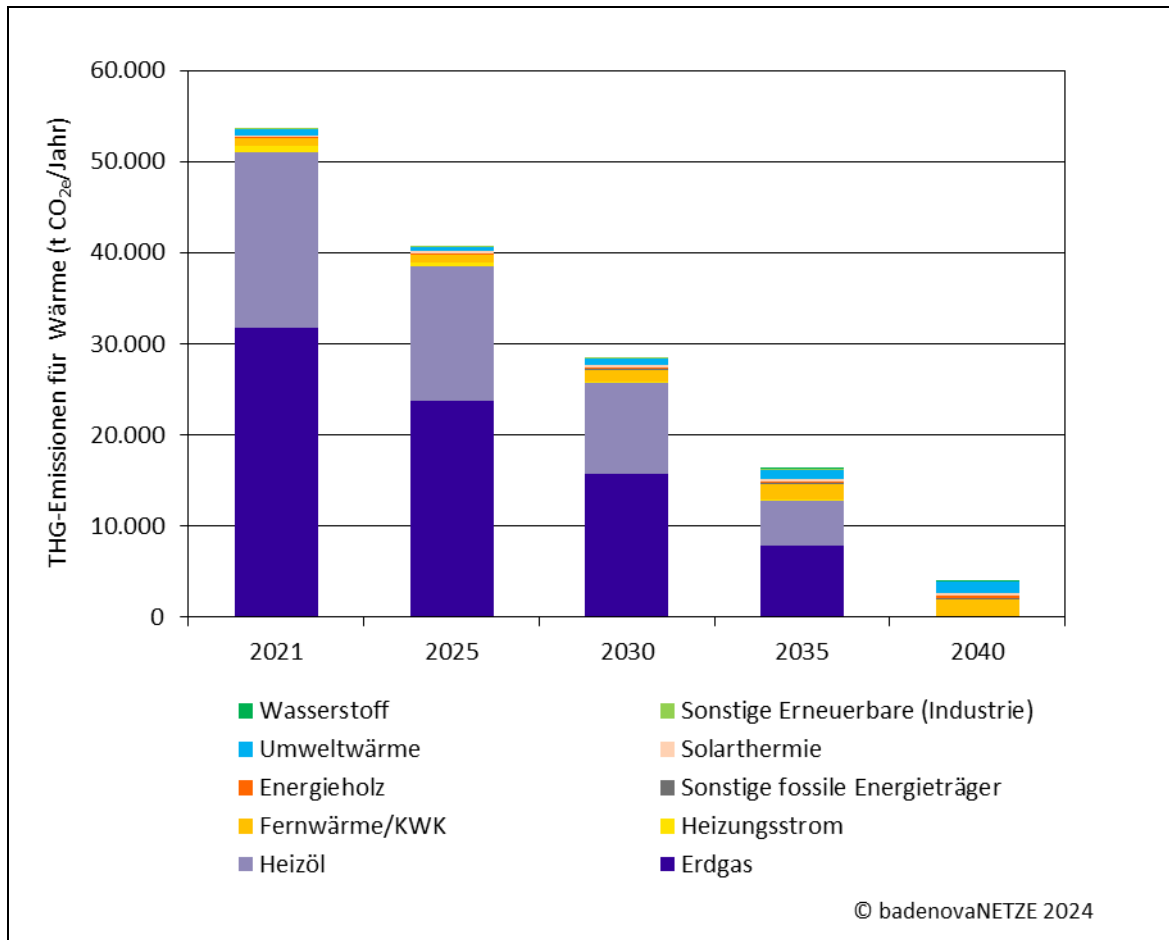


Abbildung 25 – Entwicklung der wärmebedingten THG-Emissionen bis zum Jahr 2040

4.3.2 Strombedarfsdeckung zur Wärmeerzeugung im Zielszenario

Das Zielszenario zeigt, dass der Strombedarf für die Wärmeerzeugung durch den zukünftigen Einsatz von Wärmepumpen steigen wird, von 1.495 MWh im Jahr 2021 auf rund 22.332 MWh im Jahr 2040. Zugleich wird der Nachtspeicherstrombedarf der Bestandsgebäude bis 2040 im Szenario von 1.443 MWh/a auf 0 sinken, so dass der Gesamtanstieg des Wärmestromverbrauchs nur mäßig steigen wird. Um den zusätzlichen Strombedarf im Jahr 2040 von zusammen 27.106 MWh/a zu decken, müssten 36 % des PV-Freiflächenpotenzial entlang oder rund 27 ha Fläche mit PV-Anlagen zusätzlich installiert werden.

Folgendes Stromverbrauchsszenario für die Jahre 2021 – 2030 – 2040 kann präsentiert werden.

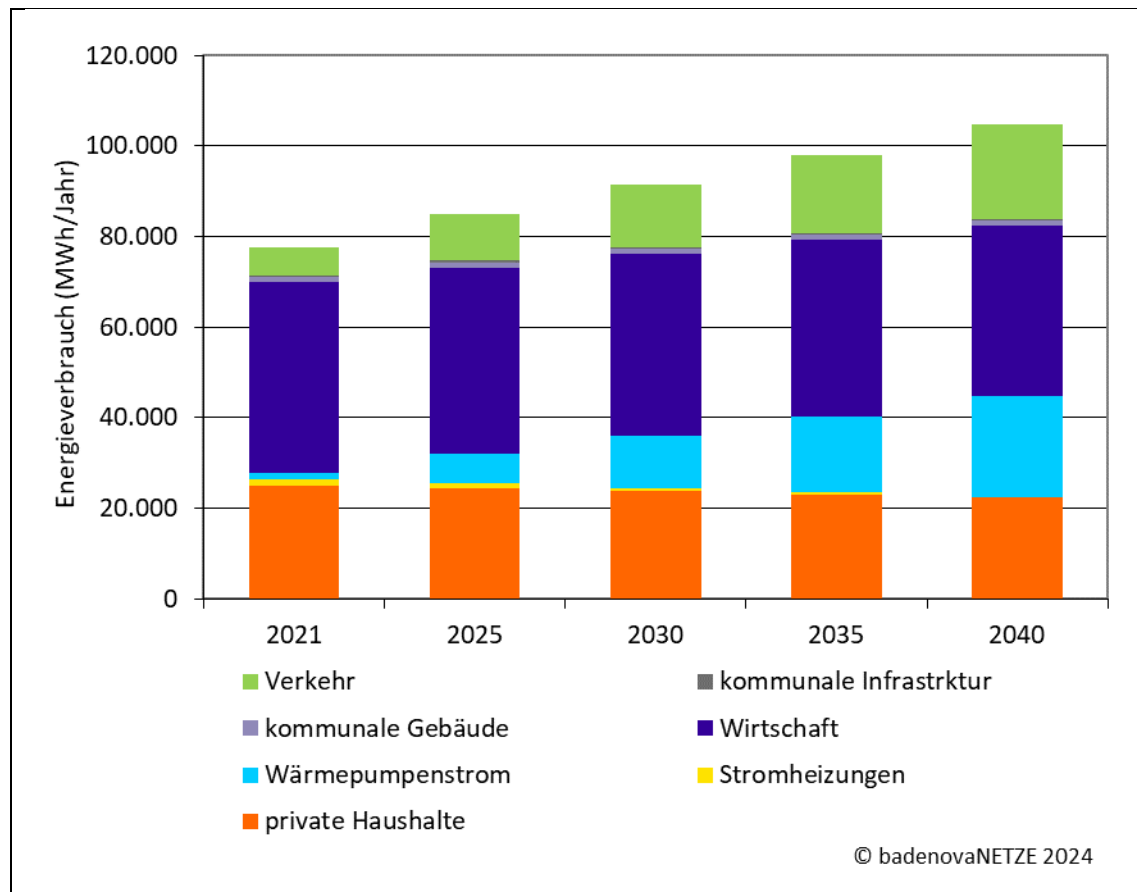


Abbildung 26 – Stromverbrauchsszenario der Stadt Bad Krozingen

In Summe steigt der Strombedarf bis 2040 von 77,5 GWh/Jahr auf mindestens 104,7 GWh/Jahr an. Treiber dieser Entwicklung sind die Elektromobilität und die Wärmepumpen. Der Stromverbrauch für die Wirtschaft und für den Haushaltsbedarf sinkt in diesem Szenario über die Jahre um 10 %. Der Anstieg kann sich bei weiterem Wirtschaftswachstum noch weiter vergrößern.

Für die Eigenstromerzeugung wurde das bis 2040 hochgerechnete Stromerzeugungspotenzial genutzt, bei einer an den Berechnungen des Bundes angepassten Ausschöpfung der PV-Potenziale und 50 % der Windenergiepotenziale. Im Ergebnis zeigen diese Schätzungen, dass der Strombedarf unter den hier dargelegten Annahmen bis 2040 zu 123 % durch die Eigenstromerzeugung gedeckt werden kann.

4.4 Zukünftige Versorgungsstruktur 2030 und 2040

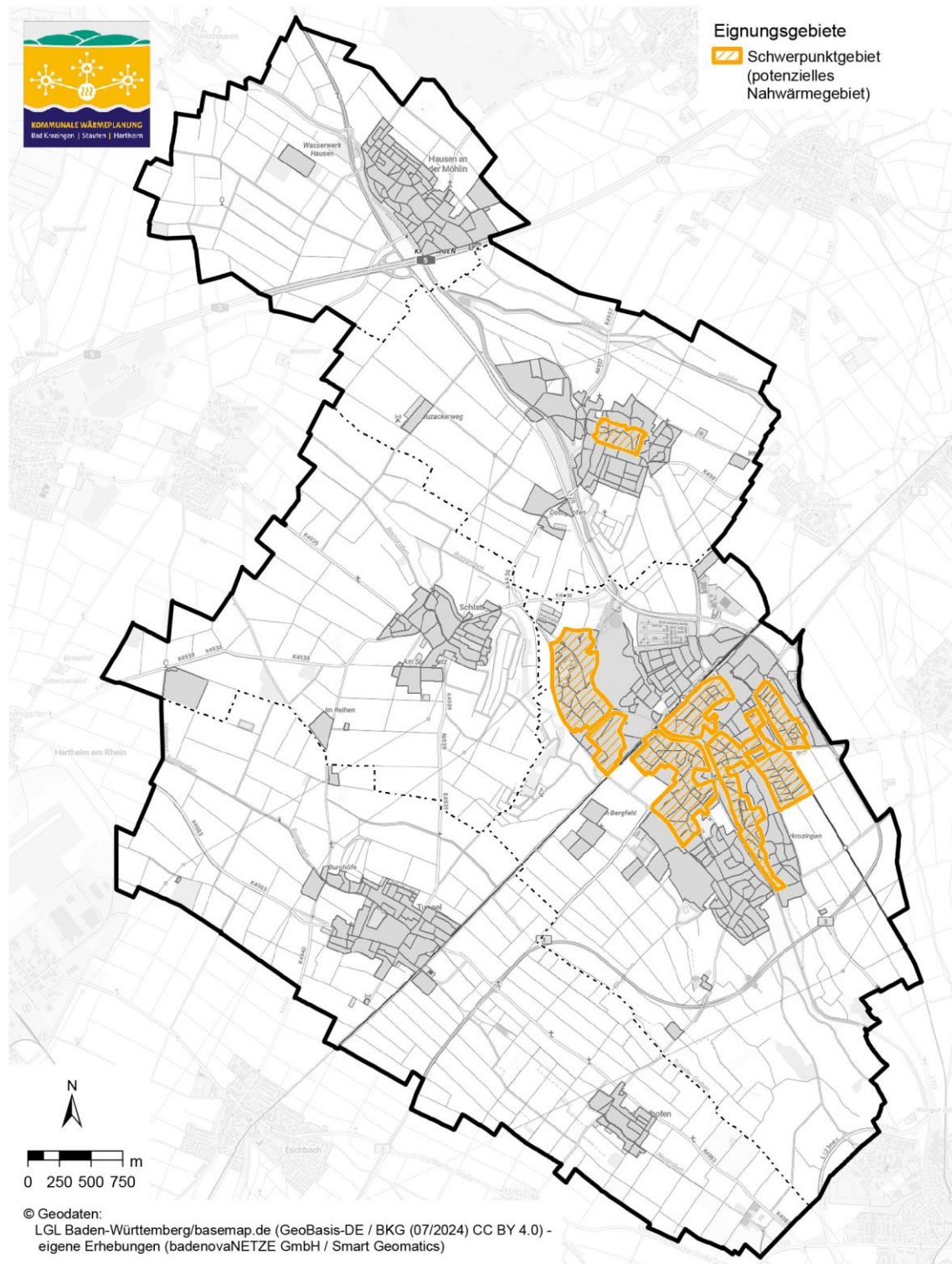
Für eine zielgerichtete Beschreibung des zukünftigen Versorgungsstruktur für die Jahre 2030 und 2040 wurde die gesamte Stadt Bad Krozingen in Eignungsgebiete zur zentralen bzw. dezentralen Versorgung aufgeteilt. Die Eignungsgebiete für zentrale Wärmeversorgung sind als Gebiete mit Fokus auf eine wirtschaftliche, ökologische und effiziente Wärmeversorgung sowie einer guten Eignung für Wärmenetze zu interpretieren. Für die Einteilung der zentralen Eignungsgebiete wurden verschiedene Kriterien herangezogen:

- Hohe Wärmedichte auf Straßenzugsebene
- Passender Sanierungszyklus der Heizanlagen
- Passende Energieträgerverteilung (z.B. wenige Wärmepumpen)

- Lokale Abwärmepotenziale
- Lokale Potenziale erneuerbarer Energien
- Großverbraucher als Ankerkunden
- Siedlungs- und Besitzstrukturen (z.B. viele öffentliche Gebäude)
- Potenzielle Heizzentralenstandorte

Bei der Eignungsgebietsfestlegung wurden alle Gebiete, die sich außerhalb von zentralen Eignungsgebieten befanden, den Gebieten für eine zukünftig dezentrale Versorgung zugewiesen. Die Eignungsgebiete wurden bei einem Workshop mit der Stadtverwaltung und bei einer öffentlichen Veranstaltung mit Bürgern und Bürgerinnen vorgestellt und diskutiert.

Die Eignungsgebiete für eine zentrale und dezentrale Wärmeversorgung sind in Karte 15 dargestellt. Im Anhang sind zudem Steckbriefe der Ortsteile zu finden, in denen der energetische Ist-Zustand beschrieben wird und die Umsetzungspotenziale in den dezentralen und zentralen Eignungsgebieten erläutert werden.



Karte 15 – Übersicht der farblich markierten zentralen Eignungsgebiete

4.4.1 Energiespeicher

Die Entwicklung des zukünftigen Energieverbrauchs wird im Zielszenario bilanziell über den Zeitraum von einem Jahr berechnet und dargestellt. Saisonale und tagesbedingte Schwankungen, wie beispielsweise der erhöhte Wärmebedarf im Winter und der daraus resultierende höherer Strombedarf durch Wärmepumpe oder die höheren Stromerträge, welche PV-Anlagen im

Sommer erzeugen, werden zunächst nicht berücksichtigt. Allerdings stellen solche Schwankungen des Verbrauchs und der Verfügbarkeit durchaus große Hürden für das Gelingen der Wärmewende dar. Diese Hürden müssen bei der zukünftigen Umsetzung von Maßnahmen in Bad Krozingen durchaus berücksichtigt werden. In den folgenden Abschnitten werden deshalb solche Speicher, die in Bad Krozingen zur Umsetzung der Wärmewende und zum Erreichen des Zielbilds eingesetzt werden könnten, erläutert und deren Einsatzbereiche geschildert. Welche Technologie bei einer Maßnahme eingesetzt wird, muss anhand wirtschaftlicher und technischer Kriterien im Einzelfall bewertet werden. In der Abbildung 27 werden verschiedene Speichertechnologien nach ihrer Speicherkapazität und der Dauer der Speicherung dargestellt. Zusätzlich sind oben Beispiele für die entsprechenden Kapazitäten genannt. Bei hohen Kapazitäten (sprich großen Energiemengen), wie Sie zum Beispiel eine Großstadt benötigt, müssten erneuerbare Gase (rot: Power-to-Gas) zum Einsatz kommen. Die zukünftige Rolle dieser Gase wird in Abschnitt 4.5 erläutert. Für die Wärmewende in Bad Krozingen werden vor allem kleine bis große Wärmespeicher (orange), sowie auf Grund der Sektorenkopplung, Stromspeicher entscheidend sein.

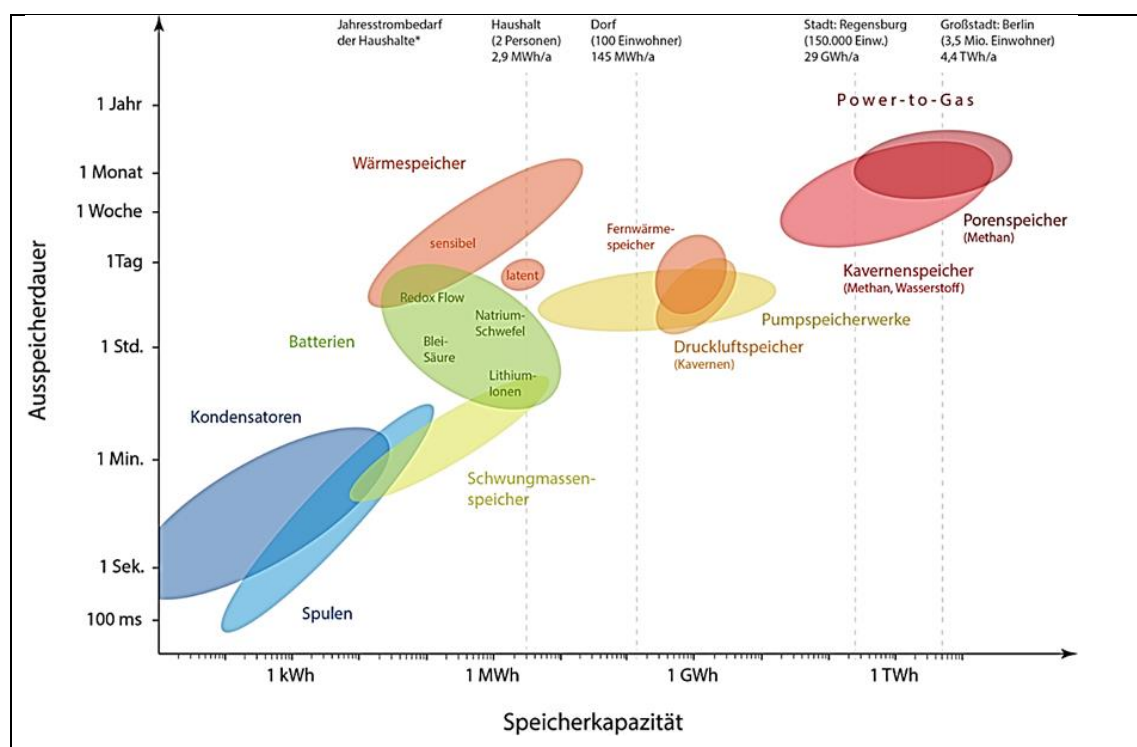


Abbildung 27– Übersicht der Speicherkapazität und Ausspeicherdauer verschiedener Speichertechnologien (Sternier & Stadler, 2014)

4.4.1.1 Thermische Energiespeicher (Wärmespeicher)

Die thermischen Energiespeicher können in verschiedene Speicherkonzepte unterteilt werden. Bei sensiblen Speichern erfolgt die Wärmespeicherung durch Temperaturveränderung des Speichermediums. Latente Speicher hingegen nutzen zur Wärmespeicherung hauptsächlich den Phasenwechsel von fest zu flüssig. Bei thermochemischen Wärmespeichern erfolgt die Wärmespeicherung in Form einer reversiblen thermo-chemischen Reaktion. (dena, (2023)).

- **Heißwasser-Speicher**

Beim Heißwasser-Speicher (Pufferspeicher) befindet sich das Wasser in einem isolierten Behälter, der je nach Anwendungsfall von kleinen Speichern mit wenigen Kubikmetern

in Gebäuden bis hin zu Großwasserspeichern für die saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen eingesetzt werden kann.

- **Kies-Wasser-Speicher**

Bei einem Kies-Wasser-Speicher dient ein Gemisch aus Kies und Wasser als Speichermedium. Kies-Wasser-Speicher werden bisher überwiegend als Langzeitwärmespeicher oder Zwischenspeicher für solare Nahwärmenetze bzw. Gebäudekomplexe eingesetzt.

- **Eisspeicher**

Der Eisspeicher besteht in der Regel aus einer Betonzisterne, die komplett unter der Erdoberfläche vergraben und nicht isoliert wird. Der erste Wärmetauscher entzieht dem Wasser seine Wärmeenergie, wodurch die Temperatur mit jedem Durchlauf sinkt und das Wasser mit der Zeit gefriert. Der Regenerationswärmetauscher führt der Zisterne hingegen Wärme zu, die er beispielsweise über eine Erdsonde oder durch eine Solarthermie-Anlage bezieht. Eisspeicher dienen sowohl als Wärmequelle als auch als saisonale Wärmespeicher. Es existieren technische Lösungen für kleine Gebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser) und größere Gebäude sowie für die Einbindung in ein kaltes Nahwärmenetz.

- **Sorptionsspeicher**

Die Wärmespeicherung erfolgt durch chemisch reversible Reaktionen oder den Sorptionsprozess (Ab- und Adsorptionsprozess) und zeichnet sich besonders durch eine hohe Energiedichte aus.

4.4.1.2 Stromspeicher

Den Stromspeichern kommt neben dem Ausbau der Stromnetze eine bedeutende Rolle in der Energiewende zu. Denn sie können grundsätzlich Schwankungen bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ausgleichen: Werden Photovoltaik- oder Windanlagen mit Speichersystemen kombiniert, wird nicht integrierbarer Strom gespeichert und steht bei Bedarf jederzeit zur Verfügung. Dadurch sind Stromspeicher in der Lage: (dena, (2022))

- Angebot und Nachfrage auszugleichen
- zahlreiche Systemdienstleistungen (z. B. Regelleistungen und Blindenergie) bereitzustellen, die die Systemstabilität unterstützen,
- inländische Wertschöpfung zu erhöhen, da nicht integrierbare Strommengen nicht exportiert werden müssen
- die Integration von Strom aus erneuerbaren Energien in den Markt zu fördern.

Durch die Nutzung eines Stromspeichers lässt sich der Eigenverbrauchquote des durch die PV-Anlage erzeugten Stroms erhöhen und somit einen Großteil der Stromkosten einsparen. Batteriespeicher können sowohl dezentral in Ein- und Mehrfamilienhäusern, aber auch zentral in Quartieren zum Einsatz kommen.

4.5 Transformation des Erdgasnetzes

Die im Zielbild abgebildeten Entwicklungen zur klimaneutralen Wärmeversorgung der Stadt Bad Krozingen würden auch erhebliche Auswirkungen auf die bestehende Gasinfrastruktur implizieren. Faktisch spielt Erdgas in dem Szenario keine Rolle mehr im Jahr 2040. Wie sich die Gasnachfrage entwickeln wird, kann derzeit niemand vorhersagen. Derzeit gibt es drei wesentliche Szenarien, die bei der Erdgasnetztransformation als wahrscheinlich gelten:

- **Szenario 1: Das Erdgasnetz wird weiterhin in der Fläche benötigt**

Dies bedeutet, dass weiterhin eine Versorgung mit Wasserstoff (oder einer Alternative zu Wasserstoff), über das bestehende Erdgasnetz möglich sein wird und die Endverbraucher diesen durch Umrüstung des bestehenden Heizkessels oder Installation eines neuen Heizkessels (hybrid) verwerten können. Der Wasserstoff muss entweder über das geplante H₂-Backbone in Deutschland bis zu den Netzen transportiert werden, oder durch den Anschluss an die geplante Trasse in Frankreich/Schweiz erfolgen. Die leitungsgebundene Versorgung der Endverbraucher, über die bestehenden Erdgasnetze ist der effizienteste Weg.

- **Szenario 2: Punktuelle Erhaltung des Erdgasnetzes für zentrale Wärmenetze und die Industrie**

Im zweiten Szenario geht man davon aus, dass die Erdgasnetzinfrastuktural teilweise einen Rückzug erfährt und nur ein Teil der bisherigen Struktur erhalten bleibt. Mit dieser Struktur möchte man dann zentrale Wärmenetze und große energieintensive Betriebe mit Wasserstoff (oder einer Alternative zu Erdgas) versorgen. Anders als in Szenario 1, kann die Versorgung dieser zentralen Wärmenetze oder auch der Industrie über ein bestehendes Versorgungsnetz, wie das H₂-Backbone, oder aber auch mit zentralen Einspeisepunkten an den bisherigen Gasübergabestellen erfolgen.

Bei den Szenarien 1 und 2 gibt es wiederum zwei mögliche Varianten. Den Wasserstoff pur in das Erdgasnetz einzuspeisen, erfordert nach aktuellem Kenntnisstand das Umrüsten der bestehenden Heizkessel der Endverbraucher. Die andere Variante ist die Beimischung von Wasserstoff zu einem anderen Medium, z.B. Biogas. Bei der zweiten Variante kommen die sogenannten Hybridheizungen zum Einsatz.

- **Szenario 3: Geordneter Rückzug des Erdgasnetzes**

In Szenario 3 gibt es einen geordneten Rückzug des bestehenden Erdgasnetzes und die am Erdgasnetz hängenden Endverbraucher schließen entweder an ein zentrales Wärmenetz an oder rüsten auf eine dezentrale Lösung um. Auch in diesem Szenario ist eine Versorgung mit Wasserstoff durch dezentrale Lösungen wie Elektrolyseure, die regionalen Strom in Wasserstoff umwandeln und diesen dann entweder Einzelhaushalten oder kleinen Wärmenetzen zur Verfügung stellen, möglich.

