



**Kommunale
Wärmeplanung**

Endbericht
für die Stadt Radolfzell am Bodensee
vom 31.01.2024

Radolfzell
BODENSEE

Projektpartner

Dieses Projekt wurde unter Zusammenarbeit der Stadt Radolfzell am Bodensee und der energielenker projects GmbH durchgeführt.

Auftraggeber

Stadt Radolfzell

DEZ III Nachhaltige Stadtentwicklung
und Mobilität

Marktplatz 2
78315 Radolfzell am Bodensee

Tel.: +49 7732 81-631

Ansprechpartner*innen:

Angelique Augenstein
Mona Kühn

Auftragnehmer

energielenker projects GmbH

Auberlenstraße 13 B
70736 Fellbach

Tel.: +49 520387-10

Ansprechpartner*innen:

Martin Mende
Anika Scherenberg



VORWORT

In Radolfzell wollen wir das Ziel erreichen, bis 2035 klimaneutral zu werden. Denn die Klimakrise ist eines der dringendsten Themen unserer Zeit und für nachfolgende Generationen vorrangig.

Um für dieses Thema die notwendigen Kapazitäten zu schaffen, wurde im Rathaus eine Umstrukturierung vorgenommen und die Stabsstelle „Umwelt-, Klima- und Naturschutz“ geschaffen. In diesem Bereich werden in verschiedenen Formaten mit Beteiligung der Bürgerschaft Projekte ins Leben gerufen, um der Klimakrise entgegenzuwirken.



In diesem Kontext ist die Wärmewende ein wichtiger Baustein. Die Bereitstellung von Warmwasser, Raum- und Prozesswärme macht zusammen etwa die Hälfte der benötigten Endenergie in Deutschland aus. Investitionszyklen in diesem Sektor sind jedoch langwierig, wodurch erhebliche Zeitverzögerungen zustande kommen. Deshalb wird die Wärmewende gerne als „schlafender Riese“ bezeichnet. Eine konsequente Umstellung von einer fossil dominierten Wärmeversorgung von Gebäuden hin zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung wird einen großen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Deshalb müssen wir jetzt handeln.

Seit Mitte des Jahres 2022 laufen die Koordinationsarbeiten für den kommunalen Wärmeplan, der laut Gesetzgeber bis Ende des Jahres 2023 vorliegen muss.

Nicht alle Gebäude können sinnvollerweise über Wärmenetze versorgt werden. Welche Stadtgebiete für eine zentrale Versorgung unter verschiedenen Aspekten in Frage kommen, ist für den gesamten Stadtbereich geprüft worden. Das Ergebnis: Es wurden zwölf mögliche Maßnahmen erarbeitet. Von diesen werden fünf Maßnahmen in dem Wärmeplan festgehalten, auf die sich in den nächsten fünf Jahren fokussiert werden soll. Zu diesen zählt die Überprüfung des Ausbaus eines Wärmenetzes und der Ausbau eines Sanierungsmanagements im Stockteil sowie in der Region in und um die Konstanzer Straße. Des Weiteren soll die Seewasserwärmenutzung erneut geprüft werden. Sowohl in der Altstadt als auch in Böhringen wird eine effiziente Gebäudesanierung zur Werterhaltung und Energieeinsparung in den Fokus gerückt.

Als Oberbürgermeister bin ich sehr froh, die Stadtwerke als starken und erfahrenen Partner für die Umsetzung der Wärmewende an der Seite zu haben. Erfolgreich haben sie bereits Wärmenetze unter anderem in Möggingen und Liggeringen aufgebaut. In guter Zusammenarbeit mit den Stadtwerken als lokalem Akteur wollen wir die Wärmewende angehen!

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
ZUSAMMENFASSUNG	9
1 EINLEITUNG	10
1.1 KLIMASCHUTZ STADT RADOLFZELL.....	11
2 KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG.....	12
2.1 DEFINITION KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG	12
2.2 HINTERGRUND UND MOTIVATION	12
2.3 VORGEHENSWEISE UND PROJEKTPLANUNG	14
2.3.1 Energie- und CO2-Bilanz	15
2.3.2 Potentialanalyse / Aufstellung Szenarien	15
2.3.3 Akteur:innenbeteiligung.....	15
2.3.4 Wärmewendestrategie / Aufstellung Maßnahmenkatalog.....	16
3 BESTANDSANALYSE	17
3.1 KOMMUNALE BASISDATEN	17
3.1.1 Demografische Entwicklung.....	18
3.1.2 Energieversorgung.....	18
3.1.3 Wirtschaft	19
3.1.4 Verkehrliche Anbindung.....	19
3.2 METHODIK DER DATENAUSWERTUNG	20
3.2.1 Endenergiebilanz.....	21
3.2.2 THG-Emissionen in der Stadt Radolfzell.....	23
3.3 AUSWERTUNG DER ANLAGENTECHNIK	25
3.4 WÄRMEBEDARF.....	27
4 TECHNOLOGIEMATRIX.....	28
4.1 WÄRMEVERSORGUNGSINFRASTRUKTUR.....	28
4.1.1 Zentrale Wärmeversorgung	29
4.1.2 Keimzellen.....	29
4.2 WÄRMEERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN	32
4.2.1 Lokale Biomasse.....	33
4.2.2 Solare Wärmenetze.....	34

4.2.3	Geothermie.....	36
4.2.4	Abwasserwärme.....	37
4.2.5	Fluss-, See- und Grundwasserwärme.....	38
4.2.6	Abwärmenutzung aus Industrie und Gewerbe.....	39
4.2.7	Power-to-Heat.....	41
4.2.8	Power-to-Gas.....	42
4.2.9	All electric.....	43
5	POTENZIALANALYSE.....	44
5.1	ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG.....	44
5.2	SOLARENERGIE.....	48
5.3	WINDENERGIE.....	54
5.4	BIOMASSE.....	55
5.5	GEOHERMIE.....	57
5.6	THERMISCHE NUTZUNG VON OBERFLÄCHENGEWÄSSERN.....	61
5.7	HYDROTHERMALE GRUNDWASSERNUTZUNG.....	62
5.8	ABWASSERWÄRMENUTZUNG.....	63
5.9	ABWÄRMEPOTENZIAL.....	63
5.10	ZUSAMMENFASSUNG DER POTENZIALE.....	63
6	SZENARIENENTWICKLUNG.....	65
6.1	DIFFERENZIERUNG TREND- UND KLIMASCHUTZSZENARIO.....	65
6.2	TRENDSZENARIO.....	66
6.3	KLIMASCHUTZSZENARIO.....	68
6.4	FAZIT/ VERGLEICH DER SZENARIEN.....	69
7	IDENTIFIKATION VON HOTSPOTS FÜR WÄRMEBEDARFE IM STADTGEBIET.....	70
8	ENERGIEPLAN RADOLFZELL AM BODENSEE.....	73
8.1	AKTEUR:INNEN.....	75
9	MAßNAHMENÜBERSICHT.....	77
9.1	MAßNAHMENKATALOG.....	79
10	FÖRDERMÖGLICHKEITEN.....	96
	BAFA: BUNDESFÖRDERUNG FÜR EFFIZIENTE WÄRMENETZE (BEW)	96

10.1 KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ (KWKG)	97
10.2 ERNEUERBARE ENERGIEN-STANDARD (270)	99
10.3 KFW 430: ENERGIEEFFIZIENT SANIEREN	100
10.4 KFW 432: ENERGETISCHE STADTSANIERUNG	101
10.5 IKK/IKU - ENERGETISCHE STADTSANIERUNG - QUARTIERSVERSORGUNG (201,202).....	101
10.6 INNOVATIVE KWK-SYSTEME.....	103
10.7 KOMMUNALE KLIMASCHUTZ-MODELLPROJEKTE.....	105
11 LITERATURVERZEICHNIS.....	106

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1.: Projektzeitplan [energielenker projects GmbH].....	14
Abbildung 2-2: Akteursnetzwerk für die kommunale Wärmeplanung (Quelle: energielenker projects GmbH).....	15
Abbildung 2-3: Arbeitsphasen der kommunalen Wärmeplanung (Quelle: energielenker projects GmbH).....	16
Abbildung 3-1: Radolfzell und seine Ortsteile [energielenker projects GmbH; Datenquelle: Maps4BW].....	17
Abbildung 3-2: Bestehende Wärmenetze Radolfzell. Oben links - Wärmenetz am Milchwerk, oben rechts - Wärmenetz Möggingen, unten links - Wärmenetz Liggeringen, unten rechts - Versorgung Schafweide/Nordstadt.....	18
Abbildung 3-3: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergieeinsatz in Radolfzell [energielenker projects GmbH, Daten-grundlage BICO2BW, Stadtwerke Radolfzell und Schornsteinfegerdaten].....	21
Abbildung 3-4: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren und Energieträger in Radolfzell 2021 [energielenker projects GmbH, Datengrundlage: BICO2BW Stauerwerk GmbH & Co.KG und Schornsteinfegerdaten]	22
Abbildung 3-5: Endenergieverbrauch zur Wärmeversorgung nach Verbrauchssektoren und Energieträger in Radolfzell 2021 [energielenker projects GmbH, Datengrundlage: BICO2BW, Stadtwerke Radolfzell und Schornsteinfegerdaten]	24
Abbildung 3-6: Bestand der erfassten Heizungsanlagen nach Leistungsklassen - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten].....	25
Abbildung 3-7: Bestandsverteilung der Einzelfeuerungsanlagen - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH; Daten-grundlage: Schornsteinfegerdaten]	26
Abbildung 3-8.Prozentuale Verteilung der erfassten Wärmeerzeuger - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten]	26
Abbildung 4-1: Komplexe Struktur des Energiesystems der Zukunft mit 100 Prozent erneuerbaren Energien [KEA-BW, Grafik verändert nach Reasearch Center 4DH, Universität Aalborg. Abkürzung WP:Wärmepumpe]	31
Abbildung 4-2: Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp [Roedel & Partner]	32
Abbildung 4-3: Prinzip Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse [www.statkraft.de/stromerzeugung/biomasse].....	33
Abbildung 4-4 Solarenergiedorf Stadtwerke Radolfzell (stadtwerke-radolfzell.de)Wärmepumpen.....	35
Abbildung 4-5: Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Geothermie (www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/index.htm).....	36
Abbildung 4-6: Nutzung von Abwasserwärme [www.um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energieeffizienz/abwasserwaermenutzung/].....	37
Abbildung 4-7: Energieintensität verschiedener Branchen [Hirtzel und Sonntag]	39
Abbildung 4-8: Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit vom Temperaturniveau [dena].....	40
Abbildung 4-9: Funktionsweise Elektrodenheizkessel [Stadtwerke Flensburg].....	41
Abbildung 4-10: Das Prinzip von „Power-to-Gas“ [Fraunhofer Institut]	42

Abbildung 5-1: Verteilung der Wohngebäude nach Gebäudetyp - Radolfzell (Zensus 2011).....	45
Abbildung 5-2: Prozentuale Verteilung der Wohngebäude nach Gebäudealtersklassen - Radolfzell (Zensus 2011).....	46
Abbildung 5-3: mögliche Einsparungen bei Erreichung verschiedener jährlicher Sanierungsraten, bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahre [energielenker projects GmbH].....	48
Abbildung 5-4: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Solarpotenzial auf Dachflächen [Energieatlas LUBW].....	49
Abbildung 5-5: Freiflächen Photovoltaik Potenzialflächen [365° freiraum + umwelt].....	51
Abbildung 5-6: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmekollektoren [LGRB].....	58
Abbildung 5-7: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmesonden [LGRB].....	59
Abbildung 5-8: Übersicht über Gebiete, die für eine tiefe hydrogeothermische Nutzung möglicherweise geeignet sind [UBA, 2008].....	62
Abbildung 6-1: Entwicklung des Wärmebedarfs im Trendszenario (Quelle: energielenker projects GmbH).....	66
Abbildung 6-2: Entwicklungen der THG-Emissionen im Trendszenario (Quelle: energielenker projects GmbH).....	67
Abbildung 6-3: Entwicklung des Wärmebedarfs im Klimaschutzszenario (Quelle: energielenker projects GmbH).....	68
Abbildung 6-4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario...	69
Abbildung 7-1: Kartenzusammenstellung: Heatmap - Wärmebedarf, Heatmap - Anzahl Ölheizungen, Wärmedichtelinien, Solarpotenzial.....	71
Abbildung 7-2: Maßnahmenübersicht Radolfzell (energielenker projects GmbH).....	72
Abbildung 8-1: Beispielauszug aus Steckbrief - zentrales Versorgungsgebiet.....	74

ZUSAMMENFASSUNG

Der Wärmebereich gilt als "schlafender Riese" der Energiewende. Die Bereitstellung von Warmwasser, Raum- und Prozesswärme macht zusammen etwa die Hälfte der benötigten Endenergie in Deutschland aus. Dabei fallen die Fortschritte im Wärmesektor bisher im Vergleich zum Stromsektor gering aus. Die langen Investitionszyklen bei baulichen und auch technischen Maßnahmen in der Wärmeinfrastruktur bedingen die Trägheit der Wärmewende. In Anbetracht der Tatsache, dass die heutigen Entscheidungen Auswirkungen bis weit in die Zukunft haben, ist der Handlungsbedarf im Wärmesektor für das Erreichen der Klimaschutzziele enorm.

Den Städten, Kreisen und Gemeinden kommen bei der Bewältigung dieser Herausforderungen eine enorme Bedeutung zu.

Die Gemeinde Radolfzell am Bodensee hat das vorliegende strategische Energie- und Wärmekonzept erstellen lassen, um diese Aufgabe in Zukunft planvoll und zielorientiert anzugehen. Das Ziel des Konzeptes ist eine mittel- bis langfristige Strategie für die zukünftige Entwicklung des Wärmesektors, um die Stadtentwicklung strategisch an den beschlossenen Klimaschutzzielen auszurichten und systematisch die dafür erforderlichen Weichenstellungen vornehmen zu können.

Im Rahmen des Projekts wurden folgende Inhalte erarbeitet:

- Darstellung der Ausgangssituation
- Potenzialanalyse
- Technologiematrix
- Akteursbeteiligung
- Identifikation von Hotspots für Wärmebedarfe im Gemeindegebiet
- Szenarien-Entwicklung bis 2035
- Entwicklung eines Wärmeplans

In die Betrachtung sind dabei sämtliche Arten der Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien und Abwärme eingeflossen. Um dem Anspruch der Gemeinde Radolfzell am Bodensee an die Zielvision für das Jahr 2035 gerecht zu werden, sind neben bewährten Technologien auch Zukunftslösungen wie bspw. die Sektorenkopplung und Power-to-X berücksichtigt worden.

Die privaten Haushalte werden künftig in verdichteten Wohngebieten vor allem mit Fernwärme versorgt, in netzfernen Bereichen ist auf Einzelgebäudelösungen auf Basis von Umweltwärme und Solarthermie zu setzen.

Auf fossile Energieträger wird dabei in Zukunft vollständig verzichtet.

Die fünf priorisierten Maßnahmen fassen die Themen Energieeffizienzsteigerung, Reduzierung des Wärmeenergiebedarfs, Decarbonisierung der Wärmeversorgung sowie begleitende Maßnahmen und Öffentlichkeitsarbeit zusammen. Ihr Ziel ist es, der Stadt einen strategischen Leitfaden bereitzustellen, um die ersten Schritte zu Klimaneutralität bis 2035 anzugehen.

1 EINLEITUNG

Im Kontext der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und des Ziels der Staatengemeinschaft, die globale Erwärmung auf maximal 2° Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, hat Deutschland sich zu einem aktiven Klimaschutz verpflichtet. Nicht zuletzt durch die UN-Klimakonferenz in Paris im Winter 2015, in deren Rahmen ein Folgeabkommen zum Kyoto-Protokoll (Festlegung von weltweit verbindlichen Klimazielen) verabschiedet wurde, ist die weltweite Verpflichtung zu mehr Klimaschutz auf nationaler Ebene bestätigt worden. Gleichzeitig ist und bleibt klar: Die Klimaschutzziele sind nur zu erreichen, wenn vor Ort konkrete Klimaschutzinitiativen und -projekte gestartet und umgesetzt werden.

Weltweit können Temperaturanstiege, schmelzende Gletscher und Pole, ein ansteigender Meeresspiegel, Wüstenbildung und Bevölkerungswanderungen als Auswirkungen des Klimawandels beobachtet werden. Obwohl das Ausmaß der von der Erwärmung abhängigen Szenarien zum jetzigen Zeitpunkt kaum vorhersagbar ist, sind auch in Deutschland die Folgen des Klimawandels deutlich spürbar, wie die steigende Anzahl extremer Wetterereignisse (z.B. in 2014 „Pfungsturm Ela“), Ausbreitung von wärmeliebenden Tierarten (z.B. tropische Mückenarten am Rhein) oder die stetig steigende jährliche Durchschnittstemperatur (z.B. Sommer 2018) verdeutlichen.

Die steigenden Temperaturen können beispielsweise mit Hilfe der „Warming Stripes“ dargestellt werden. Dabei wird die Jahresdurchschnittstemperatur der einzelnen Jahre einer Farbe zugeordnet. Rot heißt wärmer, blau kälter. Dies veranschaulicht die zunehmenden Temperaturanomalien (durchschnittliche Abweichungen).

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung gesetzlich verankert, den bundesweiten Ausstoß von Kohlenstoffdioxid und anderen Treibhausgasen bis 2030 um 65 Prozent, bis 2040 88 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland die Treibhausgasneutralität erreichen. (vgl. BKG 2021, S. 5). Darüber hinaus hat sich Deutschland auf dem UN-Klimaschutzgipfel in New York dazu bekannt, Treibhausgasneutralität bis 2050 als langfristiges Ziel zu verfolgen (BMU 2019). Das soll vor allem durch den Ausbau erneuerbarer Energien und eine Steigerung der Energieeffizienz erreicht werden.

Um dies zu erreichen, hat das Land Baden-Württemberg im Gesetzesbeschluss zur Weiterentwicklung des Klimaschutzes vom 14. Oktober 2020 die kommunale Wärmeplanung für Stadtkreise und große Kreisstädte in Baden-Württemberg verpflichtend festgeschrieben, und damit die Relevanz der regionalen und lokalen Ebene bei der Umsetzung der Wärmewende deutlich hervorgehoben.

1.1 KLIMASCHUTZ STADT RADOLFZELL

Die Stadt Radolfzell engagiert sich seit vielen Jahren für den Klimaschutz und nimmt diesen als kommunale Aufgabe wahr. Es werden fortwährend Maßnahmen zur Einschränkung der Treibhausgasmissionen auf dem Stadtgebiet erarbeitet und umgesetzt.

Beispiele hierfür sind Aktionen wie „10.000 Bäume für Radolfzell“ oder „ZellerKlimaKisten“, die für mehr Stadtgrün und eine effektive Speicherung von CO₂ im Stadtgebiet werben. Darüber hinaus besteht einmal monatlich ein kostenfreies Erst-Beratungsangebot für Privatpersonen, das durch die Energieagentur Kreis Konstanz GmbH in Zusammenarbeit mit der Verbraucherzentrale Baden-Württemberg angeboten wird.

Bereits im Jahr 2011 wurde das erste integrierte Klimaschutzkonzept erarbeitet und verabschiedet. Die Fortschreibung erfolgte 10 Jahre später in Form einer Szenarienbetrachtung durch die Hochschule Konstanz.

Mit dem vorliegenden kommunalen Wärmeplan sollen neue klimapolitische Themenfelder erschlossen werden. Eine Vernetzung zwischen den relevanten Akteur*innen und Verbrauchssektoren in Radolfzell soll zu mehr Energieeffizienz sowie zur Erhöhung der Wärmeerzeugung aus regenerativen Energiequellen beitragen. Daher werden im Erstellungsprozess des Konzeptes verstärkt Wirtschaftsunternehmen betrachtet, die mit ihrem hohen Energiebedarf und gleichzeitiger Nähe zu anderen Energieverbrauchern und -erzeugern, ein großes Potential für eine integrierte Wärmenutzung bieten.

Auch bereits bestehende Einzelaktivitäten und Projektansätze sollen aufgenommen, gebündelt, weiterentwickelt und ergänzt werden. Auf diese Weise erhält die Stadt Radolfzell mit dem Wärmeplan ein Instrument, mit dem die zukünftige Energie- und Klimaarbeit konzeptionell nachhaltig gestaltet werden kann. Die Konzepterstellung erfolgt in Zusammenarbeit mit lokalen Akteur*innen, um nachhaltige Projektansätze zu schaffen und Multiplikatoren- und Synergieeffekte zu nutzen. Der Erfolg des Konzepts und eine anschließende Planungs- und Umsetzungsphase hängen wesentlich von der Beteiligung der ortsansässigen Akteur*innen ab. Das Gelingen der Energiewende und das Erreichen der ambitionierten Klimaziele zur Klimaneutralität im Jahr 2035 kann nur unter Mitwirkung „Aller“ erfolgreich gestaltet werden.

2 KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG

2.1 DEFINITION KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG

Die kommunale Wärmeplanung ist ein strategisches Instrument, welches den Kommunen ermöglicht, das Thema Wärme im Rahmen der nachhaltigen Stadtentwicklung zu gestalten.

Dabei entwickeln die Kommunen eine langfristige Strategie zur Umstellung der Wärmeversorgung auf Klimaneutralität, die die örtlichen Gegebenheiten bestmöglich berücksichtigt. Dies beinhaltet eine Analyse des Wärmebedarfs vor Ort sowie Maßnahmen, um diesen zukünftig mit erneuerbaren und emissionsfreien Energien zu decken.

Die Wärmeplanung bietet den Kommunen einen starken Hebel, um die Energiewende im Wärmebereich sowohl schneller als auch effizienter voranzutreiben. Der ganzheitliche und konsequente Ansatz, der auf Klimaneutralität ausgerichtet ist, gibt der Verwaltung und den kommunalen Entscheidungsträgern einen strategischen Handlungsgrundlage und Fahrplan, der ihnen in den kommenden Jahren Orientierung und einen Handlungsrahmen bietet. Durch die Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung in einem Rhythmus von sieben Jahre wird sichergestellt, dass die Ergebnisse auf dem neuesten Stand sind. Ein Wärmeplan ersetzt jedoch niemals eine detaillierte Planung eines Wärmenetzes vor Ort oder eine umfassende Betrachtung in einem bestimmten Quartier.

Die Bestimmungen zum Umfang, Inhalt und den damit verbundenen Befugnissen der kommunalen Wärmeplanung werden im Klimaschutzgesetz von 2020 für alle Kommunen festgelegt, unabhängig von ihrer Einwohnerzahl oder ihrem Status. Die großen Kreisstädte und Stadtkreise sind gemäß dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg verpflichtet, einen kommunalen Wärmeplan zu erstellen (siehe § 27 Nr.3, KlimaG BW) (KEA-BW, Die Landesagentur, 2023). Die übrigen Kommunen werden seit Oktober 2021 durch ein Förderprogramm finanziell bei dieser wichtigen Aufgabe unterstützt. Ziel der Landesregierung Baden-Württemberg ist es, dass bis 2026 50 % der Gemeinden eine freiwillige kommunale Wärmeplanung vorliegen haben, während die 103 Stadtkreise und größeren Kreisstädte im Land zur kommunalen Wärmeplanung verpflichtet sind (KEA-BW, Die Landesagentur, 2023).

2.2 HINTERGRUND UND MOTIVATION

Die Stadt Radolfzell hat die Aufgabe des Klimaschutzes bereits in der Vergangenheit als eine wichtige kommunale Aufgabe verstanden und befasst sich daher seit mehreren Jahren mit Maßnahmen zur Einschränkung der Treibhausgasmissionen auf dem Stadtgebiet. Schon im Jahr 2020 wurde in Radolfzell die Straßenbeleuchtung mittels LED - Technik saniert und damit im öffentlichen Raum Energie eingespart. Gleichzeitig wird auch im Bereich Mobilität auf Fortschritt und Klimaschutz gesetzt, mit dem Mobilitätspunkt am Bahnhof wurde 2018 zum nachhaltigen Mobilitätszentrum umgebaut. Mit Carsharing Angebot, einem geplanten Fahrradparkhaus und dem Angebot eines Fahrradverleih, RadSERVICE-Punkten, sowie einer E-Tankstelle.

Zusätzlich wurden im Stadtzentrum der Stadt Radolfzell weitere E-Ladesäulen installiert. Mit dem vorliegenden kommunalen Wärmeplan sollen neue klimapolitische Themenfelder erschlossen werden.

Auch bereits bestehende Einzelaktivitäten und Projektansätze sollen aufgenommen, gebündelt, weiterentwickelt und ergänzt werden. Auf diese Weise erhält die Stadt Radolfzell ein Instrument, mit dem die zukünftige Energie- und Klimaarbeit konzeptionell nachhaltig gestaltet werden kann. Die Erarbeitung des Konzeptes erfolgt in Zusammenarbeit mit lokalen Akteur:innen, um nachhaltige Projektansätze zu schaffen und Multiplikatoren- und Synergieeffekte zu nutzen. Denn der Erfolg des Konzeptes hängt wesentlich davon ab, in welchem Maß die lokalen Akteur:innen und weitere Aktive in Radolfzell tätig werden und zum Mitmachen animiert werden. Denn nur durch die umfassende Aktivität Vieler sind die gesetzten Klimaschutzziele zu erreichen.

2.3 VORGEHENSWEISE UND PROJEKTPLANUNG

Zur erfolgreichen Erstellung der kommunalen Wärmeplanung bedarf es einer ausführlichen Vorarbeit und einer systematischen Projektbearbeitung. Hierzu sind unterschiedliche Arbeitsschritte notwendig, die aufeinander aufbauen und die relevanten Einzelheiten sowie projektspezifischen Merkmale einbeziehen. Die Konzepterstellung lässt sich grob in die nachfolgenden Bausteine gliedern:

1. Bestandsaufnahme mit quantitativer Energie- und Treibhausgasbilanz
2. Berechnung von Potentialen und Aufstellung von Szenarien
3. Beteiligung von Akteur*innen
4. Erstellung eines Maßnahmenkatalogs
5. Verstetigung, Controlling und Berichtserstellung

Die nachfolgende Abbildung visualisiert die Zeitschiene zur Erstellung des Konzepts. Nachstehend werden wesentliche Bausteine der kommunalen Wärmeplanung erläutert.

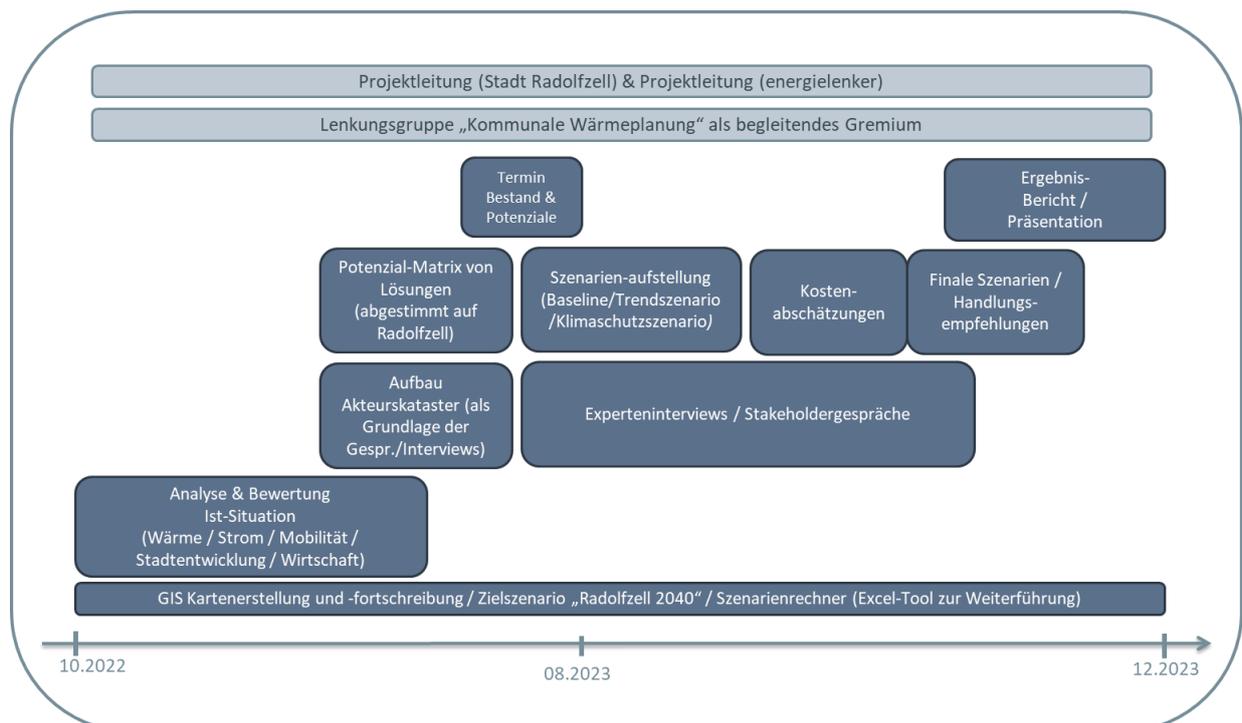


Abbildung 2-1.: Projektzeitplan [energielenker projects GmbH]

2.3.1 Energie- und CO₂-Bilanz

Mit der Aufstellung der Energie- bzw. Wärme- und CO₂-Bilanz wird zunächst der Status quo des Wärmeverbrauchs und CO₂-Ausstoßes auf dem Gebiet der Stadt Radolfzell festgestellt. Die Höhe und die Verteilungen der CO₂-Emissionen auf die Sektoren Haushalte, Wirtschaft sowie die Art der eingesetzten Energieträger nimmt Einfluss auf festzulegende Themenschwerpunkte und die Definition einzubindender Akteur:innen.

2.3.2 Potentialanalyse / Aufstellung Szenarien

Auf Basis der Energie- und CO₂-Bilanz und unter Berücksichtigung der Entwicklungspotentiale sowie der Ziele der Stadt Radolfzell werden CO₂-Minderungs Potentiale bestimmt und Entwicklungsszenarien für die Jahre 2030 und 2035 aufgestellt. Mit Hilfe der Szenarien können konkrete Klimaschutzziele für die Stadt Radolfzell abgeleitet werden.