Die vielen Unbekannten und die Vielfalt an Entwicklungsperspektiven, die von einem kompletten Stilllegen des Erdgasnetzes bis hin zu einem weiterhin flächigen Betrieb der Netze mit erneuerbaren Gasen reicht, stellen die Erdgasnetzbetreiber vor eine große Herausforderung hinsichtlich der Frage der aktuellen Investitionen und Erweiterungspläne.

Kommunen haben gegenüber ihren Bürgern eine Daseinsvorsorge. Dies bedeutet, dass sie ihre Bürger mit Energie versorgen muss. Erdgasnetzbetreiber können, sofern sie eine Gaskonzession in einer Kommune erfüllen, aus diesem Grund keine Netze zurückbauen. Für das Szenario drei müsste sich also die Rechtslage ändern.

Der nationale Gesetzgeber hat die Erdgaskonzessionäre hierbei als entscheidende Akteure beim Hochlauf der Wasserstoffinfrastruktur erkannt und den Geltungsbereich der wegerechtlichen Gestattungsverträge nach § 46 EnWG in § 113a EnWG auf Wasserstoff „erweitert“. Somit können vorbereitende Maßnahmen zum Wasserstofftransport ergriffen und die Zielnetzplanung an diese angepasst werden. Ein Gaskonzessionsvertrag ist somit zugleich ein Wasserstoffgestattungsvertrag.

Die Rahmenbedingungen, die die Transformation des Erdgasnetzes formen werden, liegen zum größten Teil weder in der Hand der Stadt noch in der Hand der Erdgasnetzbetreiber. Um geeignete Maßnahmen mit Blick auf die Transformation des Erdgasnetzes zu erarbeiten und an

die sich noch in Entwicklung befindenden und sich wandelnden Rahmenbedingungen zu adaptieren, wird in den kommenden Jahren ein regelmäßiger Austausch zwischen der Stadt Bad Krozingen und dem Netzbetreiber notwendig sein. Zusätzlich müssen die Entwicklungen im Erdgasnetz frühzeitig mit den Bürgerinnen und Bürgern und den Betrieben der Stadt abgestimmt und kommuniziert werden, damit diese die Perspektiven zur Energieversorgung über das Erdgasnetz bei Investitionsentscheidungen berücksichtigen können bzw. unter Umständen auch rechtzeitig mit Alternativen planen können.

4.6 Senken für Restemissionen

Der Ausbau der erneuerbaren Energien bietet zwar deutliche Potenziale zur Senkung der Treibhausgasemissionen, allerdings sind aktuell keine Energiequellen gänzlich ohne Emissionen verfügbar. Durch den Bau und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Wärme und Strom werden heute und in Zukunft weiterhin Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert. Auch das Zielszenario in Bad Krozingen zeigt; selbst wenn die Wärmeversorgung komplett durch erneuerbare Wärme, Strom und Gase gedeckt wird, sinken die Treibhausgasemissionen nicht vollständig auf null. Um die Klimaneutralität, wie von der EU definiert, zu erreichen, würde es deshalb in Zukunft notwendig sein, verbleibende Emissionen einer Senke zuzuführen.

Es gibt bereits verschiedene Ansätze zur Treibhausgaskompensation. Ein häufig angewandter Ansatz besteht darin, in Projekte zu investieren, die zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen. Dazu gehören beispielsweise erneuerbare Energien, Energieeffizienzprojekte oder Aufforstungs- und Waldschutzprojekte. Diese Projekte tragen dazu bei, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern oder CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen.

THG-Kompensation kann sowohl durch lokale Maßnahmen als auch durch technische Verfahren erfolgen. Die folgenden Auflistungen beschreiben einige der gängigen Maßnahmen:

- **Lokal realisierbare Projekte:**
 - **Waldschutzprojekte:** Einige Organisationen setzen sich aktiv für den Schutz und die Bewirtschaftung von Wäldern ein, um die biologische Vielfalt zu erhalten und die Freisetzung von CO₂ aus Wäldern zu verhindern. Solche Projekte beinhalten oft Maßnahmen wie die Förderung nachhaltiger Forstwirtschaft und die Wiederherstellung von geschädigten Waldgebieten.
 - **Aufforstungsprojekte:** Die Anpflanzung neuer Bäume ist eine effektive Methode, um CO₂ aus der Atmosphäre zu binden und die biologische Vielfalt zu fördern. Es gibt Initiativen, die die Aufforstung von brachliegenden Flächen, ehemaligen landwirtschaftlichen Gebieten oder gerodeten Waldflächen fördern. Diese Projekte helfen, den Waldbestand zu erweitern und gleichzeitig einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.
 - **Agroforstwirtschaftliche Projekte:** Agroforstwirtschaft kombiniert landwirtschaftliche Nutzpflanzen mit Baumbeständen, um sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile zu erzielen. Solche Projekte können zur Kompensation von Treibhausgasen beitragen, indem sie Kohlenstoff in den Boden und die Bäume binden, die Bodenfruchtbarkeit verbessern und die Artenvielfalt fördern.
 - **Renaturierung von Feuchtgebieten:** Die Wiederherstellung und der Schutz von Feuchtgebieten wie Mooren und Sumpfgebieten haben das Potenzial, große Mengen an CO₂ zu binden und gleichzeitig wertvolle Lebensräume für Pflanzen und Tiere zu schaffen. Durch die Unterstützung von Projekten zur Renaturierung von Feuchtgebieten können Sie zur Treibhausgaskompensation beitragen.

- Technische Lösungen:
 - **Carbon Capture and Storage:** CO₂ wird aus Industrieprozessen oder Kraftwerksabgasen abgeschieden und anschließend unterirdisch gespeichert, um zu verhindern, dass es in die Atmosphäre gelangt. Das CO₂ wird in geologischen Formationen wie tiefen Salzwasserreservoirien oder leeren Öl- und Gasfeldern gespeichert.
 - **Carbon Capture and Utilization:** CO₂ wird abgeschieden und anschließend für industrielle Prozesse oder die Herstellung von Produkten verwendet. Beispiele hierfür sind die Verwendung von CO₂ als Rohstoff in der chemischen Industrie, die Produktion von künstlichen Kraftstoffen oder die Mineralisierung von CO₂ zu festen Karbonaten.
 - **Direct Air Capture:** CO₂ wird direkt aus der Umgebungsluft gefiltert und anschließend entweder gespeichert oder als Treibstoff oder in chemische Prozesse weiterverwendet.
 - **Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung:** Biomasse oder Energiepflanzen werden angebaut und verbrannt, wobei das entstehende CO₂ abgeschieden und gespeichert wird. Dadurch wird nicht nur CO₂ aus der Atmosphäre entfernt, sondern auch erneuerbare Energie erzeugt.
 - **Enhanced Weathering:** Diese Methode nutzt natürliche chemische Reaktionen, um CO₂ zu binden. Dabei werden beispielsweise bestimmte Gesteine zertrümmert und auf Ackerland verteilt, wo sie mit CO₂ reagieren und stabilen Kohlenstoff erzeugen.

Momentan ist noch unklar, ob oder wie verbleibende THG-Emissionen in Zukunft kompensiert werden müssen. Eine Studie zu Entwicklungsszenarien der CO₂-Preise, erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, geht von einer starken Steigerung des CO₂-Preises bis 2040 aus (von 30 €/t im Jahr 2022 auf mind. 250€/t im Jahr 2040). Vor diesem Hintergrund würde die Umsetzung von lokalen Kompensationsmaßnahmen die lokale Wertschöpfung unterstützen. Zudem haben solche Maßnahmen auch weitere Vorteile, in dem z.B. Flächen ökologisch aufgewertet werden und die lokale Biodiversität steigern.

4.7 Kennwerte des Zielbilds

Die in den folgenden Tabellen sind wesentliche Kennwerte des Zielbilds übersichtlich festgehalten.

Sektor	Erdgas	Heizöl	Direkt-Strom	Umweltwärme	Erneuerbare Energien	Fernwärme /KWK	PtX	H2
Private Haushalte	76.482	40.795	962	5.255	11.794	0	0	0
Gewerbe, Handel & Dienstleistungen	45.637	19.195	481	277	2.472	4.242	0	0
Verarbeitendes Gewerbe	4.433	231	0	0	950	0	0	0
Kommunale Liegenschaften	2.189	104	0	0	187	44	0	0
Gesamt	128.742	60.324	1.443	5.531	15.229	4286	0	0

Tabelle 8 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2021

Sektor	Erdgas	Heizöl	Direkt-Strom	Umweltwärme	Erneuerbare Energien	Fernwärme	PtX	H2
Private Haushalte	40.254	21.471	506	24.673	34.754	23.620	0	0
Gewerbe, Handel & Dienstleistungen	24.019	10.102	253	956	3.152	21.180	0	0
Verarbeitendes Gewerbe	2.333	121	0	0	950	0	0	0
Kommunale Liegenschaften	1.152	55	0	0	98	691	0	0
Gesamt	67.759	31.750	759	25.629	39.099	45.491	0	0

Tabelle 9 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren abgeschätzt für das Jahr 2030

Sektor	Erdgas	Heizöl	Direkt-Strom	Umweltwärme	Erneuerbare Energien	Fernwärme	PtX	H2
Private Haushalte	0	0	0	46.249	60.264	49.865	0	0
Gewerbe, Handel & Dienstleistungen	0	0	0	1.712	3.907	40.000	0	0
Verarbeitendes Gewerbe	0	0	0	0	950	0	0	4.699
Kommunale Liegenschaften	0	0	0	0	0	1.410	0	0
Gesamt	0	0	0	47.960	65.621	91.275	0	4.699

Tabelle 10 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren abgeschätzt für das Jahr 2040

Energieträger	2021	2030	2040
Biomasse	6.667	8.789	11.147
Tiefengeothermie (für Fernwärme)	0	18.100	38.212
Photovoltaik	0	0	0
Umweltwärme (zentral und dezentral)	5.531	25.711	48.133
Solarthermie (Dachflächen & Freiflächen)	2.081	3.411	4.890
Abwärme aus Gewerbe	0	0	0
Abwärme aus Abwasser	0	0	0
Fernwärme (inklusive Biogas, Holz, Grundwasser und Tiefengeothermie)	5.143	44.329	91.282

Tabelle 11 – Genutztes Endenergiepotenzial zur klimaneutralen Wärmeversorgung

5. Kommunale Wärmewendestrategie

Nachdem das Zielszenario den Pfad aufzeigt, wie die Stadt Bad Krozingen bis zum Jahr 2040 einen klimaneutralen Gebäudebestand erreichen kann, wird mit der kommunalen Wärmewendestrategie dieser Pfad mit konkreten Maßnahmen hinterlegt. Die Maßnahmen richten sich nach dem Handlungsraum, den Rollen und dem Wirkungsfeld der Stadt. Dabei wird es zunächst wichtig sein, die Organisation der Umsetzung des Wärmeplans sicherzustellen und den Wärmeplan in bestehende Strukturen und den Planungsalltag der Verwaltung zu integrieren.

Die wichtigsten Ziele der Wärmewendestrategie sind:

- **Energieverbrauch senken**

Um den Energieverbrauch entscheidend zu senken, müssen die Gebäude energetisch saniert werden. Darüber hinaus sollten Einsparpotenziale durch Effizienzsteigerungen der Heizungsanlagen und durch korrektes Nutzerverhalten genutzt werden. Um diese Potenziale der Wohngebäude nochmals differenzierter darzustellen, wurden für die sieben häufigsten Gebäudetypen in Bad Krozingen Gebäude Steckbriefe erstellt (siehe Anhang 10.2). Die Steckbriefe zeigen nochmals detailliert, welche Maßnahmen an Gebäudehülle und -technik für ein typisches Gebäude des jeweiligen Gebäudetyps technisch und wirtschaftlich sinnvoll sind. Bei der Prozesswärme kann der Energieverbrauch durch Modernisierungs- und Optimierungsmaßnahmen im Schnitt um bis zu 15 % gesenkt werden. Die Nutzbarmachung der Abwärme über die Wärmerückgewinnung aus industriellen Prozessen sollte in den einzelnen Prozessen geprüft und wenn möglich umgesetzt werden, um so den Primärenergieeinsatz zu reduzieren.

- **Dekarbonisierung der Wärmeversorgung**

Um die Wärmeversorgung vollständig zu dekarbonisieren, müssen fossile Versorgungsstrukturen durch verschiedene erneuerbare Energiequellen ersetzt werden. Hier müssen je nach Gegebenheit vorhandene erneuerbare Potenziale sinnvoll genutzt werden. Eine zentrale Rolle wird hierbei die Nutzung der Umweltwärme für Heizzwecke über Wärmepumpen sowohl in zentralen als auch dezentralen Versorgungsgebieten einnehmen. Neben der Wärmequelle Luft, die überall zur Verfügung steht, müssen geothermische Potenziale aus Erdwärme und Grundwasserwärme in den jeweiligen Einzelfällen geprüft und erschlossen werden. Neben der Umweltwärme wird es zudem die Einbindung anderer erneuerbaren Wärmequellen brauchen, damit die Transformation gelingen kann. In zentralen Versorgungsgebieten betrifft dies vor allem die Nutzung von Abwärme aus industriellen Prozessen bzw. aus dem Abwasser und mit Biogas betriebene KWK-Anlagen, in dezentralen Gebieten die Einbindung von Solarthermie und Energieholz. Erneuerbare Gase wie Biomethan bzw. Wasserstoff werden voraussichtlich zunächst nur dort eingesetzt, wo das Temperaturniveau nicht abgesenkt werden kann. Dies betrifft vor allem industrielle Prozesse, die auf hohe Temperaturen angewiesen sind.

- **Dekarbonisierung der Stromversorgung**

Das Gelingen der Wärmewende, mit Blick auf die Wichtigkeit der strombetriebenen Wärmepumpe, ist dadurch direkt an die Dekarbonisierung der Stromversorgung gekoppelt. In Bad Krozingen müssen dazu die vorhandenen PV-Potenziale ausgebaut werden. Die identifizierten Potenziale reichen für eine klimaneutrale Stromversorgung der Kommune aus. Für den Industriesektor müssen besondere Anstrengungen unternommen und individuelle Maßnahmen getroffen werden. Um die Fluktuation der erneuerbaren Energiequellen und die Winterlücke auszugleichen, werden Energiespeicher in Form von Stromspeichern und in Zukunft PtG- Anlagen benötigt.

5.1 Kommunale Handlungsfelder für die Wärmewende

Die kommunale Wärmewendestrategie wird durch die Zusammenarbeit aller relevanten Akteure in der Stadt Bad Krozingen und mit den entsprechenden Rahmenbedingungen, die bspw. auf Bundes- und Landesebene vorgegeben werden, umgesetzt. In den nächsten Abschnitten werden fünf wesentliche Handlungsfelder der Stadt erläutert.

5.1.1 Strategie, Organisation und Verankerung in der Verwaltung

Der kommunale Wärmeplan wurde in Abstimmung mit der Stadt Bad Krozingen erstellt, so dass das Thema und die Inhalte bereits in den bestehenden Strukturen integriert und die Zuständigkeiten innerhalb der Verwaltung geordnet sind. Durch regelmäßiges Monitoring soll in Zukunft über den Fortschritt und evtl. auftretende Hemmnisse beraten werden. Zudem können neue Maßnahmen aufgenommen werden. Nach und nach soll der Wärmeplan als wichtiges Tool in den Planungsalltag in der Stadtplanung, beim Tiefbau, bei der Entwicklung von Neubaugebieten und bei den städtischen Liegenschaften integriert werden. Darüber hinaus muss auch der Gemeinderat die Maßnahmen und die Strategie des kommunalen Wärmeplans mittragen und bei relevanten Entscheidungen entsprechend abwägen.

5.1.2 Klimaneutrale Wärmeversorgung der Liegenschaften

Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung der Liegenschaften ist es erforderlich, die bestehenden Gebäude zu sanieren bzw. zu modernisieren. Hierbei gilt es für die Kommune einen Plan zu entwickeln, um frühzeitig geeignete Maßnahmen abzuleiten und die dafür notwendigen Finanzmittel für die zukünftigen Investitionsmaßnahmen in Ihrem Haushalt berücksichtigen zu können. Sinnvolle Maßnahmen werden beispielsweise in Zusammenarbeit mit Energieberatern in Form von Sanierungskonzepten für Nichtwohngebäude ausgearbeitet. Eventuell mögliche Förderprogramme können seitens des Energieberaters im Zuge der Beratung dargestellt und vor der Realisierung der Maßnahme beantragt werden. Darüber hinaus sind auch Einspar- und Effizienzmaßnahmen ein zusätzlicher Schritt, um den Energieverbrauch der Liegenschaften zu senken. Entsprechende Maßnahmen sind in Kapitel 3.1 und 3.2 beschrieben. Die Reduktion der Energieverbräuche durch Effizienzsteigerung und Modernisierung der Gebäude ist der Grundstein für eine erfolgreiche Umstellung zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien.

5.1.3 Ausbau der zentralen Wärmeversorgung

Der Ausbau der zentralen Wärmeversorgung ist ein essenzieller Bestandteil der Wärmewendestrategie der Stadt Bad Krozingen. Bei der Umsetzung von Wärmenetzen für die zentrale Wärmeversorgung in Bad Krozingen kann die Stadt den Ausbau durch die Erstellung von geförderten Machbarkeitsstudien vorantreiben. Dabei werden in der Regel Varianten von Trassenverlauf, Anschlussdichten und Versorgungsvarianten mit Hinsicht auf der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit untersucht und gegenübergestellt. Auf dieser Basis können Wärmenetze entwickelt werden und in die Umsetzung kommen. Als richtungsweisende Leitplanken sollen die im Wärmeplan ausgearbeiteten Steckbriefe der Teilorte dienen (siehe Anhang). Diese Steckbriefe geben zunächst den aktuellen Stand der Wärmeversorgung und des Gebäudebestandes wieder. Im Weiteren werden darin die Eignungsgebiete der Fernwärmeversorgungen dargestellt, die mit einem Mix aus erneuerbaren Energiequellen versorgt werden können. Zusätzlich wird auch das Potenzial einer dezentralen Wärmeversorgung betrachtet und mit der empfohlenen Fernwärmeversorgung verglichen.

5.1.4 Ausbau erneuerbarer Energien

Der nach den Einspar- und Effizienzmaßnahmen verbleibende Wärmebedarf muss möglichst treibhausgasarm gedeckt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen neben dem Ausbau und der Anpassung der Energieinfrastruktur (Strom- und Gasnetz) die lokalen Potenziale aus erneuerbaren Energien erschlossen und genutzt werden.

Dazu müssen zunächst die wärmeseitig vorhandenen Potenziale erschlossen werden. Über Wärmepumpen kann Umweltwärme aus Luft und Erdreich zur dezentralen Gebäudebeheizung nutzbar gemacht werden.

Zur Deckung des zusätzlichen Stromverbrauchs durch Wärmepumpen müssen auch stromseitig vorhandene Potenziale im Rahmen einer klimaneutralen Wärmeversorgung erschlossen werden. Die Betrachtung der Potenzialgebiete für PV-Freiflächen in Bad Krozingen ergibt ein Standortpotenzial von über 108 ha. Die Stadt kann hierbei die Voraussetzungen für den Ausbau auf Freiflächenabschnitten wie entlang der Bahnlinie und der Autobahn schaffen und deren Umsetzung koordinieren.

5.1.5 Kommunikation und Information

Mit dem kommunalen Wärmeplan schafft die Stadt Bad Krozingen die Grundlage für einen klimaneutralen Gebäudebestand. Um dieses Ziel bis 2040 angehen und umsetzen zu können, ist die Kommunikation und Information aller relevanten Akteure in diesem Prozess essenziell. Die Stadt selbst kann im Gebäudebereich nur die Sanierung und den Einsatz der erneuerbaren Energien in ihren eigenen Liegenschaften real umsetzen. Alle anderen Gebäude, sei es Privatgebäude, Gewerbebetriebe oder Liegenschaften von Wohnbaugesellschaften in Bad Krozingen, liegen nicht in der Hand der Stadtverwaltung. Darum ist hier eine gezielte Information der einzelnen Zielgruppen wichtig, um diese zu motivieren.

Im ersten Schritt bedeutet dies, die Ergebnisse des kommunalen Wärmeplans öffentlich zu kommunizieren und über die stadt eigenen Medien den Bürgern, Interessensgruppen und dem Gewerbe zur Verfügung zu stellen.

Für Gebäudeeigentümer sind alle Informationen, rund um die energetische Gebäudesanierung relevant. Hier sollten Beispiele für umgesetzte Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig sollten Informationen zu den aktuellen Fördermöglichkeiten auf der Internetseite oder über eine gezielte Beratung durch die Stadtverwaltung bereitgestellt werden.

Bei den Bürgern sollte ein Verständnis geschaffen werden, was Energie ist und wie mit dieser nachhaltig umgegangen werden kann. Dies kann über gezielte Tipps und Maßnahmen über die stadt eigenen Medien abgerundet werden.

Als konkrete Maßnahme kann in einem dezentral versorgten Eignungsgebiet eine Wärmepumpeninitiative durchgeführt werden. Hierfür sollte die Stadt eine Informationsveranstaltung für alle Gebäudeeigentümer initiieren.

Gleichzeitig sollte die Stadt Bad Krozingen in engem Austausch mit dem örtlichen Gewerbe, der Wohnungswirtschaft und auch dem Bund, Land und Kreis treten und auch hier Maßnahmen zur Gebäudesanierung und zur Energieeinsparung besprechen und unterstützend zur Seite stehen.

Nur wenn alle Zielgruppen über die Ergebnisse des kommunalen Wärmeplans informiert sind und alle Zielgruppen Kenntnis darüber haben, welche Maßnahmen möglich sind, kann eine erfolgreiche Umsetzung des Wärmeplans gelingen.

5.2 Maßnahmen des kommunalen Wärmeplans 2024

Gemeinsam mit der Stadtverwaltung Bad Krozingen wurden folgende Maßnahmen als prioritär bewertet. Laut Gesetz sollen diese Maßnahmen spätestens innerhalb von fünf Jahren begonnen werden.

1. Aufbau der zentralen Wärmeversorgung im Eignungsgebiet Kurgebiet
2. Ausbau der zentralen Wärmeversorgung im Eignungsgebiet Bad Krozingen Süd
3. Informationskampagnen für Sanierungen und Wärmepumpen in dezentralen Wärmeversorgungsgebieten
4. Ausbau von PV-Freiflächenanlagen
5. Definition und Beschluss der städtebaulichen Leitlinien für Neubauten

In den folgenden Abschnitten werden die Maßnahmen einzeln erläutert. Neben einer kurzen Beschreibung der Maßnahme werden folgende Eckpunkte übersichtlich dargestellt:

- Verantwortliche Akteure: Wer ist zuständig für die Umsetzung der Maßnahme?
- Zeithorizont: Wann soll begonnen werden? Wie lange läuft die Maßnahme? Bis wann sollte die Maßnahme abgeschlossen sein?
- CO₂-Einsparung: Abschätzung, wie viel Treibhausgase durch die Maßnahmen jährlich eingespart wird.
- Zielwert: Welcher Mehrwert soll mit der Maßnahme konkret erreicht werden?

5.2.1 **Aufbau der zentralen Wärmeversorgung im Eignungsgebiet Kurgebiet**

Einer der größten Hebel für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung sind Wärmenetze. Der Ausbau der zentralen Wärmeversorgung ist ein essenzieller Bestandteil der Wärmewendestrategie der Stadt Bad Krozingen. Aufgrund der zahlreichen Kur- und Klinikbetriebe, welche teilweise einen sehr hohen Wärmebedarf aufweisen, ist die Wärmedichte im gesamten Kurgebiet hoch und damit prädestiniert für eine zentrale Wärmeversorgung.

Ein entscheidender Faktor für die Umsetzung dieser Maßnahme wird die Nutzung des vorhandenen Geothermiepotezials für das Kurgebiet sein. Als wahrscheinliche Anrainerkommune der Fernwärmetrasse des „Erdwärme Breisgau“-Projekts der badenovaWÄRMEPLUS, könnte die Grundlastversorgung des Gebiets erneuerbar sichergestellt werden.

Im Eignungsgebiet befindet sich bereits zwei Blockheizkraftwerke sowie eine Solarthermieanlage. Diese Anlagen versorgen mehrere Kur- und Klinikgebäude der Kur- & Bäder GmbH über ein Wärmenetz. Es besteht somit auch die Möglichkeit, dass das bestehende Netz mit erneuerbaren Energieträgern dekarbonisiert wird und als Inselnetz bestehen bleibt.

Der Ausbau der zentralen Wärmeversorgung im Kurgebiet sollte wie folgt angegangen werden:

- 1) Zusammenstellen einer Projektgruppe, bestehend aus der Kur & Bäder GmbH, der Stadtverwaltung sowie eines potenziellen Wärmenetzbetreibers, zur Koordination und Kommunikation des Wärmenetzprojekts
- 2) Suche und Beauftragung eines potenziellen Wärmenetzbetreibers
- 3) Erstellen einer Machbarkeitsstudie Wärmenetz (durch potenziellen Wärmenetzbetreiber)
 - a) Wirtschaftlichkeitsberechnung bei verschiedenen Auslegungsoptionen
 - b) Prüfung zur Anbindung der Klinikgebäude sowie der Wohnbebauung
 - c) Betrachtung der Wärmegestehungskosten
 - d) Prüfung der Einbindung lokaler erneuerbarer Energien: Geothermie, Dachflächen-solaranlagen, Freiflächensolaranlagen (PV oder Solarthermie).