2.3.3 Akteur:innenbeteiligung

Um den Erfolg und die Akzeptanz einer kommunalen Wärmeplanung zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die lokalen Akteur:innen und die Öffentlichkeit aktiv beteiligt und informiert werden. Daher wurden zu Beginn im Rahmen einer Akteursanalyse die relevanten Akteure identifiziert und deren Erwartungen an die KWP erfasst. Die Erarbeitung des Konzeptes erfolgt mit der Teilnahme und Unterstützung zahlreicher Akteur:innen. Neben Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Stadtverwaltung und der Politik sind hier vor allem die Energieversorger sowie lokale Unternehmen zu nennen, die in den Prozess der Konzepterstellung einbezogen wurden.

Im Rahmen des Beteiligungsprozess wurde daher unter anderem eine Abfrage der produzierenden Betriebe nach ihrem Abwärmepotenzial und diesbezüglich Gespräche mit verschiedenen Firmen durchgeführt. Neben Informationen rund um die kommunale Wärmeplanung und Fördermöglichkeiten wurde der bzw. die Firmeninhaber:in bezüglich der Nutzung von Abwärme und zu Wärmeverbänden befragt. Neben dem Produzierenden Gewerbe wurden zusätzlich im Rahmen eines Workshops die Wohnungswirtschaft miteinbezogen. Im Rahmen des Erarbeitungsprozesses der KWP erfolge darüber hinaus ein regelmäßiger Austausch mit den Projektbeteiligten und der Projektgruppe.

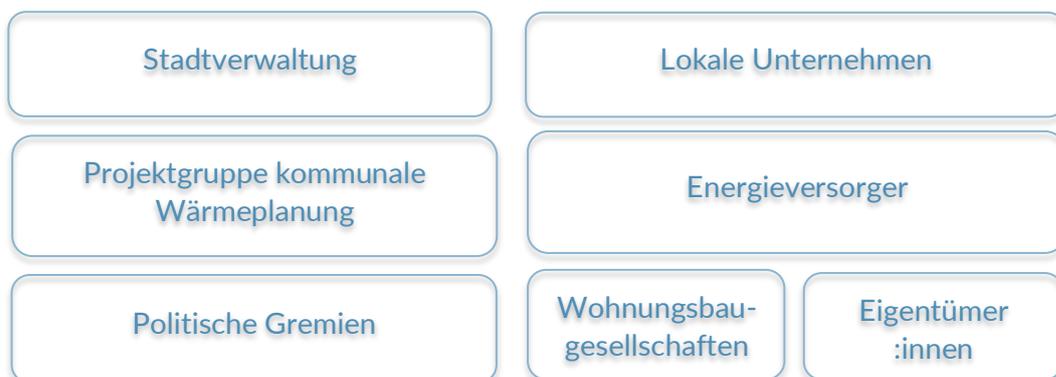


Abbildung 2-2: Akteursnetzwerk für die kommunale Wärmeplanung (Quelle: energielenker projects GmbH)

2.3.4 Wärmewendestrategie / Aufstellung Maßnahmenkatalog

Neben der Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien ist die effiziente Energienutzung die Voraussetzung für das Gelingen der Wärmewende. Durch den Prozess der kommunalen Wärmeplanung werden Potenziale und Bedarf systematisch zusammengeführt, um Einsatzmöglichkeiten der Energiequellen in einem Wärmesystem zu definieren und vor Ort umzusetzen, um so eine klimaneutrale Lösung zu erreichen.

Die lokale Verknüpfung von Energieströmen erfordert einen integrierten Ansatz, bei dem die Sektoren Strom, Wärme systemisch betrachtet werden. Die Maßnahmen sind als Projektvorschläge zu verstehen, die zur Erreichung der energiepolitischen Ziele der Stadt Radolfzell beitragen sollen. Diese sind spezifisch auf verschiedene Eignungsgebiete und Stadtquartiere ausgerichtet und berücksichtigen sowohl strukturelle als auch prozesshafte Aspekte auf Seiten der Stadtverwaltung. Die detaillierte Beschreibung der fünf Fokusgebiete und geplanten Maßnahmen soll dazu beitragen, die erforderlichen Treibhausgas-minderungen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen.

Die kommunale Wärmeplanung dient als strategischer Handlungsrahmen und Orientierungshilfe für die anschließende Umsetzungsphase. Die Ergebnisse und Handlungsempfehlungen des Wärmeplans dienen als Grundlage für die zukünftige Stadt- und Energieplanung der Stadt Radolfzell. Die nachfolgende Abbildung 2-3 verdeutlicht die Arbeitsphasen der kommunalen Wärmeplanung.

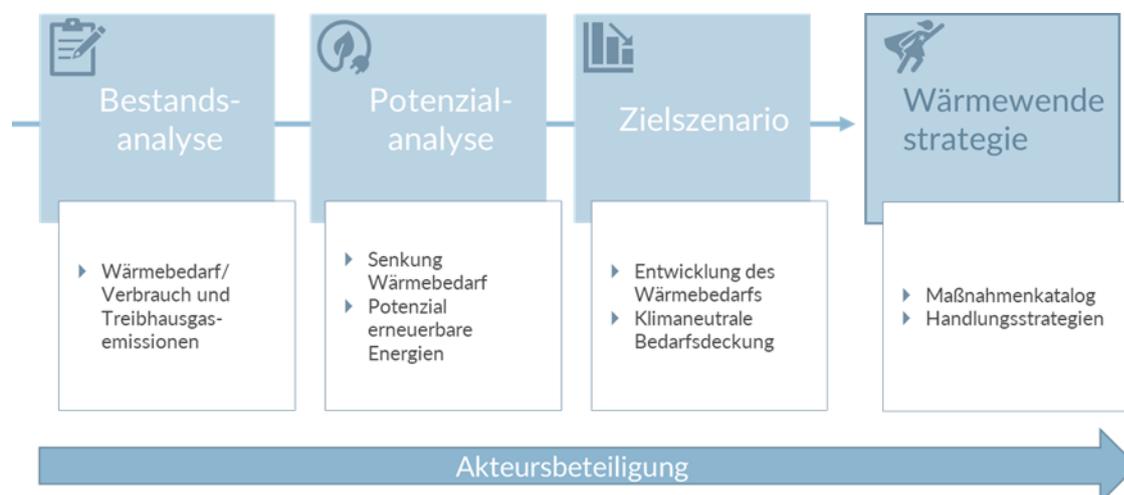


Abbildung 2-3: Arbeitsphasen der kommunalen Wärmeplanung (Quelle: energielenker projects GmbH)

3 BESTANDSANALYSE

3.1 KOMMUNALE BASISDATEN

Die Geschichte der Stadt Radolfzell geht zurück auf eine Klostergründung durch den späteren Namenspatron Bischof Radolf von Verona. im Jahr 826. Die ehemalige Fischer- und Weinbauernsiedlung entwickelte sich durch die Einfuhr von Reliquien zum bekannten Wallfahrtsort. Im Jahr 1267 wurde dem Marktflecken Radolfzell das Stadtrecht verliehen und der Aufschwung setzte sich weiter fort. Im Zuge der Gebietsreform wurden in den 1970er Jahren sechs Nachbargemeinden eingegliedert, und Radolfzell damit 1975 zur großen Kreisstadt.

Zur Stadt Radolfzell gehören heute die Ortsteile Böhringen, Güttingen, Liggeringen, Markelfingen, Möggingen, Stahringen, sowie die Kernstadt Radolfzell. In Abbildung 3-1 ist das Stadtgebiet von Radolfzell zusammen mit seinen Ortsteilen dargestellt.

Geographisch liegt die Stadt Radolfzell am nordwestlichen Ufer des Bodensees im Süden des Landes Baden-Württemberg. Die Stadt gehört zur Region Hochrhein-Bodensee und zum Landkreis Konstanz.

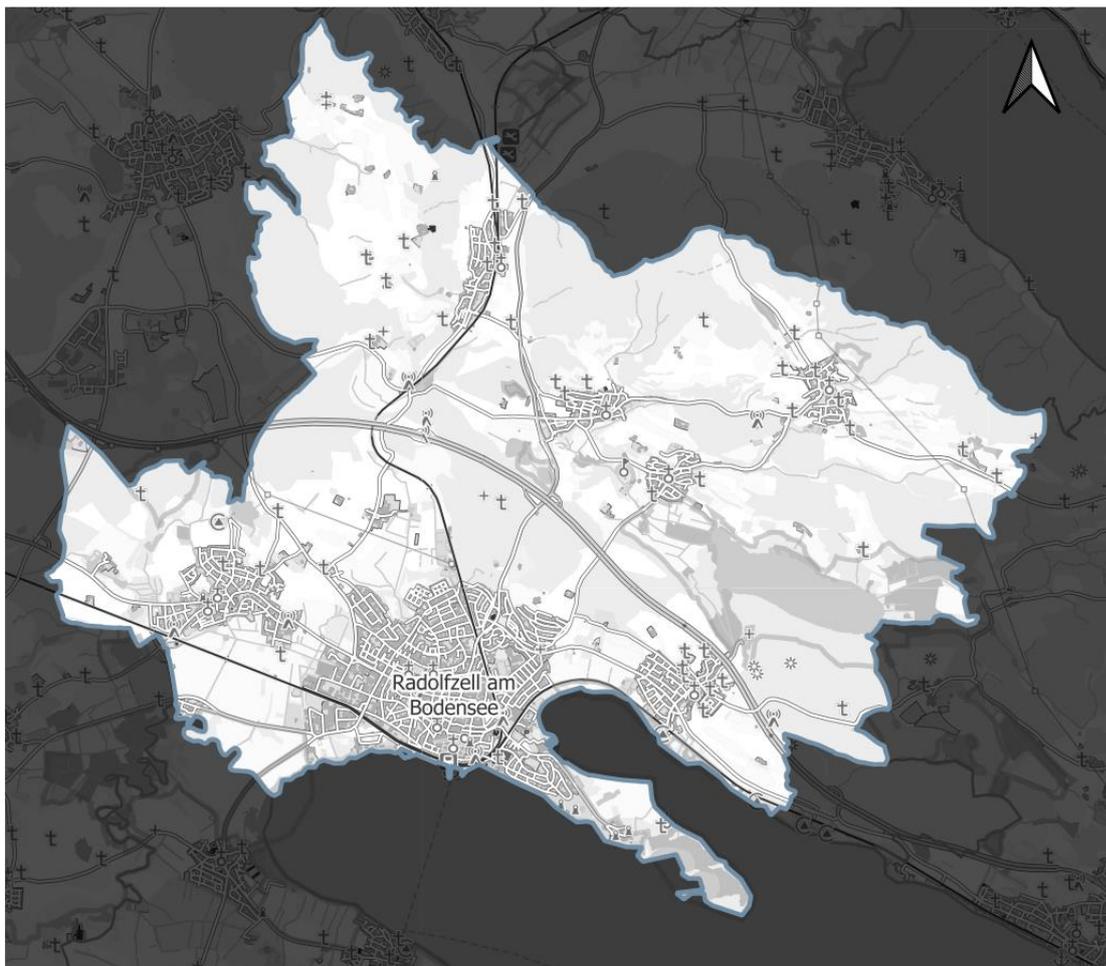


Abbildung 3-1: Radolfzell und seine Ortsteile [energielenker projects GmbH; Datenquelle: Maps4BW]

3.1.1 Demografische Entwicklung

Radolfzell weist aktuell ein Wachstum der Bevölkerung auf und zählt 32.048 Einwohner*innen (Statistisches Landesamt BW, 2022). In einer Prognose geht die Bertelsmann-Stiftung bis 2030 von einem Bevölkerungswachstum in Radolfzell von etwa 11,1 % aus. Der Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre wird auf 29,2 % geschätzt¹.

3.1.2 Energieversorgung

Die Stadtwerke Radolfzell GmbH sind das regionale Energieversorgungsunternehmen für die Stadt Radolfzell und tragen das Motto "immer vor Ort." Sie sind verantwortlich für die Bereitstellung von Strom, Gas, Wärme, Wasser, Internet und energienahe Dienstleistungen im Stadtgebiet. Die Stadtwerke Radolfzell leisten einen wichtigen Beitrag zur energetischen Weiterentwicklung und zur Schaffung einer attraktiven und lebenswerten Stadt. In enger Zusammenarbeit mit der Stadtverwaltung werden Projekte im Bereich der Energiewende wie der Ausbau des Fernwärmenetzes oder die Umsetzung von Bioenergie- und Solarenergiesiedlungen realisiert.

Im Stadtgebiet sind bereits bestehende Wärmenetze vorhanden, die durch die Stadtwerke Radolfzell betrieben werden. Ein zentrales Netz ist seit 2009 am Milchwerk in Betrieb. Außerdem liegt im Nordosten des Stadtgebietes das Bioenergiedorf in Möggingen, das seit 2010 aktiv ist. Das Solarenergiedorf in Liggeringen wurde 2019 in Betrieb genommen, und die Versorgung der Schafweide Nordstadt wurde 2022 umgebaut und ist nun in Betrieb. Die aktuellen Wärmenetze sind in Abbildung 3-2 dargestellt.



Abbildung 3-2: Bestehende Wärmenetze Radolfzell. Oben links - Wärmenetz am Milchwerk, oben rechts - Wärmenetz Möggingen, unten links - Wärmenetz Liggeringen, unten rechts - Versorgung Schafweide/Nordstadt

¹ Die Annahmen der Bevölkerungsvorausberechnung basieren auf Daten aus dem Jahr 2012 und sind damit inzwischen veraltet. Die Veröffentlichung einer neuen Vorausberechnung mit Zeithorizont 2040 wird sich, aufgrund der schwierigen Datenlage, weiter verzögern. Einen Veröffentlichungstermin kann die Bertelsmann-Stiftung derzeit noch nicht bestimmen.

3.1.3 Wirtschaft

Radolfzell ist eine Große Kreisstadt im Landkreis Konstanz in Baden-Württemberg. In Radolfzell findet man eine ausgewogene Mischung verschiedener Branchen, darunter produzierendes Gewerbe, Handel, Handwerk und Dienstleistungen. Besondere Schwerpunkte liegen dabei auf den Gebieten Fahrzeugtechnik/-elektrik, Maschinenbau/Automation, Pumpentechnik und Informations- und Kommunikationstechnologie.

3.1.4 Verkehrliche Anbindung

Radolfzell ist über die Bundesstraßen 33 und 34 an das Fernstraßennetz angebunden. Die A81 verbindet die Städte Würzburg und Schaffhausen. Der Bahnhof in Radolfzell dient als wichtiger Knotenpunkt. Vom Bahnhof aus verkehren stündlich Regional-Expresszüge zwischen Karlsruhe und Konstanz sowie Interregionalexpress-Züge in Ost-West-Richtung zwischen Ulm und Basel. Zusätzlich halten zwei Zugpaare im Fernverkehr am Bahnhof Radolfzell.

3.2 METHODIK DER DATENAUSWERTUNG

Um eine nachhaltige Wärmestrategie zu entwickeln, ist es zunächst notwendig die aktuelle Situation zu analysieren und darzustellen. Hierfür werden die übermittelten Energieversorgungsdaten als Basis für die Ermittlung des Endenergieverbrauchs für die leitungsgebundenen Energieträger ausgewertet. In Radolfzell umfasst dies den Verbrauch von Strom, Gas und Wärme.

Neben dem genannten Datensatz werden die Daten der Bezirksschornsteinfeger im Stadtgebiet Radolfzell sowie die Endenergieverbräuche der kommunalen Gebäude berücksichtigt. Durch die ergänzenden Daten können auch die nicht-leitungsgebundenen Energieträger ermittelt werden.

Aus den Daten der Bezirksschornsteinfeger kann sowohl die Anzahl der jeweiligen Anlagenarten (nach Energieträgern) als auch eine Einteilung in Leistungs-/ sowie Altersklassen erfolgen. Um von der Anlagenleistung der Öl- und Biomasseheizungen auf die eingesetzte Endenergiemenge schließen zu können, werden nutzungsartspezifische Volllaststunden angenommen.

Die verbrauchte Menge an Umweltwärme kann nur über den abgerechneten Wärmepumpenstrom abgeschätzt werden. Hierzu wird eine durchschnittlicher Leistungszahl von 3,5 (COP) der Wärmepumpe angenommen und daraus die Wärmeerzeugung berechnet. Zur Verfügung stehen somit nur die über einen separaten Zähler bzw. Tarif abgerechnet oder bezogenen Mengen an Strom.

Aufbauend auf der Energiebilanz wird eine Treibhausgasbilanz erstellt. Hierfür wird das CO₂-Bilanzierungstool BICO2 BW eingesetzt, das durch das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU) im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft entwickelt wurde. Das Tool basiert auf der standardisierten Bilanzierungssystematik BSKO – „Bilanzierungs-Systematik Kommunal“, die als Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland erarbeitet wurde. Die verankerten CO₂-Faktoren beruhen größtenteils auf der Datenbank des Globalen Emissions-Modells integrierter Systeme (GEMIS-Datenbank) und Studien des Umweltbundesamtes.

Für die Erstellung von Reduktionsszenarien ist die Definition einer Ausgangsbilanz erforderlich. Aufgrund der Daten aus verschiedenen Quellen und Jahren (2019-2022) sowie notwendigen Hochrechnungen, ist sie als Annäherung an den tatsächlichen Endenergieeinsatz zu verstehen.

Die Ausgangsbilanz dient als Grundlage, um nach der Bewertung verschiedener Einsparpotenziale in den Sektoren „Private Haushalte“, „Wirtschaft“ und „Kommunale Liegenschaften“ den Endenergiebedarf im Jahr 2035 zu prognostizieren.

Ein interkommunaler Vergleich dieser Bilanz ist häufig nicht zielführend, da regionale und strukturelle Unterschiede sehr hohen Einfluss auf die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) von Kommunen haben können.

Im Folgenden werden die Endenergieverbräuche sowie die THG-Emissionen der Stadt Radolfzell aufgeschlüsselt und nach Sektoren dargestellt.

3.2.1 Endenergiebilanz

Das Stadtgebiet Radolfzell weist sektorenübergreifend einen Endenergiebedarf von rund 361.817 MWh für den Wärmebereich auf.

Abbildung 3-3 stellt die prozentuale Verteilung des Endenergieeinsatzes je Sektor dar. Es kann festgestellt werden, dass der Sektor „Private Haushalte“ mit 63,2 % den größten Anteil am Gesamtendenergieeinsatz ausmacht. Unter dem Sektor „Wirtschaft“ werden für diese Betrachtung die Sektoren „Verarbeitendes Gewerbe/Industrie“ und der Sektor „Gewerbe Handel und Dienstleistungen (GHD)“. Der Wirtschaftssektor nimmt einen Anteil von 33,7 % ein. Die übrigen 3,1 % können den kommunalen Liegenschaften zugeordnet werden.

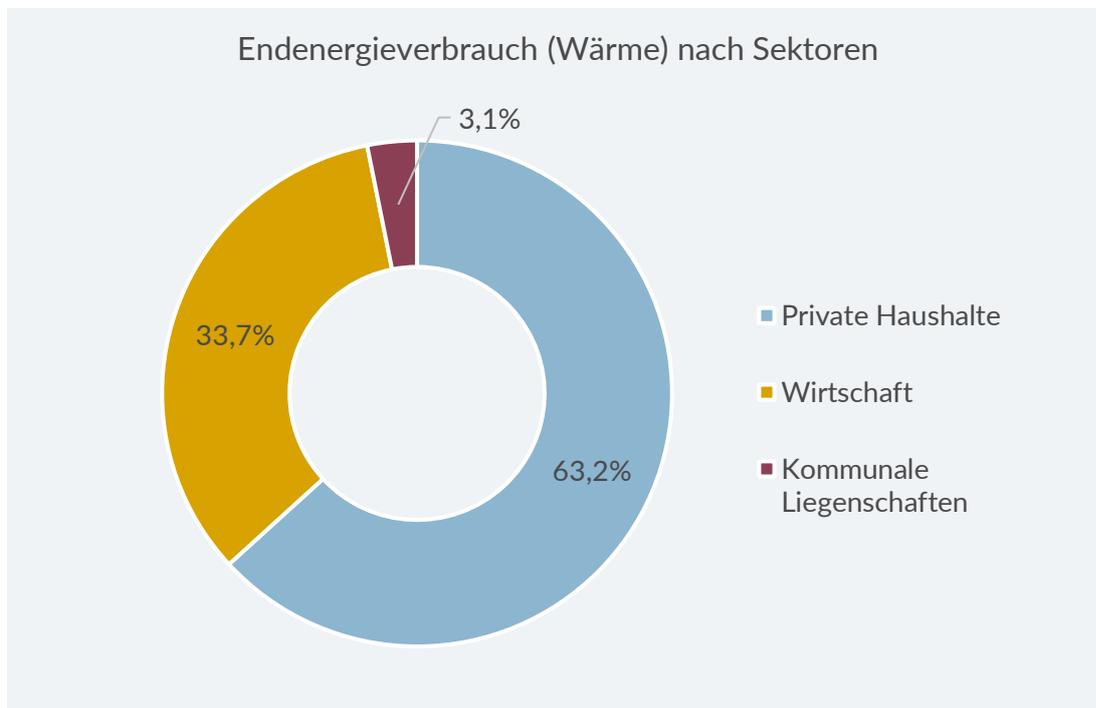


Abbildung 3-3: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergieeinsatz in Radolfzell [energielenker projects GmbH, Daten-grundlage BICO2BW, Stadtwerke Radolfzell und Schornsteinfegerdaten]

Der Endenergieverbrauch wird nachfolgend zusätzlich zur Untergliederung in die Sektoren auch differenziert nach den eingesetzten Energieträgern dargestellt. Als häufigster Energieträger wird in allen drei Sektoren nach wie vor Erdgas eingesetzt. Etwa 57 % des leitungsgebundenen Energieverbrauchs können darauf zurückgeführt werden. Bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch der jeweiligen Sektoren setzt der Sektor „Wirtschaft“ mit 60 % einen höheren Prozentsatz an Erdgas ein als der Sektor „Private Haushalte“ mit 56 %. In beiden Sektoren stellt Heizöl mit 31 % bzw. 20 % den zweitgrößten Energieträger dar.

Insgesamt machen Erdgas und Heizöl zusammen etwa 81 % des Energieverbrauchs für die Wärmebereitstellung aus. Die Vorrangstellung fossiler Energieträger wird hierdurch unterstrichen. Der verbleibende Bedarf wird durch Biomassefeuerungen (ca. 11 %), Fernwärme (ca. 5 %), Umweltwärme und Sonnenkollektoren (zusammen ca. 1 %), Wärmestrom und Kohle (jeweils > 1 %) gedeckt. Die Nutzung von Biomassefeuerungen zur Wärmebereitstellung erfolgt hauptsächlich im privaten Sektor (83 %).

Der Wärmebedarf der kommunalen Gebäude wird zu rund 72 % durch Erdgas und zu 27 % über Fernwärme gedeckt. Der verbleibende Bedarf wird über Heizöl und Wärmestrom gedeckt.

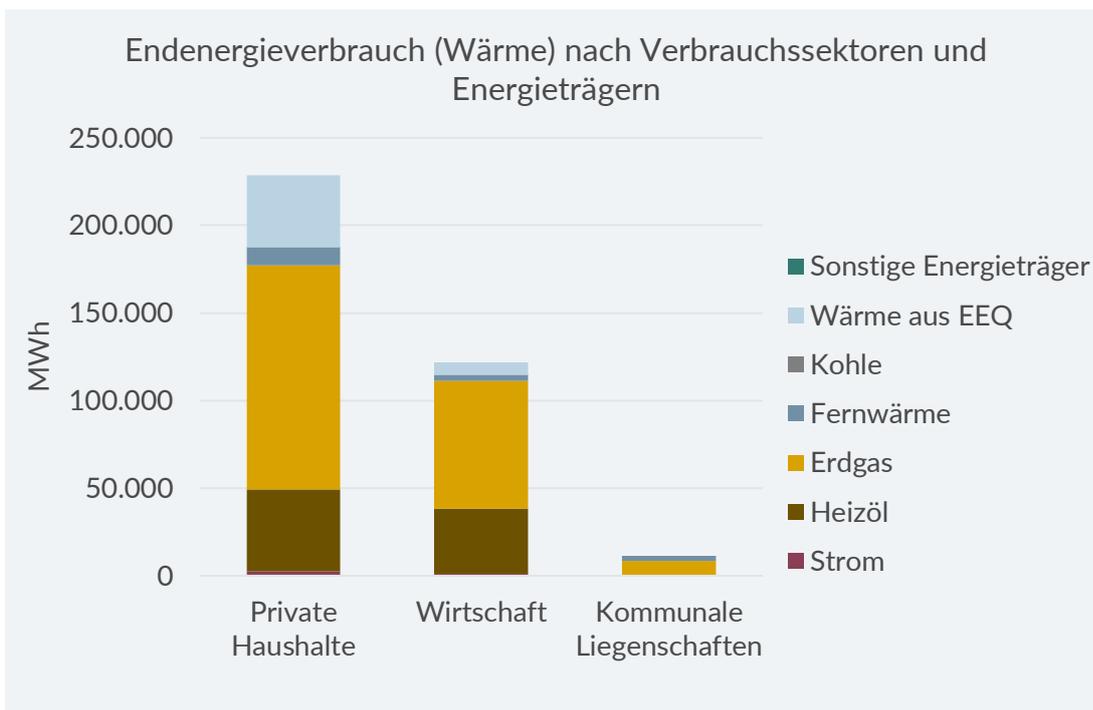


Abbildung 3-4: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren und Energieträger in Radolfzell 2021 [energielenker projects GmbH, Datengrundlage: BICO2BW Stauerwerk GmbH & Co.KG und Schornsteinfegerdaten]

3.2.2 THG-Emissionen in der Stadt Radolfzell

Für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen werden die von der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA BW) empfohlenen CO₂-Emissionsfaktoren verwendet. Die Faktoren setzen sich aus Kennwerten des Forschungsinstituts IFEU, der GEMIS-Datenbank, des Internationalen Instituts für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien GmbH (IINAS) und dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) zusammen. Dabei handelt es sich um so genannte LCA-Faktoren (life-cycle-analysis, engl. für Lebenszyklusanalyse), welche die gesamten zur Produktion und Distribution benötigten Vorketten miteinbeziehen. Die Emissionsfaktoren sind als CO₂-Äquivalente angelegt, sodass das Globale Erwärmungspotential (Global Warming Potential) aller klimawirksamen Gase vergleichbar gemacht werden kann. Beispielsweise entspricht 1 kg Methan etwa 21 kg CO₂-Äquivalent. Deshalb sind die verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren immer etwas höher als reine CO₂-Faktoren, da die Auswirkungen weiterer Treibhausgase mit bilanziert werden (im Folgenden vereinfacht nur mit CO₂ bezeichnet).

Tabelle 1: Emissionsfaktoren der Energieträger (Quelle: Technologie - Katalog der Klima- und Energieagentur Baden-Württemberg)

Ausgewählte Energieträger	CO ₂ -Emissionsfaktor [g/kWh]
Heizöl	311
Erdgas	233
Wärmenetz	261
Holz	22
Umweltwärme	40
Sonnenkollektoren	25
Biomethan	90
Abfall	121
Flüssiggas	270
Kohle	473

Entsprechend der aufgestellten Ausgangsbilanz fallen auf dem Stadtgebiet Radolfzell CO₂-Emissionen in Höhe von knapp 85.900 Tonnen pro Jahr für die Wärmebereitstellung an. Die prozentualen Anteile der stadtweiten CO₂-Emissionen entfallen zu 60 % auf den Sektor „Private Haushalte“ und zu 37 % auf den Sektor „Wirtschaft“. Die übrigen 3 % können den kommunalen Liegenschaften zugeordnet werden.

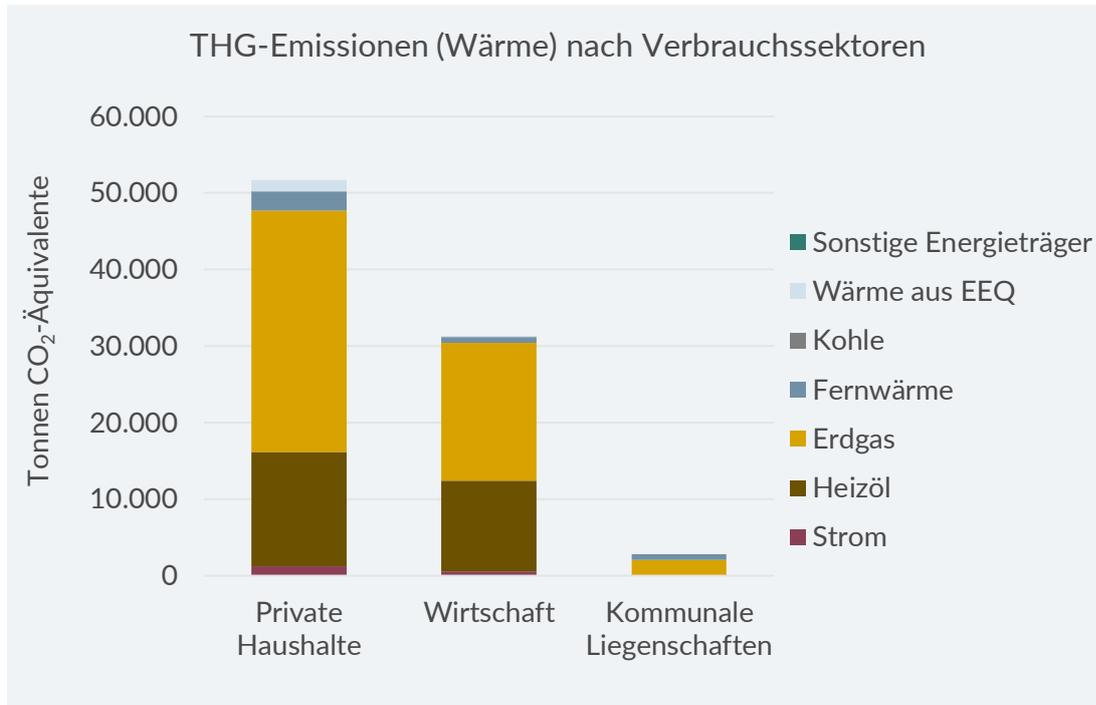


Abbildung 3-5: Endenergieverbrauch zur Wärmeversorgung nach Verbrauchssektoren und Energieträger in Radolfzell 2021 [energielenker projects GmbH, Datengrundlage: BICO2BW, Stadtwerke Radolfzell und Schornsteinfegerdaten]

3.3 AUSWERTUNG DER ANLAGENTECHNIK

Insgesamt wurden 12.177 heiztechnische Anlagen (inkl. Schwedenöfen und exkl. Fernwärmeanschlüsse) durch die Schornsteinfegerdaten erfasst. Die größte Gruppe an Wärmeerzeugungsanlagen bilden die Gasfeuerungsanlagen mit einer Anzahl von 2.910 Stück. Davon befinden sich 1.707 Stück in einem Leistungsbereich zwischen 10 und 25 kW. Anlagen dieser Größe können im Wesentlichen dem Wohngebäudebereich zugeordnet werden. Die Geräte sind nicht mehr Stand der Technik und werden in der Regel nicht mehr eingebaut. Die zweitgrößte Gruppe stellen die Gasbrennwertgeräte dar, diese weisen ein Vorkommen von 21 % auf. Anlagen mit Brennwerttechnik nutzen zusätzlich die Wärme im Abgas des Systems und sind daher effizienter als herkömmliche Gaskessel. Des Weiteren werden auf dem Stadtgebiet ca. 1.604 Ölfeuerungsanlagen betrieben. Die Ölbrennwertanlagen haben einen Anteil von lediglich 1,4 %. Die erfassten Feststoffanlagen teilen sich in Holz- und Kohleheizungen auf. In Radolfzell machen Feststoffanlagen mit einem Anteil von ca. 3 % nur einen marginalen Anteil an der Wärmeerzeugung aus. Kohleheizungen sind mit einem Anteil von < 1 % kaum vertreten. In Abbildung 3-6 sind die verschiedenen Anlagentypen nach Leistungsklassen sortiert dargestellt.