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Kur- & Bäder GmbH, Wärmenetzbetreiber
Zeithorizont	2024 bis 2028
CO₂-Einsparung	Rund 8.400 t/Jahr (Annahmen gemäß Zielbild/Szenario-Fernwärmemix. Erdgas und Heizöl werden durch Wärme aus erneuerbaren Quellen ersetzt)
Zielwert langfristig mittelfristig	Fernwärmeversorgtes Kurgebiet Abgeschlossene Machbarkeitsstudie Wärmenetz

5.2.2 **Ausbau der zentralen Wärmeversorgung im Eignungsgebiet „Bad Krozingen Süd“**

Das Gebiet südlich des Neumagens ist dicht bebaut, weist eine hohe Wärmedichte auf und ist daher als Eignungsgebiet für die zentrale Wärmeversorgung ausgewiesen. Angrenzend an das Eignungsgebiet befindet sich eine Bestandsanlage der Wärmegesellschaft badenovaWÄRMEPLUS. Diese Anlage versorgt sowohl das kommunale Schwimmbad als auch das Schulzentrum über ein Wärmenetz. Obwohl diese Heizzentrale keine weiteren Wärmeabnehmer versorgen kann, sollte geprüft werden, ob auf diesen kommunalen Grundstücken eine weitere Heizzentrale entstehen könnte.

Der Ausbau der zentralen Wärmeversorgung an diesem Beispiel in Bad Krozingen sollte wie folgt angegangen werden:

- 1) Zusammenstellen einer verwaltungsinternen Projektgruppe zur Koordination und Kommunikation des Wärmenetzprojekts
- 2) Suche und Beauftragung eines potenziellen Wärmenetzbetreibers
- 3) Erstellen einer Machbarkeitsstudie Wärmenetz (durch potenziellen Wärmenetzbetreiber)
 - a) Wirtschaftlichkeitsberechnung bei verschiedenen Auslegungsoptionen
 - b) Prüfung zur Anbindung der kommunalen Liegenschaften
 - c) Betrachtung der Wärmegestehungskosten
 - d) Befragung der Eigentümer und Eigentümerinnen
 - e) Informationsveranstaltungen für interessierte Bürger und Bürgerinnen
 - f) Prüfung der Einbindung lokaler erneuerbarer Energien: Geothermie, Dachflächen-solaranlagen (PV oder Solarthermie), Freiflächensolaranlagen, Abwasserwärme mittels Wärmepumpen und Luftwärmepumpen

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Wärmenetzbetreiber
Zeithorizont	2025 bis 2030
CO₂-Einsparung	Rund 4.500 t/Jahr (Annahmen gemäß Zielbild/Szenario-Fernwärmemix. Erdgas und Heizöl werden durch Wärme aus erneuerbaren Quellen ersetzt)
Zielwert langfristig mittelfristig	Fernwärmeversorgtes Gebiet „Bad Krozingen Süd“ Abgeschlossene Machbarkeitsstudie Wärmenetz

5.2.3 Informationskampagnen für Sanierungen und Wärmepumpen in dezentralen Wärmeversorgungsgebieten

Zur Erreichung der Ziele des kommunalen Wärmeplans ist es von besonderer Bedeutung, die fossilen Heizungsanlagen durch neue und moderne Anlagen zu ersetzen. Durch die Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes wird innerhalb der nächsten Dekade verlangt, dass dezentrale Heizungsanlagen zu mindestens 65 % mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Dies bedeutet, dass die meisten Anlagen, welche nicht in zentralen Eignungsgebieten liegen, durch Wärmepumpen zu ersetzen sind, entweder als monovalente oder als hybride Anlagenkomponente. Viele Bürger sind diesbezüglich verunsichert, da technische Unwägbarkeiten und hohe Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe befürchtet werden. Mit detaillierten und fachkundlichen Informationen muss den Bürgern die Verunsicherung genommen werden oder es muss ihnen eine Alternative geboten werden. Der effiziente und sparsame Betrieb einer Wärmepumpe setzt tatsächlich unter Umständen Maßnahmen an der Gebäudehülle, Sanierungen im Gebäudeinneren oder aber eine Optimierung der Wärmeverteilung voraus. Hierüber müssen Fachleute informieren. Die Kommune sollte diesen Fachleuten eine „Bühne“ dafür bieten.

Um die Ziele der Wärmeplanung zu erreichen, ist es zudem nötig, die Gebäudesanierungsquote auf mindestens 2 % pro Jahr zu erhöhen. Die Berechnungen des Zielbildes basieren auf dieser Vorgabe. Mit der Europäischen Gebäuderichtlinie (EPBD) könnten außerdem viele Eigentümer alter Gebäude gezwungen sein, Teilsanierungen vorzunehmen. Daher ist es jetzt von großer Bedeutung, den Bürgern ausreichend Informationen an die Hand zu geben, um sich für Sanierungsmaßnahmen entscheiden zu können. Hier sollte die Kommune in Vorleistung gehen. Der kommunale Wärmeplan der badenovaNETZE GmbH beinhaltet eine Anzahl an sorgfältig ausgearbeiteten Gebäudesteckbriefen, über welche die Bürger eine erste wichtige Orientierung zu den technischen Möglichkeiten, den Einsparpotenzialen und zu den Kosten der Maßnahmen erhalten. Diese Steckbriefe, die im

Anhang (10.2) des Fachgutachtens dargestellt sind, können in Informationsveranstaltungen an die interessierten Bürger verteilt werden. Dazu wurden 14 Gebäudesteckbriefe für die häufigsten Gebäudetypen und Altersklassen ausgewählt.

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Bauplaner, Gebäudeeigentümer
Zeithorizont	2024 bis 2040
CO₂-Einsparung	1605 t/Jahr bis 2040 bei einer Sanierungsquote von 2 %
Zielwert langfristig mittelfristig	Erreichung eines sanierten Gebäudebestands Erreichung einer Sanierungsquote von mindestens 2 %/a

5.2.4 Ausbau von Photovoltaikfreiflächenanlagen

Der aktuell in der Offenlage befindliche Planentwurf „Solarenergie“ des Regionalverbands südlicher Oberrhein weist für Bad Krozingen ein erhebliches Potenzial für Freiflächenphotovoltaikanlagen aus (vgl. Kapitel 3.4.3).

Erneuerbarer Strom ist im Hinblick auf die Sektorkopplung auch für die Wärmeversorgung der Zukunft ein wichtiger Faktor. Für die Ermittlung der Potenziale zur Stromerzeugung wurde auf die Offenlage des Regionalverbandes Südlicher Oberrhein (RSVO) zurückgegriffen (Karte 14). Das darin ausgewiesene Flächenpotenzial beträgt für Bad Krozingen ca. 108 ha. Werden nur 70 % dieser Potenzialfläche veranschlagt, dann lassen sich dort ca. 75.600 MWh Strom produzieren, sofern nicht auch Teilflächen für die Solarthermie genutzt werden.

Für den Ausbau der Photovoltaik auf Freiflächen könnte eine Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben werden. Auch eine gemeinsame Nutzung von Photovoltaik und Landwirtschaft ist im Rahmen sogenannter Agri-PV möglich. Weitere Potenziale für die Nutzung von Solarenergie bieten Anlagen über Parkplätzen (beim Neubau eines Parkplatzes ab 35 Stellplätzen ist dies in Baden-Württemberg Pflicht).

Als Alternative könnte auch auf öffentlichen Flächen gezielt Photovoltaik genutzt werden. Auch einzelne Landwirte könnten auf ihren Flächen mit Hilfe von Projektierern Solaranlagen errichten und von erhöhten Pachteinnahmen profitieren.

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Bauplaner, Grundstückseigentümer
Zeithorizont	2024 bis 2040
CO₂-Einsparung	33.000 t/Jahr bis 2040
Zielwert langfristig	Nutzung des Freiflächenpotenzials und Bau von PV-Freiflächenanlagen
mittelfristig	Durchführung einer Machbarkeitsstudie

5.2.5 Definition und Beschluss der städtebaulichen Leitlinien

Durch städtebauliche Leitlinien sollte die Stadt Bad Krozingen die Wärmewende gezielt vorantreiben. Neubauten stellen bspw. ein wichtiges Handlungsfeld der Kommune dar, weil Sie für die nächsten Jahrzehnten Bestand haben werden und auch die Wärmeversorgung der Gebäude in der Regel für mindestens 15 bis 20 Jahre bestehen bleibt. Um das Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands bis zum Jahr 2040 zu erreichen, sollten bereits jetzt Neubauten und Neubaugebiete mit einer klimaneutralen Wärmeversorgung geplant werden. Den Kommunen stehen verschiedene rechtliche Instrumente zur Verfügung, um dies umzusetzen. Die Praxishilfe „Klimaschutz in der räumlichen Planung“ (Umweltbundesamt, 2012) zeigt umfassend die Gestaltungsmöglichkeiten der Kommunen auf, Klimaschutz in der Raumordnung und Bauleitplanung umzusetzen. Einige wichtige Ansätze in der Stadt Bad Krozingen könnten bspw. sein:

- **Energiekonzepte für Neubaugebiete:** Mit einem Energiekonzept für Neubaugebiete werden verschiedene Wärmeversorgungsvarianten auf ihre Klimateffizienz und Wirtschaftlichkeit geprüft und gegenübergestellt, so dass eine optimale Lösung gewählt bzw. umgesetzt werden kann. Dabei werden die lokalen Gegebenheiten eines Baugebiets berücksichtigt und bspw. die an dem Standort verfügbaren erneuerbaren Energieträger untersucht. Zudem können Varianten, wie der Aufbau von neuen Wärmenetzen, der Anschluss an bestehende Netze,

Insellösungen (Zusammenschluss weniger Gebäude, z.B. zusammenhängender Reihenhäuser) und Einzellösungen näher betrachtet werden.

- **Ausgabe von Informationsmaterial:** Über die Ausgabe von Informationsmaterial an private Bauherren können wichtige Hinweise für Neubauten, bspw. über den Einsatz von erneuerbaren Energien oder der Anschluss an ein potenzielles Wärmenetz gegeben werden.
- **Festsetzungen in Bebauungsplänen:** Über den Bebauungsplan kann die Stadt diverse klimaschützende Festsetzungen umsetzen, bspw.: „Bauweise, Gebäudehöhe, Firstrichtung, Dachform und Dachneigung zur Optimierung der Nutzungsmöglichkeiten passiver Solarenergienutzung oder auch die Festsetzung von Versorgungsflächen, -anlagen und -leitungen mit dem Ziel einer Wärme- oder Nah-/Fernwärmeversorgung auf der Basis regenerativer Energieträger oder mit deren Unterstützung“ (Barth, et al., 2021).
- **Auswahl der Neubau- bzw. Entwicklungsgebieten:** Bereits bei der Auswahl der zu entwickelnden Gebiete kann auf die perspektivische Wärmeversorgung geachtet werden, bspw. auf die Verfügbarkeit von erneuerbaren Wärmequellen (Barth, et al., 2021).

Welcher Ansatz für welches Baugebiet der richtige ist, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab und muss im Einzelfall betrachtet und abgewogen werden. Manche Ansätze sind bereits erprobt und gängig, während andere noch mit rechtlicher Unsicherheit verbunden sind. Zudem ändern sich die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Energieeffizienz und Einsatz erneuerbaren Energien schnell. Im Zweifelsfall kann eine Rechtsberatung über aktuelle Möglichkeiten und über die konkrete Umsetzbarkeit einzelner Maßnahmen aufklären.

Verantwortliche Akteure	Stadtplanung, Klimaschutzmanagement
Zeithorizont	Ab sofort, kontinuierlich
CO2-Einsparung	Nicht bezifferbar
Zielwert	Beschluss: Bei neuen Baugebieten wird die klimaneutrale Wärmeversorgung von der Stadtverwaltung berücksichtigt.

6. Fortschreibung und Ausblick

6.1 Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans

Das Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg gibt vor, dass der kommunale Wärmeplan spätestens nach sieben Jahren fortgeschrieben werden muss. Es spricht allerdings einiges dafür, die Fortschreibung nicht erst nach sieben Jahren anzugehen. Mit einer kontinuierlichen Fortschreibung können laufende Entwicklungen in der Stadt und aus der Umsetzung regelmäßig in den digitalen Zwilling und in den Maßnahmenkatalog eingepflegt werden. Beispielsweise könnten sich durch nähere Untersuchungen die Grenzen der Eignungsgebiete verschieben, es ergeben sich neue Potenziale aus Abwärme oder andere Potenziale sind nach näherer Betrachtung nicht wirtschaftlich nutzbar. Zudem ist in der aktuellen Klimaschutzpolitik momentan viel in Bewegung. Politische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen ändern sich, wodurch sich die Handlungsmöglichkeiten der Akteure ebenfalls ändern können. Ist der kommunale Wärmeplan stets gepflegt und öffentlich zugänglich, kann er sich zu einem wichtigen Werkzeug für die Stadtverwaltung, der Akteure und der Bürger der Stadt entwickeln.

Folgende Bausteine könnten bei der Fortschreibung umgesetzt werden:

- Aktualisierung der Energie- und THG-Bilanz der Stadt, z.B. alle drei bis fünf Jahre
- Digitaler Zwilling
 - Daten pflegen und aktualisieren
 - Neue Gebäude aufnehmen
 - Heizanlagenstatistik sowie Erdgas- und Stromverbrauchsdaten alle fünf bis sieben Jahre aktualisieren
- Eignungsgebiete und Umsetzung der Maßnahmen
 - Nach Bedarf und den aktuellen Gegebenheiten anpassen
 - Etablierung eines Controllingkonzepts zur Überprüfung des Maßnahmenfortschritts und zur Identifizierung von Umsetzungshemmnissen
- Veröffentlichung der aktualisierten Fassung des kommunalen Wärmeplans

6.2 Ausblick

Die Wärmewende ist eine wichtige Säule des kommunalen Klimaschutzes. Mit dem hier vorliegenden kommunalen Wärmeplan wird die Stadt Bad Krozingen ihrer Verpflichtung gerecht, diese Herausforderung in den kommenden Jahren gezielt und aktiv anzugehen. Mit dem kommunalen Wärmeplan wird der Weg der Stadt bis hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahr 2040 aufgezeigt:

- Durch Einspar- und Effizienzmaßnahmen, z.B. der energetischen Gebäudesanierung, wird der Wärmebedarf stetig gesenkt.
- Der verbleibende Wärmebedarf wird mit möglichst lokalen erneuerbaren Energien gedeckt. In diesem Zusammenhang wurden Eignungsgebiete für die zentrale und dezentrale Wärmeversorgung beschrieben, die eine möglichst effiziente und wirtschaftliche Nutzung der lokalen Potenziale zum Ziel haben.

Mit den definierten prioritären Maßnahmen kann die Stadt Bad Krozingen im Rahmen ihrer Handlungsmöglichkeiten nun die Wärmewende vor Ort konkret umsetzen. Zudem sorgt sie mit ihrem Handeln dafür, dass die Akteure und Bürger der Stadt ebenfalls die Wärmewende voranbringen können.

7. Methodik

7.1 Energie- und THG-Bilanz

Die Energie- und THG-Bilanz beinhaltet alle klimawirksamen Emissionen der in der Stadt eingesetzten Energien. Emissionen anderer Treibhausgase wurden gemäß ihrer Wirksamkeit „Global Warming Potential“ (GWP) in sogenannte CO₂-Äquivalente (CO_{2e}) umgerechnet. Im Text stehen die CO_{2e}-Werte synonym für die gesamten Treibhausgasemissionen.

Anmerkungen zur angewandten Methodik

- Die Energie- und THG-Bilanz wurde mit dem Tool BICO2 BW erstellt (Version 3.1). Dieses Tool wurde vom IFEU im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft als Standardverfahren für Baden-Württemberg erstellt. Somit kann die Bilanz regelmäßig fortgeschrieben werden, um die Wirksamkeit der Klimaschutzmaßnahmen in den kommenden Jahren zu überprüfen.
- In der THG-Bilanz wurden sowohl die direkten als auch die indirekten Emissionen berücksichtigt. Direkte Emissionen entstehen vor Ort bei der Nutzung der Energie (z.B. beim Verbrennen von Heizöl in der Heizung), während die indirekten Emissionen bereits vor der Nutzung entstehen (z.B. durch Abbau und Transport von Ressourcen oder den Bau und die Wartung von Anlagen).
- Für den Stromverbrauch basieren alle Aussagen auf der Endenergie, also der Energie, die vor Ort im Wohnhaus eingesetzt wird bzw. über den Hausanschluss geliefert wird.
- Für den Wärmeverbrauch werden Endenergie und Nutzenergie unterschieden. Endenergie ist die Menge Heizöl, Erdgas, Holz etc., mit der die Heizung „betankt“ wird. Nutzenergie stellt dagegen die Energie dar, die unabhängig vom Energieträger vom Wärmeverbraucher genutzt werden kann. Die Nutzenergie ist also gleich der Endenergie abzüglich der Übertragungs- und Umwandlungsverluste. Hierbei spielt beispielsweise der Wirkungsgrad der Heizanlage eine entscheidende Rolle. Die Berechnungen zum Wärmebedarf und zum Sanierungspotenzial basieren auf der Nutzenergie. Berechnungen zum Wärmeverbrauch stellen den Endenergieverbrauch dar.
- Bei der Bilanzierung für die Bereiche Strom, Wärme und Verkehr wurde das Territorialprinzip angewendet. Es werden also nur die Energiepotenziale auf kommunalem Gebiet und die Energieverbräuche und THG-Emissionen berücksichtigt, die durch den Verbrauch innerhalb der Gemarkungsgrenzen ihre Ursache haben. Verursachen z.B. die Bürgerinnen und Bürger der Stadt durch Fahrten in die nächste Stadt oder Stadt Emissionen, sind diese in der Bilanz nicht enthalten, wenn sie über die Gemarkungsgrenzen hinausgehen.

7.1.1 THG-Bilanzierung des Stromverbrauchs

Die Stromdaten, die für diese Studie vom Verteilnetzbetreiber zur Verfügung gestellt wurden, beinhalten die Stromverbrauchsmengen in kWh. Diese Daten wurden vom Netzbetreiber unterteilt in Standardlastprofil-Kunden, Lastgangzählungs-Kunden und Heizungs-/Wärmepumpen. Für die öffentlichen Liegenschaften und Straßenbeleuchtung wurden die Verbräuche mit den Angaben der Stadt abgeglichen. Der Stromverbrauch der Großverbraucher (Lastgangzählung) wird in der Regel der Industrie zugeordnet.

Die vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellten Stromdaten geben keinen Hinweis auf die Zusammensetzung des Stroms, also der Energiequellen, aus denen der Strom erzeugt wird. Bei der

Bilanzierung wurde deshalb der Emissionsfaktor des deutschen Strommixes verwendet, der im Jahr 2021 0,472 t CO_{2e}/MWh beträgt (IFEU, (2024)).

7.1.2 Stromeinspeisung

Da die Nutzung erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung gegenüber der Erzeugung aus fossilen Brennstoffen erhebliche THG-Einsparungen mit sich bringt, wurde für die THG-Bilanz ein kommunaler Strommix berechnet, bei dem der eingespeiste Strom berücksichtigt wurde. Konkret bedeutet das, dass die THG-Einsparungen der Stadt durch die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien von der THG-Bilanz abgezogen wurden. So wird der Beitrag dieser Anlagen zum Klimaschutz in der THG-Bilanz der Stadt berücksichtigt. Die THG-Emissionsfaktoren der einzelnen erneuerbaren Energiequellen, die in den hier vorliegenden Berechnungen angesetzt wurden, sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Erzeugungsart	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh)	THG-Einsparung (t CO _{2e} /MWh) gegenüber dem deutschen Strommix
Photovoltaik	0,056	0,416
Wasserkraft	0,003	0,469
Biomasse	0,110	0,362
Windkraft	0,018	0,454

Tabelle 12 – THG-Emissionen und -Einsparungen durch Einspeisung erneuerbarer Energien (Daten-grundlage: IFEU 2024)

7.1.3 Energie- und THG-Bilanzierung des Wärmeverbrauchs

Zur Berechnung der THG-Bilanz des Wärmeverbrauchs wurden Daten des Erdgasnetzbetreibers badenovaNETZE GmbH (für Erdgas) verwendet. Zusätzlich wurden Daten des LUBWs zum Energieverbrauch kleiner und mittlerer Heizanlagen im Jahr 2021 für die Auswertung des Wärmeverbrauchs herangezogen und Anlagen nach der 11. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BIm-SchV) abgefragt.

Bei den örtlichen Schornsteinfegern wurde die Heizanlagenstatistik der Stadt abgefragt. Die Heizanlagenstatistik unterscheidet zwischen den Heizenergieträgern Heizöl, Flüssiggas, Erdgas und Feststoffe (Energieholz) und gibt jeweils die Leistung und das Alter der in der Stadt vorhandenen Heizanlagen an.

Detaillierte Wärmeverbrauchsdaten der kommunalen Liegenschaften wurden von der Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt.

Die für die Berechnung der THG-Bilanz angewendeten Emissionsfaktoren der unterschiedlichen Wärmeenergieträger können der Tabelle 13 entnommen werden. Die Faktoren stellt das Bilanzierungstool BICO2 BW (IFEU 2024).

Energieträger	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh)
Erdgas	0,247
Heizöl	0,318
Braunkohle	0,445
Fernwärme	0,259 (Lokal 0,207)
Flüssiggas	0,270
Energieholz	0,022
Solarthermie	0,023
Umweltwärme	0,148

Tabelle 13 – Emissionsfaktoren für die Wärmeerzeugung (2021) (Quelle: IFEU 2024)

7.1.4 Datengüte der Energie- und THG-Bilanz

Eine THG-Bilanz kann nach unterschiedlichen Methoden und mit unterschiedlicher Datentiefe erstellt werden, abhängig vom Zweck der Bilanzierung und der Datenverfügbarkeit. Um die Aussagekraft einer Energie- und THG-Bilanz zu bewerten, wird deshalb im Bilanzierungstool BICO2 BW eine Datengüte ermittelt (IFEU, (2024)).

Die Datengüte zeigt die Datenqualität, auf welcher die erstellte Bilanz basiert. Ziel ist es, eine hohe Datengüte zu erreichen, um fundierte Aussagen und daraus wirksame Handlungsempfehlungen treffen zu können. Für jede Eingabe in das BICO2 BW-Tool werden die Datenquelle und die daraus resultierende Datengüte bewertet. Die Datengüte des Verbrauchs pro Energieträger wird anhand des jeweiligen prozentualen Anteils am Gesamtverbrauch gewichtet, wodurch schließlich eine Gesamtdatengüte für die Sektoren und für die Gesamtbilanz ermittelt wird. Die beste zu erreichende Datengüte beträgt 100 % und liegt dann vor, wenn alle angegebenen Daten „aus erster Hand“ sind, also lokale Primärdaten darstellen, z.B. Energieversorgungsdaten für leitungsgebundene Energieträger. Die Datengüte verringert sich, wenn gewisse Werte auf Basis von Hochrechnungen ermittelt werden oder rein statistische Angaben verwendet werden. Je mehr regionale (statt lokale) Kennwerte verwendet werden, desto niedriger ist die Datengüte (IFEU (2012)).

Die Datengüte, der für die Stadt Bad Krozingen erstellten Energie- und THG-Bilanz für das Jahr 2021 liegt bei 74 %, womit die Ergebnisse belastbar sind. Tabelle 14 zeigt den jeweiligen Anteil und die Datengüte der Sektoren.

Sektor	Anteil	Datengüte	Belastbarkeit
Private Haushalte	39 %	79 %	belastbar
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	27 %	36 %	bedingt belastbar
Verarbeitendes Gewerbe	3 %	59 %	relativ belastbar
Kommunale Liegenschaften	1 %	100 %	gut belastbar
Verkehr	30 %	49 %	bedingt belastbar

Tabelle 14 – Bewertung der Datengüte der Energie- und THG-Bilanz nach Sektoren (inkl. Stromverbrauch)

7.2 Solarpotenzial

Das Solarpotenzial für Dachflächen wurde durch das LUBW im Energieatlas Baden-Württemberg ermittelt, welcher öffentlich im Internet zur Verfügung steht (LUBW (2024)).

Im Solaratlas werden die freien Dachflächen in folgende Dachkategorien eingeteilt: Sehr gut geeignete, gut geeignete und bedingt geeignete Dächer. Standortanalyse und Potenzialberechnung des Solaratlas werden auf der Grundlage von hochaufgelösten Laserscandaten durchgeführt. Die Potenzialanalyse bezieht sich auf Standortfaktoren wie Neigung, Ausrichtung, Verschattung und solare Einstrahlung. Die Berechnung dieser Faktoren erfolgt über ein digitales Oberflächenmodell. Auf dieser Basis sind sehr gut geeignete Modulflächen solche Dachflächen, auf denen mehr als 95 % der lokalen Globalstrahlung auftreten. Dabei handelt es sich um überwiegend nach Süden ausgerichtete Dächer, die kaum oder keiner Verschattung unterliegen. Geeignete Modulflächen sind solche Dachflächen, auf die 80-94 % der lokalen Globalstrahlung auftreten und bedingt geeignete Flächen nehmen 75-79 % der Globalstrahlung auf.

Für die Abschätzung des Strom- und Wärmeerzeugungspotenzials aus Solarenergie wurde angenommen, dass alle diese unbebauten und im Solaratlas als mindestens bedingt geeignet eingestuften Dachflächen mit Photovoltaik- oder Solarthermieranlagen belegt werden. Dieser theoretische Wert wird sich in der Praxis sicher nicht vollständig umsetzen lassen, er gibt jedoch einen guten Hinweis auf die Größenordnung des Solarenergieausbaupotenzials.

Der Energieatlas Baden-Württemberg listet, zusätzlich zum PV-Potenzial auf Dächern, Angaben zum Potenzial für PV-Anlagen auf Freiflächen auf (LUBW (2024)), die theoretisch für PV-Nutzung nach dem EEG und der Freiflächenöffnungsverordnung (FFÖ-VO) geeignet sind. Mit der Teilfortschreibung Solar (zur Zeit der Erstellung dieses Fachgutachtens in der Offenlage befindlich) wurde erstmals Gebiete für Freiflächen-Photovoltaikanlagen im Regionalplan Südlicher Oberrhein festgelegt. Diese Flächen wurden bei der hier vorliegenden Wärmeplanung verwendet. Das aus den ausgewiesenen Flächen entstehende Potenzial wird auf Basis eines Erfahrungswertes für Freiflächenanlagen berechnet. Dieser Faktor liegt bei 1 MW/ha und wird mit 1.000 Volllaststunden pro Jahr multipliziert. Letztere bemessen sich durch die ungefähre Globaleinstrahlung in Süddeutschland.