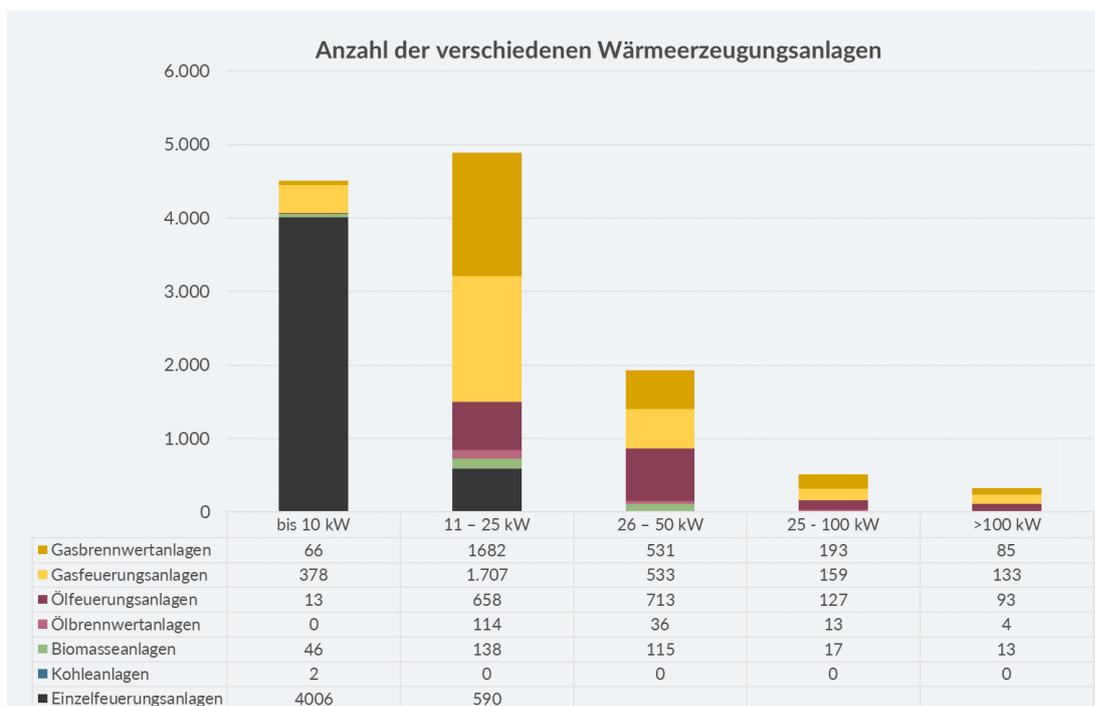


Abbildung 3-6: Bestand der erfassten Heizungsanlagen nach Leistungsklassen - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten]

Die Energieträger Holz und Kohle werden außerdem in Einzelraumfeuerstätten eingesetzt. Auch Heizöl kommt in diesen Feuerstätten auf dem Stadtgebiet Radolfzell zum Einsatz. Sämtliche Anlagen werden in der Kategorie bis 11 kW geführt. Maßgeblich treten mit Biomasse (Holz) befeuerte Einzelanlagen auf. Hierbei handelt es sich in der Regel um Komfortöfen.

Insgesamt beläuft sich die Zahl der Einzelfeuerungsanlagen auf 4.596 Stück. Dazu zählen 92 Anlagen mit Energieträger Heizöl und eine Anlage auf Basis von Kohle. Abbildung 3-7 stellt die beschriebene Verteilung der Einzelfeuerungsanlagen dar.

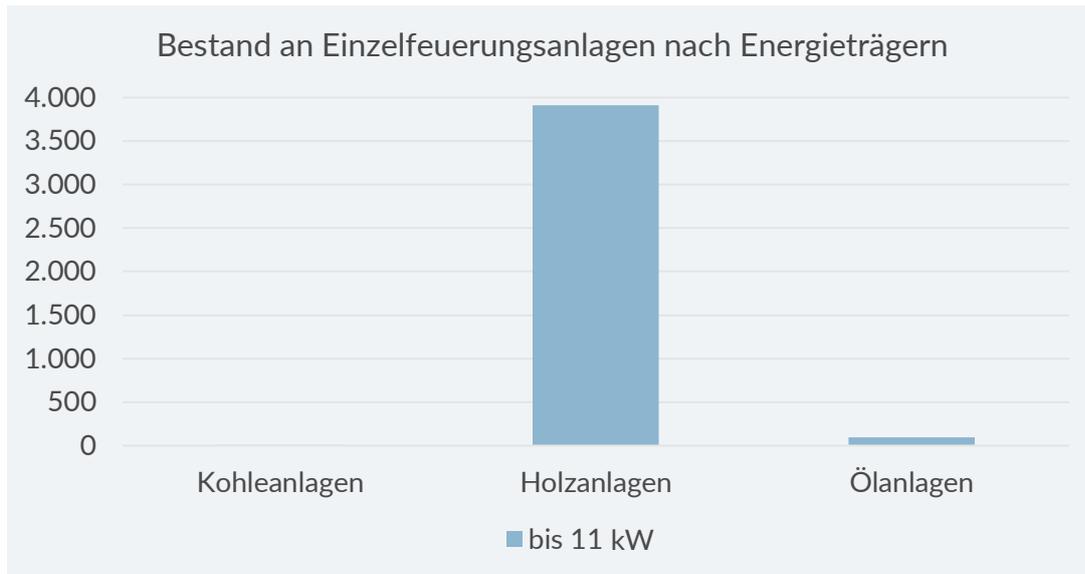


Abbildung 3-7: Bestandsverteilung der Einzelfeuerungsanlagen - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH; Daten-grundlage: Schornsteinfegerdaten]

Für eine gesamtheitliche Darstellung wird eine prozentuale Verteilung der Wärmeerzeuger anhand der Anzahl generiert. Diese Verteilung berücksichtigt nicht die Anlagengröße und lässt daher keinen Rückschluss auf den Anteil des Erzeugers am Endenergieverbrauch zu. Abbildung 3-8 zeigt die prozentuale Verteilung der erfassten Wärmeerzeuger auf dem Stadtgebiet Radolfzell.

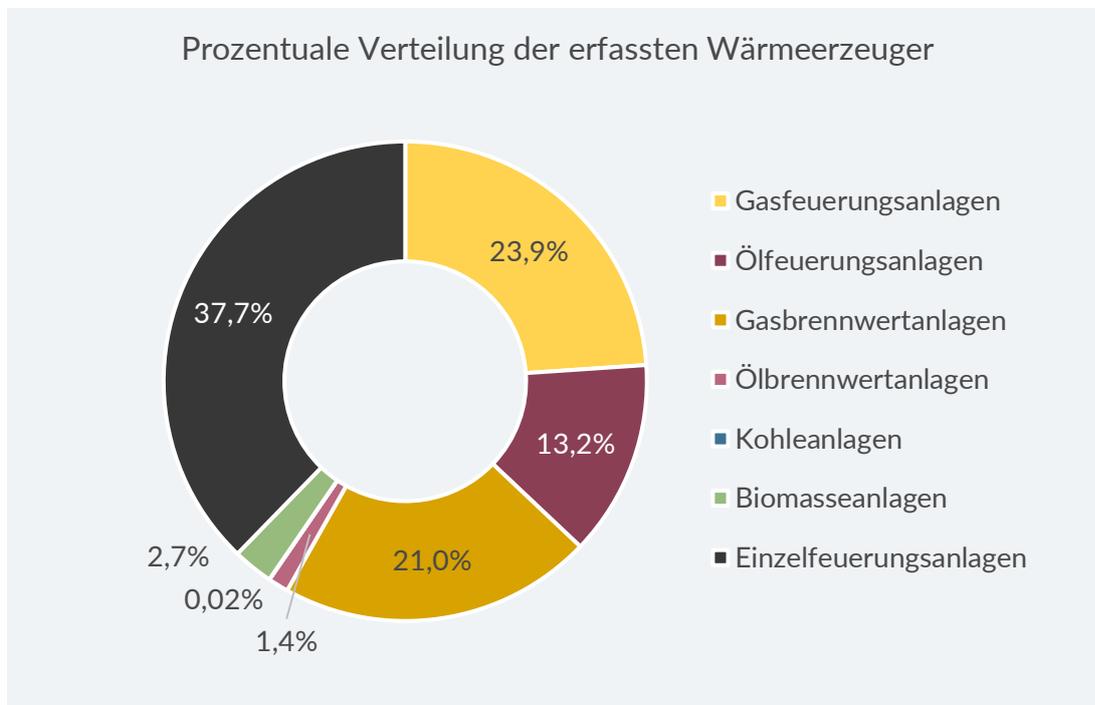


Abbildung 3-8. Prozentuale Verteilung der erfassten Wärmeerzeuger - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten]

3.4 WÄRMEBEDARF

Der Wärmebedarf des Basisjahres für das gesamte Quartier wird anhand der Schornsteinfegerdaten, den Daten der Energieunternehmen und der Stadt ermittelt. Durch die priorisierte Verwendung der realen Verbrauchsdaten wird eine hohe Qualität der kommunalen Wärmebedarfswerte gewährleistet. Die Art der Energiebereitstellung (Energieträger, Versorgungssystem) spielt bei der Betrachtung dieser Bewertungsgröße keine Rolle. Insgesamt ergibt sich für Radolfzell ein Wärmebedarf von 361.817 MWh. In den nachfolgenden Abbildungen ist die räumliche Verteilung der Wärmebedarfe und der Wärmeliniedichte im Stadtgebiet dargestellt. Dadurch lassen sich erste Rückschlüsse auf potenzielle Wärmenetzeignungsgebiete ziehen, wobei eine hohe Wärmeliniedichte eine bessere Eignung impliziert.

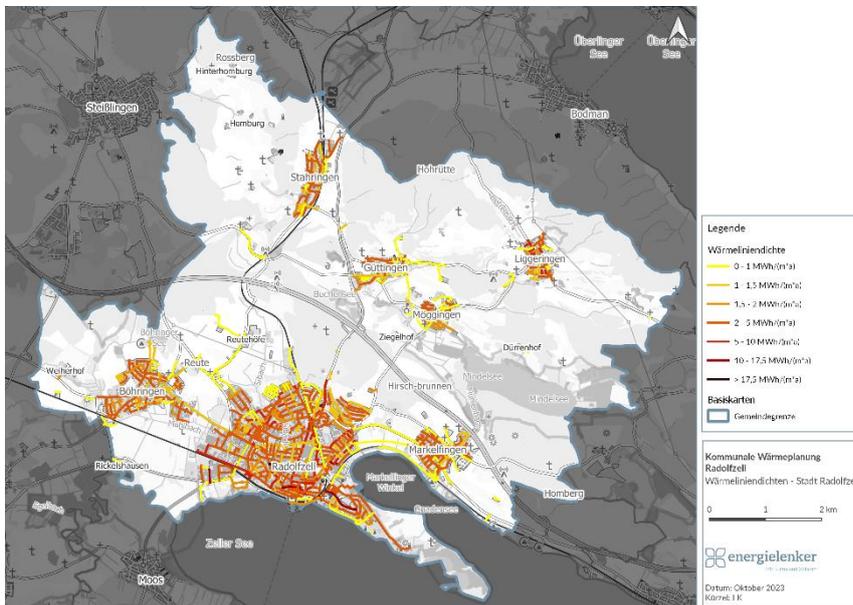


Abbildung 3-8: Wärmeliniedichten - Stadt Radolfzell

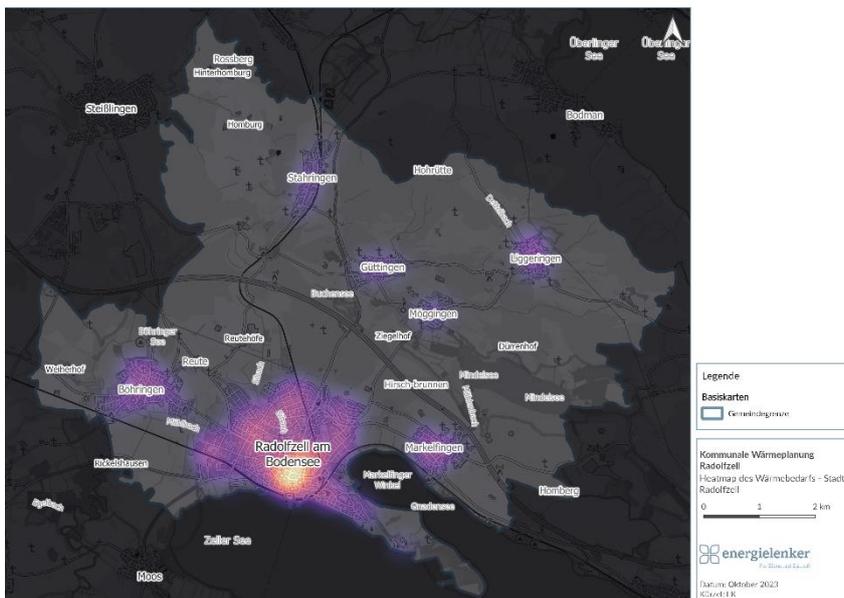


Abbildung 3-9: Heatmap Wärmebedarf - Stadt Radolfzell

4 TECHNOLOGIEMATRIX

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, müssen die lokalen Wärmequellen lokalisiert und genutzt werden. Dazu stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung, von denen einige bereits ausgereift und jahrzehntlang erprobt sind, während andere, neue Technologien aktuell noch nicht wirtschaftlich eingesetzt werden können. Um die zukünftige Rolle der Technologien am Energiemarkt bewerten zu können, sind die Aspekte des Flächenbedarfs bzw. Flächenverbrauchs, der örtlichen Verfügbarkeit, des CO₂-Ausstoßes sowie ökonomische Aspekte wie Investitionskosten und Betriebskosten zu analysieren. Neben der Erzeugung werden auch infrastrukturelle Aspekte, wie die Verteilung der Wärme über Fernwärmenetze sowie die Speicherung thermischer Energie, eine wesentliche Rolle spielen. Lokale Wärmequellen können Abwärme aus dem Gewerbe, Abwasserwärme, Flusswasserwärme, Erdwärme, Solarenergie, oder bislang ungenutzte Biomasse sein. An einem konkreten Standort sind die Potenziale an erneuerbarer Wärme und Abwärme allerdings häufig so groß, dass für ein einzelnes Gebäude nur ein Bruchteil des Potenzials nutzbar ist. Effektiver und kostengünstiger ist es, die Potenziale möglichst umfassend zu erschließen. Das geht meist nur mit einem gebäudeübergreifenden Ansatz (Keimzelle) oder über ein Fernwärmenetz. Im Abschnitt 4.1 werden zuerst die unterschiedlichen Wärmeversorgungsinfrastrukturen dargestellt und im Abschnitt 4.2 ein Überblick über die möglichen Wärmequellen und Nutzungs-Technologien gegeben.

4.1 WÄRMEVERSORGUNGSINFRASTRUKTUR

Für eine erfolgreiche Dekarbonisierung des Wärmesektors spielt nicht allein die Nutzung erneuerbarer Wärmequellen eine wichtige Rolle. Ebenso wichtig ist die Rolle der Infrastrukturen, dazu gehören Wärmenetze, Wärmespeicher aber auch die Gebäude selbst. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft die Wärmeversorgung diverser wird und es stärker darauf ankommt, alle Akteure und Systembestandteile multivalent in das Versorgungssystem einzubeziehen. Das bedeutet, dass einzelne, in das Wärmenetz eingebundene Akteure zu unterschiedlichen Zeiten Wärmeabnehmer und Wärmelieferant sein können. Um niedrig temperierte Wärme, zum Beispiel aus erneuerbaren Wärmequellen und Abwärme, aufnehmen zu können und bei der Verteilung möglichst wenig Wärme an die Umwelt zu verlieren, werden Wärmenetze sukzessive umgebaut und in moderne Wärmenetze transformiert. Voraussetzung dafür ist, dass dies technisch und aus Sicht der Wärmekunden bedarfsgerecht möglich und für die Betreiber der Wärmenetze wirtschaftlich zumutbar ist (bauliche Voraussetzungen der Gebäude). Bei einer steigenden Bedeutung der Versorgung durch Wärmenetze stellt sich die Frage, welche Rolle die heute oft flächendeckend vorhandenen Gasnetze in Zukunft spielen werden. Da für den wirtschaftlichen Betrieb der Wärmenetze die Anschlussquote entscheidend ist, gilt es zu vermeiden, dass Wärmenetze und Gasnetze miteinander konkurrieren und sich „kannibalisieren“. Gasnetze können perspektivisch als Speichermedium genutzt werden, indem sie vermehrt, biogene und synthetische Gase aufnehmen und transportieren.

4.1.1 Zentrale Wärmeversorgung

Die Zentrale Wärmeversorgung bezeichnet die Versorgung mehrerer Gebäude über Wärmeleitungen. Wärmenetze bieten einen strategischen Vorteil zum Erreichen der Klimaschutzziele: Bei der Modernisierung von Erzeugungsanlagen oder der Umstellung auf erneuerbare Energien werden auf einem Schlag alle angeschlossenen Verbraucher erreicht - Maßnahmen in diesem Bereich haben also einen großen Hebel im Vergleich zu objektbezogenen Maßnahmen. Auf diese Weise können in der Fernwärme durch den Ersatz von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien schnell größere Mengen CO₂-Emissionen vermieden werden. Potenziale für Wärmenetze finden sich in städtebaulichen Strukturen mit entsprechend hoher Wärmedichte. Die Wärmedichte ist dabei ein Indikator für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmeleitungen – je höher die Wärmedichte, desto geringer fällt der Anteil der Leitungsverluste aus. Eine langfristig nachhaltige Fernwärmeversorgung weist ein niedrigeres Temperaturniveau auf und integriert lokale, erneuerbare Wärme und Abwärme. Dafür müssen schon heute durch geeignete Maßnahmen die Weichen für eine langfristige Transformation der Wärmeversorgung gestellt werden.

4.1.2 Keimzellen

Neben großen Fernwärmenetzen mit vielen Hausanschlüssen kann auch eine kleinere Gruppierung von Gebäuden über Wärmeleitungen von einer gemeinsamen Heizzentrale mit Wärme versorgt werden. Solche Nahwärmeinseln können als „Keimzellen“ Wärmeversorgungskonzepte im Quartier ermöglichen und nach und nach zu größeren Netzen zusammengeschlossen werden. Gute Voraussetzungen für eine Keimzelle bestehen für Gebäude, die einen großen Teil des Wärmeverbrauchs in einem Quartier ausmachen und durch einen Akteur verwaltet werden können, z.B. öffentliche Gebäude, Gebäude von Wohnungsbaugesellschaften oder -Genossenschaften, Gewerbe oder Neubau. Für die Wärmeerzeugung wird ein geeigneter Standort für die Heizzentrale benötigt. Solche „Keimzellen“ für Nahwärmeinseln sind in Bezug auf die Wärmeerzeugung grundsätzlich technologieoffen. Zur Wärmeversorgung können Erdgas-BHKWs als Brückentechnologie eingesetzt werden, die dann sukzessive durch erneuerbare Wärme ersetzt werden.

4.1.3 Ebene Einzelgebäude

Nicht alle Gebäude können sinnvollerweise über Wärmenetze versorgt werden. Liegt der Wärmebedarf in einem Bereich unter 100 MWh/ (ha*a), kann davon ausgegangen werden, dass ein Wärmenetz in diesem Bereich nicht wirtschaftlich ist und dass die Gebäude auch zukünftig durch dezentrale Einzelheizungsanlagen versorgt werden müssen. Nur knapp ein Viertel der rund 20 Millionen Einzelheizungsanlagen in Deutschland sind auf dem aktuellen Stand der Technik, d.h. sie verfügen mindestens über Brennwerttechnologie oder nutzen erneuerbare Energien.

Neben der Einsparung von Wärmeenergie durch Sanierungs- und Dämmmaßnahmen an der Gebäudesubstanz, stellt der Austausch von Öl- und Gas-Einzelheizungen ein großes Potenzial zum Erreichen der Klimaschutzziele dar. Die hohen Investitionskosten und langen Produktzyklen von Heizungsanlagen erschweren dabei jedoch die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Die Kommune hat auf die Wahl der Heizungstechnologien auf der Ebene der Einzelgebäude nur geringen Einfluss, beispielsweise durch die Nutzung vertragsrechtlicher Instrumente wie z.B. Festlegungen in Kaufverträgen für Grundstücke oder Bebauungsplänen. Für Gebäudeeigentümer ergibt sich jedoch häufig ein konkreter Anlass für einen Heizungstausch durch die bundesweiten attraktiven Fördermöglichkeiten.

4.1.4 Wärmespeicher

Während Wärmeerzeugungsanlagen auf Basis fossiler Energieträger genau dann Wärme produzieren, wenn diese benötigt wird, findet die Wärmeerzeugung durch erneuerbare Wärmequellen häufig zeitlich unabhängig vom Wärmebedarf statt. Wärmespeicher bieten je nach Speichertechnologie und Dimension die Möglichkeit die erzeugte Wärme über einen Zeitraum von einigen Stunden bis zu mehreren Monaten zu speichern, bis diese vom Wärmeabnehmer benötigt wird. Daher werden Wärmespeicher häufig in Kombination mit erneuerbaren Wärmequellen eingesetzt und finden sowohl auf der Ebene der Einzelgebäude als auch in Wärmenetzen Anwendung.

Folgende Wärmespeicher-Technologien kommen dabei zum Einsatz:

- Behälter-Wärmespeicher
- Erdbecken-Wärmespeicher
- Erdsonden-Wärmespeicher
- Aquifer-Wärmespeicher

4.1.5 Erdgasnetz

Eine Transformation des Wärmesektors hat ebenso Auswirkungen auf die Gestaltung der Strom- und Gasversorgungsnetze. Vor diesem Hintergrund stellt sich insbesondere für Betreiber und Eigentümer von Gasverteilnetzen die Frage, welche Funktion die Netze auf lange Sicht einnehmen werden und welche wirtschaftlichen Effekte damit verbunden sind. Grundsätzlich kann die Gasinfrastruktur im Rahmen der Systemtransformation zukünftig eine wichtige Ergänzung zu den Erneuerbaren Energien darstellen. Dabei ist die Entwicklung der Gasverteilnetze insbesondere davon abhängig, inwieweit die bereits vorhandene Gasinfrastruktur zur Lösung der zunehmenden Flexibilitätsprobleme im Energiesystem beiträgt. Auch die sogenannten grünen Gase (Biogas, Biomethan, Wasserstoff oder synthetisches Methan) können bei der Veränderung des Energiesystems eine tragende Rolle spielen.

Deren Nutzung muss zunächst in den Sektoren erfolgen, die aus technologischen Gründen auf die hohe Energiedichte des Brennstoffes angewiesen sind.

Priorität werden zunächst die Sektoren Mobilität und Strombereitstellung haben, gefolgt von PtG- Anlagen für die Kopplung der Sektoren und Nutzung in KWK-Anlagen. Stehen Verantwortliche in Zukunft also vor der Entscheidung, ob und wie die Gasnetze ausgebaut werden sollen, muss dies insbesondere in Einklang mit der Fernwärmestrategie und in Betrachtung des gesamten Energiesystems erfolgen. In den dicht besiedelten Gebieten wird es auf Dauer wirtschaftlich nicht möglich sein, eine doppelte Infrastruktur aufrechtzuerhalten. Abbildung 4-1 veranschaulicht die komplexe Struktur des Energiesystems der Zukunft mit 100 Prozent erneuerbaren Energien.

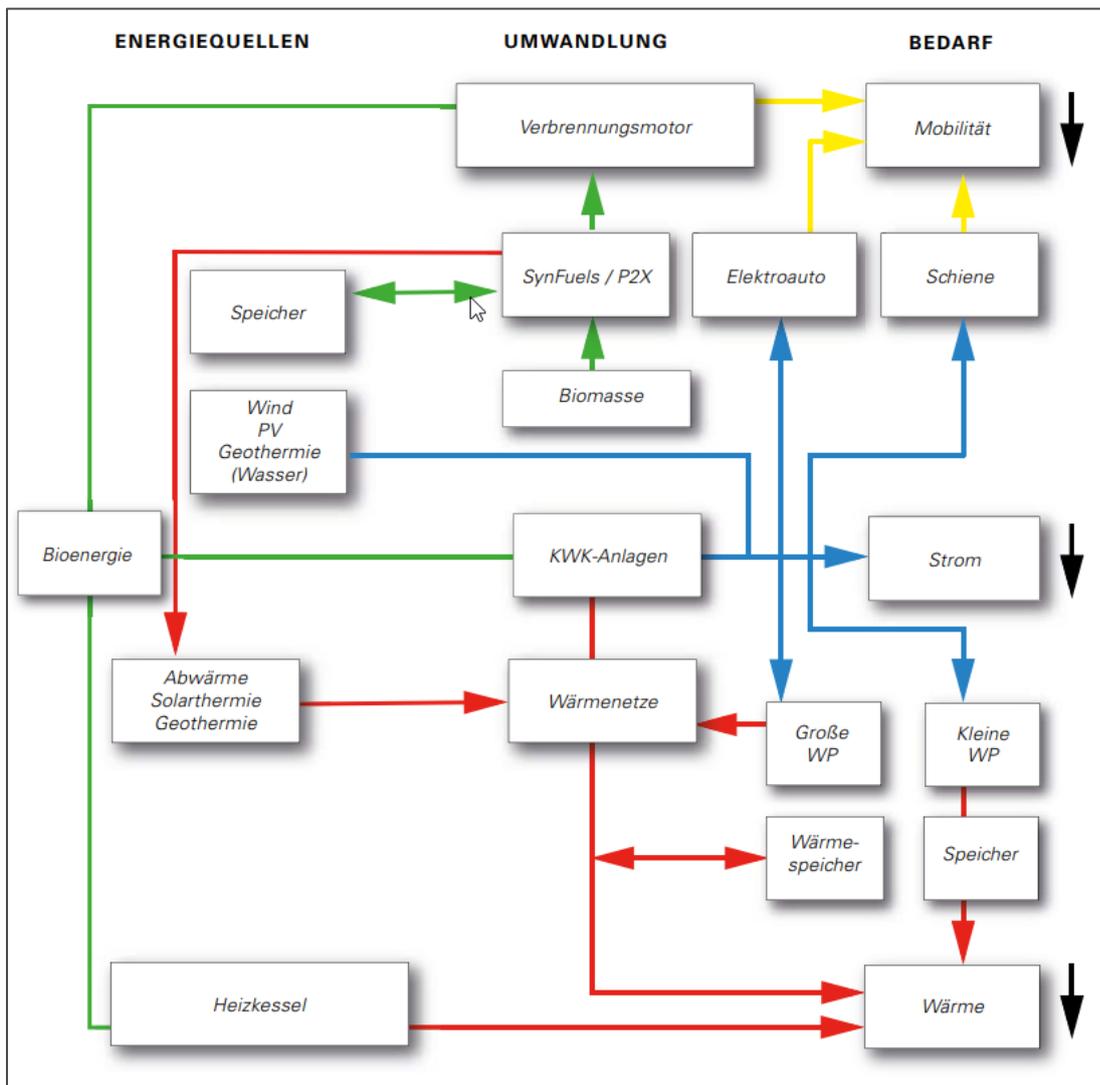


Abbildung 4-1: Komplexe Struktur des Energiesystems der Zukunft mit 100 Prozent erneuerbaren Energien [KEA-BW, Grafik verändert nach Reasearch Center 4DH, Universität Aalborg. Abkürzung WP:Wärmepumpe]

4.2 WÄRMEERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN

Der Wärmebedarf lässt sich anhand des wärmespezifischen Urbanitätsgrads unterscheiden, der die Wärmedichte in einen Zusammenhang mit den Siedlungstypen stellt. Dicht besiedelte Gebiete zeichnen sich durch eine hohe Wärmedichte aus, und sind insbesondere in urbanen Ballungszentren anzutreffen. Dünn besiedelte Gebiete liegen schwerpunktmäßig am Stadtrand und in den ländlich gelegenen Stadtteilen. Mittel besiedelte Gebiete liegen im Wärmebedarf pro Fläche zwischen dünn und dicht besiedelten Flächen, wobei die Übergänge oft fließend sind. Bei der Analyse dieser drei Bereiche zeigt sich, dass 30 Prozent des Wärmebedarfs auf nur 5 Prozent der Fläche in den dicht besiedelten Gebieten anfallen (vgl. Die Wärmezielscheibe, Roedel & Partner).

In den folgenden Kapiteln werden unterschiedliche Wärmeerzeugungs-Technologien vorgestellt. Alle diskutierten Technologien haben ihre Daseinsberechtigung und ihre Vorteile, was sie für eine erfolgreiche Wärmewende und zur Erreichung der Klimaziele unabdingbar macht. Dafür sind die jeweiligen lokalen und strukturellen Gegebenheiten zu analysieren und die jeweils optimalen Technologien auszuwählen. Wichtig dabei ist, dass die Technologien nicht miteinander konkurrieren, sondern in den Urbanitätsgraden zum Einsatz kommen, die dem Anforderungsprofil der Technologie optimal entsprechen. Damit können für alle Technologien geeignete Marktsegmente mit jeweils ausreichendem Marktvolumen herausgearbeitet werden. Abbildung 4-2 stellt die verschiedenen Wärmeerzeugungs-Technologien in Abhängigkeit zum wärmespezifischen Urbanitätsgrad und dem Siedlungstyp dar.

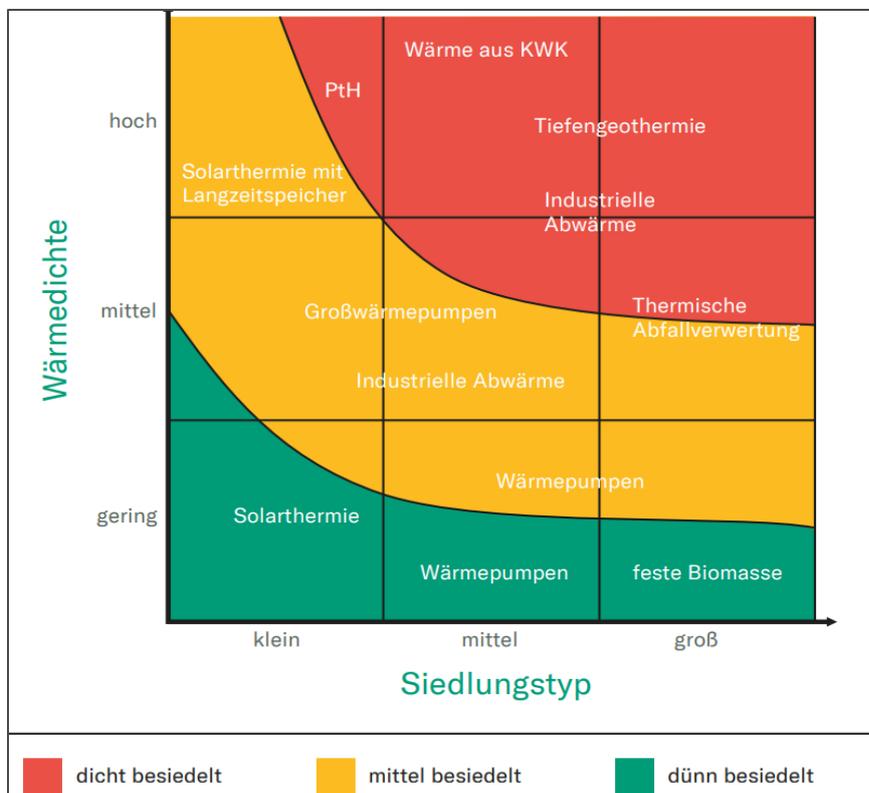


Abbildung 4-2: Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp [Roedel & Partner]

4.2.1 Lokale Biomasse

Findet die Biomasse Verwendung als Energieträger, so wird generell zwischen der primären und der sekundären Biomasse unterschieden. Die primäre Biomasse bezeichnet dabei die direkt für die energetische Nutzung kultivierte Biomasse wie z.B. Raps oder Getreide. Die sekundäre Biomasse, auch Abfall-Biomasse genannt, wird aus organischen Reststoffen wie beispielsweise Altpapier oder Sägereststoffen sowie Lebensmittelabfällen gebildet. Je nach Aufbereitungsweg zu festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen ergeben sich Möglichkeiten zur Erzeugung von Strom, Treibstoffen und Wärme. In jüngster Zeit gewinnt vor allem die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität und die anschließende Einspeisung in das Erdgasnetz zunehmend an Bedeutung. Das zu Biomethan aufbereitete Biogas erweist sich als eine klimafreundliche Alternative zu Erdgas.

Ein wesentlicher Umweltvorteil liegt in der Verminderung treibhauswirksamer Emissionen, zumal nur so viel CO₂ freigesetzt werden kann, wie zuvor durch die Biomasse gebunden wurde. Biomasse ist sowohl grundlastfähig als auch flexibel einsetzbar. Ein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass Biomasse zur Erzeugung hoher Temperaturen im industriellen Bereich genutzt werden kann.

Unter ethischen Gesichtspunkten ist die Problematik der Flächenkonkurrenz von konventionell angebauten Energiepflanzen zur Lebensmittelproduktion nicht außer Acht zu lassen. Im Sinne der Nachhaltigkeit ist es demnach sinnvoll, auch die biogenen Reststoffe und Abfälle zu berücksichtigen und den Substratmix entsprechend zu gestalten.

Der Einsatz von Bioenergie spielt im Rahmen der Energiewende eine wichtige Rolle, da Bioenergie polyvalent in den Bereichen Wärme, Strom und Verkehr nutzbar ist. Darüber hinaus ist Bioenergie transportierbar, lagerfähig und teilweise vor Ort einsetzbar. Abbildung 4-3 zeigt das Prinzip der Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse.

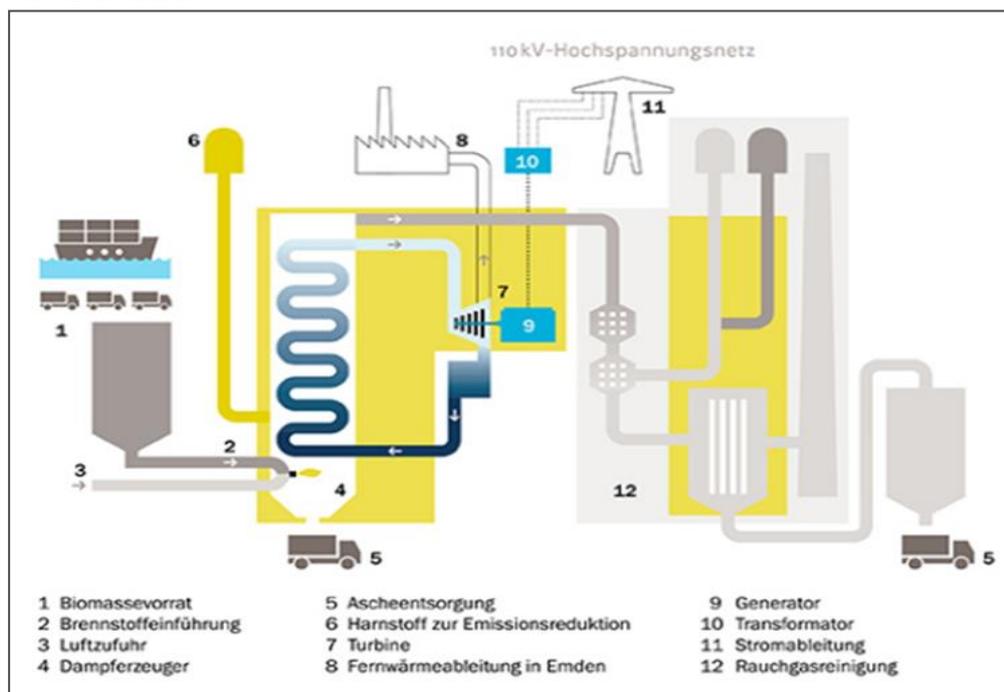


Abbildung 4-3: Prinzip Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse
 [www.statkraft.de/stromerzeugung/biomasse]

4.2.2 Solare Wärmenetze

Solare Wärmenetze sind großflächige Solarthermieranlagen, deren Wärme durch ein Wärmenetz verteilt wird. Die Installation der Kollektorfelder kann auf geeigneten Freiflächen oder integriert in Gebäudedachflächen stattfinden. Die Wärmegestehungskosten durch Freiflächen Solarthermie ist mit 3-5 ct/kWh sehr günstig, auch im Verhältnis zu individuellen Dachanlagen.

Lokale Wärmenetze sind eine sinnvolle Option für die Wärmeversorgung von Stadtgebieten, sowohl bei Neubau- als auch bei Sanierungsgebieten. Wird Solarthermie in solche Netze eingebunden, kann der solare Anteil bis zu 20 % der gesamten Wärmeversorgung betragen. Durch die Einbindung von saisonalen Wärmespeichern kann er bis auf 50 % erhöht werden.

Große Solaranlagen haben relevante Auswirkungen auf die Raumnutzung und stellen demzufolge raumbedeutsame Vorhaben dar. Noch stärker als Windkraft- oder Fotovoltaik-Anlagen sind große Solarwärme-Anlagen an bestimmte Standort-Bedingungen geknüpft. Während Strom ohne erhebliche Verluste über große Entfernungen vom Erzeugungsort zum Verbraucher transportiert werden kann, ist die Transportfähigkeit von Wärmeenergie begrenzt – die hohen Kosten für den Bau und Betrieb der Wärmeleitung und höhere Energieverluste sprechen dafür, dass eine solarthermische Wärmeversorgung immer in der Nähe zu den Wärmeverbrauchern erfolgen muss. Also innerhalb weniger Kilometer zu Wärmeverteilnetzen und den Verbrauchern.

Häufig werden Solarthermie-Großanlagen in Wärmenetze integriert, die primär Biomasse als Brennstoff nutzen. Biomasse-befeuerte Wärmenetze arbeiten im Sommer oft im ineffizienten Teillast-Betrieb, was u.a. auch mit dem Nachteil von höheren Emissionen und Kosten verbunden ist. Durch die Installation einer Solarthermieranlage zur Deckung großer Teile der Sommerlast, können diese Anlagen sinnvoll ergänzt werden. Diese Technologie ist ausgereift und erprobt und wird in Deutschland u.a. in Crailsheim und Ludwigsburg erfolgreich angewendet (s. Abbildung 4-4). In Radolfzell-Liggeringen wird seit 2019 eine Freiflächen-Solarthermieranlage betrieben.

Wärmepumpen bieten flexible Einsatzmöglichkeiten auf dem Wärmemarkt. Da Wärmepumpen Wärme aus der Umwelt (Luft-, Wasser- oder Erdwärme) nutzen, sind sie nicht auf die Verfügbarkeit von Brennstoffen angewiesen. Im Zusammenhang mit erneuerbarem Strom können Wärmepumpen einen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten, besonders in dünn besiedelten Gebieten. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind im Systemverbund mit anderen erneuerbaren Wärmeerzeugern und Wärmenetzen möglich.

Wärmepumpen bestehen grundsätzlich aus vier Komponenten: Verdampfer, Verdichter, Kondensator und Expansionsventil. In dem Verdampfer wird die aus der Umgebung gewonnene Wärme an das Kältemittel abgegeben, welches anschließend anfängt zu siedeln und verdampft. Aufgrund des niedrigen Siedepunktes des Kältemittels können auch niedrige Temperaturen von wenigen Grad über Null zur Wärmebereitstellung verwendet werden.



Abbildung 4-4 Solarenergiedorf Stadtwerke Radolfzell (stadtwerke-radolfzell.de) Wärmepumpen

Der Kältemitteldampf wird anschließend in einen Verdichter geleitet und dort komprimiert. Im nächsten Schritt wird das Kältemittel im Kondensator wieder verflüssigt. Das flüssige Kältemittel wird mittels eines Expansionsventils entspannt und danach wieder dem Verdampfer zugeführt. Technische Voraussetzung für die Nutzung der Potenziale ist eine ausreichende Nähe zwischen der Wärmequelle und dem zu versorgenden Objekt oder einem Einspeisepunkt in ein Wärmenetz.

Wichtige Unterscheidungsmerkmale von Wärmepumpen sind das Abwärme- und das Arbeitsmedium: Luft-Luft-Wärmepumpen nutzen Luft als Wärmequelle und geben Warmluft an die Wärmesenke ab. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen dient Luft als Wärmequelle, sie geben die Energie im Wärmetauscher an das Arbeitsfluid ab.

Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen Erdwärme als Wärmequelle. In einem Solekreislauf, der ein frostsicheres Fluid enthält, wird die Erdwärme aufgenommen und anschließend im Wärmetauscher an das Arbeitsfluid übergeben (vgl. Kapitel 4.2.3).

Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen dient die Wärme aus Gewässern als Wärmequelle, sie geben die Energie im Wärmetauscher an das Arbeitsfluid ab (vgl. Kapitel 4.2.4 und 4.2.5).

Während die Anzahl der Wärmepumpen in Deutschland in den vergangenen Jahren im dezentralen Bereich stark gestiegen ist, sind Großwärmepumpen bisher eher ein Nischenprodukt.

Ein Nachteil bei der Nutzung von Wärmepumpen ist die häufige Verwendung von klimaschädlichen Kältemitteln. Inzwischen werden auch Wärmepumpen mit klimaneutralem Kältemittel (CO_2 oder Ammoniak) angeboten.

4.2.3 Geothermie

Als Geothermie wird sowohl die in der Erdkruste gespeicherte Wärmeenergie als auch deren ingenieurtechnische Nutzbarmachung bezeichnet. Die grundsätzliche geothermische Eignung hängt von der Beschaffenheit des Bodens bzw. der Temperaturen im Untergrund ab. Bei der Energiegewinnung aus Geothermie wird zwischen der Tiefengeothermie (petrothermale und hydrothermale Geothermie) und der oberflächennahen Geothermie und Erdwärmekollektoren differenziert.

Tiefe Geothermie bezeichnet die Nutzung geothermischer Lagerstätten unter 400 m Tiefe zur Stromproduktion und/oder Wärmebereitstellung und bietet die Möglichkeit, größere Energieversorgungsprojekte umzusetzen.

Systeme zur Nutzung **oberflächennaher Geothermie** verwenden die thermische Energie des Untergrundes bis in eine Tiefe von 400 m zur Gebäudeklimatisierung (Heizen und/ oder Kühlen).

Erdwärmekollektoren sind eine oberflächennahe Geothermie-Technik, bei der horizontale Rohrleitungen unterhalb der Frostgrenze bis zu einer Einbautiefe von 1,5 Metern in den Boden installiert werden. Die Wärme beziehen die Kollektoren aus der eingestrahnten Sonnenwärme und über versickerndes Niederschlagswasser. Diese Technik gefährdet das Grundwasser nicht und dementsprechend ist kein wasserrechtliches Erlaubnisverfahren notwendig. Die genutzte Fläche muss jedoch das 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche betragen.

Bei der Wärmeerzeugung mit Erdwärmesonden und -kollektoren stammt bis zu 75 % der Energie aus dem Untergrund, bei Grundwasserbrunnen bis zu 80 %. Die restliche, konventionell erzeugte Energie wird für den Betrieb der Wärmepumpen benötigt.

Bei guten geologischen Voraussetzungen kann die Tiefe Geothermie für eine künftig klimaneutrale Wärmeversorgung in den Städten eine herausragende Rolle spielen.

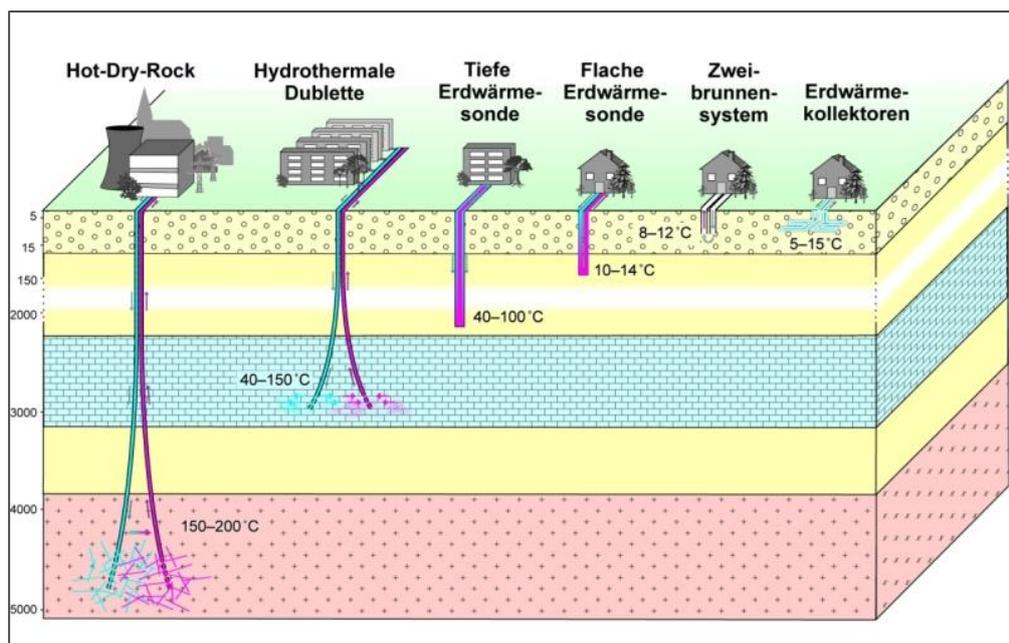


Abbildung 4-5: Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Geothermie (www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/index.htm)

4.2.4 Abwasserwärme

Im Haushalt und in der Industrie wird Wasser täglich erwärmt. Nach dem Gebrauch wird das noch warme Wasser in die Abwasserkanäle geleitet. Diese Wärme kann durch moderne Wärmepumpentechnologie zum Heizen oder Kühlen größerer Gebäude und Quartiere genutzt werden. Das Potenzial ist beträchtlich: Eine Studie von enervis energy advisors GmbH kam 2017 zu dem Ergebnis, dass zwischen 5-14 % aller deutschen Gebäude mit Wärme aus Abwasser versorgt werden könnten.

Die Energiemenge, die sich in Form von Abwärme aus dem Abwasser gewinnen lässt, ist riesig. Dies zeigt folgender Vergleich: Wenn Abwasser beim Wärmeentzug um lediglich 1 Kelvin abgekühlt wird, um den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage möglichst nicht zu beeinträchtigen, kann aus 1 m³ Abwasser rund 1,5 Kilowattstunden Wärme gewonnen werden. Aus der gleichen Menge Abwasser kann in einer Abwasserreinigungsanlage (ARA) etwa 0,05 m³ Klärgas erzeugt werden. Dies entspricht einem Energieinhalt von rund 0,3 Kilowattstunden. Mit anderen Worten: Das Potenzial an Abwärme im Abwasser ist um ein Vielfaches größer als das Potenzial an Klärgas auf den ARA.

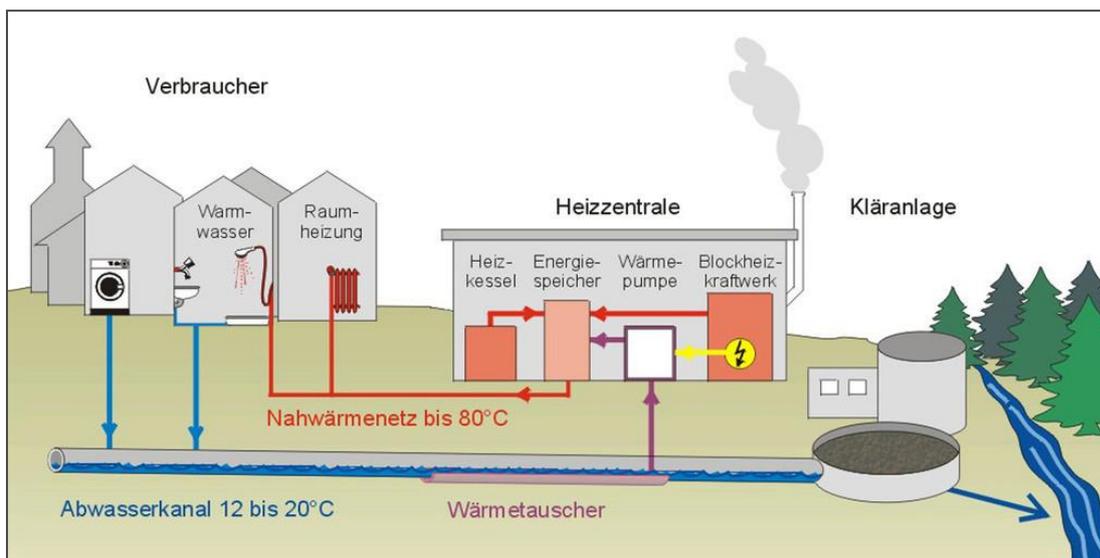


Abbildung 4-6: Nutzung von Abwasserwärme [www.um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energieeffizienz/abwasserwaermenutzung/]

Unter Berücksichtigung der zwei grundlegenden Bedingungen, dass in einem Kanalisationsabschnitt ein genügendes Wärmeangebot für den Einsatz einer Wärmepumpe vorhanden und der Einbau von Wärmetauschern möglich ist, kommt die Nutzung von Abwasserwärme in der Regel für mittlere Trockenwetterabflussmengen ab 15 l/s, d. h. für Gemeinden ab 3'000-5'000 Einwohnern und idealerweise in Kanälen mit einem Innendurchmesser von mindestens 800 mm in Frage.

Die Abwasserwärmenutzung ist eine langfristig sichere und erneuerbare Energiequelle und leistet damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Die in Deutschland betriebenen Abwasserwärmenutzungsanlagen sind zumeist kleinere Anlagen mit Heizleistungen im Kilowattbereich.

In Skandinavien und der Schweiz ist diese Technik jedoch bereits deutlich weiterverbreitet und es werden dort auch größere Aggregate im Megawatt-Bereich eingesetzt.

Eine der größten Anlagen in Deutschland befindet sich im Quartier Neckarpark in Stuttgart und versorgt einen Gewerbepark, ein Sportbad und rund 850 Wohnungen mit Wärme.

4.2.5 Fluss-, See- und Grundwasserwärme

In Oberflächengewässern, also Fließgewässer und Seen, aber auch im Grundwasser sind enorme Menge an Wärmeenergie gespeichert. Um dieses Potenzial zu nutzen, sind Wärmetauscher im Gewässer notwendig, die über Rohrleitungen mit einer Wärmepumpe verbunden sind.

Die Wärmemenge, die sich einem Gewässer entnehmen lässt, ist wesentlich von der Temperatur und der Fließgeschwindigkeit des Gewässers abhängig. Die Temperatur von Oberflächenwasser hängt erheblich stärker von der Außentemperatur ab als die des Grundwassers, weshalb im Winter bei hohem Wärmebedarf durch Vereisung unter Umständen keine Wärmeentnahme möglich ist. Ein Beispiel für die thermische Nutzung von Oberflächenwasser im größeren Maßstab ist die Anlage Värtan Ropsten mit einer Leistung von 180 MW, welche Ostseewasser als Wärmequelle nutzt.

Für den Einsatz einer Flusswasserwärmepumpe bedarf es einer wasserrechtlichen Erlaubnis gemäß § 8 Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Weitere relevante Vorschriften des WHG sind der § 9 Abs.1 Nr.1 (Entnehmen und Ableiten von Wasser), § 9 Abs.1 Nr.4 (Einbringen von Stoffen in Gewässer) und § 9 Abs.2 Nr.2, da die Anlage grundsätzlich geeignet ist „dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen“. Es besteht kein Anspruch von Wasser in einer bestimmten Menge oder Qualität (§ 10 Abs. 2 WHG). Für Anlagen, die sich in einem Gewässer befinden, ist § 36 WHG anzuwenden. Grundsätzlich darf der Einsatz einer Flusswasserwärmepumpe die Gewässereigenschaften nicht nachteilig verändern. Nach einer ersten Einordnung der verantwortlichen Verwaltungsabteilung ist eine nachteilige Veränderung der Kanäle nicht zu erwarten, eine genaue Prüfung steht jedoch noch aus. Da die Kanäle Bundeswasserstraßen darstellen, ist das Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin stellvertretend für den Eigentümer und als Schifffahrtsbehörde mit in die Planungen einzubeziehen.

Für den Einsatz von Flusswärmepumpen bestehen ähnliche Restriktionen wie für den von Abwasserwärmepumpen. Da die Wärmepumpe aufgrund der geringen Wassertemperatur und möglichen Vereisung in den Wintermonaten nicht betrieben werden kann, besteht in besonderem Maße eine Diskrepanz zwischen der zeitlichen Verfügbarkeit der Wärme und der Höhe des Wärmebedarfs.

4.2.6 Abwärmenutzung aus Industrie und Gewerbe

Das Einsparpotenzial für Primärenergie und CO₂-Emissionen durch die Nutzung von industrieller Abwärme in Baden-Württemberg ist enorm. Eine Studie des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energie kam 2020 zu dem Ergebnis, dass für Baden-Württemberg ein technisch verwendbares Abwärmepotenzial in Höhe von ca. 5,4 bis 9,3TWh/a vorhanden ist. Bezogen auf den Endenergieverbrauch der Industrie liegt das Potenzial bei etwa 61 TWh/a.

Abwärme kann über ein Wärmenetz zur Beheizung nahe gelegener Gebäude und Quartiere genutzt werden. Die Integration eines Wärmespeichers kann einen Ausgleich zwischen der zeitversetzten Wärmebereitstellung und dem Wärmebedarf schaffen.

Abwärme fällt insbesondere in energieintensiven Industrie- und Gewerbebetrieben bei verschiedensten Prozessen an (vgl. Abbildung 4-7).

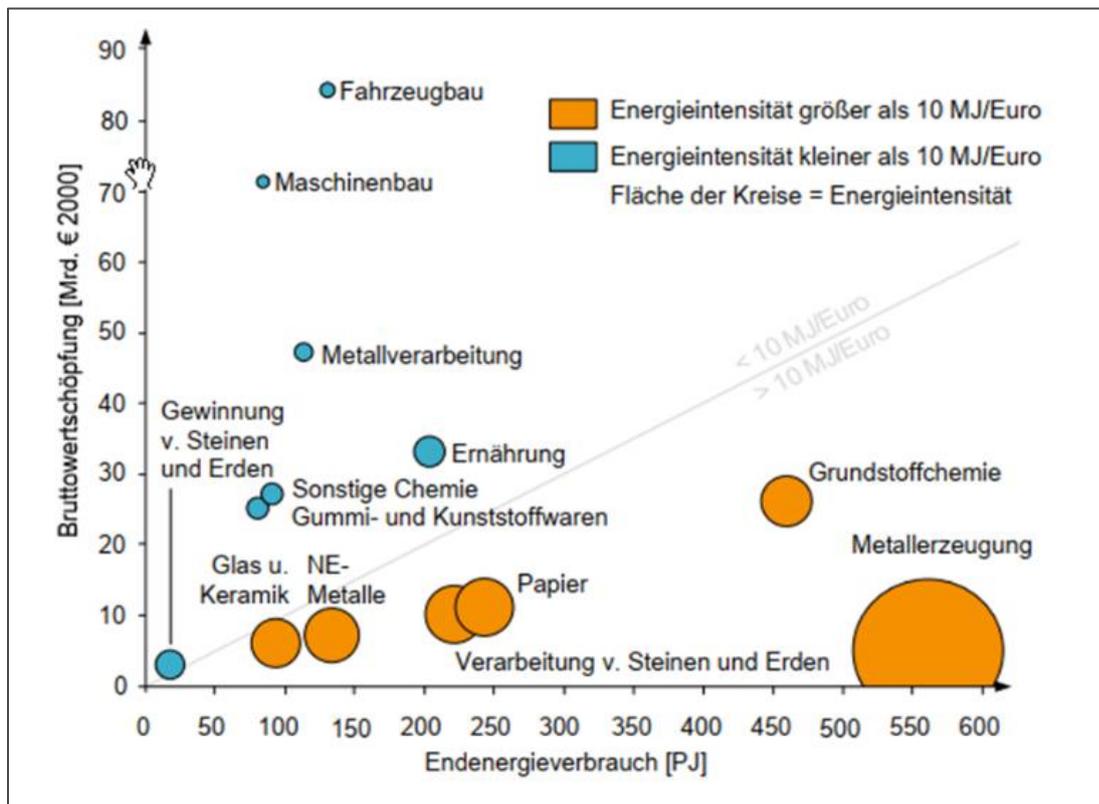


Abbildung 4-7: Energieintensität verschiedener Branchen [Hirtzel und Sonntag]

Je nach Rahmenbedingungen kann sie durch unterschiedliche Technologien genutzt werden. Dabei ist das Temperaturniveau der vorhandenen Abwärmequelle einer der wichtigsten Faktoren bei der Auswahl der entsprechenden Technik zur industriellen Abwärmenutzung. Abbildung 4-8 stellt die Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme in Abhängigkeit der Temperatur dar. Darüber hinaus bestimmen die Abwärmemenge, die chemische Zusammensetzung des Abwärmestroms, die Bündelung der Abwärmeströme am Standort und die räumliche Nähe von Wärmequellen- und Wärmesenken die Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme.

Folgende Technologien kommen für die Nutzung der Abwärme in Betracht:

- Wärmerückgewinnung

Hierbei handelt es sich um den effizientesten und zugleich einfachsten technologischen Ansatz zur Abwärmenutzung. Die Abwärme wird über einen Wärmetauscher beispielsweise aus einem Abgasstrom ausgekoppelt und an ein anderes Medium übertragen.

Das Wärmeträgermedium kann dabei Heißwasser, Thermoöl, Dampf oder ein gasförmiges Fluid sein. Die übertragene Wärme wird über das Wärmeträgermedium zu vorhandenen Wärmesenken transportiert und dort weiter genutzt.

- Kühlung und Klimatisierung durch Abwärmenutzung

Mit Abwärme lässt sich auch die Kühlung oder Klimatisierung von Gebäuden oder Prozessschritten realisieren. Dazu wird diese ausgekoppelt, um Niedertemperaturwärme auf ein Wärmeträgermedium zu übertragen. Die nutzbar gemachte Niedertemperaturwärme kann dann in einer Sorptionskälteanlage zur Erzeugung von Kaltwasser genutzt werden.

In den Sorptionskälteanlagen wird über Absorption- oder Adsorptionsprozesse Kaltwasser erzeugt, welches für weitere Verwendungszwecke zur Verfügung steht. Somit lässt sich Kälte aus herkömmlichen Kompressionskälteanlagen und deren Strombedarf substituieren.



Abbildung 4-8: Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit vom Temperaturniveau [dena]

- Abwärmenutzung durch Wärmepumpen

Diese Form sieht vor, das Temperaturniveau der erzeugten Nutzwärme durch Zuführung höherwertiger Energie anzuheben, um diese nutzbar zu machen.