7.3 Erdwärmesondenpotenziale

Zur Darstellung des Erdwärmesondenpotenzials wurde der Wärmeentzug des Untergrundes durch Erdwärmesonden auf Basis der Berechnungssoftware „GEOHANDlight V. 2.2“ ermittelt (Hochschule Biberach a.d.R.). Folgende vorgegebene Wärmeparameter wurden dabei zugrunde gelegt:

Wärmeparameter	Vorgegebener Wert
Ø Oberflächentemperatur	10,2 °C (Klimazone 12 nach DIN 4710)
Wärmeleitfähigkeit λ	2,25 W/mK
Volumenbezogene Wärmekapazität $c_{p(v)}$	2,18 MJ/m ³ K

Tabelle 15 – Vorgegebene Untergrundparameter

Die Wärmeleitfähigkeiten des Untergrundes liegen im Bereich von 0,8 bis > 1,6 W/mK. Geologisch bedingte thermische Entzugsleistungen liegen im Bereich von 45 bis > 65 W/m Sondenlänge bei 100 m Gesamtlänge. Für Potenzialberechnungen von Einzelsonden werden Werte bis maximal 50 W/m benötigt, für die von Erdwärmesondenfeldern maximal 30 W/m.

Das Geothermiepotezial wurde mit standardmäßigen Erdwärmesonden bei einem gängigen Bohrlochwiderstand R_b berechnet. Zur Potenzialberechnung wird eine Sondenlänge von 120 m zu Grunde gelegt. Alle Sondenabstände sind so gewählt, dass eine behördliche Genehmigung nach Bergrecht möglichst vermieden wird, wenn der Abstand zur Grundstücksgrenze jeweils die Hälfte dieser Werte beträgt. In der GIS-Anwendung wird dieser Abstand berücksichtigt. Alle vorgegebenen Sondenparameter sind in folgender Tabelle 16 gelistet.

Sondenparameter	Vorgegebener Wert
Bohrlochradius r_b	0,0675 m
Sondenlänge H	120 m
Sondentyp	DN 40, Doppel-U
Bohrlochwiderstand R_b	0,1 mK/W
Sondenabstand bei 2 Sonden / 3 – 4 Sonden	6 m / 7,5 m
Korrigierte g-Werte für r_b/H bei 1 Sonde / 2 Sonden / 4 Sonden	6,38 / 8,48 / 11,78
Temperaturspreizung der Sole in den Sonden	3 K

Tabelle 16 – Vorgegebene Sondenparameter

Tabelle 17 gibt die Ergebnisse der Kalkulation wieder. Technisch nach VDI 4640 und behördlich nach LQS EWS (Ministerium für Umwelt, 2018) geforderte Temperaturwerte wurden eingehalten. Dabei liegt den Werten der eingeschwungene Zustand zwischen Sondenaktivität und Untergrundreaktion zugrunde, was zu einer konservativen Betrachtung führt.

Zur Berechnung der potenziellen Wärmebedarfsabdeckung wurden die in Tabelle 18 genannten Werte genutzt. Der Jahreszeitabhängige Leistungskoeffizient der Wärmepumpe muss mindestens einen Wert von 3,375 aufweisen, um eine Förderberechtigung nach BAFA zu erhalten.

Berechneter Untergrundparameter	Wert
Wärmeentzugsleistung in W/m bei 1 Sonde / 2 Sonden / 4 Sonden à 150 m	42,0 / 38,5 / 33,7
Wassereintrittstemperatur in die Sonde	$\geq -3,0$ °C im eingeschwungenen Zustand
Temperaturdifferenz bei Spitzenlast	$\leq 15,0$ K im eingeschwungenen Zustand
Temperaturdifferenz im Monatsmittel	$\leq 10,3$ K im eingeschwungenen Zustand

Tabelle 17 – Berechnete spezifische Wärmeentzugsleistungen und Temperaturwerte

Parameter zur Wärmebedarfsdeckung	Vorgegebener Wert
Leistungskoeffizient der Wärmepumpe (SCOP)	3,375 (n_s bei 55°C Vorlauf = 135 %)
Vollbenutzungsstunden h	1.800
Maximale Monatslast	16 % der Jahreslast

Tabelle 18 – Vorgegebene Parameter zur Berechnung der Wärmebedarfsdeckung

Um die Flächenverfügbarkeit zum Einrichten der Erdwärmesonde(n) zu berechnen, müssen pauschale Seitenverhältnisse der Flurfläche und der Gebäudegrundfläche angenommen werden. Dadurch können sowohl eine nicht nutzbare Gebäudeperipherie (Garage, Garageneinfahrt, Leitungen, Schuppen, Bäume etc.) als auch der nötige Abstand zwischen Sonden und Flurgrenze berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 19).

Parameter für Sondenbelegungsichte	Vorgegebener Wert
Seitenverhältnis der Flurfläche / Gebäudegrundfläche	1 : 2,5 / 1 : 1,5
Berechnung der nicht nutzbaren Fläche bei 3 m Abstand zum Gebäude	$A_{\text{Gebäude}} + 12,3 \cdot \sqrt{A_{\text{Gebäude}}} + 36$
Belegungsfläche für 1 Sonde / 2 Sonden / 3 – 4 Sonden	18 m ² / 36 m ² / 169 m ²

Tabelle 19 – Vorgegebene Durchschnittswerte zur Berechnung der Sondenbelegungsichte

Die Potenzialkarten zeigen auf dieser Grundlage an, welches Gebäude seinen Wärmebedarf mit ein, zwei oder bis zu vier Sonden bei der zur Verfügung stehenden Flurfläche decken kann, ohne auf die sonstige Nutzfläche verzichten zu müssen.

7.4 Luft/Wasser-Wärmepumpenpotenziale

Das Luft/Wasser-Wärmepumpenpotenzial wird in einem von der badenovaNETZE entwickelten Wärmepumpenkataster auf der Grundlage folgender Parameter berechnet:

- Gebäudewärmebedarf auf Basis von Daten der Deutschen Gebäudetypologie
- Gebäudeheizlast ohne TWW-Bedarf zur Bemessung der Wärmepumpenleistung bei Bestandsgebäuden (bei Neubauten ab 2010 mit TWW-Bedarf berechnet)
- Schallemissionsberechnungen in Bezug auf Kennwerte ausgewählter und markttypischer Anlagen, Gebäudeabstand und kommunaler Flächennutzung sowie deren Abgleich mit den Immissionsgrenzwerten der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm)
- Bemessung der elektrischen Anschlussleistung im Auslegungsfall anhand von Kennwerten ausgewählter und markttypischer Wärmepumpen (COP inkl. E-Stabeinsatz)
- Zugrundelegung von Jahresarbeitszahlen (JAZ) anhand empirischer Daten aus öffentlich zugänglichen Studien (Günther, D. et al., 2020)

- f. Strombedarfsberechnung auf Basis des Gebäudewärmebedarfs und der Zugrunde gelegten JAZ (in Abhängigkeit vom Gebäudealter; inkl. TWW-Bedarf)
- g. Wärmepotenzialbetrachtung anhand der erreichten JAZ mit Betrag 2,9 im Jahr 2030 bei einer steigenden Gebäudesanierungsquote von bis zu 2 % ab 2028. Bei Wohngebäuden, die eine WP-Leistung von maximal 12,5 kW benötigen, soll die Eignung bereits bei JAZ 2,8 erreicht werden, was einem derzeitigen fossilen Primärenergiebedarf von 64 % der erzeugten kWh Wärme entspricht.

7.5 Grundwasserpotenziale

Folgende Annahmen wurden für die Berechnung des Grundwasserpotenzials angesetzt:

- Die Schüttungsmenge liegt bei ca. 6 bis 12 l/s.
- Die jahreszeitlich differenzierte Leistungszahl der Wärmepumpe wird für die Wärmeversorgung von Bestandsgebäuden mit mindestens 3,75 angesetzt.
- die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf des Brunnenwassers soll im Fall W10/W35 maximal 4 K betragen.

Das lokale Potenzial lässt sich nur grob über eine Berechnungsformel zum Grundwasserandrang V' in m^3/s quantifizieren.

- Es wird mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $kF = 0,002$ m/s gerechnet.
- Die Grundwasserabsenkung bei Entnahme wird mit $s = 1,5$ m angesetzt.
- Die erschlossene Mächtigkeit (hM) des Grundwasserführenden Lockergesteins soll 4 m betragen.
- Unter der Bedingung, dass das Grundwasser im gespannten Zustand vorliegt, gilt für den Leistungsbereich des Brunnens $V' = kF * hM * s = 0,002 \text{ m/s} * 4 \text{ m} * 1,5 \text{ m} = 0,012 \text{ m}^3/s = 12 \text{ l/s}$ Entnahmeleistung.

Die nachfolgende Tabelle 20 fasst das daraus ermittelte Potenzial für je einen einzelnen Brunnen übersichtlich zusammen.

Grundwasser Potenziale	Wert	Einheit
Einzelner Brunnen		
Tiefe (m)	12	m
Fördermenge	0,012	m^3/s
Temperatur	10	°C
Delta	4	K
Potenzial je Brunnen	200	kW
1 Brunnen		
Gesamtwärmeleistung bei COP 3,75	0,274	MW
Gesamtwärme bei 2.400 h/a	657,4	MWh/a

Tabelle 20 – Abschätzung des Wärmeerzeugungspotenzial aus Grundwasser

7.6 Zielszenario

Folgende THG-Emissionsfaktoren wurden für die Berechnung des Zielbilds angesetzt.

Erzeugungsart	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh)		Quelle
	2030	2040	
Strommix Deutschland	0,270	0,032	8
Photovoltaik	0,036	0,030	10
Wasserkraft	0,003	0,003	10
Biogas	0,092	0,087	10
Klärgas	0,048	0,046	10
Windkraft	0,009	0,008	10

Tabelle 21 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Strom nach Erzeugungsart für die Jahre 2030 und 2040

Energieträger	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh) im Jahr		Quelle
	2030	2040	
Erdgas	0,233	0,233	10
Heizöl	0,311	0,311	10
Braunkohle	0,473	0,473	10
Fernwärme	0,061	0,061	9
Energieholz	0,022	0,022	10
Solarthermie	0,025	0,025	10
Abwärme	0,038	0,036	10
Geothermie	0,078	0,071	10
Wasserstoff	0,081	0,040	10
Umweltwärme	0,066	0,010	10

Tabelle 22 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Wärme nach Energieträger für die Jahre 2030 und 2040

⁸ Eigene Berechnung basierend auf dem Technikkatalog für die kommunale Wärmeplanung in Baden-Württemberg von der KEA-BW (Peters, et al., 2022). Die Zielwerte für das Jahr 2040 sind im Technikkatalog noch als Wert für das Jahr 2050 notiert. Die Werte für das Jahr 2030 wurden als Mittelwert des Ist-Wertes und des Zielwertes berechnet.

⁹ Berechnung aus BICO2-BW

¹⁰ Eigene Berechnung anhand der Entwicklung des Emissionsfaktors für den deutschen Strommix

8. Glossar

Abwärme	Die bei einem wärmetechnischen Prozess entstehende, aber bei diesem nicht genutzte Wärme bezeichnet man als Abwärme. Sie ist ein Nebenprodukt eines Herstellungsprozesses.
Batterie	Ein Erzeuger, in dem elektrochemische Energie kleiner Elemente in elektrische Energie umgewandelt wird, so dass ein elektrisches Gerät auch ohne Netzanschluss betrieben werden kann.
Biomethan	Biomethan (auch Bioerdgas genannt) ist ein auf Erdgasqualität aufbereitetes Gasgemisch, welches aus Biogas gewonnen wird. Es entsteht durch die Aufbereitung von Rohbiogas mittels CO ₂ -Abscheidung und Reinigung. Das so aufbereitete Biomethan kann dann ins Erdgasnetz eingespeist werden.
Blockheizkraftwerk	Ein Blockheizkraftwerk ist eine Anlage zur Gewinnung elektrischer Energie und Wärme. Ein Verbrennungsmotor treibt einen Generator an wodurch Energie erzeugt wird. Die dabei entstehende Wärme erhitzt Wasser, dies kann wiederum genutzt werden.
Brennstoffzelle	Ein technisches Gerät, das aus Wasserstoff und (dem in der Luft enthaltenen) Sauerstoff Wasser erzeugt, wobei bei diesem Prozess nutzbare elektrische Energie in Form von Strom erzeugt wird.
CO₂-neutral	Dieser Begriff sagt aus, dass die Verwendung eines Brennstoffs oder auch eine menschliche Aktivität keinen Einfluss auf die Kohlendioxid-Konzentration der Atmosphäre hat und insofern nicht klimaschädlich ist.
Dezentrale Energieversorgung	Privathaushalte versorgen sich selbstständig mit Strom oder Wärme. Zum Beispiel durch eine Photovoltaikanlage oder eine Wärmepumpe.
Eigenverbrauch	Der Eigenverbrauch ist der Anteil, der in einer eigenen Anlage erzeugten elektrischen Energie, die selbst verbraucht wird.
Emission	Ist der Ausstoß von gasförmigen Stoffen, welche Luft, Boden und Wasser verunreinigen.
Energieholz	Altholz oder jegliches andere Holz, welches zu Hackschnitzeln oder Holzpellets verarbeitet werden, um diese wiederum in Heizungsanlagen in Energie umzuwandeln.
Energieverbrauch	Unter Energieverbrauch versteht man den Verbrauch von Energieträgern, z.B. Brenn- und Kraftstoffe, Benzin, Heizöl und Erdgas, und von elektrischer Energie.
Erdwärmesonde	Dies ist eine Sonde, welche zur Gewinnung von Erdwärme in den Boden eingelassen wird, um oberflächennahe Geothermie zu nutzen.
Erneuerbare-Energien-Gesetz	Das deutsche Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) soll den Ausbau von Energieversorgungsanlagen vorantreiben, die aus sich erneuernden (regenerativen) Quellen gespeist werden. Grundgedanke ist, dass den Betreibern der zu fördernden Anlagen über einen bestimmten Zeitraum ein festgelegter Vergütungssatz für den eingespeisten Strom gewährt wird. Dieser orientiert sich an den Erzeugungskosten der

	jeweiligen Erzeugungsart, um so einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen zu ermöglichen.
Endenergie	Endenergie ist die Energie, die vor Ort z.B. im Wohnhaus eingesetzt wird. Im Fall von Strom ist dies die Menge Strom, die über den Hausanschluss an einen Haushalt geliefert wird. Im Fall von Wärme ist es die Menge an Heizöl, Erdgas, Holz, etc., mit der die Heizung „betankt“ wird. Die Endenergie unterscheidet sich von der Nutzenergie (s.u.).
Fernwärme	Zentral erzeugte Wärme, die über ein Leitungsnetz zu den jeweiligen Gebäuden bzw. Abnehmern gebracht wird. Die Begriffe Nahwärme und Fernwärme werden in diesem Fachgutachten synonym verwendet.
Festmeter	Ein Festmeter ist ein Raummaß für Festholz und entspricht 1 m ³ fester Holzmasse.
Fossile Energie	Sind Braunkohle, Steinkohle, Erdöl usw.
Gebäudetypologie	Bei dieser Typologie wird der Wohngebäudebestand nach Baualter und Gebäudeart in Klassen eingeteilt, so dass Analysen über Energieeinsparpotenziale eines größeren Gebäudebestands möglich sind.
Geothermische Energie	Die direkte oder indirekte Nutzung von Wärme aus dem Erdreich (Erdwärme) wird als Geothermie bezeichnet. Es handelt sich um eine Form erneuerbarer Energie, die insbesondere in Form von Niedertemperaturwärme bereits heute verbreitet genutzt wird.
Heizwärmebedarf	Beziffert die Menge an Heizwärme, die ein Gebäude über einen bestimmten Zeitraum benötigt
Kilowatt	Ein Kilowatt (kW) entspricht 1.000 Watt. Dies ist die Einheit der Leistung, mit der unter anderem die Leistungsfähigkeit von Photovoltaikanlagen gemessen wird.
Kilowattstunde	Der Verbrauch elektrischer Energie wird in Kilowattstunden angegeben (Leistung über eine Zeitspanne hinweg). Eine Kilowattstunde entspricht der Nutzung von 1.000 Watt über einen Zeitraum von einer Stunde. Für eine Stunde bügeln wird etwa 1 kWh Strom benötigt.
Kohlendioxid	Kohlendioxid ist ein Gas, welches bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Kraft- und Brennstoffe entsteht. In der Regel wird nahezu der gesamte Kohlenstoffgehalt von Brennstoffen und Kraftstoffen bei der Verbrennung in Kohlendioxid umgesetzt; allenfalls kleine Anteile werden zu Ruß oder zum sehr giftigen Kohlenmonoxid.
Kraft-Wärme-Kopplung	Dies ist die gleichzeitige Gewinnung von elektrischer und thermischer Energie in einem Kraftwerk. Die thermische Energie ist dabei ein Nebenprodukt bei der Herstellung von elektrischer Energie.
Megawattstunde	Eine Megawattstunde (MWh) entspricht 1.000 kWh (s.o.)
Nahwärme	Wenn Wärme von einem zentralen Wärmeerzeuger zu Verbrauchern transportiert wird, die Entfernungen aber relativ klein sind (meist unter 1 km), spricht man von Nahwärme. Die Begriffe Nahwärme und Fernwärme werden in diesem Fachgutachten synonym verwendet.
Nutzenergie	Nutzenergie stellt die Energie dar, die unabhängig vom Energieträger vom Wärmeverbraucher genutzt werden kann. Die Nutzenergie ist also gleich der Endenergie (s.o.) abzüglich der Übertragungs- und

	Umwandlungsverluste. Hierbei spielt bspw. der Wirkungsgrad der Heizanlage eine Rolle. Die Berechnungen zum Wärmekataster und zum Sanierungspotenzial basieren auf der Nutzenergie.
oberflächennahe Geothermie	Die oberflächennahe Geothermie ist die Nutzung von Erdwärme (Geothermie) aus geringen Tiefen bis zu einigen hundert Metern.
Ökostrom	Elektrische Energie, die nachweisbar auf ökologisch vertretbare Weise aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt wird.
Pelletheizung	Eine Heizungsanlage, die mit festem Brennstoff in Pelletform betrieben wird.
Photovoltaik	Die Photovoltaik (oder Fotovoltaik) ist ein technisches Verfahren, um Energie von Licht (also eines Teils der Strahlung der Sonne) mit Hilfe von Solarzellen direkt in elektrische Energie umzuwandeln.
Power-to-Gas	Power-to-Gas ist ein Konzept, dessen zentraler Bestandteil die Erzeugung von erneuerbaren Gasen (z. B. Wasserstoff oder Methan) mit Hilfe elektrischer Energie ist.
Power-to-Heat	Power-to-Heat bedeutet die Erzeugung von Wärme aus elektrischer Energie. Der Begriff wird üblicherweise nicht für jede Erzeugung von Elektrowärme benutzt, sondern nur im Zusammenhang mit der Nutzung von zeitweise anfallenden Überschüssen an elektrischer Energie.
Primärenergieverbrauch	Der Primärenergieverbrauch, abgekürzt PEV, gibt an, wie viel Energie in einer Volkswirtschaft eingesetzt wurde, um alle Energiedienstleistungen wie zum Beispiel Produzieren, Heizen, Bewegen, elektronische Datenverarbeitung, Telekommunikation oder Beleuchten zu nutzen. Es ist also die gesamte einer Volkswirtschaft zugeführte Energie. Eingesetzte Energieträger sind bisher vor allem Heizöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle, Kernenergie, Wasserkraft und Windenergie.
Prozesswärme	Prozesswärme ist die Wärme, die für die Durchführung von bestimmten technischen Prozessen (insbesondere in der Industrie) benötigt wird.
Solarkataster	Solarkataster sind Landkarten, die aufzeigen, wie gut vorhandene Dachflächen für die Installation von Photovoltaikanlagen oder Solarthermieanlagen geeignet sind.
Solarthermie	Solarthermie bezeichnet die Gewinnung von Wärme aus der Sonneneinstrahlung mit Hilfe von Sonnenkollektoren.
Stickstoffoxide	Stickstoffoxide ist ein Sammelbegriff für zahlreiche gasförmige Stickoxide. Eine der Hauptquellen für Stickoxide in der Atmosphäre sind Abgase, die bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, z.B. Kohle oder Kraftstoff, entstehen. Der Verkehr gilt als der größte Verursacher von NO _x -Emissionen.
Strommix	Der Strommix beschreibt die Kombination verschiedener Energiequellen, die für die Erzeugung von Strom eingesetzt werden. Derzeit werden deutschlandweit überwiegend fossil befeuerte Kraftwerke (Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Heizöl) sowie Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke, Windkraft-, Biogas- und Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung eingesetzt.

Technisches Potenzial	Das technische Potenzial ist der Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist.
Über Normal Null	Dabei handelt es sich in der Geodäsie um die Bezeichnung für eine bestimmte Niveaufläche, die in einem Land als einheitliche Bezugsfläche bei der Ermittlung der Erdoberfläche vom mittleren Meeresniveau dient. Das Normalnull in Deutschland repräsentiert das Mittelwasser der Nordsee, „0 m ü. NN.“ ist also gleichbedeutend mit „mittlerer Meereshöhe“.
Umgebungswärme	Energie, die sich durch tägliche Sonneneinstrahlung und den Wärmefluss im Erdinneren, natürlicherweise in der Umwelt, befindet. Sie wird zum Beispiel in Flüssen, Seen sowie in der Luft oder dem Erdreich gespeichert. Sie wird zum Teil als erneuerbare Energiequelle genutzt.
Volatilität	Die Anfälligkeit eines bestimmten Gutes für Schwankungen. In der Energiebranche spricht man von Volatilität der erneuerbaren Energien, da die Stromerzeugung aus bestimmten erneuerbaren Energien witterungsbedingt sowie Jahres- und tageszeitlich bedingt Schwankungen unterworfen ist.
Wärmebedarf	Ist der Bedarf der Wärme welches ein Haus verbraucht.
Wärmebrücke	Bezeichnung für eine Stelle in der Bausubstanz, die mehr Wärme ableitet als ihre umgebenden Flächen.
Wärmekataster	Ein Wärmekataster gibt Auskunft über den Wärmebedarf von Gebäuden und die Lage der Wärmequellen und -verbraucher in einer Kommune. Es kann als Grundlage für die Auslegung eines Nahwärmenetzes verwendet werden.
Wärmeschutzverordnung	Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden seit 1983. Durch die folgenden Novellierungen und verschärften gesetzlichen Anforderungen wird das Gebäude immer mehr als ein „Gesamtsystem“ mit ganzheitlichen Planungen begriffen.
Wirtschaftliches Potenzial	Das wirtschaftliche Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, den man erhält, wenn die Gesamtkosten (Investition, Betrieb und Entsorgung einer Anlage) für die Energieumwandlung einer erneuerbaren Energiequelle berechnet und in der gleichen Bandbreite liegen wie die Gesamtkosten konkurrierender Systeme.

9. Literaturverzeichnis

AG Energiebilanzen e. V. (AGEB), 2022. *Stromerzeugung nach Energieträgern (Strommix) von 1990 bis 2022 (in TWh) Deutschland insgesamt.* [Online]
Available at: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/09/STRERZ22_Abgabe-12-2022_inkl-Rev-EE.pdf

Agentur für erneuerbare Energien, 2017. *INDUSTRIELLER WÄRMEBEDARF NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN.* [Online].

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019. *Energieeffizienz in Zahlen Entwicklungen und Trends in Deutschland 2019*, Berlin: s.n.

Busch, M., Botzenhart, F., Hamacher, T. & Zölitz, R., 2010. GIS-gestützte Abbildung der Wärmenachfrage auf kommunaler Ebene am Beispiel der Gemeinde Greifswald mit besonderem Blick auf die Fernwärme. In *gis.SCIENCE*, 3/2010 S. 117-125.

Christ, O. & Mitsdoerffer, R., 2008. *Regenerative Energie nutzen - Wärmequelle Abwasser. WWT - Wasserwirtschaft Wassertechnik (05/2008): M6 - M12.* [Online].

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), 2005. *Energie aus Abwasser - Leitfaden für Ingenieure und Planer*, Bern/Osnabrück.: s.n.

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena), 2023. *Thermische Energiespeicher für Quartiere - Aktualisierung, Überblick zu Rahmenbedingungen,* [Online]
Available at: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/Thermische_Energiespeicher_fuer_Quartiere_-_Aktualisierung.pdf
[Zugriff am März 2023].

Deutsche Energie-Agentur GmbH, 2022. *Erneuerbare Energien integrieren – Versorgungssicherheit gewährleisten.* [Online]
Available at: <https://www.dena.de/themen-projekte/energiesysteme/flexibilitaet-und-speicher/>
[Zugriff am 28 Februar 2023].

Dr. Sara Fritz, D. M. P. i., 2018. *Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende*, Heidelberg: ifeu.

Europäisches Parlament, 2022. *Was versteht man unter Klimaneutralität und wie kann diese bis 2050 erreicht werden?.* [Online]
Available at: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20190926STO62270/was-versteht-man-unter-klimaneutralitaet>
[Zugriff am 27 01 2023].

Fraunhofer ISI, Consentec GmbH, ifeu, 2017. *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland. Module 0-3*, Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Günther, D. et al., 2020. *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden, Version 2.1*, Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

Hamacher, T. & Hausladen, G., 2011. *Leitfaden Energienutzungsplan*, s.l.: s.n.

INSTITUT FÜR ENERGIE UND UMWELTFORSCHUNG (IFEU), 2012. *Pilotphase zum kommunalen Energie- und CO₂-Bilanzierungstool BICO₂ BW: Endbericht. Heidelberg.* [Online].

Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH (IFEU), 2024. *BICO2 BW: Version 3.1*. Heidelberg: s.n.

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (IWU), 2005. *Deutsche Gebäudetypologie - Systematik und Datensätze*, Darmstadt, Darmstadt: s.n.

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU (LGRB) IM REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG, 2022. *Bohrdatenbank: Thematische Suche von Aufschlussdaten*, s.l.: s.n.

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE, ROHSTOFFE UND BERGBAU (LGRB) IM REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG, 2022. *Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (I-SONG)*, s.l.: s.n.

Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), 2020. *Energieatlas - Ermitteltes Wasserkraftpotenzial*. [Online]

Available at: <https://www.energieatlas-bw.de/wasser/ermitteltes-wasserkraftpotenzial>

Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), 2020. *Windenergie in Baden-Württemberg*. [Online]

Available at: <https://www.energieatlas-bw.de/wind/anlagen-und-potenziale>

Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), 2023. *Solarenergie in Baden-Württemberg*. [Online]

Available at: <https://www.energieatlas-bw.de/sonne>

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW), 2020. *Freiflächen*. [Online]

Available at: <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/freiflaechen>

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022. *Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2021*. Stuttgart.. [Online]

Available at: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Erneuerbare-Energien-2021-barrierefrei.pdf

Ministerium für Umwelt, K. u. E. B.-W., 2018. *Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden (LQS EWS)*. [Online]

Available at: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/geothermie/lqs-ews>

Miocic, J. M. & Krecher, M., 2022. *Estimation of shallow geothermal potential to meet heating building demand on a regional scale*, s.l.: Renewable Energy, 185, 629-640.

Nitsch, J. & Magosch, M., 2021. *Plattform Erneuerbare Energien - BADEN-WÜRTTEMBERG KLIMANEUTRAL 2040*. [Online]

Available at: https://erneuerbare-bw.de/fileadmin/user_upload/pee/Startseite/Magazin/Projekt/PDF/20211027_Studie_EE-Ausbau_fuer_klimaneutrales_BW.pdf

[Zugriff am 28 Februar 2023].

Peters, D. M. et al., 2022. *Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg*. Stuttgart: Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH.

Powerloop, K. L. -, 2020. *Wärme-Kraft-Kopplung - Der Schlüssel für eine sichere, saubere und bezahlbare Energiezukunft*. [Online]

Available at: <https://powerloop.ch/wp-content/uploads/2020/07/POWERLOOP-Standardpr%C3%A4sentation-v20200703c-1.pdf>

[Zugriff am 27 Februar 2023].

Purr, K., Günther, J., Lehmann, H. & Nuss, P., 2019. *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie, 36/2019*, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Rehmann, F., Streblow, R. & Müller, D., 2022. *KURZFRISTIG UMZUSETZENDE MAßNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON GEBÄUDEN UND QUARTIEREN*, *Whitepaper*, Berlin: s.n.

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (STALA BW), 2022. *Struktur- und Regionaldatenbank*. [Online]
Available at: <https://www.statistik-bw.de/SRDB/?E=GS>
[Zugriff am 2022].

Sterner, M. & Stadler, I., 2014. *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

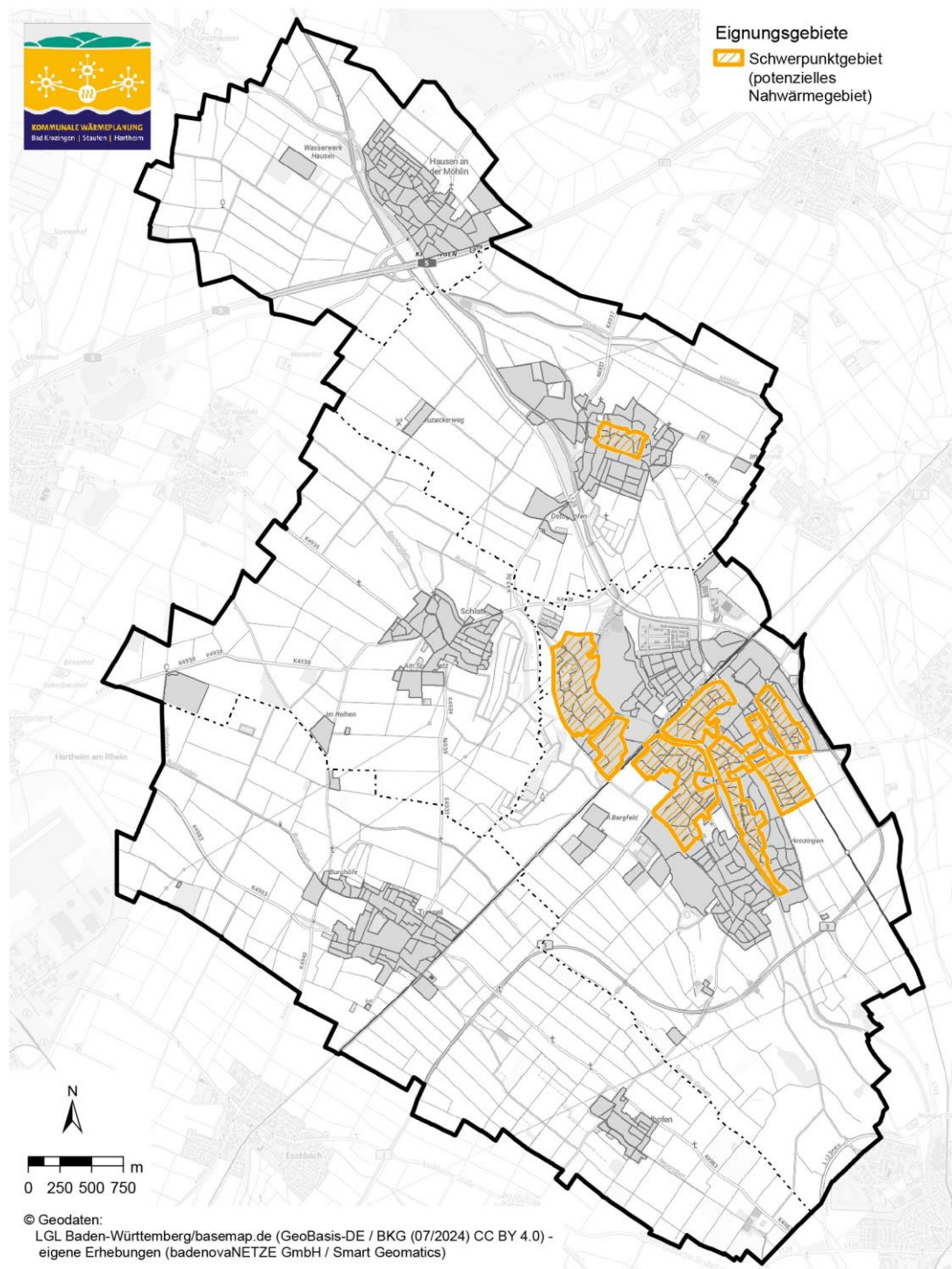
Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), 2017. *Erdgasinfrastruktur in der Zukunft: Darauf können wir aufbauen*, Berlin: VKU Verlag GmbH.

WBGU, 2011. *Welt im Wandel - Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*, Berlin: WBGU.

10. Anhang

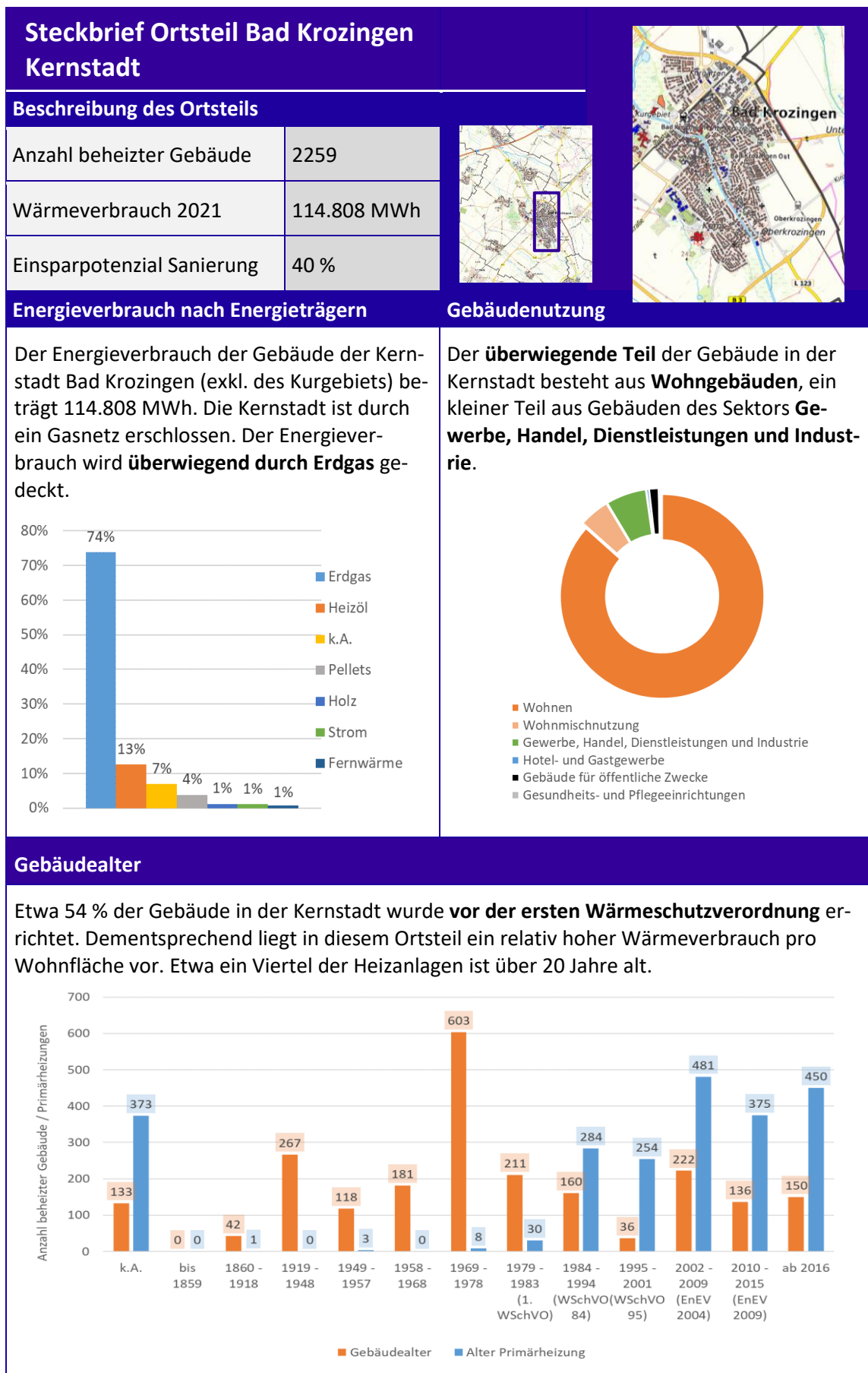
10.1 Steckbriefe der Fernwärme-Eignungsgebiete und für die dezentrale Wärmeversorgung

Zur Übersicht stellt die Karte 16 nochmals die Fernwärme-Eignungsgebiete dar, die in der kommunalen Wärmeplanung auf Grundlage aller vorhandenen Daten ausgewiesen wurden.



Karte 16 - Fernwärme-Eignungsgebiete der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Bad Krozingen (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2024)

10.1.1 Steckbrief Krozingen



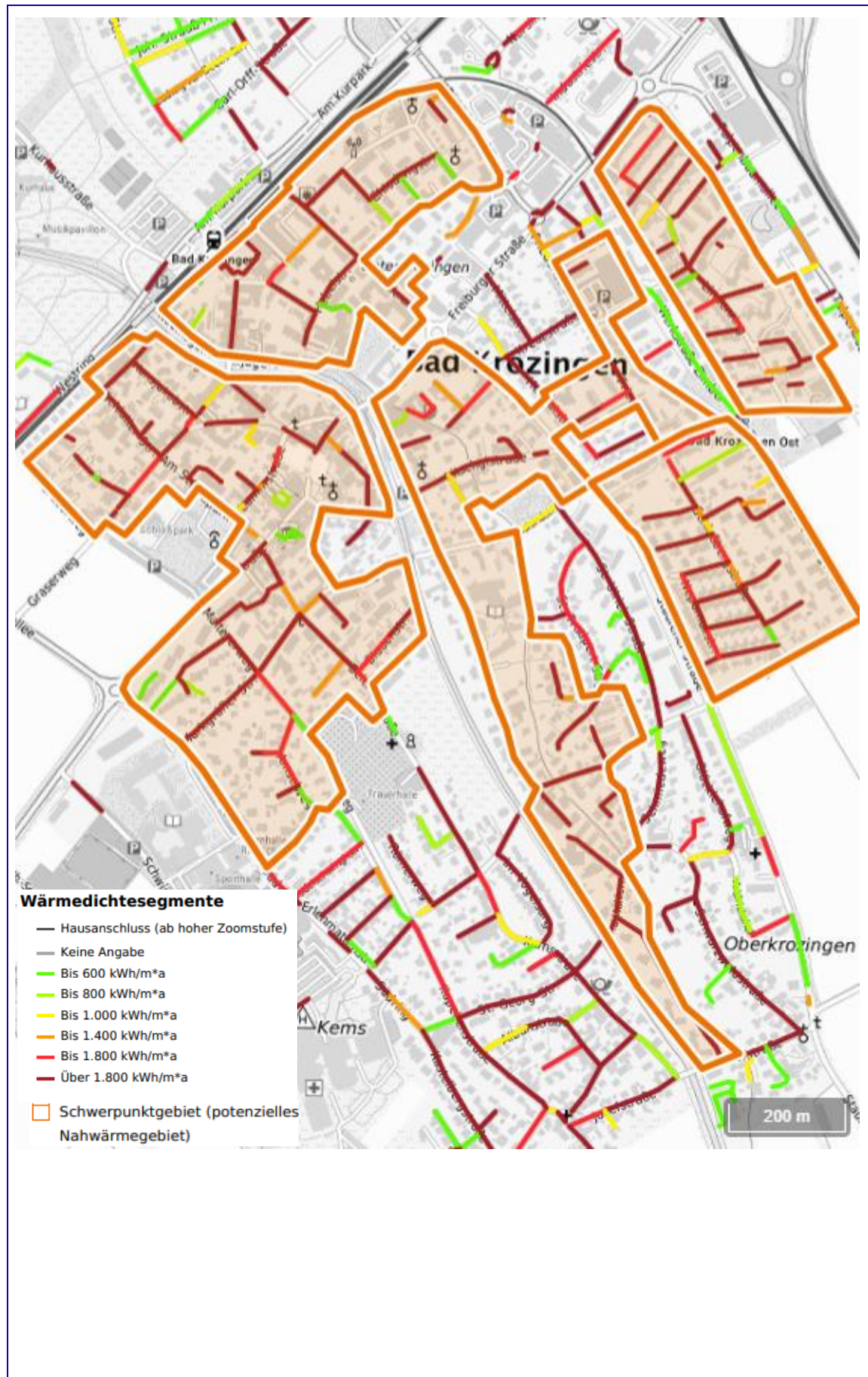
Eignungsgebiete in Bad Krozingen

Zentrale Wärmeversorgung (Übersicht):

In der Kernstadt ist größtenteils eine dichte Bebauung vorzufinden, wodurch die Wärmedichte in den Straßenzügen hoch ausfällt. Daher eignet sich die Kernstadt überwiegend für Wärmenetze. Zudem sind dezentrale Lösungen aufgrund von Abstandsregeln bzw. Schallschutzbestimmungen, nur bedingt möglich. Vor allem durch das Geothermieprojekt „Erdwärme-Breisgau“, aber auch durch andere erneuerbare Potenziale, kann der Bedarf gedeckt werden.

Nicht jedes Eignungsgebiet braucht eine eigene Wärmezentrale. Die Versorgung wird üblicherweise in einem Verbund der Eignungsgebiete hergestellt. Grundsätzlich ist vieles davon abhängig, ob und welche Gebiete mit Geothermie versorgt werden können. Wenn diese nicht zur Verfügung steht, müssen mehrere Wärmezentralen nach technischer Notwendigkeit über das Gebiet verteilt werden. Entweder auf Freiflächen oder in zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten.

Die Gebiete wurden in dieser Auswertung großflächig ausgewählt. Basierend auf dieser Auswertung müssen in einem nächsten Schritt die Fernwärme-Gebiete genau eingegrenzt werden.



Zentrales Eignungsgebiet „Bad Krozingen Süd“:



Das zentrale Gebiet „Bad Krozingen Süd“ umfasst das Gebiet angrenzend zum Schulzentrum Bad Krozingen im Süden und dem Innenstadtbereich rund um das Rathaus. Hier findet sich eine sehr hohe Wärmedichte wieder. Bei den Gebäuden handelt es sich zum größten Teil um größere (Wohn-) Gebäude. Aber auch viele öffentliche Liegenschaften liegen in diesem Gebiet. Wärmepumpen kommen auf Grund des hohen Wärmebedarfs und wegen der Lärmemissionen durch die Außeneinheiten bei vielen Gebäuden im Zentrum nicht in Frage. Im an das Gebiet angrenzende Schwimmbad „Aquarado“ befindet sich eine Bestandsanlage der Wärmegesellschaft badenovaWÄRMEPLUS, welche das kommunale Schwimmbad sowie das Schulzentrum durch ein kleines Wärmenetz versorgt. Diese Heizzentrale kann zwar keine weiteren Wärmeabnehmer versorgen, es ist jedoch vorstellbar, dass auf diesen kommunalen Grundstücken eine weitere Heizzentrale entstehen kann.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 19.377 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 376

Zentrales Eignungsgebiet Innenstadt/Bahnhof

Das Eignungsgebiet „Innenstadt/Bahnhof“ weist um den Bahnhof Bad Krozingen hohe bis sehr hohe Wärmedichten auf. Durch verschiedene Pflege- und Gesundheitszentren sowie durch mehrere Wohn- und Geschäftskomplexe, gibt es eine Vielzahl größerer Wärmeabnehmer, welche ein Wärmenetz zu einer sinnvollen Versorgungsoption werden lassen. Auch die großen Mehrfamilienhäuser, die sich in dem Gebiet befinden, könnten an ein Wärmenetz angeschlossen werden.



Eine zentrale Frage wird der Standort für eine zukünftige Heizzentrale sein, da hier durch die Begrenzung im Süden durch den Fluss Neumagen sowie im Westen durch die Bahngleise

keine Freiflächen angrenzen. Bei einer weiteren Untersuchung müsste somit geprüft werden, ob eine Zentrale auf dem Bahnhofsgelände oder in einem der Gewerbegebäude möglich ist. Durch einen Netzzusammenschluss oder eine Versorgung durch Geothermie würde sich diese Engstelle ggf. umgehen lassen.

Im südlichen Teil dieses zentralen Gebiets ist ein Umstieg auf Wärmepumpen für viele Gebäude nicht oder nur schwierig darstellbar. Im nördlichen Teil (nördlich der Staufener Straße) hingegen wäre auch diese Versorgungsmöglichkeit für viele Gebäude eine Option.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 10.365 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 152

Zentrales Eignungsgebiet Bad Krozingen Nord



Das Eignungsgebiet Bad Krozingen Nord ist flächenmäßig das größte Eignungsgebiet auf der Gemarkung der Stadt. Hier werden flächendeckend hohe Wärmedichten erreicht. Im Zentrum dieses Eignungsgebiets steht die Johann-Heinrich-von-Landeck Schule, hier sollte bei einer Erschließung des Gebiets geprüft werden, ob sie dieses Grundstück gegebenenfalls als Heizzentralenstandort eignet.

Im südlichen Teil des Wohngebiets, entlang des Neumagens, führen mehrere Mehrfamilienhäuser und eine dichte Bebauung zu einer durchgängig hohen Wärmedichte von größtenteils über 1,8 MWh/m. Durch den höheren Anteil an gewerblicher Nutzung im nördlichen Teil des Gebiets ist auch hier eine hohe Wärmedichte zu verzeichnen. Durch die hier teilweise vorzufindende Reihenhausstruktur sind wären gegebenenfalls nicht alle Häuser durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe zu versorgen (Schallemissionen).

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 13.992 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 244

Zentrales Eignungsgebiet „Bahnhof Ost“

Das Gebiet „Bahnhof Ost“ zeichnet sich vor allem durch eine dichte Reihenhausbauung sowie Mehrfamilienhäuser aus, welche trotz kleinräumiger Bebauung eine hohe Wärmedichte verursachen. Eine Versorgung durch Luft-Wasser-Wärmepumpen gestaltet sich auf Grund der zu erwartenden Überschreitung der Schallemissionen schwierig. Auch Holzkessel wären bei vermehrtem Einsatz aufgrund der zu erwartenden Luftbelastung und der benötigten Pelletlager problematisch. Aus diesem Grund wurde das Gebiet als ein zentrales Eignungsgebiet ausgewiesen.

Diese kleinräumige Bebauung stellt jedoch auch für die Erschließung mit einem Wärmenetz eine technische und wirtschaftliche Herausforderung dar.



Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 6.384 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 141

Zentrales Eignungsgebiet Parksiedlung



Das Eignungsgebiet Parksiedlung besteht hauptsächlich aus Reihenhäusern sowie großen Mehrfamilienhäusern im Zentrum. Die sich dadurch ergebende hohe Bebauungsdichte des Gebiets führt zu einer durchgängig hohen Wärmedichte von größtenteils über 1,8 MWh/m. Dies spricht für eine Erschließung mit einem Wärmenetz. Die kleinräumige Bebauungsstruktur macht eine Erschließung aber auch aufwendiger, da viele einzelne Hausanschlüsse bedient werden müssen.

Sofern eine zentrale Versorgungsstruktur für das angrenzende Bebauungsplangebiet „Richtbergareal“ geplant wird, sollte untersucht werden, ob die Parksiedlung oder ein Teil davon hierüber mitversorgt werden könnte.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 6.174 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 188

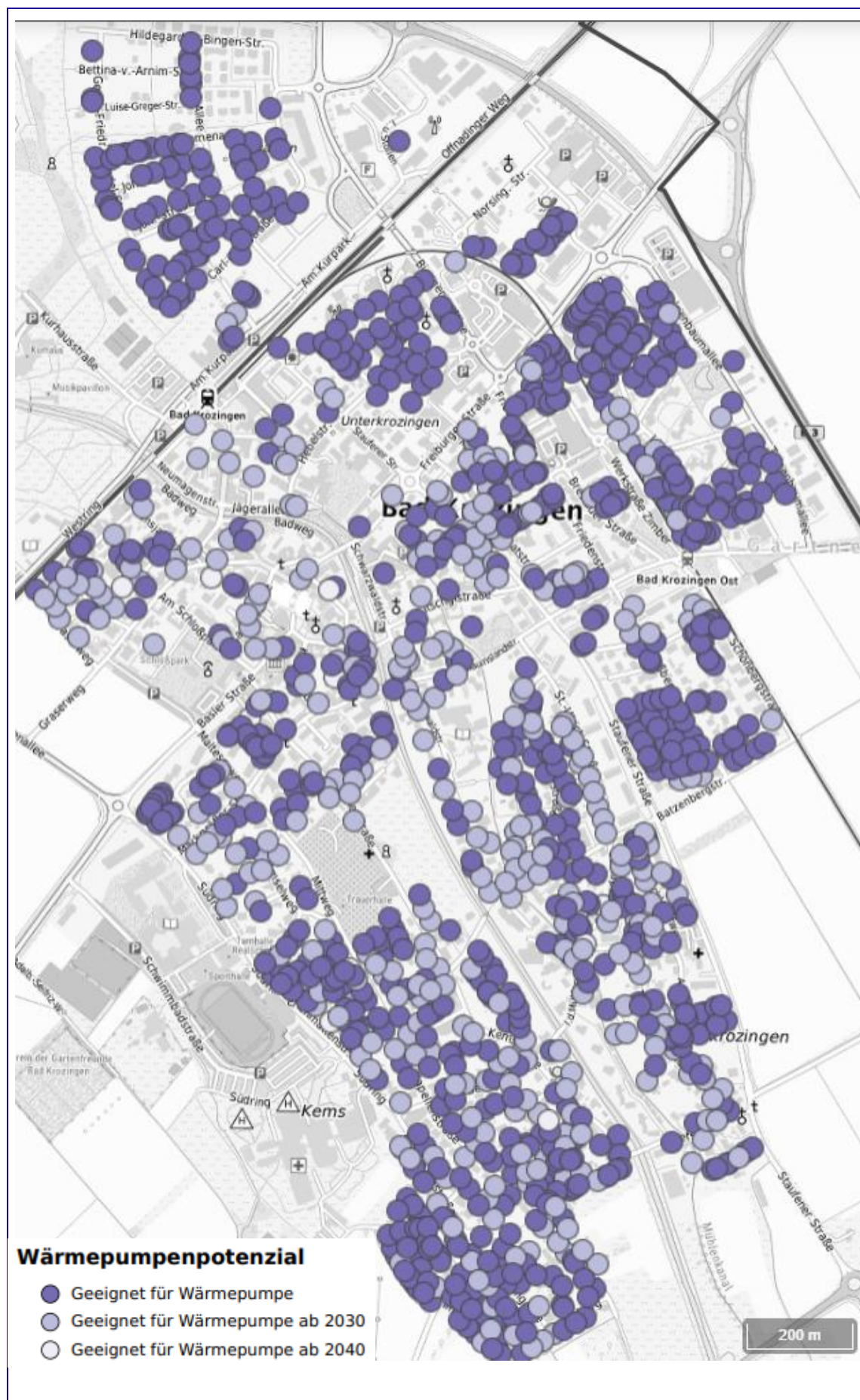
Dezentrale Wärmeversorgung:

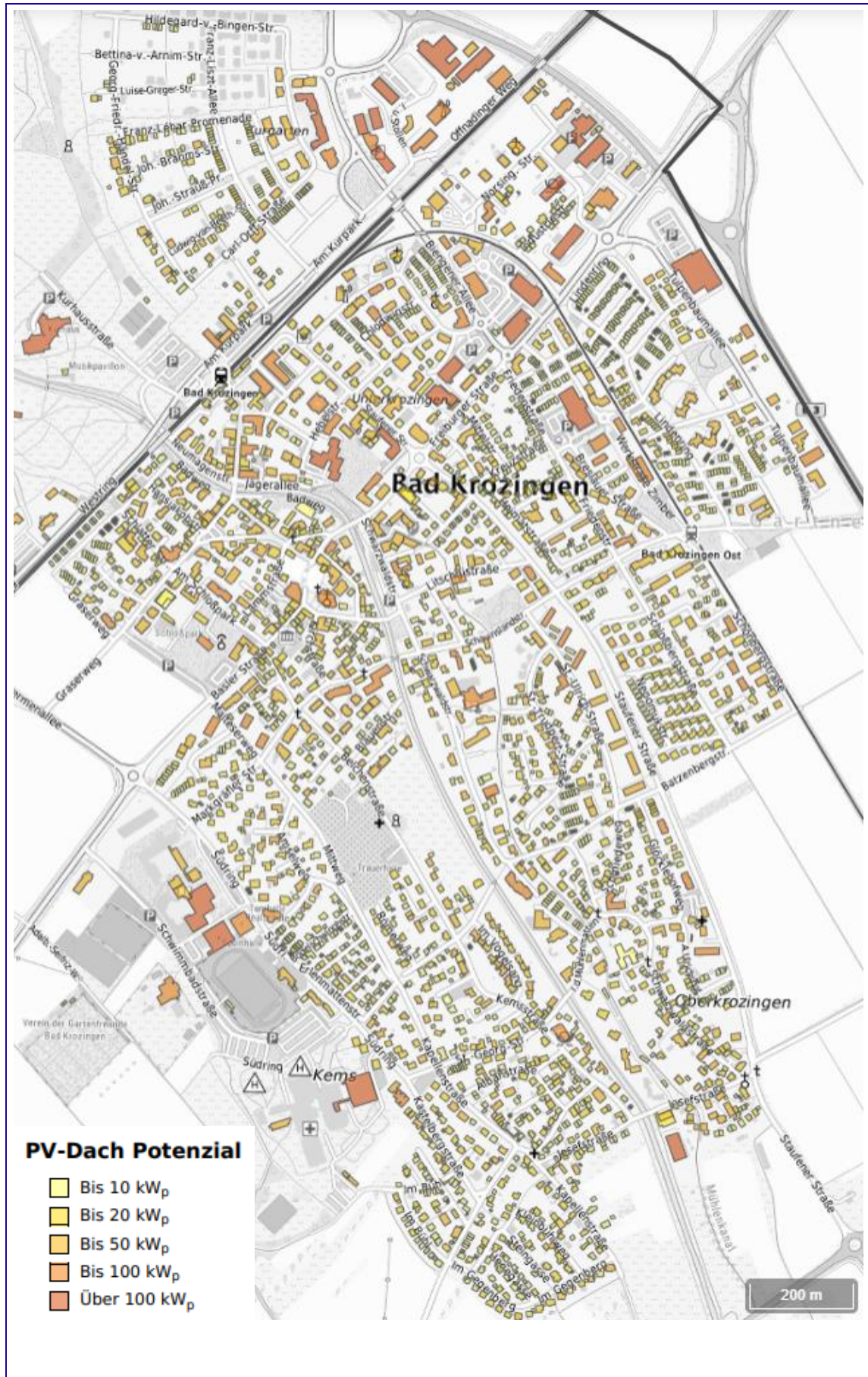
In Bad Krozingen variieren die Wärmedichten relativ stark. Dies führt u.a. zu einer unterschiedlichen Bewertung der Gebäude innerhalb Bad Krozingens. Vor allem im Südosten der Stadt befinden sich viele Einfamilien- und kleinere Mehrfamilienhäuser, die sich gut für eine Luftwärmepumpe und eine PV-Nutzung eignen. Innerhalb Bad Krozingens wurden vor allem jene Gebiete als dezentrale Gebiete ausgewiesen, deren Wärmedichte zu gering war, oder die perspektivische Eignung für eine Wärmepumpe vorhanden war.

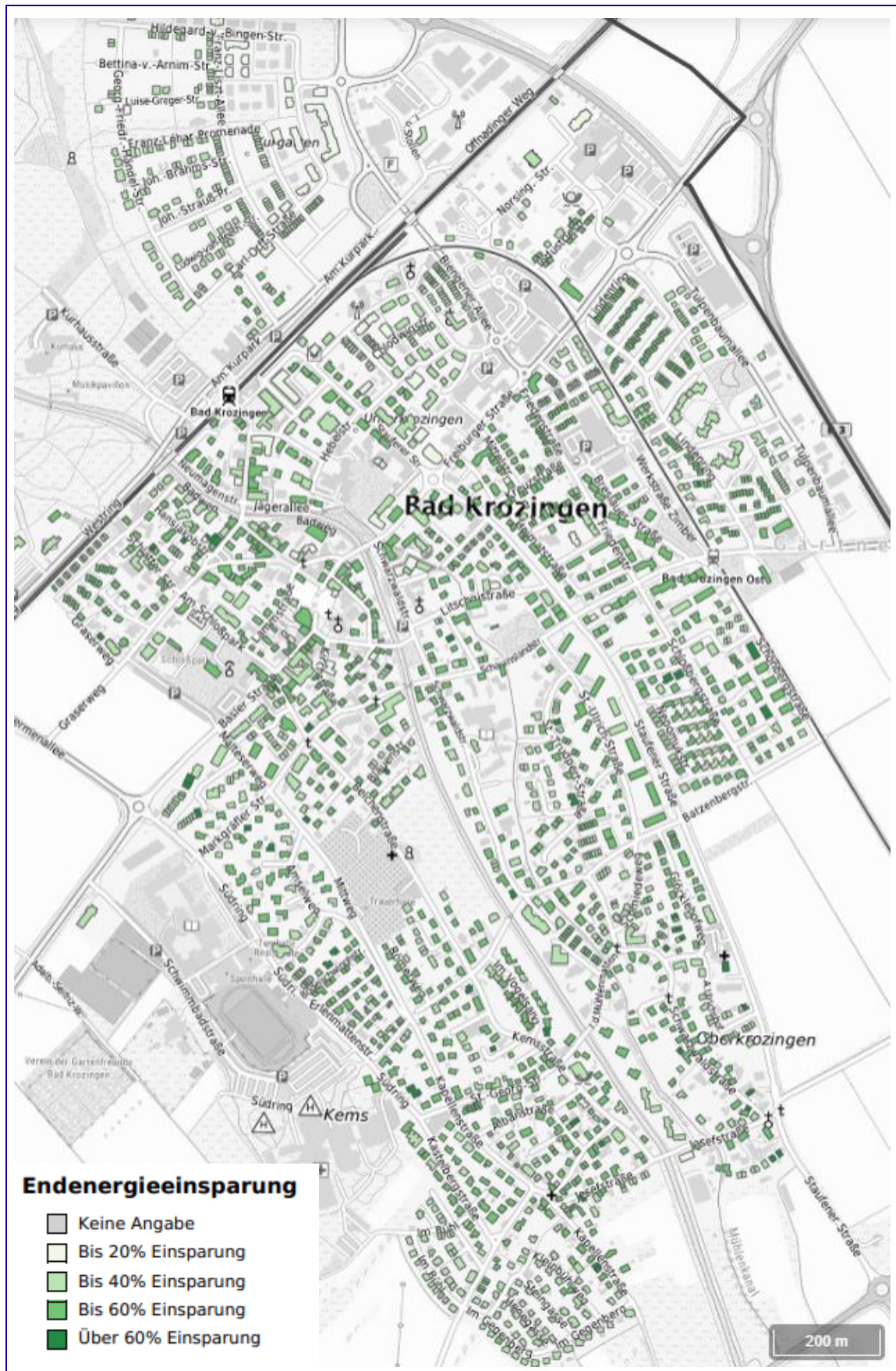
Die im Randbereich der Kernstadt befindlichen Gewerbebetriebe wurden in einem dezentralen Gebiet verortet. Gerade in Gewerbegebieten gilt die Einzelfallprüfung. Es gilt zu untersuchen, ob der Wärmeverbrauch, die Größe und die Nutzung des Gebäudes und auch die benötigten Leitungsmeter eine zentrale Lösung ermöglichen bzw. ob diese wirtschaftlich abbildbar ist.

In neueren bzw. weniger eng bebauten Siedlungen ist die Wärmedichte aufgrund des höheren Energiestandards und der größeren Fläche nicht ausreichend für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes. In diesen Gebieten können dezentrale Lösungen wie Wärmepumpen in Verbindung mit PV-Dachanlagen oder Biomasseheizungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung eingesetzt werden. Gerade die südlich gelegenen Randbereiche der Kernstadt weisen in Bad Krozingen eine geringere Wärmedichte auf, oder die Gebäude eignen sich auf Grund des Platzes und den Gebäudekriterien für eine Wärmepumpe. Diese Gebiete wurden daher als dezentrale Gebiete ausgewiesen.

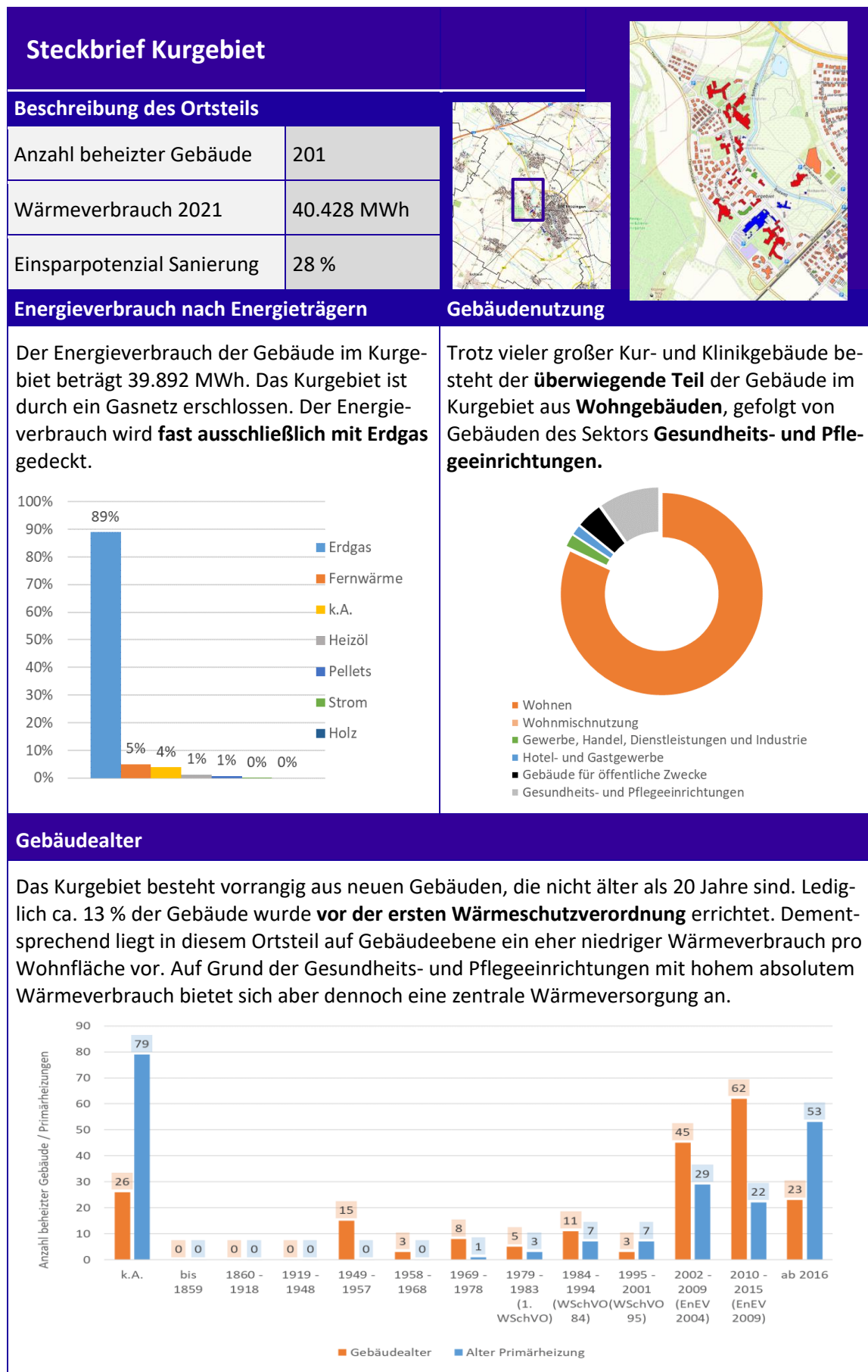
Die untenstehenden Karten zeigen das Wärmepumpenpotenzial der Kernstadt sowie das Sanierungs- und PV-Potenzial auf Gebäudeebene.





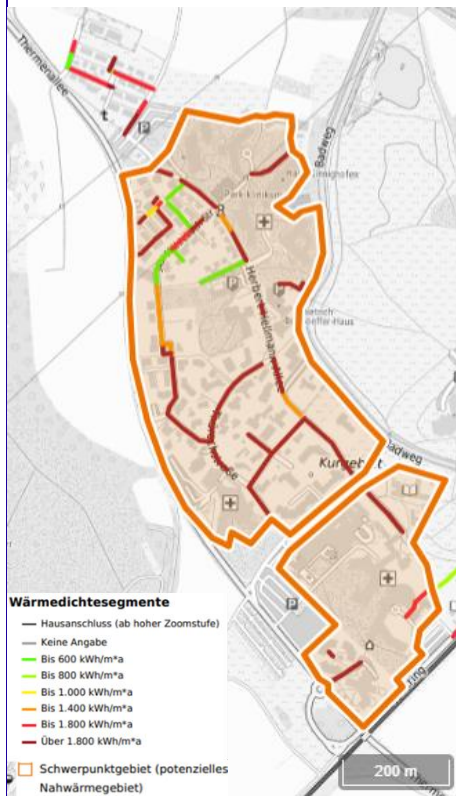


10.1.2 Steckbrief Kurgebiet



Eignungsgebiete im Kurgebiet

Zentrale Wärmeversorgung :



Das Kurgebiet wurde insgesamt als geeignet für eine zentrale Wärmeversorgung ausgewiesen. Aufgrund der zahlreichen Kur- und Klinikbetriebe, welche teilweise einen sehr hohen Wärmebedarf aufweisen, ist die Wärmedichte gesamten Gebiet hoch.

Es besteht bereits ein Wärmenetz, welches einzelne Gebäude der Kur & Bäder GmbH Bad Krozingen über Blockheizkraftwerke sowie eine Solarthermianlage versorgt.

Als Wärmequelle kommt für ein großräumiges zentrales Wärmenetz unter anderem das Geothermieprojekt „Erdwärme-Breisgau“ in Frage. Dieses könnte bei einer erfolgreichen Erschließung einen Großteil der Grundlast decken. Insgesamt ist aufgrund der Vielzahl an Kur- und Klinikbetrieben die Bedeutung der Wirtschaftlichkeit und Planungssicherheit ein großer Faktor und muss im Rahmen einer Machbarkeitsstudie im Detail geklärt werden.

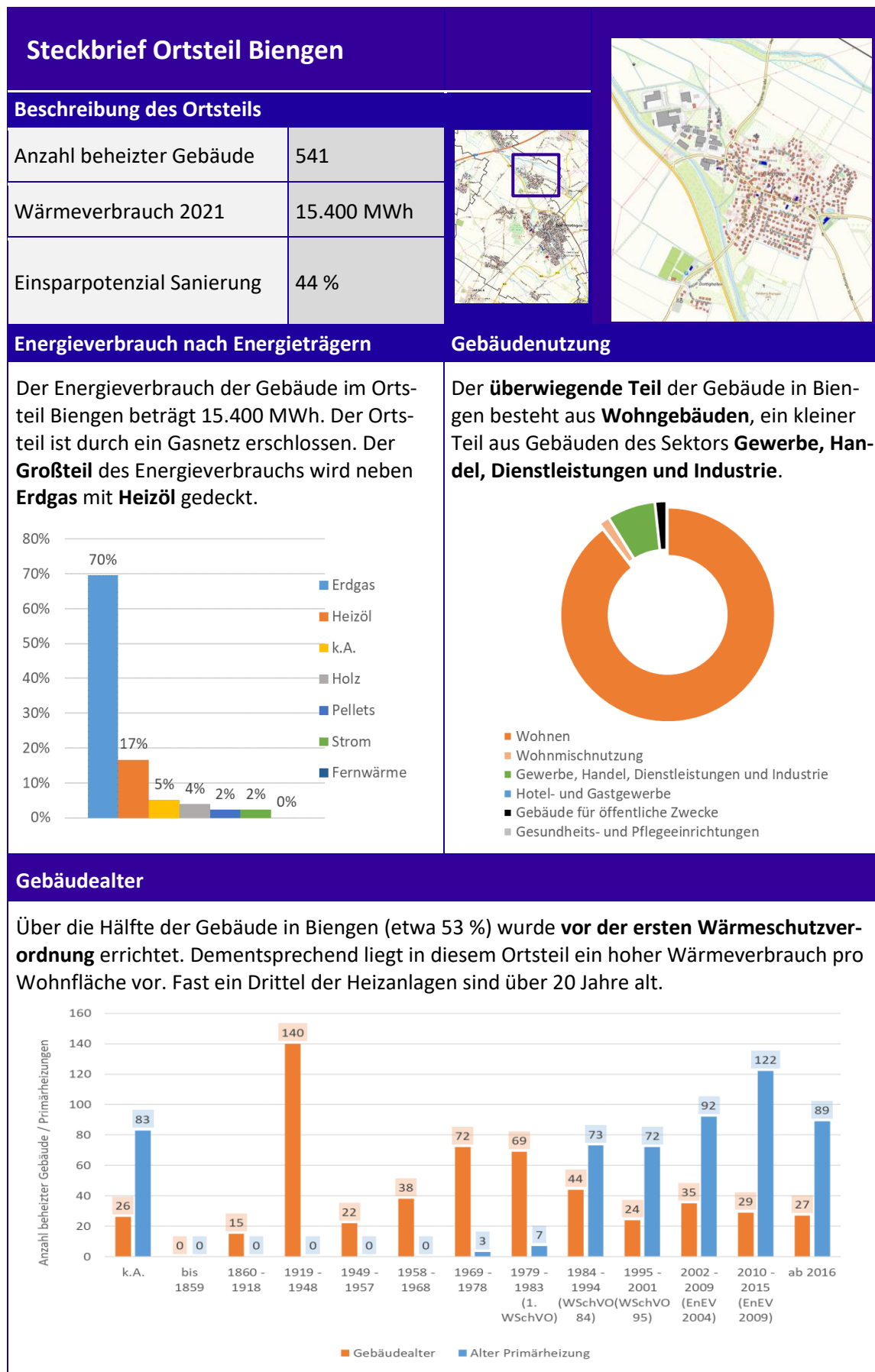
Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 38.212 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 165

Dezentrale Wärmeversorgung:

Das Kurgebiet wäre insgesamt für eine zentrale Wärmeversorgung geeignet. Die in dem Gebiet ebenfalls vorzufindende Wohnbebauung lässt sich alternativ jedoch auch über dezentrale Heizungslösungen versorgen.

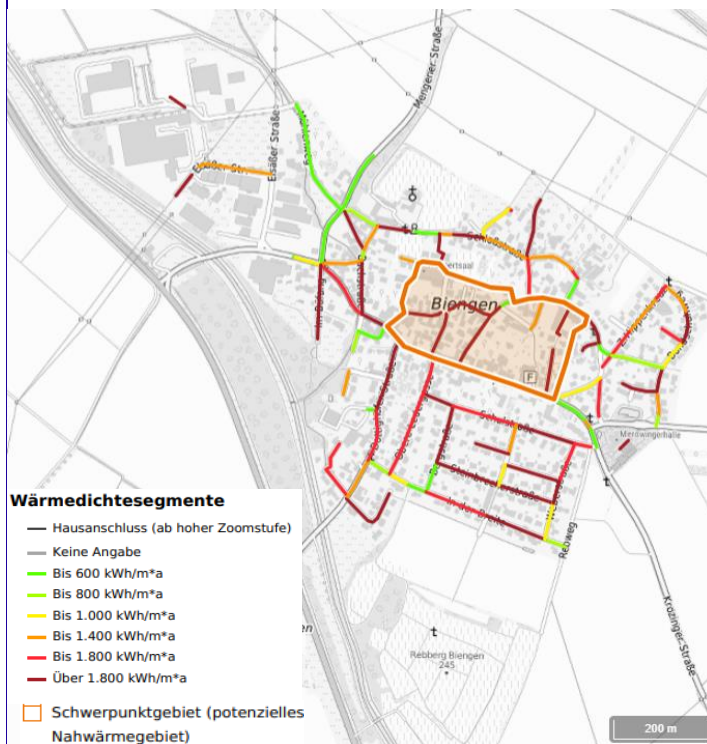
10.1.3 Steckbrief Biengen



Eignungsgebiete in Biengen

Zentrale Wärmeversorgung:

Auf der Gemarkung Biengen liegt ebenfalls ein Eignungsgebiet für eine potenzielle Fernwärmeversorgung. Die Wärmedichte je Trassenmeter begünstigt einen wirtschaftlichen Betrieb des Wärmenetzes gegenüber einer dezentralen Eigenversorgung, wenn dessen Wert über 1,5 MWh/m liegt. Dies ist im Eignungsgebiet knapp der Fall. Ein zukünftiges Netz muss über einen entsprechend erneuerbaren Energieträgermix, welcher verschiedene Last- und Temperaturniveaus abdeckt, versorgt werden.



Im angrenzenden Gewerbegebiet sind theoretisch Abwärmepotenziale zu erwarten. Daten dazu waren zum Zeitpunkt der Erstellung dieser kommunalen Wärmeplanung nicht verfügbar. Im Rahmen einer weitergehenden Betrachtung des Eignungsgebietes, sollte dieses Potenzial jedoch noch einmal abgefragt und untersucht werden.