Die höherwertige Energie kann dabei elektrischer Strom oder Wärme auf einem hohen Temperaturniveau sein, welches durch Kompressionswärmepumpen oder Sorptionswärmepumpen angehoben wird, um beispielsweise den Heizbedarf einer Liegenschaft zu decken oder der Produktion zuzuführen.

Neben der thermischen Nutzung der Abwärme kommt auch eine Verstromung der Abwärme in Frage. Für eine Verstromung sind in der Regel höhere Abwärmemetemperaturen nötig als für die thermische Nutzung. Eine Verstromung kommt insbesondere dann in Frage, wenn lokal keine Wärmesenken oder Wärmenetze vorhanden sind.

4.2.7 Power-to-Heat

Power-to-Heat (PtH) beschreibt allgemein die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme, die auch zur Einbindung in Wärmenetze genutzt werden kann.

Power-to-Heat-Anlagen können sowohl im Niedertemperaturbereich als auch im Hochtemperaturbereich (Dampf) ihren Einsatz finden und sind daher für die Dekarbonisierung sowohl im Bereich der privaten Haushalte als auch der Industrie eine wichtige Option.

Im dezentralen Niedertemperaturbereich werden vor allem Heizstäbe oder Heizpatronen eingesetzt. Im Hochtemperaturbereich werden Elektrodenheizkessel (EHK) eingesetzt. Mit einem EHK ist eine Erzeugung von Prozessdampf von bis zu 30 bar technisch möglich. Der so erzeugte Satttdampf kann mit einem nachgeschalteten Elektrodendurchlauferhitzer auf höhere Temperaturen überhitzt und damit auch höheren Anforderungen an die Dampferzeugung gerecht werden. Aufgrund der kompakten Größe der Module ist ein Einsatz auch in dicht besiedelten Gebieten optimal, wo kurzfristig hohe Wärmemengen bereitgestellt werden müssen.

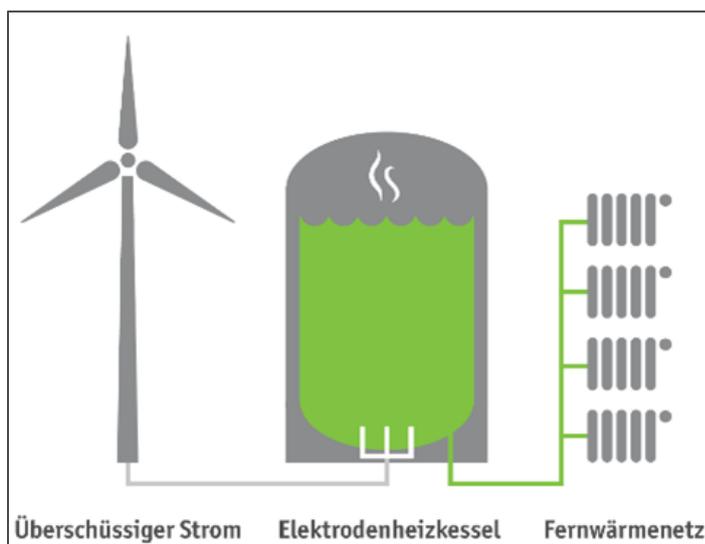


Abbildung 4-9: Funktionsweise Elektrodenheizkessel [Stadtwerke Flensburg]

4.2.8 Power-to-Gas

Neben Power-to-Heat ist auch Power-to-Gas (PtG) eine wichtige Sektorenkopplungs-Technologie. PtG nutzt die Elektrolyse, um unter Einsatz von Strom Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff zu spalten. Danach kann der gewonnene Wasserstoff entweder bis zu einem Anteil von 10 Prozent direkt in das Erdgasnetz eingespeist oder für die Synthetisierung von CO_2 zu Methan und Wasser genutzt werden. Das durch die Methanisierung entstandene synthetische Methan ähnelt Erdgas und kann komplett in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden.

Wie Erdgas kann synthetisches Methan gespeichert oder als Brennstoff für die (erneute) Stromerzeugung oder Umwandlung in Wärme genutzt werden.

Die Nutzung von synthetischem Methan ist mit der vorhandenen Infrastruktur für Transport und Verteilung möglich. Dadurch kann es sowohl im Erdgasnetz transportiert als auch in den vorhandenen Speichern langfristig gelagert und je nach Bedarf in den unterschiedlichen Sektoren eingesetzt werden. Besonders im industriellen Umfeld und für ausgewählte Transportaufgaben wird auch zukünftig ein einfach verfügbarer, hochkalorischer Brennstoff benötigt werden.

Der Ersatz von Erdgas durch synthetisches Methan bietet den Vorteil einer geringeren Importabhängigkeit und der Unterstützung der lokalen Wertschöpfung.

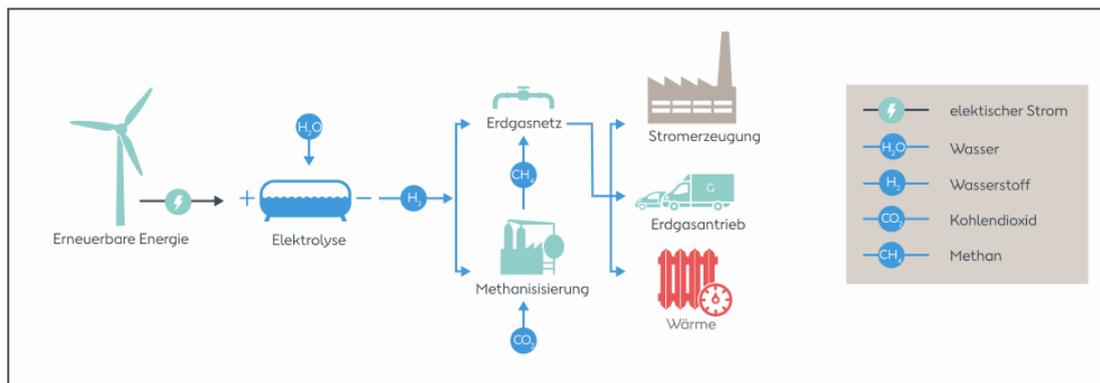


Abbildung 4-10: Das Prinzip von „Power-to-Gas“ [Fraunhofer Institut]

Ein wesentlicher Nachteil besteht darin, dass die Umwandlungsverfahren (Elektrolyse und Methanisierung) keine ausreichenden Wirkungsgrade vorweisen. Die Elektrolyse erfolgt mit einem Wirkungsgrad von ca. 70 Prozent, die Methanisierung erreicht rund 80 Prozent. Somit beträgt der Energiegehalt des synthetischen Methans ca. 55 Prozent der ursprünglich aufgewendeten elektrischen Energie. Je nach Einsatzsektor und Transportweg folgen weitere Verluste. Um die im Methan gebundene Energie dann wieder in Strom oder Wärme umzuwandeln, sind zusätzliche Umwandlungsverluste zu berücksichtigen.

Der Anteil an Wasserstoff bzw. grünen Gasen ist aus heutiger Sicht noch nicht eindeutig abschätzbar. In den kommenden Jahren werden Voraussetzungen zu Gewinnung, Lieferung, Verteilung und Erkenntnisse zu den Endverbrauchgeräten folgen. So, dass in der Fortschreibung der Wärmeplanung weiter auf den Anteil von grünen Gasen eingegangen werden kann.

4.2.9 All electric

„All Electric“ steht für ein Energie-Versorgungssystem, bei dem regenerativ gewonnener Strom die zentrale Energieform darstellt und darüber die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität koppelt. Sowohl die Wärmeversorgung als auch die Mobilität erfolgt elektrisch. Der hierfür notwendige Strom könnte zu einem Teil direkt aus der hauseigenen PV-Anlage stammen. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch eine Wärmepumpe.

5 POTENZIALANALYSE

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, müssen die lokalen Wärmequellen lokalisiert und genutzt werden. Dazu stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung, von denen einige bereits ausgereift und jahrzehntelang erprobt sind, während andere neue Technologien aktuell noch nicht wirtschaftlich eingesetzt werden können. Um die zukünftige Rolle der Technologien am Energiemarkt bewerten zu können, sind die Aspekte des Flächenbedarfs bzw. Flächenverbrauchs, der örtlichen Verfügbarkeit, des CO₂-Ausstoßes sowie ökonomische Aspekte wie Investitionskosten und Betriebskosten zu analysieren. Neben der Erzeugung werden auch infrastrukturelle Aspekte, wie die Verteilung der Wärme über Fernwärmenetze sowie die Speicherung thermischer Energie eine wesentliche Rolle spielen. Lokale Wärmequellen können Abwärme aus dem Gewerbe, Abwasserwärme, Flusswasserwärme, Erdwärme, Solarenergie, oder bislang ungenutzte Biomasse sein. An einem konkreten Standort sind die Potenziale an erneuerbarer Wärme und Abwärme allerdings häufig so groß, dass für ein einzelnes Gebäude nur ein Bruchteil des Potenzials nutzbar ist. Effektiver und kostengünstiger ist es, die Potenziale möglichst umfassend zu erschließen. Das geht meist nur mit einem gebäudeübergreifenden Ansatz (Keimzelle) oder über ein Fernwärmenetz. Im Abschnitt 4.1 wurden zuerst die unterschiedlichen Wärmeversorgungsinfrastrukturen dargestellt und im Abschnitt 4.2 ein Überblick über die möglichen Wärmequellen und Nutzungs-Technologien gegeben.

Im Rahmen der Potenzialanalyse werden verschiedene Möglichkeiten zur Endenergieeinsparung aufgezeigt und bewertet. Zudem werden Potenziale zur Nutzung von erneuerbaren Energien im Bereich der Wärmeversorgung beschrieben. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind die Grundlage für die in Kapitel 6 aufgestellten Szenarien zur zukünftigen Wärmeversorgung in Radolfzell. Für das Stadtgebiet werden zwei Ausbauschritte der erneuerbaren Wärmeversorgung betrachtet. Stufe eins deckt einen Zeithorizont bis 2030 ab und enthält die Zielvorgabe einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 75 % im Vergleich zur Ausgangsbilanz (vgl. Bestandsanalyse). Dieses Zwischenziel wird durch das Anstreben einer klimaneutralen Wärmeversorgung im Jahr 2035 fortgeschrieben.

Die Auswertung der Potenziale erfolgt in den folgenden Kapiteln.

5.1 ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG

Wichtiger Bestandteil bei der Bewältigung der Energiewende ist die energetische Sanierung der Bestandsgebäude. Durch eine hochwertige Wärmedämmung der Gebäudehülle können die Transmissionswärmeverluste und damit der Endenergiebedarf des Gebäudes erheblich reduziert werden. Ein geringerer Endenergiebedarf ist bereits unabhängig vom eingesetzten Energieträger mit einer Minderung der CO₂-Emissionen verbunden. Für die Umrüstung einer bestehenden fossilen Wärmeerzeugung (z. B. Erdgas- oder Heizölkessel) auf eine Anlage auf Basis erneuerbarer Energien (z. B. Wärmenetz oder Wärmepumpe) ist es von erheblichem Vorteil zunächst den Endenergiebedarf der Einzel-Gebäude zu reduzieren, um bei der Auslegung des neuen Erzeugers die benötigte Anschlussleistung zu verringern. Somit können materielle Ressourcen eingespart und Investitionskosten gesenkt werden.

Bei der energetischen Gebäudesanierung kommt den Synergieeffekten eine besondere Rolle zu. Neben der Einsparung von Endenergie, CO₂-Emissionen und Energiekosten, führen die Maßnahmen in Bestandsgebäuden zu einer Verbesserung der Behaglichkeit durch Vermeidung von Zugerscheinungen und des erhöhten Wärmeeintrags im Sommer. Außerdem ist eine Sanierung in der Regel mit einer Wertsteigerung der Immobilie und einer positiven Wirkung auf das Stadtbild verbunden. Die Attraktivität von Standorten kann dadurch gesteigert werden.

Die Potenzialbetrachtung für Sanierungsgebiete setzt den Fokus auf Wohngebäude und kommunale Gebäude. Der Endenergiebedarf für Gebäude aus dem Sektor Wirtschaft wird maßgeblich durch den Energieeinsatz für beispielsweise die Produktion und nicht für die Raumwärme (Gebäudebetrieb) bestimmt. Eine Sanierung der Gebäudehülle generiert für diese Gebäude eine vergleichsweise geringe Einsparung.

Zur Abschätzung der Höhe des Einsparpotenzials werden zunächst die auf dem Stadtgebiet vorzufindenden Gebäudetypen und ihre Anzahl ermittelt.

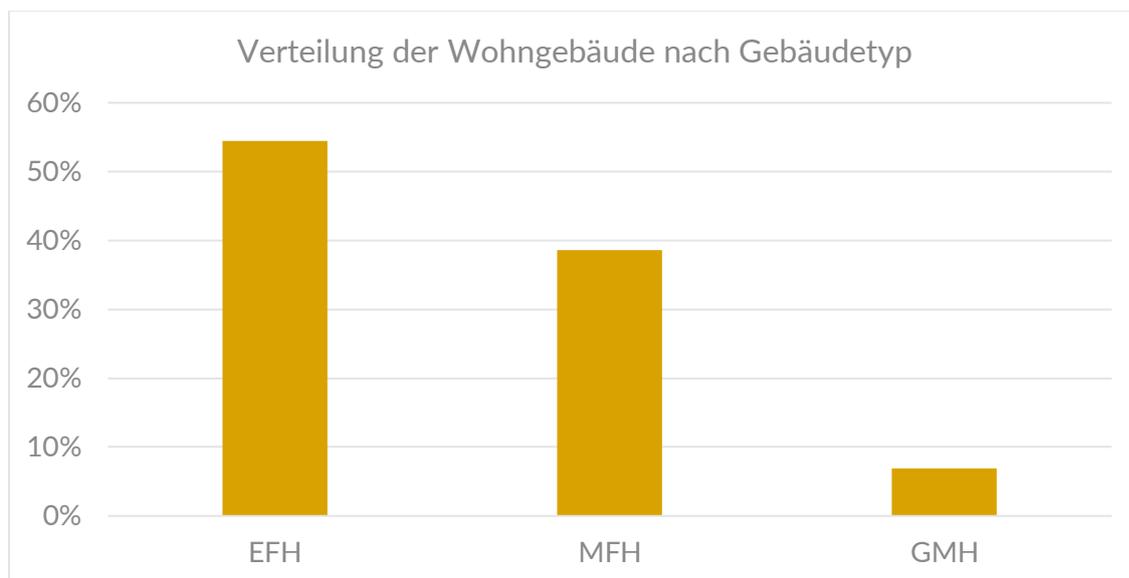


Abbildung 5-1: Verteilung der Wohngebäude nach Gebäudetyp - Radolfzell (Zensus 2011)

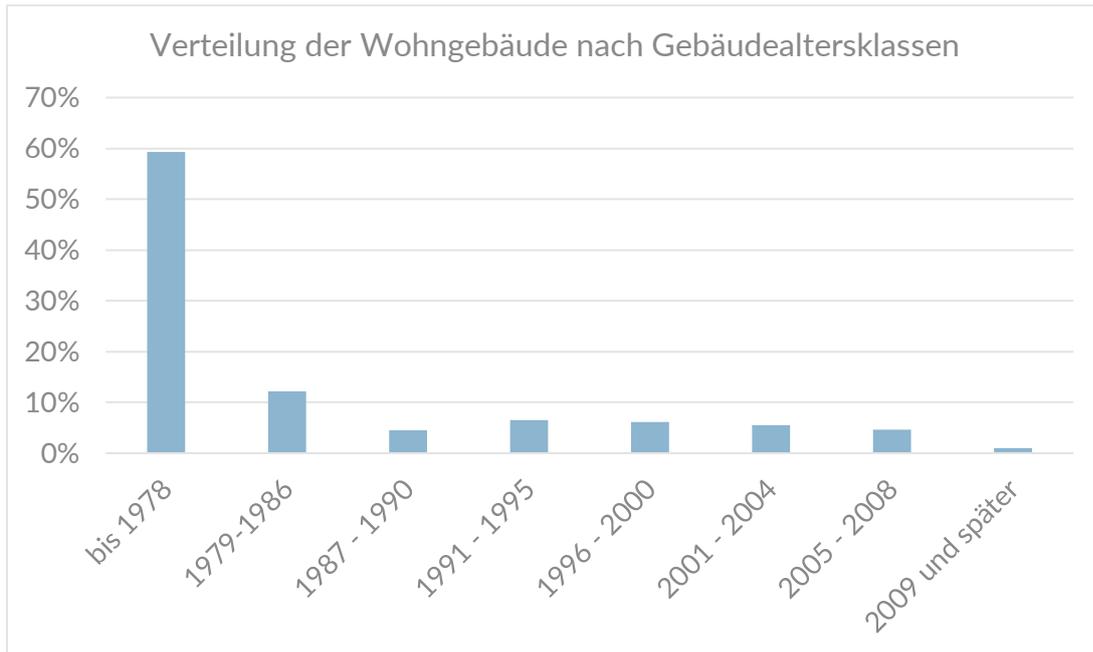


Abbildung 5-2: Prozentuale Verteilung der Wohngebäude nach Gebäudealtersklassen-Radolfzell (Zensus 2011)

Eine Feststellung ergibt sich aus der Tatsache, dass fast 60% der Wohngebäude in Radolfzell vor 1978 errichtet wurden, was vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung lag. Dieses Ergebnis lässt auf ein erhebliches Potenzial zur Einsparung im Sektor privater Haushalte schließen, wenn es um die energetische Sanierung dieser Gebäude geht.

Um das Einsparpotenzial der Wohngebäude zu ermitteln, wurde die Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt [IWU 2015] herangezogen. Die Typologie hat für verschiedene Gebäudetypen und Altersklassen spezifische Endenergiebedarfe und Energiebezugsflächen bestimmt. Da die Altersklassen des Zensus 2011 nicht den Kategorien der IWU-Gebäudetypologie entsprechen, wurde eine anpassende Aufteilung vorgenommen. Die großen Mehrfamilienhäuser wurden der Gebäudeklasse der Mehrfamilienhäuser zugeordnet.

Zur Bewertung des Einsparpotenzials sind die Referenzgebäudetypen aus der IWU-Gebäudetypologie mit einer Sanierung auf Effizienzhaus 55 Standard simuliert worden. Die Sanierungsvariante auf den Effizienzhaus 55 Standard setzt die Maßgaben der KfW-Bank für die Förderung von Einzelmaßnahmen (Technischen Mindestanforderung der BEG WG) als Sanierungsniveau an. Die Differenz zwischen dem durchschnittlichen Endenergiebedarf nach IWU Typologie und dem nach der simulierten Sanierung, ergibt das Einsparpotenzial je Gebäudetyp und Altersklasse.

Um die stadtspezifische Verteilung der Gebäude in den Altersklassen und Gebäudekategorien zu berücksichtigen, wurde jeweils eine gewichtete Mittelung vorgenommen.

Tabelle 2: Mittlere Einsparung nach Gebäudekategorie

Gebäudekategorie	Mittlere Endenergieeinsparung (Altersklassen gewichtet)
Einfamilienhaus	47 %
Mehrfamilienhaus	45 %
(Großes) Mehrfamilienhaus	45 %
Einsparpotenzial (gewichtet)	46 %

Die nachstehende Tabelle zeigt die jeweiligen Anforderungen an die Bauteile in Form der U-Werte

Tabelle 3: Anforderungen U-Werte gem. BEG-Einzelmaßnahmen

Bauteil	Anforderungen an den U-Wert gem. BEG Einzelmaßnahme	
	[W/(m ² *K)]	
Steildach	0,14	
Oberste Geschossdecke	0,14	
Außenwand	0,20	
Fenster	0,95	
Boden	0,25	

Entwicklung eines Sanierungsszenarios auf Grundlage der Bestandsbewertung der Gebäudestruktur im Stadtgebiet:

Es wird somit in der folgenden Szenarienentwicklung davon ausgegangen, dass der Endenergiebedarf bzw. Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung durch eine Sanierung aller Gebäude um 42 % gesenkt werden kann. Ein Heizungstausch ist aufgrund der Bedarfsänderung sinnvollerweise nach einer Sanierung durchzuführen.

Um die berechnete Einsparung von 42 % des Wärmeenergiebedarfs durch Sanierung bis 2040 zu erzielen, müssten 5 % der Gebäudehüllen pro Jahr saniert werden. Abbildung 5-3 stellt die möglichen Einsparungen bei jährlichen Sanierungsraten von 1 - 5 % im Zieljahr 2040 dar.

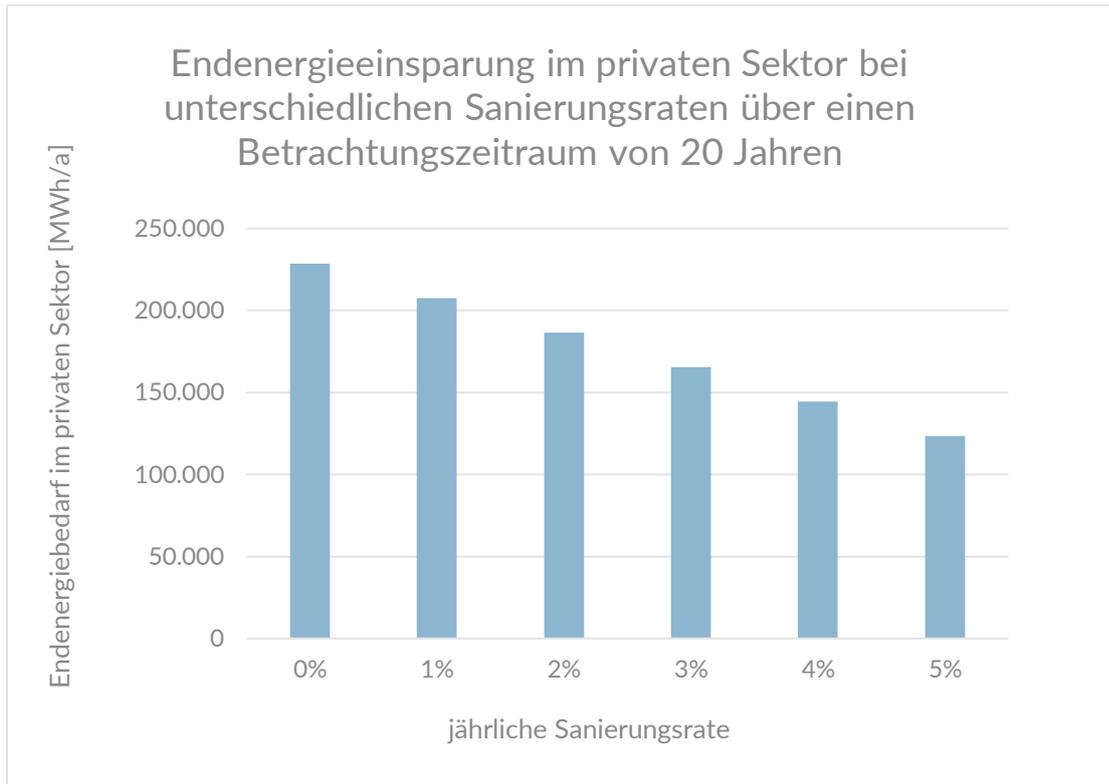


Abbildung 5-3: mögliche Einsparungen bei Erreichung verschiedener jährlicher Sanierungsraten, bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahre [energielenker projects GmbH]

Die Berücksichtigung des Neubaus ist ebenfalls von Interesse. Dieser Aspekt weist jedoch eine marginale Bedeutung auf, da der Energiebedarf des aktuellen Baustandards gering ausfällt und eine Nutzung erneuerbarer Energiequellen bereits erforderlich ist.

5.2 SOLARENERGIE

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) ist eine digitale Plattform, die Informationen über das solarthermische und photovoltaische Potenzial von Gebäuden und Flächen in Baden-Württemberg bereitstellt. Das Kataster ermöglicht es Bürger*innen, Unternehmen und Kommunen, das Potenzial für die Nutzung von Solarenergie in ihrer Region zu ermitteln. Das Solarkataster basiert auf detaillierten Geodaten und analysiert Faktoren wie die Ausrichtung der Dächer, den Neigungswinkel, den Verschattungsgrad und die Flächennutzung. Anhand dieser Informationen berechnet das Kataster das Potenzial für die solare Energieerzeugung und liefert Ergebnisse in Form von interaktiven Karten, Diagrammen und detaillierten Berichten. Mit dem Solarkataster können Interessierte beispielsweise herausfinden, ob ihre Gebäude für die Installation von Solaranlagen geeignet sind und wie viel Energie sie voraussichtlich produzieren könnten. Darüber hinaus bietet es Informationen zu Förderprogrammen, rechtlichen Rahmenbedingungen und technischen Aspekten der Solarenergie.

Gebäudeeigentümer*innen wird jedoch im Rahmen von konkreten Absichten zur Installation einer Anlage die Hinzuziehung einer neutralen Energieberatung empfohlen, die die Dacheignung prüft (z. B. Statik), für technische Fragen und das Genehmigungsrecht zur Seite steht sowie weitere Informationen zu Wirtschaftlichkeit und Fördermöglichkeiten bereitstellt. Die Angaben des Solarpotenzialkatasters dienen einer ersten Einschätzung, die keine Energieberatung vor Ort ersetzt. Jedoch kann über das Kataster ein überschlägiges Potenzial im Rahmen der Potenzialanalyse für die Stadt Radolfzell herangezogen werden.

Nachfolgend wird das Potenzial der Sonnenenergie in Dachflächen- und Freiflächenphotovoltaik sowie Solarthermie unterteilt dargestellt.

Dachflächenphotovoltaik

Gemäß Energieatlas Baden-Württemberg gibt es in der Stadt Radolfzell geeignete Dachflächen mit einer installierbaren Modulfläche von 583.505 m², einer installierbaren Gesamtleistung von 93,9 MWp (Annahme zum Flächenfaktor: 6 m² /kWp) und einem möglichen Stromertrag von 98,613 MWh/a (LUBW, 2022).

Abbildung 5-4 zeigt einen Ausschnitt von Radolfzell. Dabei handelt es sich um einen Auszug aus dem Energieatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2022). Verzeichnet sind, entsprechend der dargestellten Legende, die Potenziale für Photovoltaik-Dachflächenanlagen.



Eignungsklassen (unter Vorbehalt)			
■ Sehr gut	■ Gut	■ Bedingt	■ Vor Ort zu prüfen

Abbildung 5-4: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Solarpotenzial auf Dachflächen [Energieatlas LUBW]

Freiflächenphotovoltaik

Randstreifen entlang der Autobahnen und Schienenwege (Konversionsflächen) bieten hohe Potenziale für Freiflächenphotovoltaik. Zudem sind diese im EEG 2021 vom Gesetzgeber als förderungswürdige Standorte für PV-Freiflächenanlagen festgelegt. Dabei können große PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA) seit dem EEG 2021 zukünftig eine Leistung von bis zu 20 MWp besitzen (zuvor: 10 MWp). Hierzu wurde auch der Korridor erweitert. Während bislang 110 m Randstreifen an Autobahn- und Eisenbahnrandern galten, können aktuell 200 m genutzt werden (dabei muss jedoch ein Streifen von 15 m freigehalten werden).

Die Flächen entlang der Autobahnen, Bundesstraßen und Schienenwege eignen sich vor allem deshalb, da das Landschaftsbild bereits vorbelastet ist, es kaum Nutzungskonkurrenz gibt und die Flächen häufig geböscht sind, sodass die Module, je nach Himmelsrichtung, in einem günstigen Neigungswinkel stehen und daher mit weniger Abstand zueinander aufgestellt werden können als auf ebenen Flächen. Prinzipiell sind folgende Flächen unproblematisch als Potenzialflächen für Solarfreiflächenanlagen geeignet:

200 m Randstreifen von Autobahnen oder Bundesstraßen (beidseitig, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.

200 m Randstreifen von Bahntrassen (beidseitig), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.

Ein 15 m breiter Korridor ist dort jedoch innerhalb dieser 200 m vorzusehen und freizuhalten. D. h. effektiv sind 185 m Randstreifen nutzbar.

Zudem ist es möglich, auf benachteiligten Freiflächen Solarfreiflächenanlagen anzubringen. Siedlungs- und Waldflächen sowie folgende Schutzgebiete werden als ungeeignet für die Solarfreiflächen bewertet: Naturschutzgebiete, Biotop, Naturdenkmale, FFH-Gebiete, Wasserschutzgebiete (Zone I + II), Überschwemmungsgebiete und Vogelschutzgebiete.

Gemäß des Energieatlas Baden-Württemberg beträgt die geeignete Fläche (Konversions- und benachteiligte Freiflächen) in der Stadt Radolfzell 8.354.400 m² (LUBW, 2022); dies entspricht einer installierbaren Leistung von 696,2 MWp (Annahme zum Flächenfaktor: 12 m²/kWp) sowie einem möglichen jährlichen Stromertrag von 731.010,0 MWh. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass der Energieatlas noch mit dem alten Korridor von 110 m Regel rechnet.

Weiterhin ist an dieser Stelle anzumerken, dass die Stadt Radolfzell bereits eine Potenzialanalyse für Freiflächenphotovoltaikanlagen durch das Büro „365° freiraum + umwelt“ durchgeführt hat. In dieser wurde auf Basis des Energieatlas Baden-Württemberg eine tiefergehende Beurteilung der einzelnen Flächen unterzogen. Im Ergebnis kommt die Potenzialstudie auf etwa 385 ha, denen eine potenzielle Eignung zugesprochen wird. Für zusätzliche 435 ha sind Restriktionen aufgrund ihrer Lage in Landschaftsschutzgebieten und/oder Natura2000-Gebieten zu berücksichtigen. Bei diesen ist eine umfangreiche Prüfung vor den Planungen erforderlich. Auf diesen Flächen ließe sich eine Leistung von 696,2 MWp installieren sowie einem möglichen jährlichen Stromertrag von 634.375 MWh.