Im Rahmen des Neubaus einer weiteren Bahntrasse (voraussichtlich 2038 – 2042) wird die Notwendigkeit bestehen, ca. zwei Jahre zuvor ein neues Abwasser-Pumpwerk zu bauen. Das Pumpwerk, mit einer Kapazität von 150 l/s, wird südwestlich des

Gewerbegebiets errichtet werden. Damit wäre es unter Umständen dazu geeignet, einen Beitrag zur Versorgung des Wärmetzeignungsgebiets zu leisten. Aufgrund des angestrebten Zeitraums wird diese Option der Wärmegewinnung an dieser Stelle nicht weiter vertieft, aber es wird empfohlen, bei einer Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans weitergehend zu betrachten.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 2.675 MWh/a

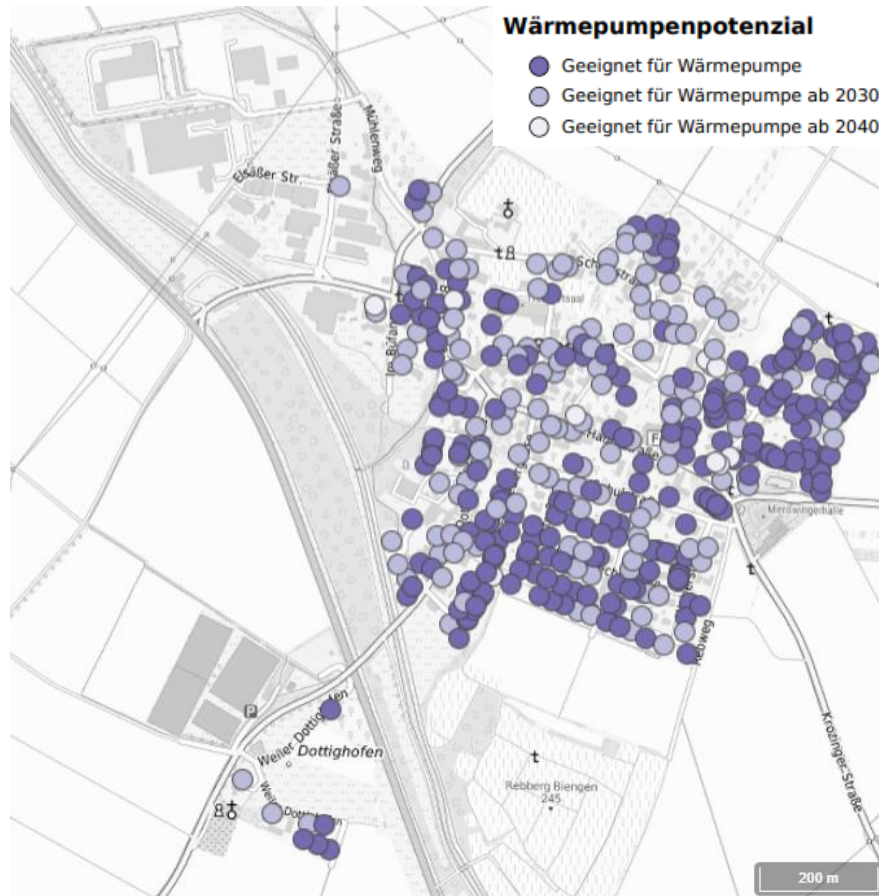
Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 96

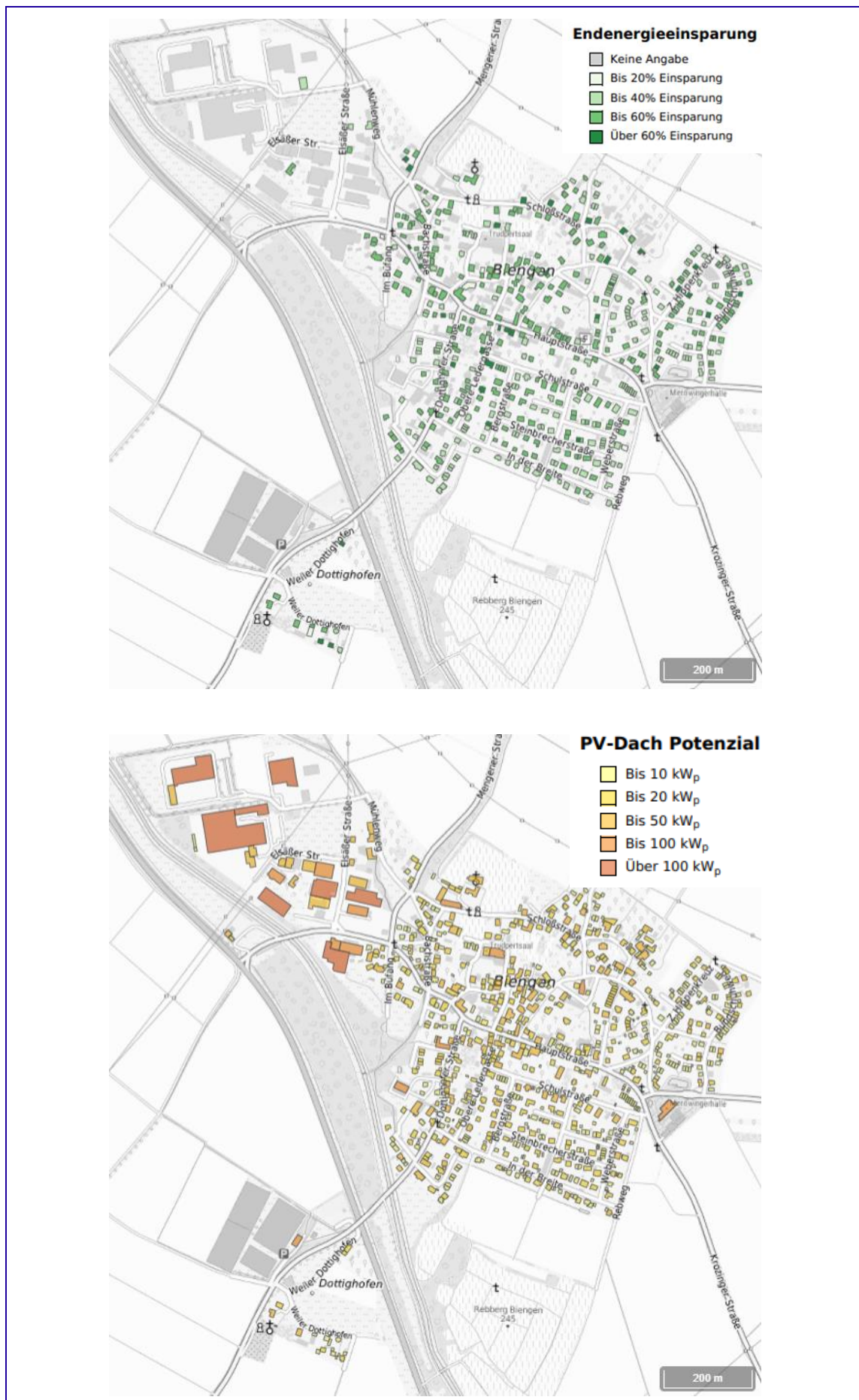
Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte und der heterogenen Gebäude- und Heizungsalterstruktur wird in den Randbereichen Biengens, insbesondere im südlichen Teil, eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von

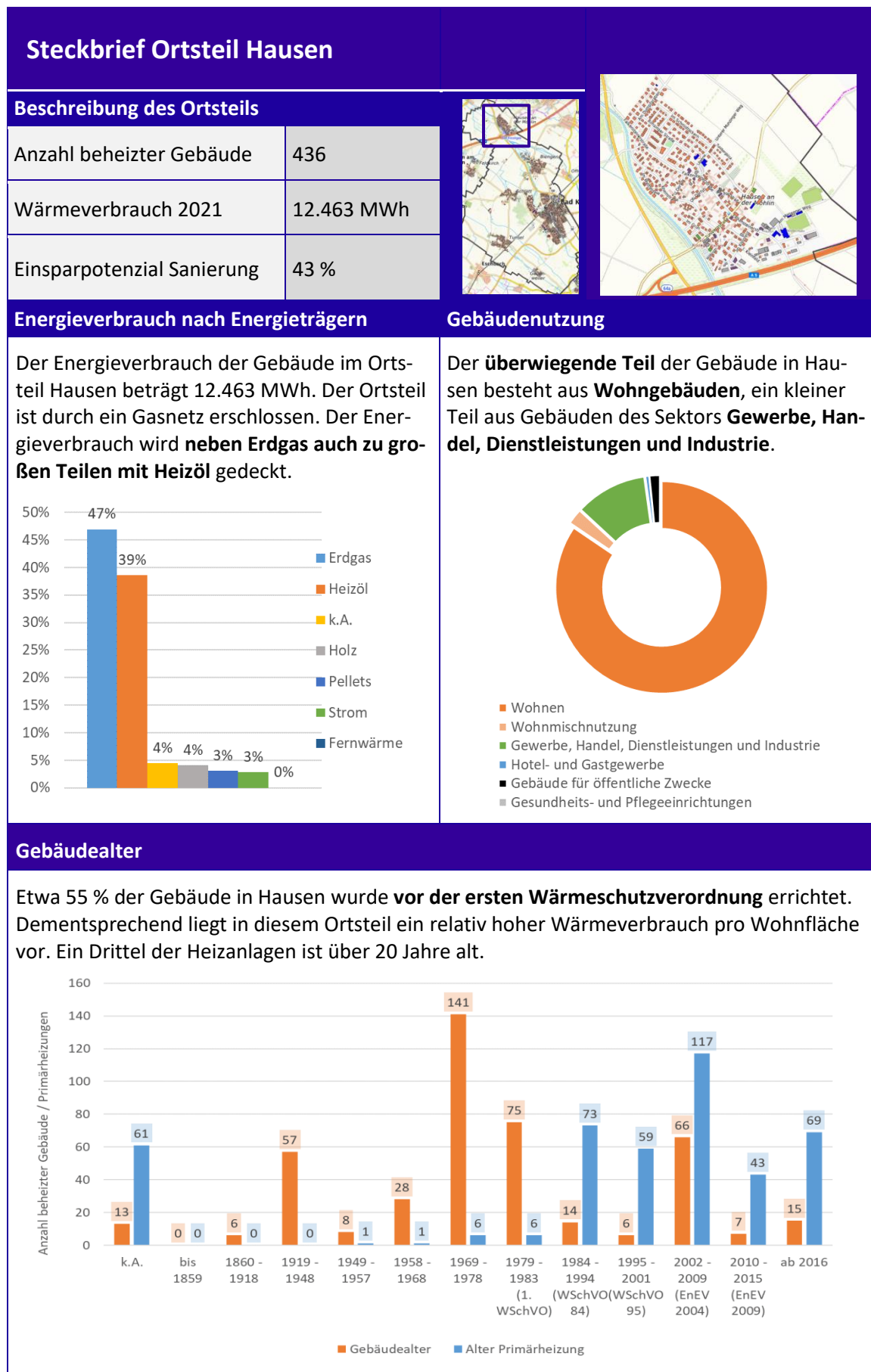
Gebäudesanierung erzielt werden. Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden und Luft-Wasser-Wärmepumpen.

Die untenstehenden Karten zeigen das Wärmepumpenpotenzial von Biengen sowie das Sanierungs- und PV-Potenzial auf Gebäudeebene.





10.1.4 Steckbrief Hausen



Eignungsgebiete in Hausen

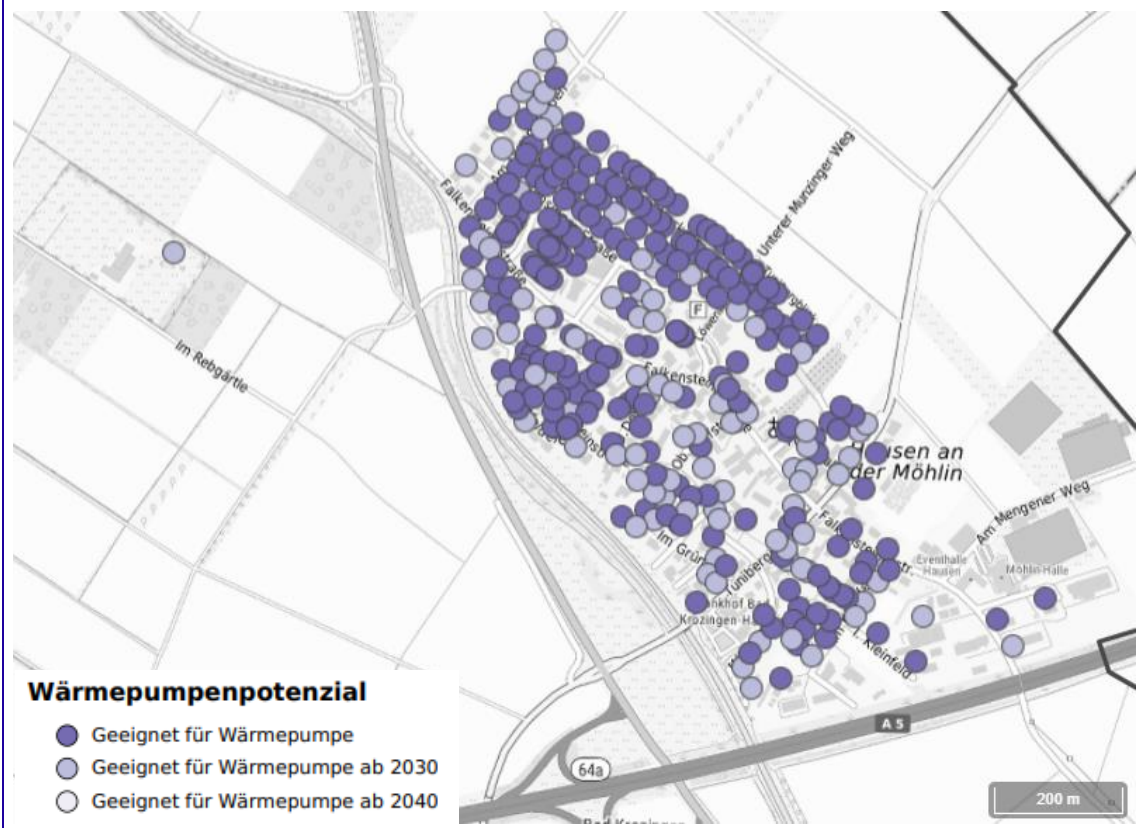
Zentrale Wärmeversorgung:

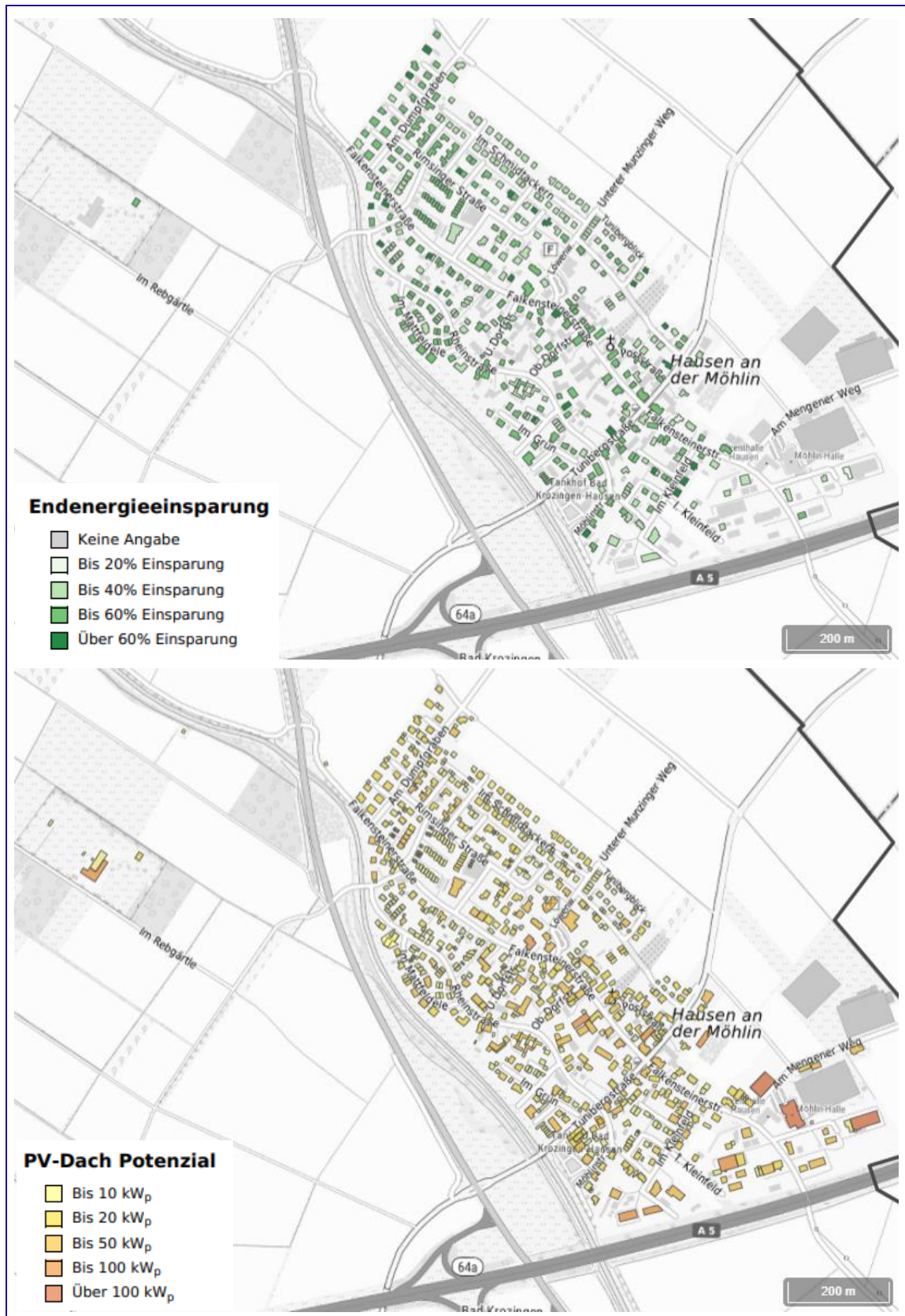
Auf der Gemarkung von Hausen befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.

Dezentrale Wärmeversorgung:

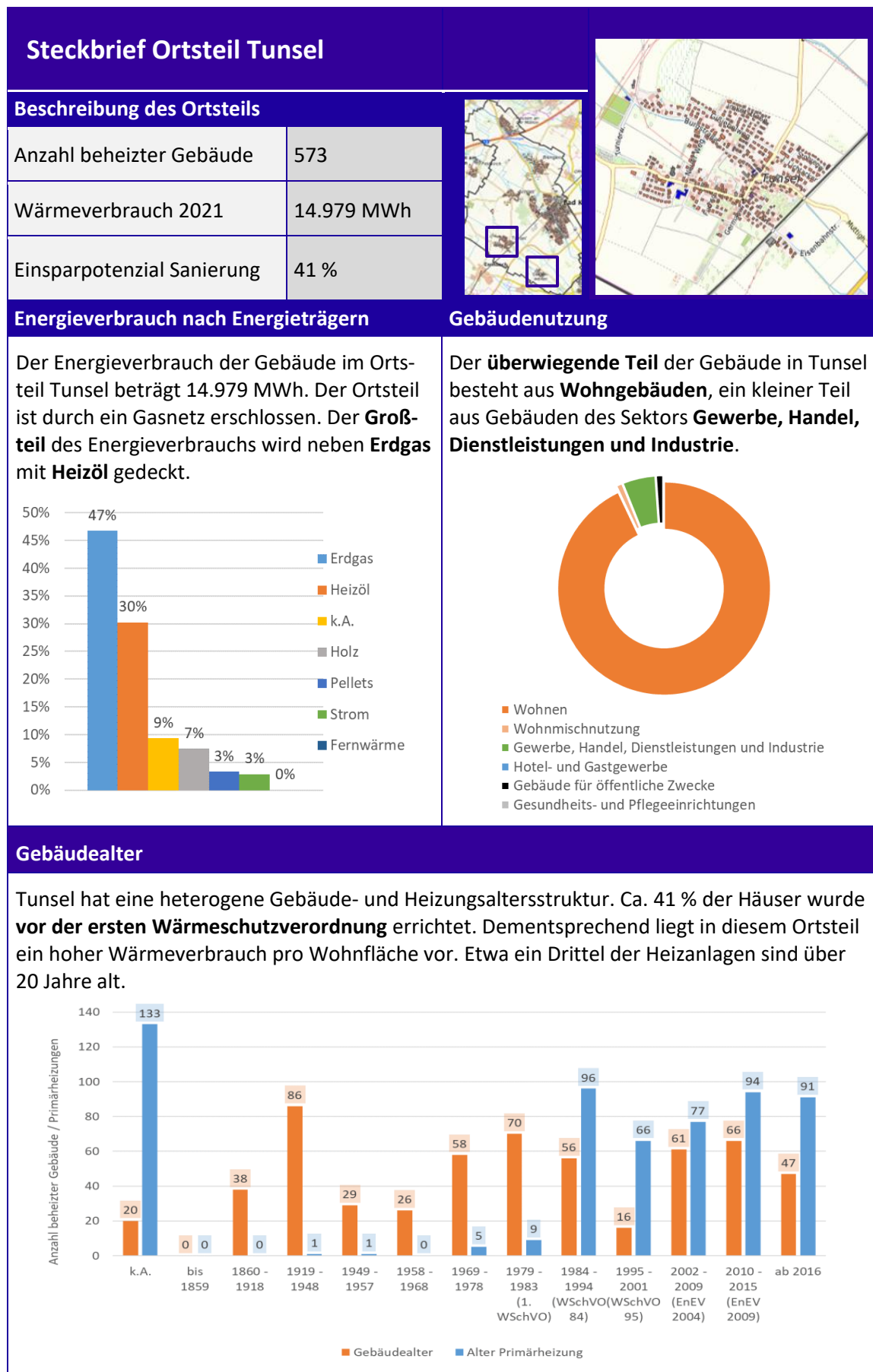
Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Hausen eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 5.400 MWh (Endenergieeinsparung von 45%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Das PV-Dachflächenpotenzial beläuft sich auf ca. 7.700 MWh/Jahr. Auf der Gemarkung gibt es zusätzlich große Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären, das Potenzial beläuft sich hierbei auf insgesamt ca. 40.000 MWh (vgl. Kapitel 3.4.3).

Die untenstehenden Karten zeigen das Wärmepumpenpotenzial in Hausen sowie das Sanierungs- und PV-Potenzial auf Gebäudeebene.





10.1.5 Steckbrief Tunsel



Eignungsgebiete in Tunsel

Zentrale Wärmeversorgung:

Auf der Gemarkung von Tunsel befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.

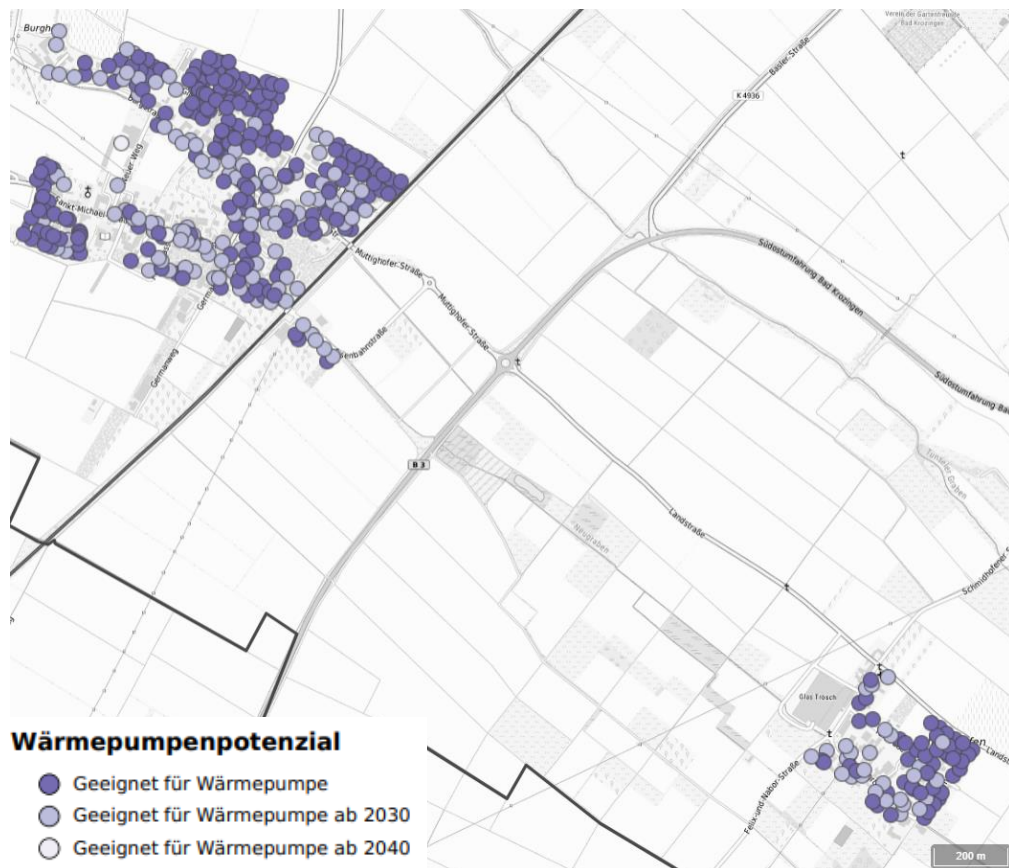
Dezentrale Wärmeversorgung:

Die Wärmedichte in den Ortsteilen Tunsel und Schmidhofen ist durchgehend gering bis moderat, wodurch die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes wahrscheinlich nicht gegeben wäre.

Für die Gebäudeeigentümer und Mieter werden dezentrale Versorgungslösungen, wie z.B. die Luft-Wasser-Wärmepumpe eine große Rolle spielen. Mit zusätzlichen PV-Anlagen oder Gebäudesanierungen lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen weiter steigern.

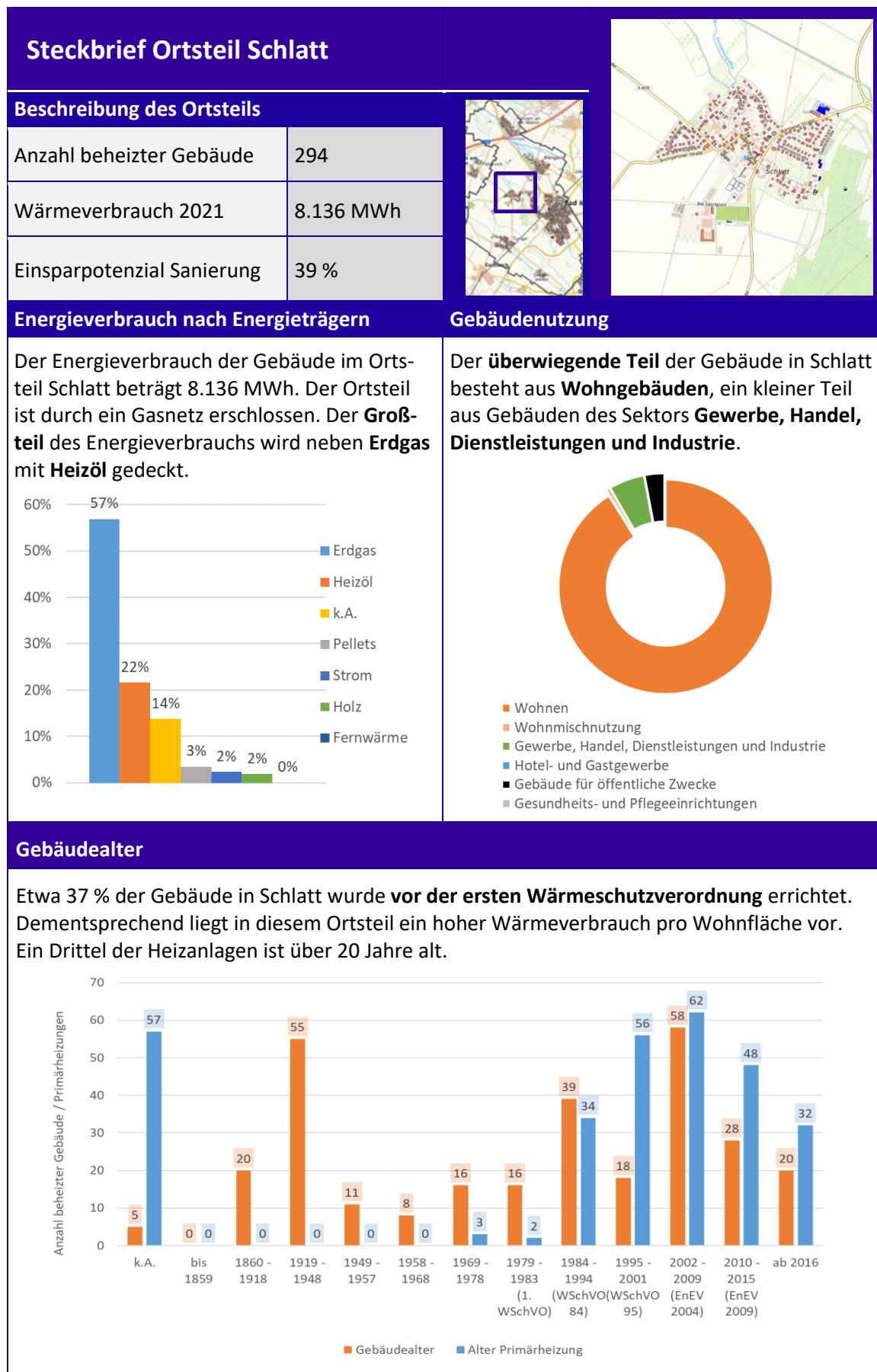
Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 6.789 MWh (Endenergieeinsparung von 41 %). Zudem könnten auf den Dächern 11.435 MWh Solarstrom im Jahr erzeugt werden.