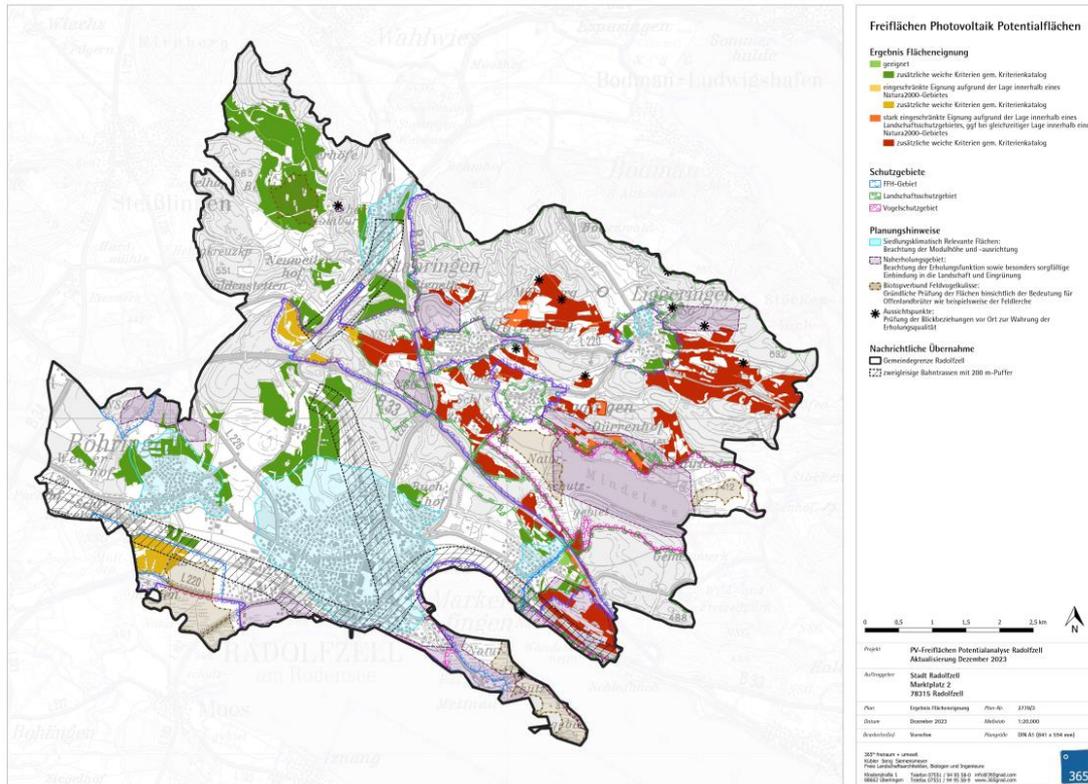


Abbildung 5-5: Freiflächen Photovoltaik Potenzialflächen [365° freiraum + umwelt]

Als einige einschränkende Faktoren für die Nutzung von Photovoltaik sind folgende Punkte zu nennen:

- Wirtschaftlichkeit
- Statik des Daches
- Brandschutz
- Denkmalschutz
- Lebensdauer der Dachhaut

Allerdings entsteht bei PV-FFA oft eine Flächenkonkurrenz zur Landwirtschaft, auch diesen Faktor gilt es zu berücksichtigen. Eine mögliche Lösung hierfür könnte die sogenannte Agri-Photovoltaik (Agri-PV) sein.

Durch diese Faktoren kann die Installation einer Anlage ganz oder teilweise verhindert oder zumindest zeitlich verzögert werden. Daher wird für die weitere Betrachtung der möglichen Gewinnung von Strom aus Photovoltaikanlagen nur ein Teil der ausgewiesenen Werte berücksichtigt (Mobilisierungsfaktor von 20 %).

Tabelle 4: Übersicht des Photovoltaik-Potenzials - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH]

Technologie	Installierbare Modulfläche	Möglicher Stromertrag
Photovoltaik Dach	563.505 m ²	98.613 MWh/a
Photovoltaik Freifläche	7.250.000 m ²	634.375 MWh/a
Photovoltaik gesamt	7.813.505 m ²	732.988 MWh/a
Mobilisierungsfaktor 20 %	1.562.701 m ²	146.598 MWh/a

Ausgehend von einem COP-Wert von 3,5 für Wärmepumpen könnten demnach rund 513.092 MWh/a thermische Energie erzeugt werden.

In einem Szenario der kombinierten Energieerzeugung aus Photovoltaik und Solarthermie ergibt sich unter der Annahme einer Flächennutzung von 80 % der Photovoltaik- und 20 % der Solarthermie-Dachfläche ein Wärmepotenzial aus Photovoltaikanlagen von rund 410.473,49 MWh/a.

In der Fortschreibung des Klimaschutzkonzepts in Form der Studie „Klimaszenarien für die Stadt Radolfzell - 2021-2050“ (Fakultät für Architektur und Gestaltung der HWTG Konstanz, 2021) wurde im Rahmen der Photovoltaik-Potenzialanalyse nicht nur das Potenzial von Dachflächen und Freiflächen berücksichtigt, sondern auch das Potenzial von Photovoltaik-Fassadenmodulen. Insgesamt wurde ein Photovoltaik-Potenzial von etwa 185 GWh pro Jahr ermittelt. Im Vergleich zum ermittelten Potenzial in der Wärmeplanung fehlen ungefähr 20 GWh. Berücksichtigt man jedoch das zusätzliche Potenzial von etwa 16 GWh durch die Installation von Fassaden-Photovoltaik, stimmen die ermittelten theoretischen Potenziale überein.

Solarthermie

Neben der Stromerzeugung ist die Sonnenenergie auch für die Warmwasserbereitung durch Solarthermie geeignet. Ein 4-Personen-Haushalt benötigt etwa 4-6 m² Kollektorfläche zur Deckung des Warmwasserbedarfes außerhalb der Heizperiode (Mai bis September). Insgesamt können so über das Jahr gesehen rund 60 % des Warmwasserbedarfes durch Solaranlagen abgedeckt werden.

In sogenannten Kombi-Solaranlagen kann darüber hinaus, neben der Warmwasserbereitung, auch Energie zum Heizen der Wohnfläche genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend große Dachfläche, da die Kollektorfläche ungefähr doppelt so groß sein muss, wie bei reinen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung. Dies führt zu einer Flächenkonkurrenz mit Photovoltaikanlagen. Ein Speicher im Keller sorgt durch seine Pufferwirkung dafür, dass die Solarwärme auch nutzbar ist, wenn die Sonne nicht scheint. Im Vergleich zu Anlagen, die lediglich der Warmwasserbereitung dienen, ist das Speichervolumen bei Kombi-Anlagen zwei- bis drei-mal so groß. Zudem ist der Speicher im Gegensatz zu einfachen Anlagen zum überwiegenden Teil mit Heizungswasser gefüllt.

Durch Kombi-Solaranlagen lassen sich rund 25 % des jährlichen Wärmeenergiebedarfs decken. Eine zusätzliche herkömmliche Heizung ist in jedem Fall erforderlich. Die Kombination von Solaranlagen mit einem herkömmlichen Heizungssystem ist vom Fachmann durchzuführen, da Solaranlagen, bestehende Heizung und Wärmeenergiebedarf aufeinander abgestimmt sein müssen, um eine optimale Effizienz zu erzielen.

Die aus dem Energieatlas Baden-Württemberg herangezogenen Daten bzgl. der geeigneten Dachfläche gelten sowohl für die Photovoltaik als auch für die Solarthermie gemeinsam. Somit dürfen entsprechende Potenziale nicht addiert werden, sondern sind als „konkurrierend“ zu betrachten. Allerdings ist die Nutzung von Dachflächen für Photovoltaikanlagen gegenüber Solarthermieranlagen zu priorisieren.

Zusätzlich besteht eine Flächenkonkurrenz zwischen Photovoltaik und Solarthermie. Da Photovoltaikanlagen in der Regel eine bessere Wirtschaftlichkeit aufweisen und darüber hinaus die gewonnene Energie vielfältiger einsetz- und speicherbar ist, wird davon ausgegangen, dass Solarthermieranlagen im Vergleich nur eine geringe Rolle spielen werden.

Die Nutzung im privaten Bereich wird sich auf kleine Anlagen beschränken, die heute errichtet werden, um gesetzliche Vorgaben einhalten zu können. Diese Anlagen sind in der Regel wenige m² groß und tragen daher nur zu einem geringen Anteil zur Energiegewinnung bei. Im Gegensatz zu den PV-Potenzialflächen, wurden für die Solarthermie deshalb nur die Dachflächen in der Eignungsklasse „sehr gut“ bilanziert. Aus dem Handlungsleitfaden für Freiflächensolaranlagen geht hervor, dass die Land-zur Kollektorfläche den Faktor 2,5 beträgt. Hieraus ergibt sich eine installierbare Modulfläche von 77.770 m². Unter der Annahme eines spezifischen Wärmeertrags von 450 kWh/m² ergibt sich eine theoretisch maximal erzeugbare Wärmemenge in Höhe von rund 37.255,3 MWh/a.

Im Gegensatz zu privaten Solarthermieanlagen stellt sich die Situation für große Solarthermieanlagen in Verbindung mit effizienten Wärmenetzen anders dar. Während die Wärmegestehungskosten für Solarthermieanlagen auf Hausdächern mit 14,3-18,1 ct/kWh relativ hoch liegen, bieten große Freiflächen-Solarthermieanlagen mit Wärmegestehungskosten zwischen 3,7 und 4,6 ct/kWh die Möglichkeit einer kostengünstigen Wärmeversorgung. Die größte Herausforderung stellt dabei die Verfügbarkeit geeigneter Flächen dar. Insbesondere im verdichteten Innenstadtbereich kommen hier große Dachflächen und große Infrastrukturflächen, wie z. B. Parkplätze oder Flächen entlang von Verkehrswegen sowie Lärmschutzbauwerke in Frage. Auf Grund dessen wurden für die Solarthermie-Potenziale nur Freiflächen größer als 1.000 m² bilanziert. Daraus ergibt sich eine installierbare Modulfläche von 3.352.320 m² und eine theoretisch maximal erzeugbare Wärmemenge in Höhe von rund 1.605.910,9 MWh/a.

Tabelle 5: Übersicht des Solarthermie-Potenzials - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH]

Technologie	Installierbare Modulfläche	Möglicher Wärmeertrag
Solarthermie Dach	77.770 m ²	37.255 MWh/a
Solarthermie Freifläche	3.352.320 m ²	1.605.911 MWh/a
Solarthermie gesamt	3.430.090 m ²	1.643.166 MWh/a
Mobilisierungsfaktor 30 %	1.029.027 m ²	492.950 MWh/a

5.3 WINDENERGIE

Bislang existieren - mit Stand Dezember 2022 - noch keine Windenergieanlagen auf dem Stadtgebiet Radolfzell.

Für den Energieträger Windenergie wird im Energieatlas Baden-Württemberg ein Maximalpotenzial von 9.238 MWh/a angegeben. Diese sind in geeigneten Flächen prognostiziert. Die Größe der Fläche, die diesem Maximalpotenzial zugrunde liegt, beträgt 1 ha (geeignete Flächen: 1 ha \pm 0,02 % der Gesamtfläche der Gemarkung. Darauf würden sich eine Windenergieanlagen realisieren lassen (LUBW, 2022).

Bis zum Jahr 2025 soll ein überarbeitete Teilfortschreibung zu Windenergie seitens des Regionalverband Hochrhein-Bodensee vorliegen. In diesem wird für das Gewann „Rosenhag“ bei Stahringen eine Fläche von 15,5 ha ausgewiesen.

Es gilt jedoch anzumerken, dass sich die politischen Rahmenbedingungen, wie z. B. die Abstandsregeln oder die Vergütung nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Hinblick auf die Anlagenentwicklung nicht endgültig abschätzen lassen. Die aktuelle politische Lage suggeriert jedoch eher eine zukünftige Vereinfachung der Genehmigungsverfahren.

5.4 BIOMASSE

Grundlage der Potenzialanalyse sind die Daten zu landwirtschaftlichen Produkten des Statistischen Landesamts Baden-Württemberg (STALA). Bereitgestellt werden regionale Informationen zur Bodennutzung des Ackerlandes für Fruchtarten und zur Viehwirtschaft nach Betriebsgröße und Tierart. Aktuell sind Daten für das Jahr 2020 veröffentlicht. Daraus wird ein theoretisches Biogaspotenzial von 1.313 kW_{el} ermittelt. Das technisch mögliche Potenzial wird bezogen auf einen Energiepflanzenanteil von 20 % für die landwirtschaftliche Fläche. Daraus ergibt sich eine mögliche Leistung von 551 kW_{el}.

Unter der Annahme, dass das gesamte theoretische Potenzial von 551 kW_{el} in einer fiktiven Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (Anlage zur gleichzeitigen Wärme- und Stromerzeugung) mit einem Gesamtwirkungsgrad von 85% verarbeitet wird, ergibt sich ein theoretischer Energieertrag von 10.060 MWh/a. Für einen angenommenen elektrischen Wirkungsgrad von 34 % ergibt sich ein Potenzial von 4.024 MWh/a. Für einen angenommenen thermischen Wirkungsgrad ergibt sich ein Potenzial von 6.036 MWh/a.

Wichtig zu beachten ist, dass aufgrund der fehlenden Datengrundlage es sich in dieser Potenzialermittlung um ein Biogaspotenzial handelt, da lediglich eine anteilige Nutzung der Ackerfläche sowie die Nutzung des Wirtschaftsdüngers berücksichtigt werden können. Ein sich ergebendes Biomassepotenzial aus bspw. der Forstwirtschaft ist nicht Teil der Betrachtung.

Das Bioenergiepotenzial der Stadt Radolfzell wurde in zwei bzw. drei früheren Studien bereits genauer untersucht. Die Ergebnisse werden nachfolgend kurz zusammengefasst und eingeordnet.

Die Studie „Bioenergiepotenziale der Stadt Radolfzell – 2007-2015“ wurde im Jahr 2010 vom Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz (ILN) Singen erarbeitet. Berücksichtigt wurde das Biomassepotenzial von Holzvorkommen, landwirtschaftlichen Produkten sowie Bioabfällen und Laub.

In einem ersten Schritt wurde der Bestand für das Jahr 2007 abgebildet und in einem zweiten Schritt eine Prognose für das nachhaltig-wirtschaftliche Potenzial im Jahr 2015 abgegeben. Für das Jahr 2007 wird ein Bestand an Biogasanlagen von 320 kW_{el} ausgewiesen. Für das Jahr 2015 wurde ein Ausbau auf 570 kW_{el}. Das maximale nachhaltig-wirtschaftliche Potenzial wird mit ca. 900 kW_{el} ausgewiesen.

Im Jahr 2011 wurde ein Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Radolfzell von der Amstein+Wahlert AG angefertigt. Das Konzept beschreibt ein theoretisches Biomassepotenzial zur Stromerzeugung von 6.300 MWh/a und einer Wärmeerzeugung aus Biomasse von 18.820 MWh/a.

In der Fortschreibung des Klimaschutzkonzepts in Form der Studie „Klimaszenarien für die Stadt Radolfzell - 2021-2050“ (Fakultät für Architektur und Gestaltung der HWTG Konstanz, 2021) wird das Energiepotenzial aus Biomasse aufgrund des fortschreitenden Flächenverbrauchs als etwas geringer eingeschätzt.

Laut Marktstammdatenregister sind im Stadtgebiet Radolfzell aktuell Biomasseanlagen mit einer Leistung von 770 kW_{el} installiert.

Das Marktstammdatenregister gibt keine Auskunft darüber, woher die Biomasse stammt und ob bzw. zu welchem Teil der erzeugte Strom und die erzeugte Wärme innerhalb des Stadtgebiets verbraucht werden.

Die Nutzung von Biomasse zur Bewältigung der Energiewende ist aus den folgenden Gründen auch kritisch zu sehen:

- ▶ Nahrungsmittelkonkurrenz
- ▶ Auswirkungen auf die Umwelt (z. B. Artenvielfalt)
- ▶ Energieeffizienz und Energiebilanz (z. B. Umwandlungsverluste)
- ▶ Nachhaltigkeit (z. B. Abholzung oder Monokulturen)
- ▶ Hemmnis bei der Entwicklung alternativer Technologien

Das kritische Auseinandersetzen mit dem Einsatz von Biomasse bedeutet nicht, dass diese überhaupt keinen Beitrag bei der Bewältigung der Energiewende leisten kann. Vielmehr sollte eine umfassende Bewertung der Potenziale, Risiken und Auswirkungen von Biomasse im Kontext der spezifischen regionalen Gegebenheiten durchgeführt werden, um eine verantwortungsvolle und nachhaltige Nutzung sicherzustellen.

5.5 GEOTHERMIE

Die in der Erde gespeicherte Wärme kann zur Wärmeversorgung der Gebäude in der Stadt Radolfzell genutzt werden. Grundsätzlich wird zwischen oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie unterschieden:

Oberflächennahe Geothermie (bis 400 m Tiefe) kommt zur Anwendung, um einzelne Gebäude mit Wärme zu versorgen.

Tiefengeothermische Kraftwerke mit Bohrungen bis in 5.000 m Tiefe liefern sowohl Strom als auch Wärme.

Der große Vorteil von Geothermie gegenüber Wind- und Sonnenenergie ist die meteorologische Unabhängigkeit. Die Wärme in der Erde ist konstant vorhanden, ab 5 m Tiefe gibt es keine witterungsbedingten Temperaturveränderungen mehr. Jahreszeitenunabhängig können 24 Stunden am Tag Strom und Wärme produziert werden.

Nachfolgend werden die Potenziale für die Nutzung von Erdwärme dargestellt. Hierbei lässt sich die Eignung einzelner Standorte für die Nutzung von Erdwärmekollektoren und -sonden für die Stadt Radolfzell unter <https://maps.lgrb-bw.de/> ermitteln. Bzgl. der folgenden Ausführungen muss im Vorhinein betont werden, dass es sich lediglich um eine grobe Hochrechnung handelt, die der Orientierung dienen soll. Des Weiteren sind die Potenziale nicht addierbar. Die angegebenen Potenziale von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren sind „Entweder-Oder-Potenziale“, da sich eine Flächenkonkurrenz ergibt.

Nachfolgende Einschätzungen und dargestellte Abbildungen basieren auf Daten des Geologischen Dienstes Baden-Württembergs und dienen als erste Orientierung. Sie ersetzen keine spezifische Standortbeurteilung, die im Falle konkreter Umsetzungsplanungen auf jeden Fall zusätzlich erfolgen muss.

Erdwärmekollektoren

Wie auf Abbildung 5-6 zu sehen, sind weite Teile des Stadtgebiets für die Nutzung von Erdwärmekollektoren, basierend auf der Wärmeleitfähigkeit des Bodens in $W/(m \cdot K)$, geeignet. Für die grobe Potenzialberechnung werden die siedlungsnahen Flächen in Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit ausgewertet. Daraus wird ermittelt, dass etwa 52 % der Gemarkungsfläche theoretisch für die Erdwärmekollektoren geeignet sind. Dies entspricht bei einer angenommenen Gemarkungsfläche von 5.855 ha (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2020) rund 3.046ha Fläche.

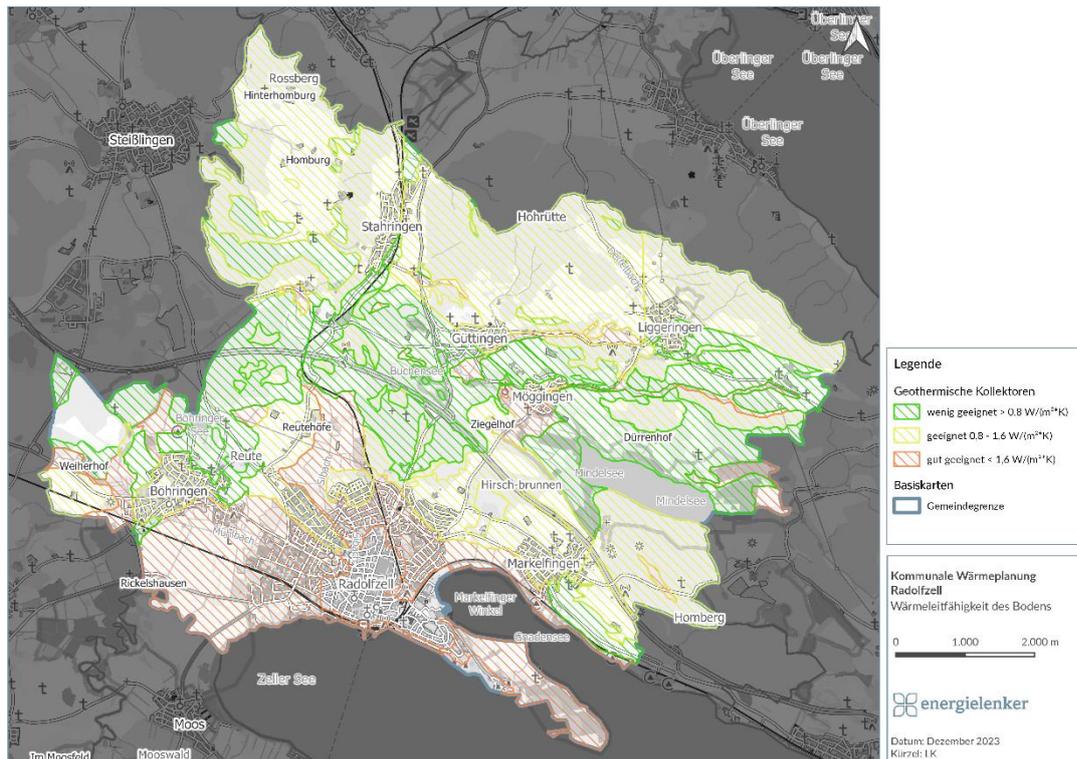


Abbildung 5-6: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmekollektoren [LGRB]

Als einige einschränkende Faktoren für die Nutzung von Geothermie sind folgende Punkte zu nennen:

- Wirtschaftlichkeit
- technische Herausforderungen
- geologische Unsicherheiten

Durch diese Faktoren kann die Installation einer Anlage ganz oder teilweise verhindert oder zumindest zeitlich verzögert werden. Daher wird für die weitere Betrachtung der möglichen Gewinnung von Wärme aus Geothermie nur ein Teil der ausgewiesenen Werte berücksichtigt (Mobilisierungsfaktor von 30 %).

Es werden folgende Annahmen für Erdwärmekollektoren getroffen:

- Jährliche Betriebsstunden: 1.800 h/a (LLUR, 2011)
- Leistungszahl (COP): 4,0 (Annahme)

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein theoretisches Wärmebereitstellungspotenzial von rund 548.139 MWh/a durch Erdwärmekollektoren.

Erdwärmesonden

Analog zu dem Vorgehen bei den Erdwärmekollektoren können auch die Flächen für eine Nutzung mit Erdwärmesonden den digitalen Karten des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Baden-Württemberg entnommen werden (LGRB, 2018).

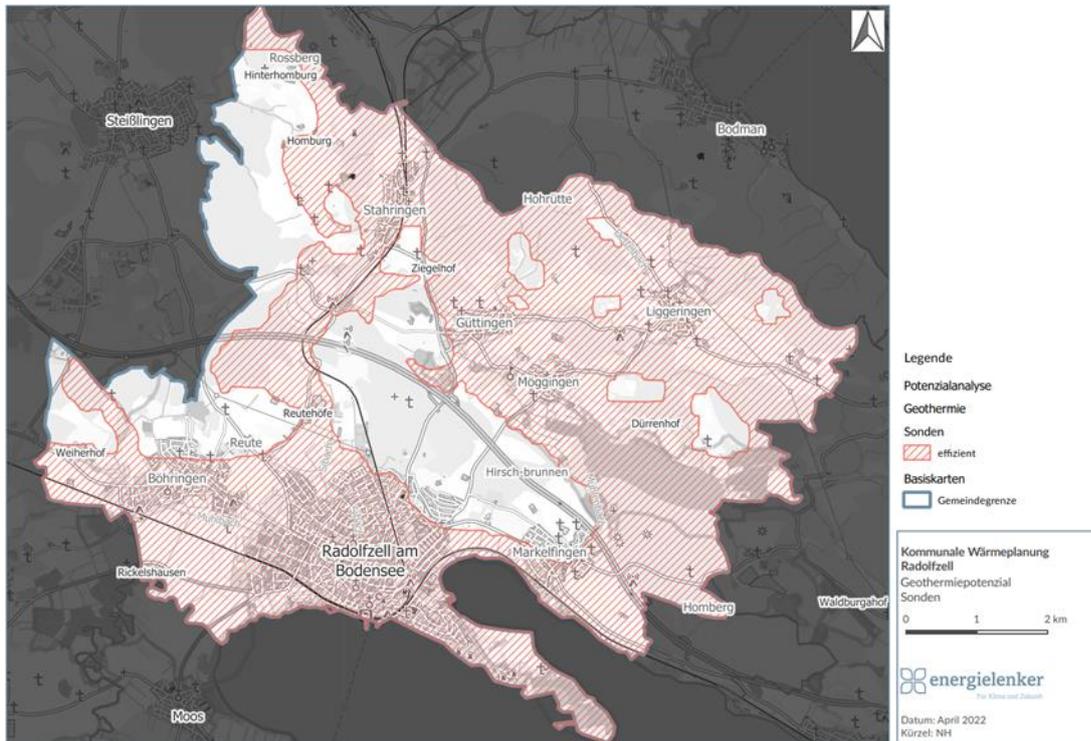


Abbildung 5-7: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmesonden [LGRB]

Im Gegensatz zu den Erdwärmekollektoren liegen hier für weite Teile des Stadtgebiets Radolfzell keine Angaben vor. Das diesbezügliche Potenzial soll deshalb auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten sinnvoll abgeschätzt werden.

Die Auswertung der theoretisch nutzbaren Flächen erfolgt analog zur Auswertung der Kollektorflächen. Daraus ergibt sich, dass etwa 39 % der Siedlungsfläche von Radolfzell theoretisch für die Erdwärmekollektoren geeignet sind.

Zusätzlich werden folgende Annahmen für Erdwärmesonden getroffen:

- Jährliche Betriebsstunden: 1.800 h/a (LLUR, 2011)
- Leistungszahl (COP): 4,0 (Annahme)
- Maximale Bohrtiefe (in Siedlungsnähe): 100 m

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein theoretisches Wärmebereitstellungspotenzial von rund 759.559 MWh/a durch Erdwärmesonden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine effiziente Nutzung der Geothermie in der Stadt Radolfzell durch den Einsatz von Erdwärmekollektoren und -sonden möglich ist. Zusätzlich wird die oberflächennahe Geothermie und die Anschaffung dazugehöriger Wärmepumpen durch umfassende Förderangebote unterstützt. Unter Berücksichtigung einer zunehmenden Nutzung regenerativer Energien, werden demzufolge beim Neubau von Einfamilienhäusern Ausbaupotenziale gesehen. Unter der Prämisse einer Sanierung, welche die Absenkung der Vorlauftemperaturen eines Bestandsgebäudes erlaubt, kann das Potenzial der Umweltwärme auch für die Beheizung von Bestandsgebäude eine effiziente und sinnvolle Versorgungslösung darstellen.

Tabelle 6: Übersicht Geothermiepotezial - Stadtgebiet Radolfzell [energielenker projects GmbH]

	Theoretisch nutzbare Fläche	Mobilisierungsfaktor	Nutzbare Fläche	Wärmebereitstellung
Erdwärmekollektoren	3.064 ha	30 %	919 ha	548.139 MWh
Erdwärmesonden	2.301 ha	30 %	690 ha	759.559 MWh

5.6 THERMISCHE NUTZUNG VON OBERFLÄCHENGEWÄSSERN

Die Bezeichnung Oberflächengewässer umfasst alle in der Natur fließenden und stehenden Gewässer gleichermaßen (u. a. Flüsse, Seen, Übergangs- / Küstengewässer etc.). Charakteristisch für diese Gewässer ist deren Einbindung in den natürlichen Wasserkreislauf.

Oberflächengewässer existieren in verschiedensten Naturräumen und nicht zuletzt deshalb unterscheiden sich die Gewässer einerseits aufgrund der vorkommenden Tier- und Pflanzenarten und ihrer Geologie im Einzugsgebiet und andererseits aufgrund der Gewässerstruktur. Zur Differenzierung ist dementsprechend ein System entwickelt worden, mit dem es möglich ist, Gewässer sowohl entsprechend ihrer naturräumlichen Eigenschaften als auch nach gemeinsamen Merkmalen zu Gewässertypen zusammenzufassen. Für diese Typisierung werden Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet größer 10 km², stehende Gewässer mit einer Oberfläche von mehr als 0,5 km² und Übergangs- bzw. Küstengewässer innerhalb einer Seemeile seewärts berücksichtigt.

Für die Stadt Radolfzell ist vor diesem Hintergrund der Bodensee von Relevanz. Südlich von Radolfzell liegt der sogenannte Zeller See (Bodensee) mit seinem Hauptzulauf aus der Radolfzeller Aach. Dieser bildet einen Teil des Untersees.

Aufgrund der hohen Wärmekapazität kann Wasser Wärme sehr gut speichern. Oberflächengewässer können deshalb geothermisch sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen genutzt werden. Konventionelle Wärmepumpen sind technisch dennoch in der Lage Wärme zu gewinnen und die Wärmeträgerflüssigkeit auf mehr als 60°C zu erhitzen. Mit dieser Wärme können kommunale Liegenschaften beheizt werden. In den Sommermonaten können Fließgewässer als Kühlung genutzt werden (sofern Wassertemperatur niedrig genug), da die Wassertemperatur in der Regel unterhalb der Luft- / Umgebungstemperatur verortet ist.

Bisher gibt es noch nicht viele Beispiele für die Nutzung von Oberflächenwasser in großem Maßstab. Dennoch könnte die thermische Nutzung von Oberflächengewässern bedeutende Einsparungen an fossilen Brennstoffen und Elektrizität erlauben. Die mögliche Energiemenge ist dabei abhängig von den Wassertemperaturen des Flusses und dem Massenstrom im Wärmeübertrager.

Aus den Bodensee-Richtlinien 2005 (mit Ergänzungen und Änderungen bis 16. Mai 2023) werden Mindestanforderungen für Anlagen gestellt, die den Bodensee zu thermischen Zwecken nutzen wollen. Daraus geht hervor, dass die thermische Nutzung am Untersee in jedem Fall einer Einzelfallprüfung unterliegt.