Die untenstehenden Karten zeigen das Wärmepumpenpotenzial in Tunsel und Schmidhofen sowie das Sanierungs- und PV-Potenzial auf Gebäudeebene.





10.1.6 Steckbrief Schlatt



Eignungsgebiete in Schlatt

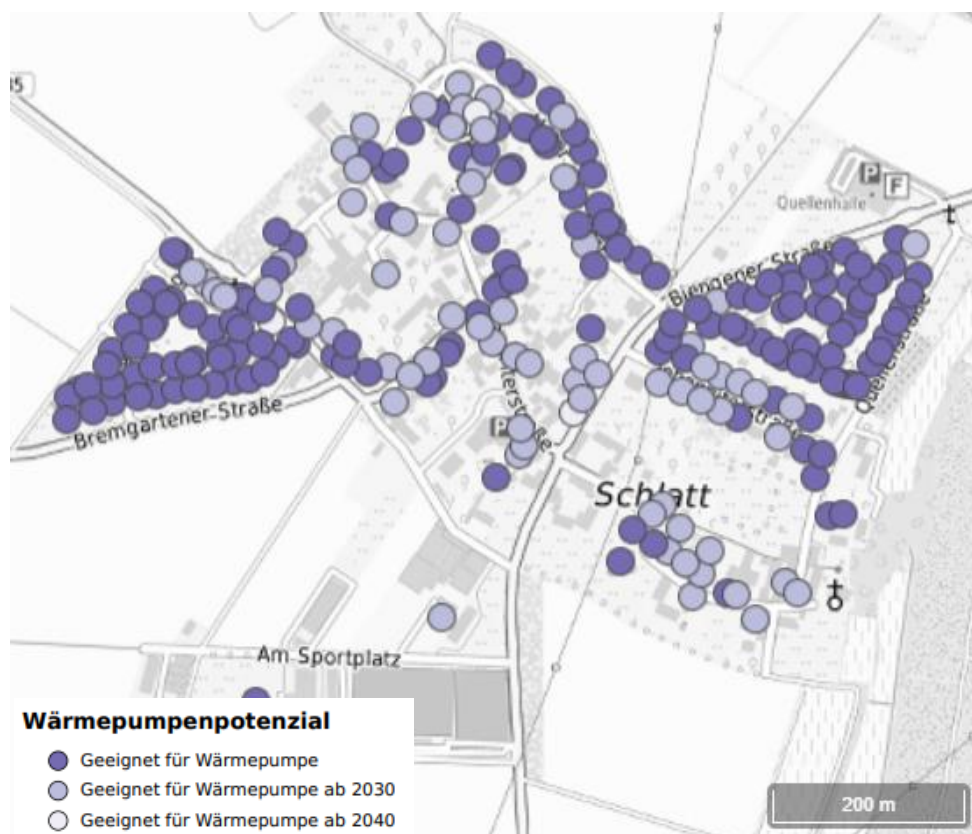
Zentrale Wärmeversorgung:

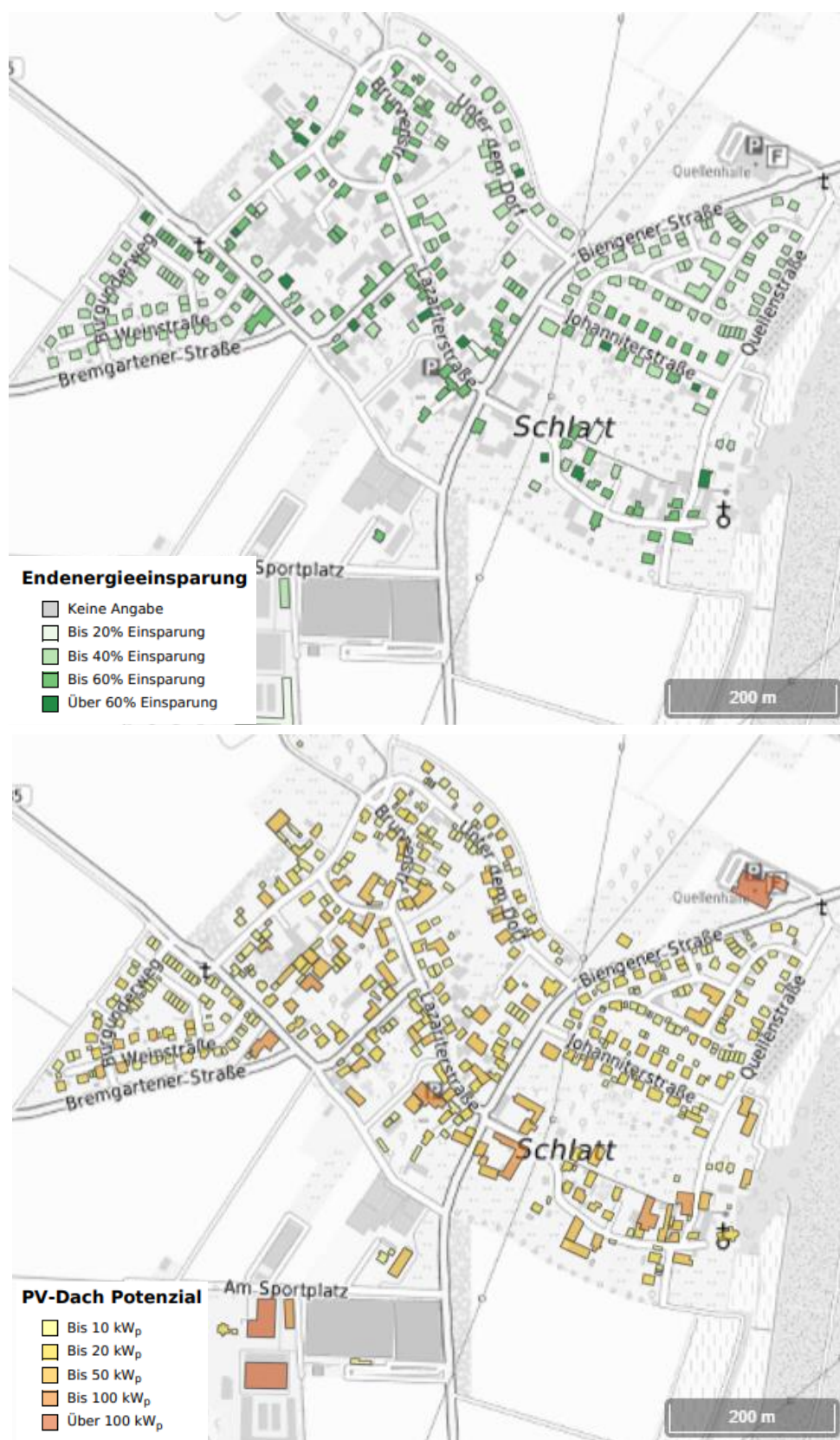
Auf der Gemarkung von Schlatt befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.

Dezentrale Wärmeversorgung:

Die Wärmedichte auf Straßenzugsebene ist in Schlatt bis auf einige Ausnahmen moderat bis gering. Für ein Wärmenetz ist die Wärmeabnahmemenge zu gering. Schlatt wurde somit als dezentrales Eignungsgebiet klassifiziert. Der Fokus in Schlatt sollte auf die Gebäudesanierung gelegt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 3.371 MWh (Endenergieeinsparung von 39 %). Zudem könnten auf den Dächern 5.611 MWh Solarstrom erzeugt werden. Biomasseheizungen können vor allem eine Alternative für Gebäude darstellen, für welche die erreichten Vorlauftemperaturen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe nicht ausreichend ist oder die Wärmepumpe als solche keine wirtschaftliche Alternative bietet.

Die untenstehenden Karten zeigen das Wärmepumpenpotenzial in Schlatt sowie das Sanierungs- und PV-Potenzial auf Gebäudeebene.





10.2 Gebäudesteckbriefe

Gebäudesteckbriefe werden für ausgewählte Gebäudekategorien erstellt. Für die Stadt Bad Krozingen ergibt sich die Auswahl der Gebäudekategorien aus der Häufigkeitsverteilung der Gebäudetypen (EFH, MFH, etc.) und der vorhandenen Altersklassen (A bis L).

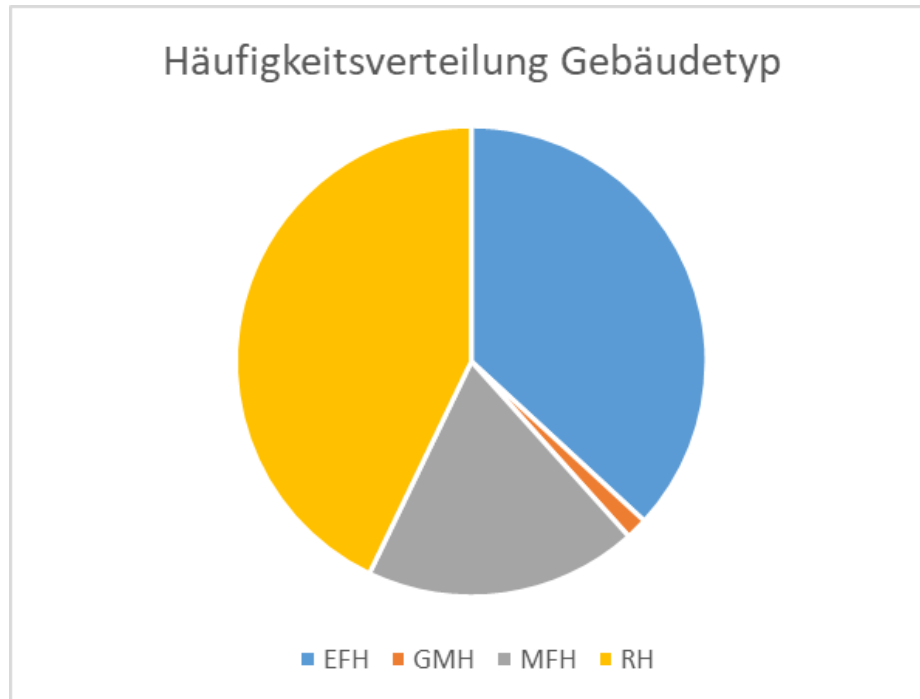


Abbildung 28 – Häufigkeit der jeweiligen Gebäudetypen in der Stadt Bad Krozingen

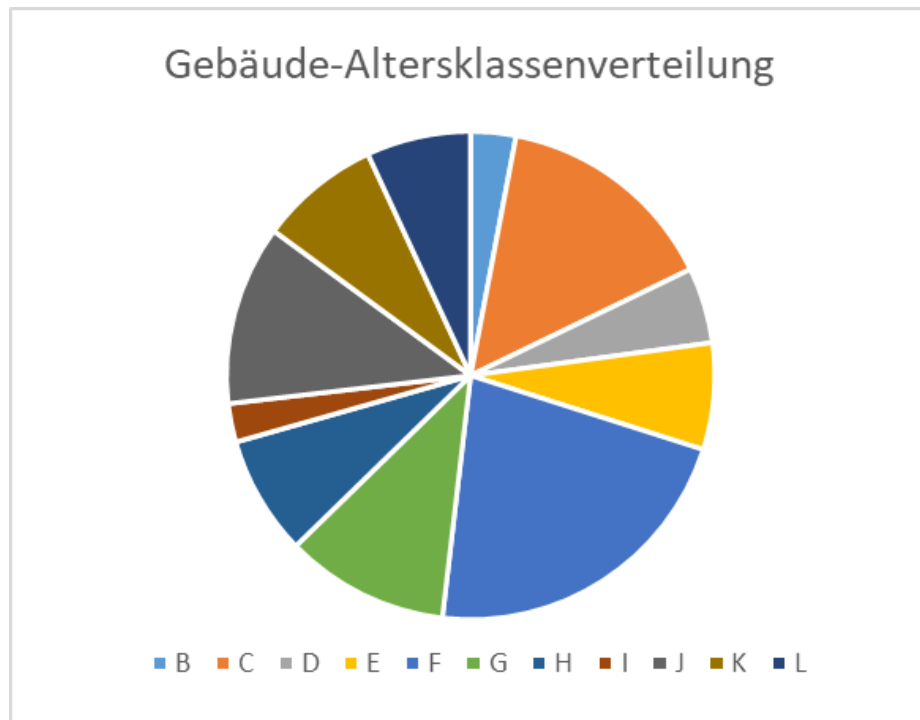


Abbildung 29 – Häufigkeit der Gebäudealtersklassen in der Stadt Bad Krozingen

Auf dieser Grundlage werden folgende Steckbriefe für die Informationskampagnen (Maßnahme 5.2.23) bereitgestellt:

EFH: C, D, E, F, G, H; **RH/DHH:** C, F, G, H; **MFH:** C, E, F, G

(Siehe auch Tabelle 1 zu den Baualterklassen und Abbildung 3 zum Gebäudetypen-Anteil).

Im Folgenden wird ein beispielhafter Gebäudesteckbrief für den Typ EFH-E (Einfamilienhaus mit einem Baualter zwischen 1958 und 1968) dargestellt:

Stand: Januar 2024

Gebäudesteckbrief für die Einstiegsberatung



Einfamilienhaus der Baualtersklasse E in Anlehnung an die Gebäudetypologie des IWU*

Dieser Steckbrief beschreibt ein typisches unsaniertes Einfamilienhaus der Baualtersklasse E.

Es werden beispielhafte Sanierungsmaßnahmen dargestellt, welche für das Typgebäude möglich sind, wie hoch die Investitionskosten sind und wie viel Energie eingespart werden kann. Der Steckbrief zeigt hierzu Größenordnungen auf. Die für das Typgebäude genannten Werte können im konkreten Einzelfall abweichen. Der Energieberater_in geht mit Ihnen den Steckbrief gemeinsam durch und erläutert Ihnen gerne die einzelnen Angaben und Informationen.

Ist-Zustand

Allgemeine Daten

Gebäudetyp	Einfamilienhaus
Baualter	1958 - 1968 (Klasse E)
Wohnfläche	110 m²
Anzahl Vollgeschosse	1 - 2
Anzahl Wohnungen	1
Keller	unbeheizt
Dachgeschoss	beheizt



Quelle: Deutsche Gebäudetypologie - Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Bauteile Gebäudehülle

Bauteil	Beschreibung	Fläche
Außenwand	Mauerwerk aus Hohlblocksteinen oder Hochlochziegeln	141 m²
Außenwand gg. Erdreich	nicht relevant	-
Fenster	Holzfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung	27 m²
Dach	Steildach, 5cm Zwischensparrendämmung	169 m²
oberste Geschossdecke	nicht relevant	-
Kellerdecke	Betondecke mit 1 cm Dämmung	116 m²
Fußboden gegen Erdreich	nicht relevant	-

Heizungs- und Anlagentechnik

Heizungsart	Gas-Zentralheizung
Warmwasserbereitung	über Zentralheizung
Lüftung	Fensterlüftung

Endenergiebedarf und Energiekosten

Energieart	Endenergiebedarf	Energiekosten ¹⁾
Erdgas	24.000 kWh/a	3.360 €/a
Strom	3.000 kWh/a	1.200 €/a

* Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

¹⁾ Annahmen für die jährlichen Energiekosten (ohne Wartungskosten); Erdgas: 14 Ct/kWh, Strom Haushaltstarif: 40 Ct/kWh, ohne zukünftige Energiepreissteigerung und nicht vergleichbar mit Wärmegestehungskosten.

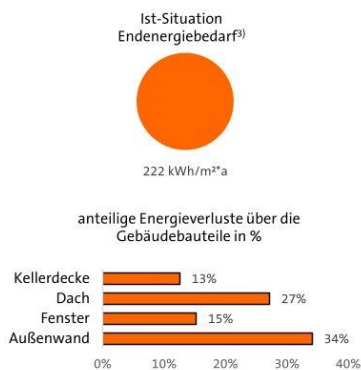
Stand: Januar 2024

Sanierung der Gebäudehülle

Die Sanierung der Bauteile der Gebäudehülle (Fassade, Fenster, Dach, Kellerdecke etc.) wird in der Regel nur alle 30 Jahre (oder noch seltener) vorgenommen und ist mit erheblichen Investitionen verbunden. Wenn Sie sanieren, lohnt es sich langfristig zu denken, gut zu planen und eine möglichst hohe energetische Qualität anzustreben. Die Tabelle zeigt die Kosten und die Energieeinsparung für eine Sanierung der Gebäudehülle - je Bauteil und insgesamt. Alle Sanierungsmaßnahmen wurden so gewählt, dass ein hochwertiger energetischer Standard erreicht wird. Die Nutzung möglicher Förderprogramme und der damit verbundenen Zuschüsse wurden hierbei nicht berücksichtigt. Einen Überblick hierzu finden sie auf der Seite 4.

Sanierung			
Bauteil	Beschreibung	Kosten in € ²⁾ (Brutto)	Energie- einsparung ²⁾
Außenwand	Dämmung 24 cm (WLS 035) + Verputz (Wärmedämmverbundsystem)	64.000 €	30%
Außenwand gg. Erdreich	keine Maßnahme		
Fenster	3-Scheiben-Wärmeschutz-Verglasung und gedämmtem Rahmen	31.000 €	10%
Dach	18 cm Zwischensparrendämmung und 12 cm Aufsparrendämmung (WLS 035)	68.000 €	22%
oberste Geschossdecke	keine Maßnahme		
Kellerdecke	Dämmung 12 cm (WLS 035) unter der Decke	14.000 €	9%
Fußboden gegen Erdreich	keine Maßnahme		
Umsetzung aller Maßnahmen	Gesamtkosten und Gesamteinsparung	177.000 €	72%
davon "energiebedingte Mehrkosten"	Anteil der Gesamtkosten, die durch die Dämmung bzw. energetische Maßnahmen verursacht werden (im Gegensatz zur Instandhaltung)	127.000 €	
Nebenkosten	Kosten für Planung und Baubegleitung	30.000 €	
Gesamtinvestition	Maßnahmen und Nebenkosten	207.000 €	

Sanierungsvarianten



Je nach Art und Umfang der Sanierungsvarianten lassen sich bis zu 2.700 € der jährlichen Energiekosten einsparen.

²⁾ Die hier genannten Werte sind Abschätzungen gem. Baukostenindex für das Beispielgebäude. Kosten und Einsparungen für ein spezielles Gebäude können u.U. deutlich abweichen (je nach Konstruktion, Zustand und Nutzung des Gebäudes).

³⁾ Der Endenergiebedarf eines Gebäudes liefert einen Richtwert über den notwendigen Brennstoffeinsatz in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (abgekürzt: kWh/m²a).



Stand: Januar 2024

Sanierung der Heizung

Die Tabelle gibt einen Überblick über die Systeme, die bei der Heizungssanierung prinzipiell zur Auswahl stehen. Es handelt sich um zentrale Systeme (Zentralheizungen), die sowohl die Raumheizung als auch die Warmwasserbereitung übernehmen. Alle Systeme sind darüber hinaus in der Lage das EWärmeG (Erläuterung siehe letzte Seite) zu erfüllen. Die hier genannten Zahlen gelten für das Beispielgebäude. Für den Einzelfall ist die Wirtschaftlichkeit jeweils individuell zu prüfen!

System	Beschreibung / Hinweise	Investitionskosten in € (Brutto) ⁴⁾
Luft-Wasser-Wärmepumpe	Der Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Nutzung von Umweltwärme über die Umgebungsluft kann in gut gedämmten Gebäuden zum Einsatz kommen. Systembedingt können Wärmepumpen sinnvoll in Kombination mit Niedertemperaturheizungen (z.B. Fußbodenheizungen) und einer Frischwasserstation eingesetzt werden.	
	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 23 - 28 ct/kWh	30.000 € - 45.000 €
Luft-Wasser-Wärmepumpe + Gas-Spitzenlastkessel	Die Luft-Wasser-Wärmepumpe in Verbindung mit einem Gas-Spitzenlastkessel wird bevorzugt in Altbauten mit hohen Vorlauftemperaturen im Heizungssystem und in größeren Gebäuden bivalent eingesetzt.	
	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 28 - 34 ct/kWh	42.000 € - 57.000 €
Sole-Wasser-Wärmepumpe	Die Sole/Wasser-Wärmepumpe nutzt die Umweltwärme mit Hilfe von Erdwärmesonden oder Erdkollektoren. Systembedingt können Wärmepumpen sinnvoll in Kombination mit Niedertemperaturheizungen (z.B. Fußbodenheizungen) und einer Frischwasserstation eingesetzt werden. Die Effizienz kann höher sein als die einer vergleichbaren Luft-Wasser-Wärmepumpe.	
	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 22 - 29 ct/kWh	35.000 € - 55.000 €
Holzpelletkessel + ggf. Solarthermie-Anlage	Eine Pelletheizung verbrennt nachwachsende Rohstoffe. Sind Solaranlage, Pelletkessel und Pufferspeicher aufeinander abgestimmt, erhält der Hausbesitzer eine hervorragende Energieeffizienz und den höchstmöglichen Wärmeertrag – und das sehr umweltschonend. Es besteht ein erhöhter Platzbedarf durch Pelletlager und -austragung.	
ohne Solarthermieanlage	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 24 - 30 ct/kWh	30.000 € - 45.000 €
inkl. Solarthermieanlage	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 28 - 37 ct/kWh	42.000 € - 63.000 €
Fernwärme	Bei einem Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz, ist die Verfügbarkeit und die Kostenkalkulation abhängig von den lokalen Angeboten der Fernwärmeanbieter.	
Zusatzsysteme	(Systeme, die nur einen Teil der Wärmebereitstellung übernehmen können)	
Solarthermieanlage	Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung (ca. 10 m² Kollektorfläche) zur Erfüllung des EWärmeG – 15 % Erneuerbare.	12.000 € - 18.000 €
Photovoltaikanlage + ggf. Stromspeicher	Die Photovoltaikanlage (ca. 10 kWp) wandelt die Sonnenenergie in elektrische Energie um und dient der Eigenstromnutzung. Sinnvoll auch in Kombination mit einer Wärmepumpe.	15.000 € - 35.000 €
Lüftung mit Wärmerückgewinnung	Mechanisches Lüftungssystem (Be- und Entlüftung) mit Wärmerückgewinnung.	10.000 € - 18.000 €

⁴⁾ Investitionskosten inklusive Nebenkosten (Planungskosten), ohne Förderung

⁵⁾ bei unsanierter Gebäudehülle. Die Wärmegestehungskosten sind das Verhältnis der Vollkosten der Wärmeversorgung (Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten) zur gelieferten Wärme. (Betrachtungszeitraum 20 Jahre, 4% Kapitalzins, ohne Energiepreissteigerung und ohne Förderung).



Stand: Januar 2024

Was Sie noch wissen sollten!

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Gebäudeenergiegesetz (GEG):

Ab 2024 muss jede neu eingebaute Heizung zu 65 Prozent mit Erneuerbaren Energien betrieben werden. In Neubaugebieten greift diese Regel direkt ab 1. Januar 2024. Für bestehende Gebäude und Neubauten außerhalb von Neubaugebieten gibt es längere Übergangsfristen: In Großstädten (mehr als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohner) werden klimafreundliche Energien beim Heizungswechsel spätestens nach dem 30. Juni 2026 Pflicht. In kleineren Städten ist der Stichtag der 30. Juni 2028. Gibt es in den Kommunen bereits vorab eine Entscheidung zur Gebietsausweisung für zum Beispiel ein Wärmenetz, die einen kommunalen Wärmeplan berücksichtigt, können frühere Fristen greifen.



Alle Infos und Details unter:

<https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Navigation/DE/Service/FAQ/GEG/faq-geg.html>

Energie-effizienzklasse	Endenergiebedarf oder -verbrauch in kWh/m²a	Haustyp
A+	unter 30	Neubauten mit höchstem Energiestandard z.B. Passivhaus, KfW 40
A	30 bis unter 50	Neubauten, Niedrigenergiehäuser, KfW 55
B	50 bis unter 75	normale Neubauten
C	75 bis unter 100	Mindestanforderung Neubau
D	100 bis unter 130	gut sanierte Altbauten
E	130 bis unter 160	sanierte Altbauten
F	160 bis unter 200	sanierte Altbauten
G	200 bis unter 250	teilweise sanierte Altbauten
H	über 250	unsanierte Gebäude

Ausblick

Steigerung Komfort / Marktwert

Neben der Energieeinsparung steigert eine energetische Sanierung in erheblichem Maße den Raumkomfort. Beeinträchtigungen, wie beispielsweise kalte Wandoberflächen oder Zugerscheinungen an Fenstern, werden beseitigt. Dies trägt zu einer höheren Behaglichkeit der Bewohner bei und steigert den Wohn- und Marktwert der Immobilie.

Professionelle Planung und Baubegleitung

Es wird dringend empfohlen, umfangreiche energetische Sanierungen professionell planen und umsetzen zu lassen. Die Aufgabe von Energieeffizienz-Expertinnen und Experten ist es, Gebäude – Wohngebäude, Nichtwohngebäude oder auch Baudenkmäler – energetisch zu bauen oder zu sanieren. Sie beraten vor Ort, planen die Maßnahmen und begleiten den Bau oder die Sanierung nach energiespezifischen Vorgaben – immer individuell und entsprechend der jeweiligen Anforderungen und des Budgets ihrer Kunden. Dabei können sie die größtmöglichen Energieeinsparpotenziale für private Bauherrinnen und Bauherren, Kommunen oder Unternehmen erzielen und Fördermittel des Bundes beantragen.



Alle Infos und Details unter:

www.energie-effizienz-experten.de

Förderprogramme

Einzelmaßnahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG EM)



Alle Infos und Details unter:

www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html

Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG)



Alle Infos und Details unter:

www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-fuer-effiziente-Gebaeude/


Abbildung 30 – Beispielhafter Gebäudesteckbrief für den Typ EFH-E