Aktuell wird ein Energiekonzept zur Nutzung des Böhringer Sees entwickelt, um festzustellen, ob das Oberflächenwasser des Sees zur Beheizung eines geplanten Neubaugebiets genutzt werden kann, neben der bereits erfolgenden thermischen Nutzung des Bodensees. Auf eine detaillierte Bewertung der vorhandene Potenziale wird im Rahmen dieses Konzeptes deshalb verzichtet.

5.7 HYDROTHERMALE GRUNDWASSERNUTZUNG

Die hydrothermale Grundwassernutzung ist eine Technik der Tiefengeothermie. Als hydrothermale Lagerstätten werden Bereiche in über 400 m Tiefe bezeichnet, in denen Thermalwasser zirkuliert.

Für die Nutzung der hydrothermalen Geothermie ist eine ergiebige, wasserführende Gesteinsschicht (Nutzhorizont) notwendig. Diese Schicht sollte vertikal und lateral möglichst weit ausgebreitet sein, um eine langfristige Nutzung zu gewährleisten. Das vorhandene Thermalwasser kann (abhängig von der Förderrate und Temperatur) sowohl für die Erzeugung von Strom und Wärme als auch für die Erzeugung von Wärme allein genutzt werden.

Für die Nutzbarmachung des Thermalwassers bedarf es in der Regel zwei oder mehr Bohrungen. Dabei handelt es sich mindestens um eine Förder- und eine Injektionsbohrung (Dublette). Zu beachten ist jedoch, dass Anlagen, die unterhalb von Bodenplatten bzw. Gebäudeteilen zum Liegen kommen und in Bereichen liegen, in denen lt. Informationssystem für oberflächennahe Geothermie (kurz: ISONG) mit artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen ist, nicht genehmigungsfähig sind.

In Deutschland existieren natürliche Reservoirs mit ausreichenden Wassermengen. Dazu zählen primär die geothermischen Provinzen des Molassebeckens im Alpenvorland, der Oberrheingraben und das norddeutsche Becken. Auf dem Stadtgebiet Radolfzell sind möglicherweise ähnliche natürliche Reservoirs vorhanden. Allerdings ist dort die ausreichende Wassermenge nicht zwangsläufig gewährleistet. Vor diesem Hintergrund ist die Wirtschaftlichkeit der Strom- und Wärmeerzeugung bei der hydrothermalen Grundwassernutzung gefährdet.

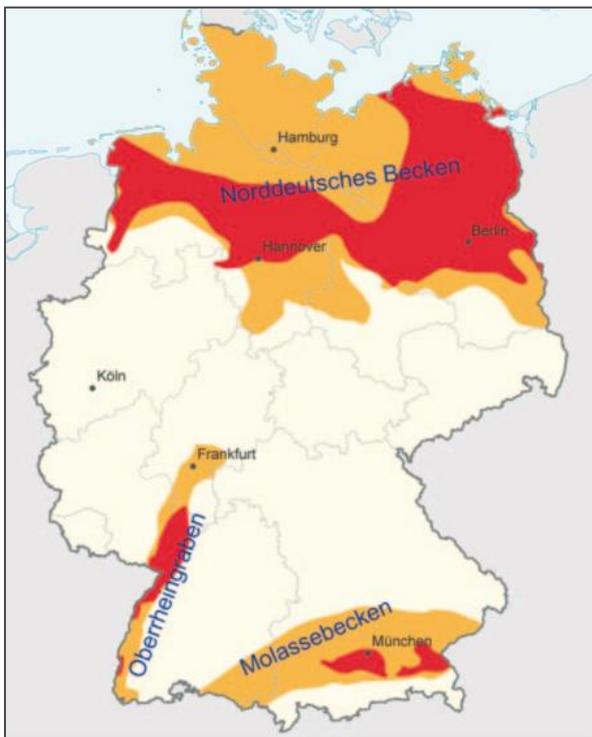


Abbildung 5-8: Übersicht über Gebiete, die für eine tiefe hydrogeothermische Nutzung möglicherweise geeignet sind [UBA, 2008]

5.8 ABWASSERWÄRMENUTZUNG

Abwasserwärme ist aus planerischer Sicht eine langfristig verfügbare und „erneuerbare“ Energiequelle, deren Nutzung nachhaltig ist und dem Gedanken einer Kreislaufwirtschaft verfolgt.

Bei Nutzung der Abwasserwärme wird thermische Energie sowohl in der Kanalisation selbst entnommen als auch im Ablauf des Klärwerks. Im Abwassersystem herrschen das ganze Jahr über Temperaturen von etwa 10 bis 20° C, womit die Wärme dort deutlich über dem Temperaturniveau vieler weiterer natürlicher Wärmequellen wie bspw. der Erdwärme liegt.

In der Kanalisation geschieht die Wärmeentnahme über einen Abwasserwärmetauscher, welcher in der Sohle des Abwasserkanals bzw. im Ablauf des Klärwerks installiert ist. Er wird vom Abwasser erwärmt, wodurch sich ein flüssiges Wärmeträgermedium in seinem Inneren aufheizt.

Dem Abwasser kann in der Kanalisation ein beträchtlicher Teil seiner Wärme entzogen werden. Es ist darauf zu achten, dass das Abwasser bei Erreichen des Klärwerks noch immer eine Mindesttemperatur besitzt, damit die dortigen Reinigungsprozesse ordnungsgemäß ablaufen können.

5.9 ABWÄRMEPOTENZIAL

In Radolfzell gibt es bereits verschiedene Zusammenschlüsse und Arbeitsgruppen, die sich mit der Nutzung von Abwärme aus der ortsansässigen Industrie beschäftigen. Die Stadtwerke führen aktuell Akteursgespräche. Basierend auf der Bestandsanalyse wird eine Auflistung der größten Verbraucher zur Verfügung gestellt.

Um mögliche Abwärmequellen aus Industrie- und Gewerbeprozessen zu identifizieren wurden Fragebögen [Vorlage der KEA-BW] versendet. Mit Hilfe der Fragebögen können Verbräuche, Energieträger und Abwärmepotenziale, der Prozesse abgefragt werden. Ebenfalls werden die erneuerbare Wärme- und Stromerzeugung sowie die Eigennutzung erfasst und ausgewertet.

Die Stadtwerke Radolfzell waren bereits mit großen produzierenden Gewerbeeinheiten im Austausch und haben im Vorfeld und während des Prozesses Gespräche zu Abwärmenutzung geführt.

5.10 ZUSAMMENFASSUNG DER POTENZIALE

Nachfolgend werden die ermittelten theoretischen Potenziale erneuerbarer Energien zusammenfassend dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass zur Stromerzeugung insbesondere im Bereich der Solarenergie ein großes Potenzial liegt. Der Wärmebedarf kann bei entsprechender Ausschöpfung der Potenziale insbesondere durch Wärmepumpen, d. h. oberflächennahe Geothermie bzw. Umweltwärme abgedeckt werden.

Wie bereits in den einzelnen Unterabschnitten erläutert, handelt es sich bei den angegebenen Potenzialen um die Maximalpotenziale in der Stadt Radolfzell, deren Hebung im Einzelfall zu prüfen ist.

	Potenziale
Photovoltaik Gesamt (Dach und Freifläche)	Möglicher Stromertrag: 165.925 MWh/a
Solarthermie Gesamt (Dach und Freifläche)	Möglicher Wärmeertrag: 492.950 MWh/a
Windenergie	Möglicher Stromertrag: 9.238 MWh/a (zusätzliche 15,5 ha in neuer Regionalplanung vorgesehen)
Biomasse	Theoretisches elektrisches Potenzial Biogas: 900 kWel/a Theoretisches thermisches Potenzial Biogas: 6.036 MWh/a
Erdwärmekollektoren	Möglicher Wärmeertrag: 548.139 MWh/a
Erdwärmesonden	Möglicher Wärmeertrag: 759.559 MWh/a
Oberflächengewässer	Wird im Rahmen der Maßnahmen genauer untersucht
Abwärme	Einzelfallprüfung

6 SZENARIENENTWICKLUNG

Nachfolgend werden zu dem Schwerpunktthema Wärme jeweils ein Trend- und ein Klimaschutzszenario dargestellt. Dabei werden mögliche zukünftige Entwicklungspfade für die Endenergieeinsparung und Reduktion der Treibhausgase in der Stadt Radolfzell aufgezeigt. Die Szenarien beziehen dabei die in Kapitel 5 berechneten Endenergieeinsparpotenziale sowie die Potenziale zur Nutzung Erneuerbarer Energien mit ein.

6.1 DIFFERENZIERUNG TREND- UND KLIMASCHUTZSZENARIO

Wie bereits kurz beschrieben, werden in der vorliegenden Ausarbeitung zwei unterschiedliche Szenarien betrachtet: Das Trend- und das Klimaschutzszenario. Nachfolgend werden die Annahmen und Charakteristiken dieser beiden Szenarien etwas detaillierter erläutert.

In den aufgestellten Szenarien sind, die in Kapitel 5 ermittelten Einsparpotenziale berücksichtigt. Die Umweltwärme wird als Endenergie bilanziert und beinhaltet in den Darstellungen bereits den notwendigen Endenergiebedarf an Strom. Dieser wird in der Zusammenfassung beziffert und in der Bilanzierung der Treibhausgase aufgrund des Emissionsfaktors einbezogen.

Im Trendszenario wird das Vorgehen beschrieben, wenn keine bzw. gering klimaschutzfördernde Maßnahmen umgesetzt werden. Die Effizienzpotenziale in den Sektoren Wirtschaft und private Haushalte werden hier nur in geringem Umfang gehoben. Die übrigen Sektoren erreichen auch bis 2035 keine hohen Einsparungen des Energieverbrauches, da Maßnahmen der Beratung bezüglich Sanierung und Nutzer:innenverhalten nur eingeschränkt greifen. Effizienzpotenziale werden auch aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit nicht umgesetzt.

Im Klimaschutzszenario hingegen werden vermehrt klimaschutzfördernde Maßnahmen mit einbezogen. Hier wird davon ausgegangen, dass Maßnahmen der Beratung bezüglich Sanierung, Effizienztechnologien und Nutzer:innenverhalten erfolgreich umgesetzt werden und eine hohe Wirkung zeigen. Effizienzpotenziale können, aufgrund der guten Wirtschaftlichkeit, verstärkt umgesetzt werden. Die Effizienzpotenziale in den Sektoren Wirtschaft und private Haushalte werden in hohem Umfang gehoben.

Auch Erneuerbare-Energien-Anlagen, vor allem PV- und Solarthermie-Anlagen sowie Wärmepumpen, werden mit hohen Zubauraten errichtet. Die Annahmen des Klimaschutzszenarios setzen dabei zum Teil Technologiesprünge und rechtliche Änderungen voraus.

Nachfolgend wird die Entwicklung des Wärmebedarfs in den beiden Szenarien Trend und Klimaschutz dargestellt.

Die Berechnung des Endenergiebedarfs erfolgt über die Sanierungsrate und die Sanierungstiefe.² Die Berechnung des Haushaltsstrombedarfs erfolgt über den Absenkpfad (Bundesdurchschnitt).³

6.2 TRENDSZENARIO

Die nachfolgende Abbildung 6-1 zeigt den zukünftigen Brennstoff- bzw. Wärmebedarf der Stadt Radolfzell im Trendszenario, welche unter folgenden Grundbedingungen aufgestellt wurde:

- Jährliche Sanierungsrate: 0,8 %
- Sanierungstiefe nach GEG-Standard (50 kWh/m²)
- klimaneutrale Wärmeversorgung wird nicht zwangsläufig erreicht

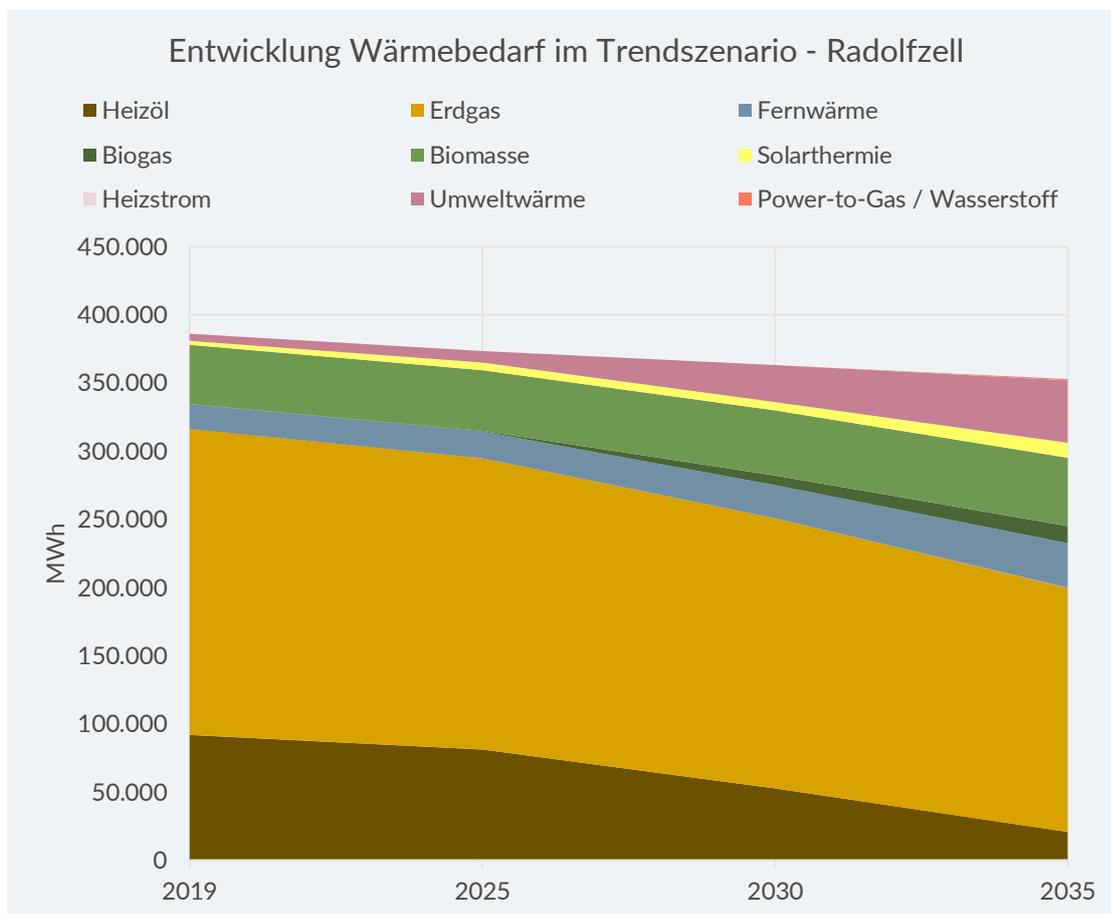


Abbildung 6-1: Entwicklung des Wärmebedarfs im Trendszenario (Quelle: energielenker projects GmbH)

Im Trendszenario nimmt der Wärmebedarf bis zum Jahr 2035 leicht ab. Dies liegt etwa an einer angenommenen Effizienzsteigerung sowie der angenommenen Sanierungsrate und -tiefe im Bereich der privaten Haushalte.

² (Mehr Demokratie e.V.; BürgerBegehren Klimaschutz, 2020): *Handbuch Klimaschutz, Wie Deutschland das 1,5-Grad-Ziel einhalten kann.*

³ (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut, 2021): *Klimaneutrales Deutschland 2045, Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.*

Bis zum Jahr 2035 werden dabei die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl teilweise durch alternative Energieträger substituiert. Auch im Trendszenario steigen somit die Anteile an erneuerbaren Energien (Solarthermie sowie strombasierte Endenergieträger, wie Umweltwärme oder Heizstrom). Das Trendszenario unterliegt jedoch der Annahme, dass der Energieträger Erdgas auch im Jahr 2035 einen großen Anteil ausmacht, da die Synthese von Methan aus Strom mit dem im Trendszenario hinterlegten Strommix zu einem höheren Emissionsfaktor als dem von Erdgas führt und damit keine Vorteile gegenüber dem Einsatz von Erdgas bestehen.⁴ Die wesentlichen Energieträger sind zukünftig die Umweltwärme mit rund 17 %, Erdgas mit einem Anteil von 47 % am Wärmebedarf. Ergänzt wird die Versorgung durch einen leicht ansteigenden Anteil von Wärme aus Biomasseanlagen.

In der nachfolgenden ist die Entwicklung der THG-Emissionen, ausgehend vom Basisjahr 2019, dargestellt. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Die THG-Emissionen sinken laut dem Trendszenario vom Ausgangsjahr 2019 um 37 % bis 2035.

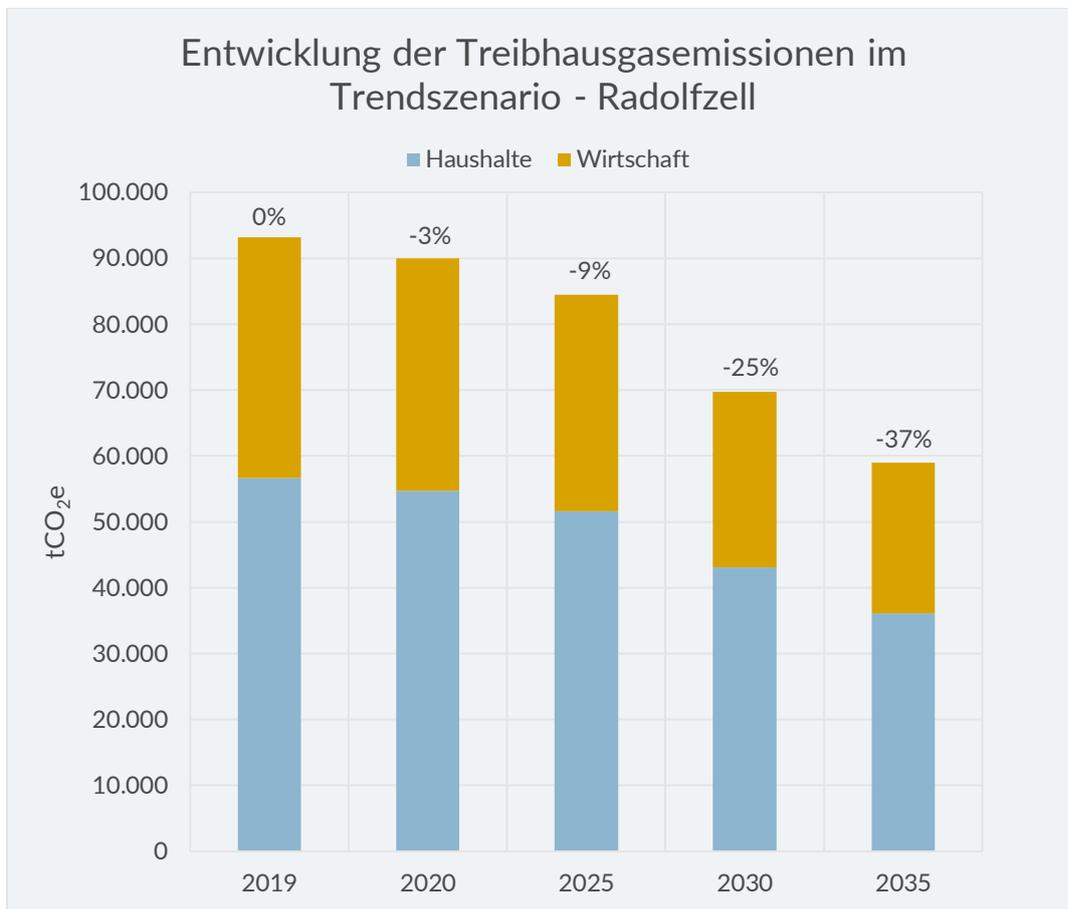


Abbildung 6-2: Entwicklungen der THG-Emissionen im Trendszenario (Quelle: energienker projects GmbH)

⁴ Der Emissionsfaktor von synthetischen Kraft-/Brennstoffen hängt vom eingesetzten Strommix ab. Da etwa zwei kWh Strom für die Synthese einer kWh Methan eingesetzt werden, hat synthetisches Methan in etwa einen doppelt so hohen Emissionsfaktor wie der des eingesetzten Stroms und liegt im Jahr 2040 bei 764 gCO₂e/kWh gegenüber 238 gCO₂e/kWh für Erdgas.

6.3 KLIMASCHUTZSZENARIO

Der Wärmebedarf im Klimaschutzscenario dagegen unterscheidet sich fundamental und ist in der nachfolgenden Abbildung 6-3 dargestellt. Das Szenario wird unter folgenden Randbedingungen aufgestellt:

- Sanierungsquote: steigt jährlich um 0,1 auf 2,8 %
- Sanierungstiefe zwischen 2020 und 2030 liegt bei EH55-Standard (21 kWh/m²)
- Sanierungstiefe nach 2030 liegt bei EH40-Standard (16 kWh/m²)
- Erreichen einer klimaneutralen Wärmeversorgung

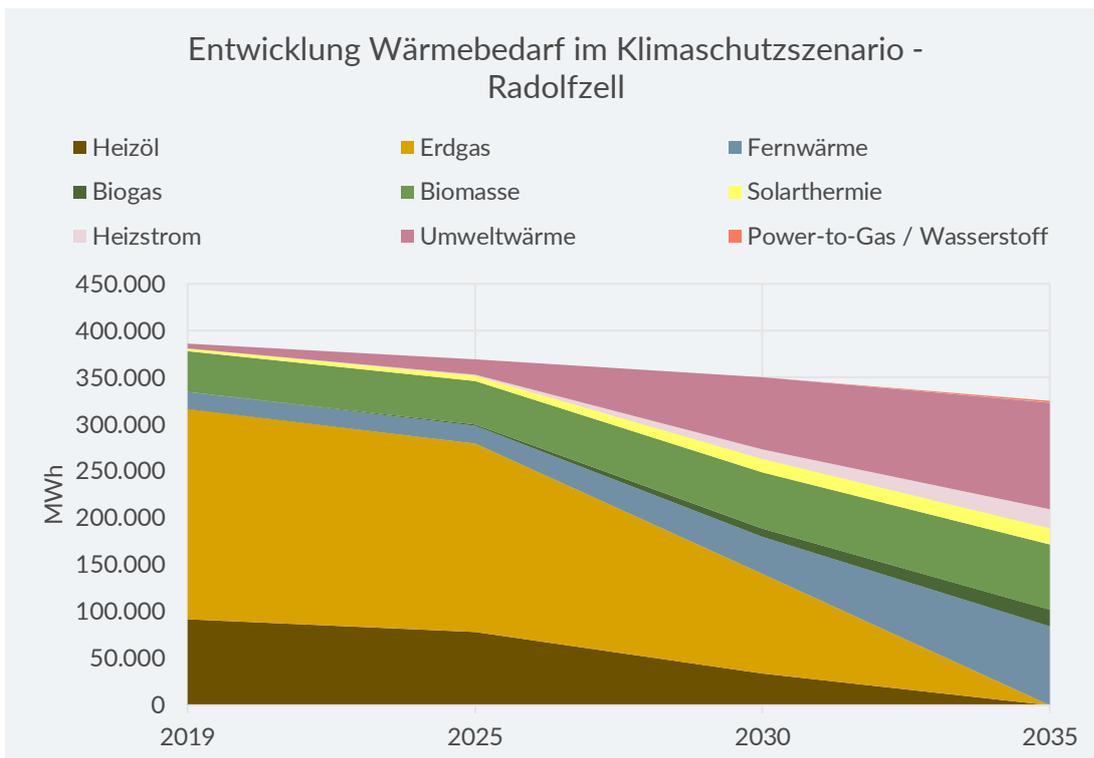


Abbildung 6-3: Entwicklung des Wärmebedarfs im Klimaschutzscenario (Quelle: energielenker projects GmbH)

Durch die höheren Effizienzgewinne in allen Sektoren sowie die deutlich höhere Sanierungsrate und -tiefe im Sektor private Haushalte sinken die Energiebedarfe im Klimaschutzscenario deutlich stärker. Im Besonderen die konventionellen Energieträger nehmen stark ab, sodass der Wärmemix im Zieljahr 2035 nahezu ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern besteht. Die Reduzierung des Endenergiebedarfs basiert auf den Rahmenbedingungen des Szenarios. Bei einer Sanierungsrate von 2 % pro Jahr auf den KfW 55 – Standard und Energieeinsparungen der Wirtschaft durch Effizienzvorteile von 10 %, errechnet sich eine Gesamtendenergieeinsparung von -12 % bzw. ca. 16,8 GWh. Dennoch bleibt ein Restbestand an fossilen Energieträgern aufgrund der hohen Energiebedarfe der ansässigen Industrie in Radolfzell bestehen. Die wesentlichen Energieträger sind zukünftig die Umweltwärme mit rund 35 %, Biomasse mit 21 % und Fernwärme mit einem Anteil von 26 % am Wärmebedarf.

In der nachfolgenden ist die Entwicklung der THG-Emissionen, ausgehend vom Basisjahr 2019, dargestellt. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den

vorangegangenen Potenzialanalysen. Die THG-Emissionen sinken laut dem Klimaschutzscenario vom Ausgangsjahr 2019 um 88 % bis 2035.

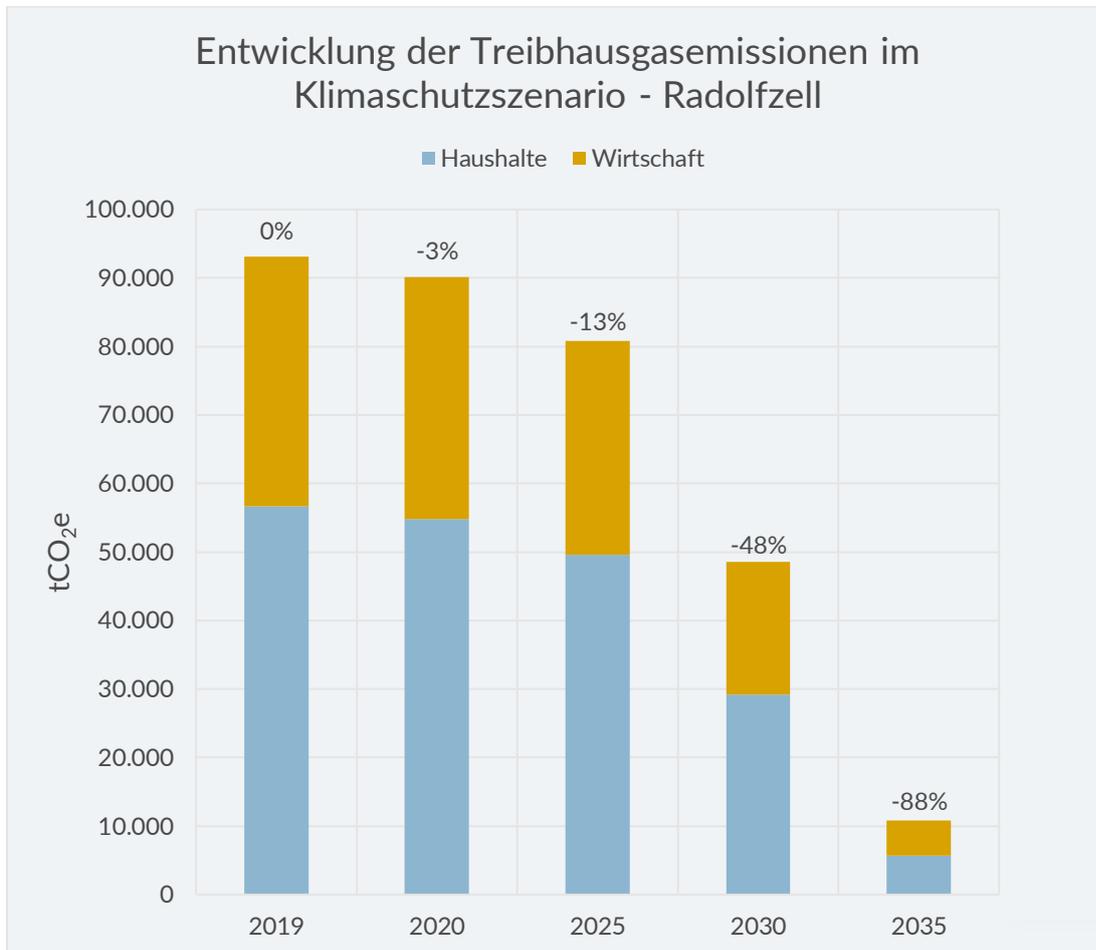


Abbildung 6-4: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Klimaschutzscenario

6.4 FAZIT/ VERGLEICH DER SZENARIEN

Bei der Betrachtung beider Szenarien lässt sich feststellen, dass mit zunehmendem Ambitionsniveau der Szenarien der Anteil von Erdgas und Heizöl abnimmt, während der Anteil von Umweltwärme zunimmt. Im Klimaschutzscenario wachsen die Anteile an Umweltwärme und Fernwärme sehr viel stärker an. Im Trendszenario sehen wir auch einen Anstieg an Umweltwärme, Gas wird hier aber weiterhin einen großen Anteil einnehmen. In beiden Szenarien nehmen die Anteile fossiler Energieträger ab und die Erneuerbaren Energien zu.

Die Wärmewende ist ein zentrales Thema auf der politischen Agenda des Bundes. Um die Klimaziele zu erreichen und den CO₂-Ausstoß im Gebäudesektor zu reduzieren, sind zukünftige Entwicklungen und Maßnahmen auf Bundesebene von großer Bedeutung. Durch gezielte Maßnahmen und Förderprogramme sind Änderungen am Wärmemarkt zu erwarten, wie beispielsweise durch die aktuelle Debatte um die Pflicht, neue Heizungen mit mindestens 65 % erneuerbaren Energien zu betreiben. Ein tatsächliches „Weiter-wie-bisher“ ist vor diesem Hintergrund nicht vorstellbar.

7 IDENTIFIKATION VON HOTSPOTS FÜR WÄRMEBEDARFE IM STADTGEBIET

Die Identifizierung und Priorisierung der Fokusgebiete erfolgten durch eine sorgfältige Bewertung, die verschiedene entscheidende Kriterien einbezieht. Diese Kriterien wurden anhand von Heatmaps im Stadtgebiet bewertet, um eine umfassende Analyse zu ermöglichen. Zu den maßgeblichen Kriterien gehören der Wärmebedarf, der Anteil an Ölheizungen, die Wärmeliniendichte sowie die vorherrschenden Rahmenbedingungen für erneuerbare Energien.

Der Wärmebedarf und die Wärmeliniendichte ist von zentraler Bedeutung, da er den erforderlichen Wärmeabsatz für den Wärmenetzausbau bestimmt. Hierbei geht es darum, Gebiete zu identifizieren, in denen ein erhöhter Bedarf an Wärme besteht und somit der Ausbau von Wärmenetzen besonders sinnvoll und nachgefragt ist. Ein weiteres entscheidendes Kriterium ist der Anteil der Ölheizungen, da fossile Energieträger für eine klimaneutrale Wärmeversorgung nicht geeignet sind. Gebiete mit einer hohen Ölheizungsquote bieten aufgrund der relativ hohen CO₂-Emissionen ein großes Potenzial für den Umstieg auf erneuerbare Energien und sollten somit priorisiert umgestellt werden. Ebenso werden die Rahmenbedingungen für den Ausbau erneuerbarer Energien in die Bewertung einbezogen, da eine klimaneutrale Wärmeversorgung nur dann erfolgreich umgesetzt werden kann, wenn eine entsprechende regenerative Energiequelle vorhanden ist.

Die gewählten Kriterien werden nicht isoliert betrachtet, sondern in einem ganzheitlichen Kontext analysiert. Um sicherzustellen, dass die identifizierten Fokusgebiete realitätsnah und praxisgerecht sind, werden strukturelle Merkmale wie Gebäudealter, Lage im Stadtgebiet und andere relevante Faktoren berücksichtigt. Dieser Abgleich erfolgt iterativ und in enger Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Akteuren, darunter die Verwaltung und Stadtwerke der Stadt Radolfzell. Dies gewährleistet, dass die gewählten Fokusgebiete den örtlichen Gegebenheiten und Bedürfnissen gerecht werden und gleichzeitig eine optimale Integration erneuerbarer Energien in die Wärmeversorgung ermöglichen.

In Abbildung 7-1 sind die aufgeführten Kriterien in räumlicher Darstellung abgebildet.

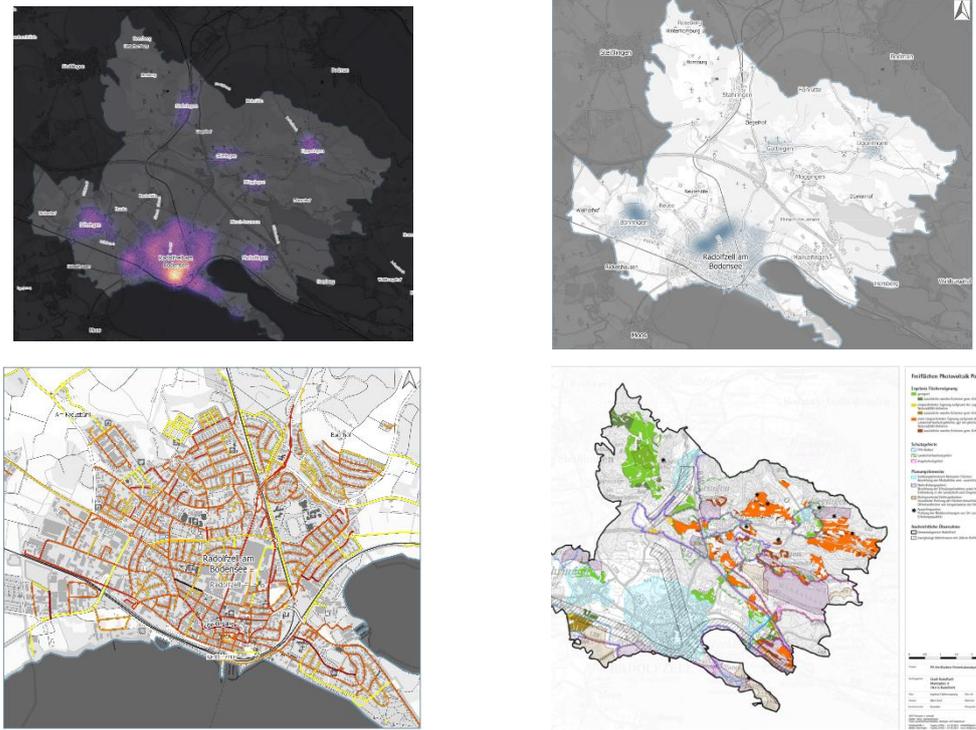


Abbildung 7-1: Kartenzusammenstellung: Heatmap - Wärmebedarf, Heatmap - Anzahl Ölheizungen, Wärmedichtelinien, Solarpotenzial

Durch die umfassende Bestandsanalyse und Betrachtung der Potenziale können insgesamt zwölf Hotspots identifiziert werden, die im Rahmen der Wärmewende eine zentrale Rolle einnehmen (Vgl. Abbildung 7-2). Die ausgewählten Bereiche weisen verschiedene Rahmenbedingungen auf, die wiederum unterschiedliche Schwerpunkte für die kommunale Wärmeplanung bedingen. Im folgenden Abschnitt werden die fünf priorisierten Fokusgebiete detailliert beschrieben und die entsprechenden Maßnahmen erläutert. Diese umfassen folgende Bereiche:

- Stockteil
- Erschließung Seewasserwärme
- Böhningen
- Region Konstanzer Straße
- Altstadt

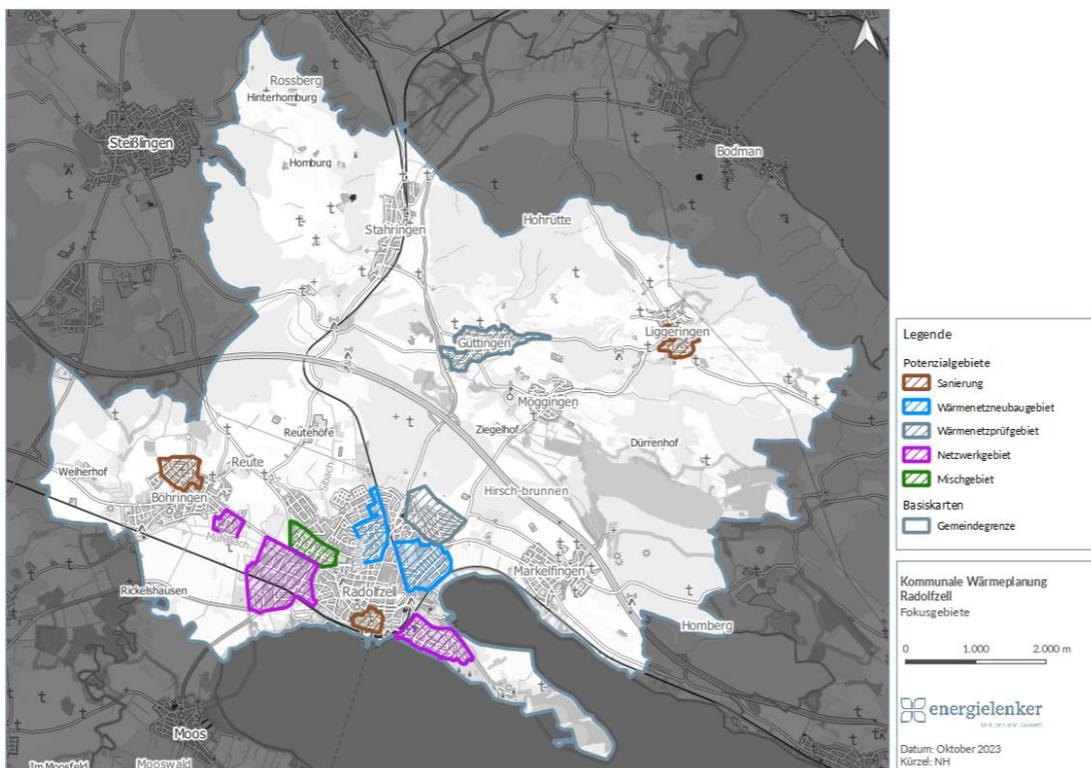


Abbildung 7-2: Maßnahmenübersicht Radolfzell (energielenker projects GmbH)

8 ENERGIEPLAN RADOLFZELL AM BODENSEE

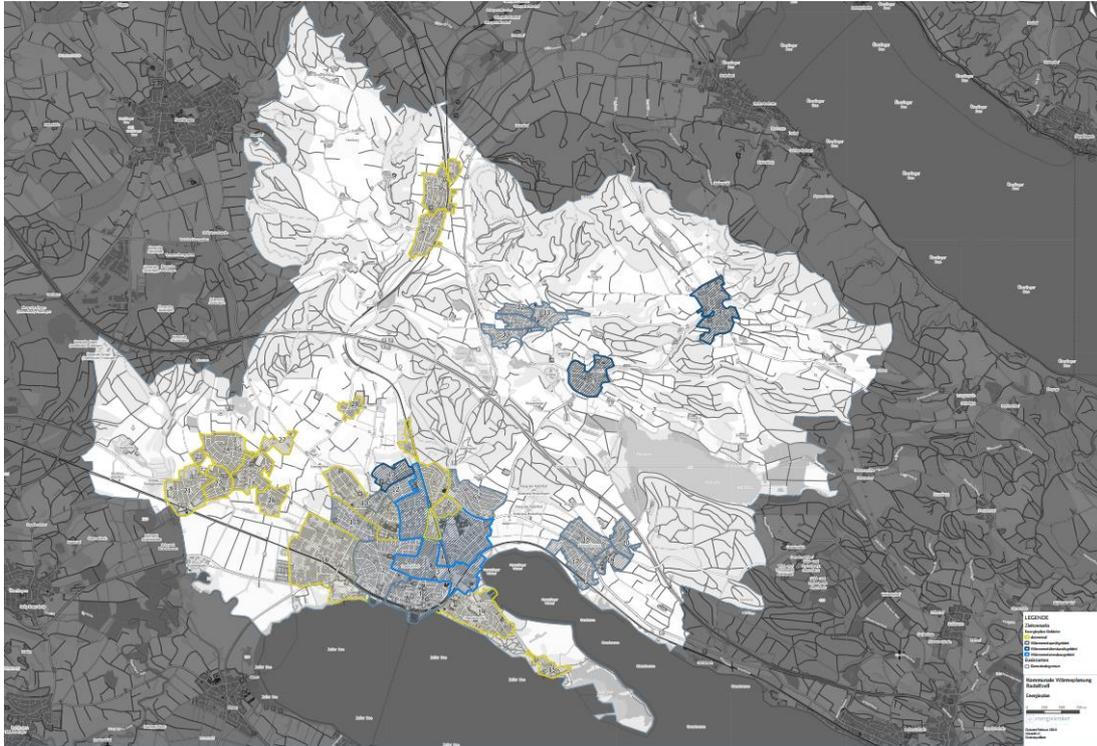


Abbildung 8-1: Energieplan - dezentral, zentral für die Stadt Radolfzell

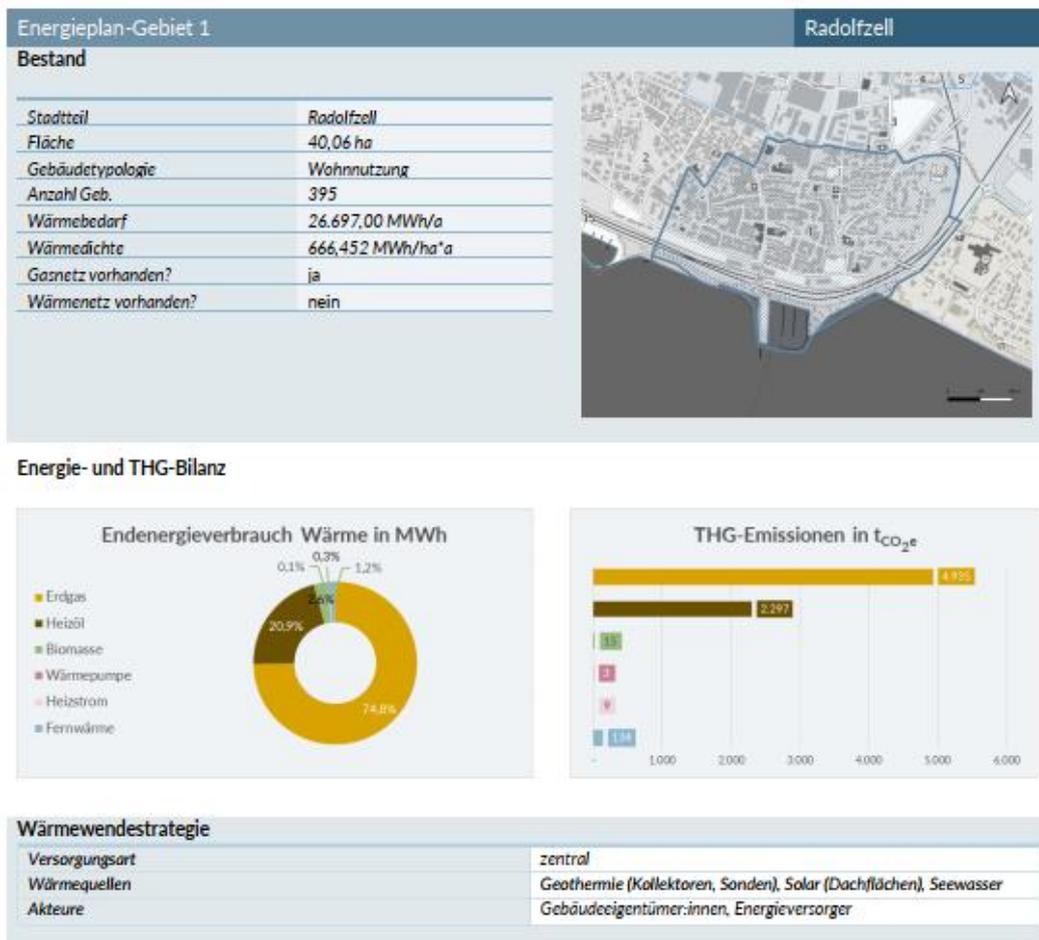
Die Ergebnisse der Bestandsanalyse, die identifizierten Hotspots und Handlungspotenziale sowie die in Kapitel 5 ermittelten Potenziale münden in einem gesamtstädtischen Energieplan, welcher die Handlungsgrundlage für die kommunale Wärmeplanung in Radolfzell darstellt. Unterschieden wird hierbei in Prüfgebiete für eine dezentrale (Einzelversorgung) und Prüfgebiete für eine zentrale Wärmeversorgungslösung (Wärmenetz, Keimzelle).

In den dezentralen Prüfgebieten wird die Annahme vertreten, dass der Großteil der Gebäude durch Maßnahmen wie beispielsweise Photovoltaik, Solarthermie oder Wärmepumpen ihre Versorgung sicherstellen müssen. Es gibt verschiedene Modelle für dezentrale Energieversorgung, darunter Solarthermie, Stromdirektheizungen, Wärmepumpen und Biomasse-Heizungen. Hybrid-Systeme wie Solarthermie-Hybrid-Heizungen oder Wärmepumpen-Hybrid-Heizungen sind ebenfalls eine Option. Diese Systeme kombinieren erneuerbare und im geringen Maße fossile Brennstoffe aus bestehenden Systemen zur Deckung des Energiebedarfs und kommen vor allem dann zum Einsatz wenn ein regenerativer Wärmeerzeuger die benötigte Wärme nicht alleine bereitstellen kann.

Hingegen wird in den zentralen Prüfgebieten die Einsicht geteilt, dass der Auf- oder Ausbau eines Wärmenetzes einen sinnvollen Beitrag zur Wärmeversorgung leisten kann. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass in den zentralen Prüfgebieten eine dezentrale Lösung für individuelle Gebäude die bestmögliche Option darstellt. Die Eignung bedeutet in diesem Zusammenhang deshalb auch nicht „Vorrang“ im Sinne einer Verpflichtung, diese Versorgungsart zu nutzen, sondern eine strategische Prioritätensetzung im langfristigen Zeithorizont.

Angesichts der hohen Investitionen, die im Gebäudebereich, für den Aus- und Umbau von Wärme- und Stromnetzen und für die Erschließung erneuerbarer Energiequellen in den kommenden Jahrzehnten zu leisten sind, kann eine Skizzierung von Eignungsgebieten Akteure bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Die vorstehende Abbildung zeigt einen Überblick über zentrale und dezentrale Prüfgebiete im Stadtgebiet der Stadt Radolfzell.

Für eine übersichtliche Darstellung der einzelnen Energieplan-Gebiete wurde für jedes Gebiet ein Steckbrief erstellt. Dieser orientiert sich an den Arbeitsphasen der kommunalen Wärmeplanung und fasst die Informationen der Bestands- und Potenzialanalyse, sowie die Wärmewendestrategie für das jeweilige Gebiet zusammen. Die Steckbriefe sind in der Anlage zum Abschlussbericht zusammenggeführt. In der nachfolgenden Darstellung ist einer dieser Steckbriefe exemplarisch dargestellt.



Beschreibung

Das Gebiet verfügt über eine erhöhte bedarfsseitige Wärmedichte, sowie eine gute geothermische Eignung hinsichtlich geothermischer Sonden. Für geothermische Kollektoren ist nur etwa ein Drittel der Fläche geeignet. Zusätzlich kann hier die Wärmenutzung über Seewasserwärme geprüft werden. Hier müssen Energieversorger in die Planung mit eingebunden werden. Im weiteren Prozess wäre die Kombination einer Wärmepumpe mit Seewasserwärme als Wärmequelle zu prüfen.

Das Energieplan Gebiet liegt, laut ISONG, in einem Bereich, in dem das Grundwasser möglicherweise artesisch gespannt ist. Daher ist zu beachten, dass Erdwärmesonden, die unterhalb von Bodenplatten bzw. Gebäudeteilen zum Liegen kommen, nicht genehmigungsfähig sind (Quelle: Landratsamt Konstanz).

Als Folge der kommunalen Wärmeplanung soll in diesem Gebiet eine weitere tiefere Untersuchung angegangen werden im Rahmen einer der priorisierten Maßnahmen (Maßnahme 5)

Abbildung 8-1: Beispielauszug aus Steckbrief - zentrales Versorgungsgebiet

8.1 AKTEUR:INNEN

Die kommunale Wärmewende ist eine Gemeinschaftsaufgabe. Ein entscheidender Erfolgsfaktor ist die Zusammenarbeit der verschiedenen lokalen Akteur:innen und eine strategische, abgestimmte Vorgehensweise.

Das vorliegende Strategische Energie- und Wärmekonzept stellt dafür eine wichtige Grundlage dar.

Der Stadtverwaltung kommt in diesem Prozess insbesondere die Rolle eines Koordinators und Motivators zu, um weitere lokale Akteur:innen zu aktivieren und in ein umsetzungsstarkes Netzwerk zu integrieren. Andererseits ist es aber auch ihre Aufgabe durch steuernde Instrumente wie die Bauleitplanung, Anreizsysteme oder die Entwicklungsplanung der Wärmeversorgungsinfrastrukturen die Weichen für die Entwicklung in den nächsten Jahren zu stellen. Tabelle 8.1 zeigt die Zuordnung der Aufgaben der Wärmeplanung zwischen den Akteuren.

Tabelle 8.1: Aufgaben in der Wärmeplanung und Zuordnung

	Stadtverwaltung	Stadtwerke	Politik	Gewerbe/ Industrie	Wohnungswirtschaft	Priv. Hauseigentümer
Leitbild	x	x	x	(x)	(x)	(x)
Strategie	x	x	x			
Kommunikation & Information	x	x				
Aufbau lokales Netzwerk	x	x				
Wissenstransfer	x	x				
Machbarkeitsstudien	x	x				
Investitionen	x	x				
Umsetzung	x	x		(x)	(x)	
Vermarktung		x				
Monitoring	x	x				
Bauleitplanung	x	(x)				
Standards für neue Baugebiete	x					
Integration in andere Fachplanungen	x					
Unterstützung durch Quartierskonzepte	x	(x)				
Informelle Instrumente	x					
Gebäudesanierung	x			x	x	x
Wärmenetz-Anschluss				x	x	x
Einspeisung Abwärme				x		
Dezentrale reg. Wärmequellen				x	x	x

9 MAßNAHMENÜBERSICHT

Insgesamt wurden fünf Fokusgebiete in der Stadt Radolfzell identifiziert. Für diese Bereiche wurden spezifische Handlungsschwerpunkte und Handlungsschritte festgelegt. Eine erste Übersicht darüber wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Unterschieden wird in Handlungsfeld Sanierung, Handlungsfeld Versorgung und das Handlungsfeld Netzwerk.

Im Rahmen des Handlungsfeldes Sanierung können bspw. durch den Aufbau eines Quartierskonzeptes zusammen mit einem Sanierungsmanagement gezielt Maßnahmen zur Modernisierung und Instandhaltung von Gebäuden und öffentlichen Einrichtungen initiiert werden. Dadurch werden Bürger:innen und Eigentümer:innen motiviert, ihre Gebäude auf einen energetisch modernen Standard zu bringen und somit einen Beitrag zur Reduzierung des Wärmebedarfs zu leisten. Darüber hinaus wird der Gebäudebestand auf den Aufbau eines Wärmenetzes vorbereitet. Zudem kann die Lebensqualität der Bewohner:innen durch eine nachhaltige Entwicklung des Quartiers verbessert werden.

Innerhalb des Aktionsbereichs "Versorgung" besteht die Möglichkeit, Voruntersuchungen sowie Machbarkeitsanalysen im Kontext der Energieversorgung in den ausgewählten Regionen durchzuführen. Bei einer detaillierten Untersuchung werden die Wirtschaftlichkeit des Netzwerks überprüft, Lastprofile erstellt und die Realisierbarkeit evaluiert. In diesem Prozess werden wesentliche Akteure wie Energieversorger aktiv einbezogen. Es erfolgt zudem eine Erkundung potenzieller Standorte für Heizzentralen sowie die Verfügbarkeit von Flächen für erneuerbare Energiequellen.

Im Folgenden wird der Umsetzungsfahrplan für die Stadt Radolfzell dargestellt, der eine mögliche Reihenfolge für die Umsetzung der erarbeiteten Maßnahmen vorschlägt. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass dieser Fahrplan je nach den vorherrschenden Rahmenbedingungen angepasst werden kann. Die dunkelblau hinterlegten Zeilenabschnitte markieren die Halbjahre, in denen die jeweilige Konzepterstellung erfolgen soll und die hellblau hinterlegten Abschnitte definieren die Durchführungsphase. Der Zeithorizont der Maßnahmen beläuft sich auf sieben Jahre bis Ende 2029.

Neben den Maßnahmen für die Fokusgebiete (1-5), wurden drei weitere, übergeordnete Maßnahmen (W1-W3) für die Stadt erarbeitet. Sowie eine Maßnahme 0, die bereits in der Planung der Stadtwerke Radolfzell ist.

Tabelle 9.1: Maßnahmenfahrplan

Nr.	MASSNAHMENKATALOG FÜR DIE KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG IN RADOLFZELL	2024		2025		2026		2027		2028		2029	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
0	Am Klärwerk Planung und Umsetzung eines Wärmenetzes												
1	Stockteil Überprüfen des Ausbaus eines Wärmenetzes												
2	Seewasserwärmenutzung Wärmenetzprüfgebiet												
3	Böhringen Effiziente Gebäudesanierung zur Werterhaltung und Energieeinsparung												
4	Region Konstanzer Straße Überprüfen des Aufbaus eines Wärmenetzes												
5	Altstadt Effiziente Gebäudesanierung zur Werterhaltung und Energieeinsparung												
6	Mettnaukur Erstellen eines Energiekonzeptes für die Mettnaukur.												
7	Strategieentwicklung zur Erhöhung der Sanierungsrate für städtische Liegenschaften												
	vsl. Inbetriebnahme des Netzes												
		Konzepterstellung				Durchführungsphase (Konzept)				Beantragung Fördermittel			

9.1 MAßNAHMENKATALOG

„Am Klärwerk“ – Planung und Umsetzung eines Wärmenetzes

0

HANDLUNGSFELD Wärmenetzausbaugebiet



ZIELSETZUNG Planung und Ausbau von neuen Potenzialen

Gebiet „Am Klärwerk“



Kartengrundlage: Stadtwerke Radolfzell

Maßnahme 0: „Am Klärwerk“

Netzlänge	3 km
Wärmeabnahme	15.000 MWh/a
Spitzenleistung	6 MW

Beschreibung der Maßnahme

Das Gebiet befindet sich im nordöstlichen Teil der Innenstadt von Radolfzell und ist von vier potenziellen großen Abnehmern umgeben, die einen Bedarf von etwa 15.000 MWh/a Wärme haben.

Im östlichen Bereich des Betrachtungsgebietes, markiert in hellgelb, befindet sich die Kläranlage, die künftig als Wärmequelle und neue Heizzentrale des Wärmenetzes dienen soll. In der Farbe Orange ist das Bestandsnetz des Milchwerks zu erkennen, das Teil des erweiterten Netzes werden soll. Unmittelbar neben der Kläranlage entsteht das Neubaugebiet „Gleisdreieck“ entstehen. Die geplanten Gebäude werden gemäß dem Effizienzstandard 40 errichtet und sollen an das neu geplante Netz angeschlossen werden. In den Farben Lila, Blau und Grün sind die Standorte mehrerer Großwärmeverbraucher aus Industrie, der Lebensmittelbranche und dem Einzelhandel markiert, die ebenfalls an das neue Netz angeschlossen werden sollen.

Hinsichtlich der Anlagentechnik ist vorgesehen im Ablauf der Kläranlage drei Wärmetauscher in Reihe zu installieren, an die eine große, zweistufige Wärmepumpe angeschlossen wird. Diese Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 2 MW soll die gesamte Grundlast abdecken und somit bereits 77% des Bedarfs decken.

Um die Spitzen im Winter zu bewältigen, wird die Abwärmenutzung der Kläranlage durch die Wärmepumpe mit einem BHKW und einem Spitzenlastkessel kombiniert.

Das BHKW mit einer Leistung von etwa 1 MW_{th} wird voraussichtlich von November bis März die Wärmebedarfsspitzen zu 20 % mit abdecken. Der Spitzenlastkessel soll mit einer Leistung von 6 MW nur an besonders kalten Tagen in Dezember, Januar und Februar unterstützen und trägt zu 3 % der Deckung bei.

Langfristig ist geplant, die Stromabdeckung dieser Wärmeerzeugung zu 100 % durch Ökostrom zu gewährleisten. Das BHKW soll langfristig ausschließlich mit 100 % Biomethan/Wasserstoff betrieben werden. Darüber hinaus ist die Errichtung eines Pufferspeicher mit Fassungsvermögen von 1000 m³ vorgesehen.

Verantwortung / ▶ **Hauptakteur Stadtwerke Radolfzell**
Akteur:innen

Stockteil: Erstellung eines Energiekonzeptes

1

HANDLUNGSFELD Wärmenetzprüfgebiet



ZIELSETZUNG

Abgleich der lokalen Potenziale und des Wärmebedarfes für den Ausbau des vorhandenen Nahwärmenetzes des Gebiets unter den Aspekten technische Umsetzbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Effizienz

Gebiet Stockteil



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

(0 $\hat{=}$ niedrig; 5 $\hat{=}$ hoch)



Maßnahme 1: Stockteil

Fläche	30 ha
beheizte Gebäude	200
Wärmebedarf	14.717 MWh/a
Verteilung Energieträger	51 % Erdgas, 18 % Öl, 28 % Festbrennstoffe, 1 % Fernwärme, 3 % sonst. Elektrowärme
Siedlungsdichte	hoch
Gebäudetypologie	durchmisch
Gebäudealter	größtenteils vor 1979 (Zensus 2011)

Beschreibung der Maßnahme

Das Gebiet befindet sich am nord-westlichen Rand des Gemeindegebiets der Stadt Radolfzell. Auf einer Fläche von 30 ha werden hier 14.717 MWh/a Wärme benötigt. Der Baubestand im Gebiet ist zu weiten Teilen vor 1979 erbaut worden. Rund 51 % der Wärmeerzeuger sind mit Erdgas-, 18 % mit Öl- und 28 % mit Festbrennstoffen betriebene Wärmeerzeuger. Dazu kommen 1 % Fernwärme und 3 % Wärmeerzeuger über sonstige Elektrowärme.

Für das vorliegende Gebiet ist angedacht ein Wärmenetz aufzubauen um die Wärmeversorgung über dieses Sicherzustellen. Nördlich des Gebiets liegt ein bereits bestehende Wärmenetz, in Zukunft könnten die beiden Netzte zusammengeschlossen werden. Als Wärmequelle für besagtes Wärmenetz stehen sowohl Geothermiesonden als auch Solarthermiekollektoren als Potenzial zur Verfügung. Zu beachten ist, dass Erdwärmesondenanlagen, die unterhalb von Bodenplatten bzw. Gebäudeteilen zum Liegen kommen und in Bereichen liegen, in denen lt. Informationssystem für oberflächennahe Geothermie (kurz: ISONG) mit artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen ist, nicht genehmigungsfähig sind (Quelle: Landratsamt Konstanz).

Im Rahmen eines Energiekonzepts können für das betreffende Gebiet die Potenziale detailliert erfasst, die Realisierbarkeit von Trassen geprüft und verschiedene Versorgungsoptionen untersucht werden. Ein Energiekonzept in diesem Gebiet kann dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, Energiekosten zu senken und die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Es kann auch als Grundlage für Förderanträge dienen.

Quelle	Kombinations-Möglichkeit	Vorteile	Nachteile
Geothermie (Sonden)	Photovoltaik	doppelte Nutzung von Flächen u.U. möglich	<ul style="list-style-type: none"> • Heizzentrale finden • Voraussetzung Gebäudebestand
Solarthermie (Freiflächen)	Mit Speicher und Redundanz	Niedriger Installationsaufwand	<ul style="list-style-type: none"> • Geringer Ertrag im Winter

- Handlungsschritte**
1. Detailüberprüfung der geothermischen- und solarthermischen Potenziale
 2. Detailüberprüfung Aufbau Wärmenetz
 3. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer
 4. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z.B. Erdwärmekollektoren, Solartherm. Dach)

Verantwortung Akteur:innen	/	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hauptakteur Stadtwerke Radolfzell ▶ Stadt Radolfzell, Stadtplanungsamt
Umsetzungskosten	▶	100-150 T €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	▶	BEW Modu I ▶ Zuschuss BEW Förderung Modul I: 50 % der förderfähigen Kosten
Herausforderungen	▶	Anschlussbereitschaft Finanzierung der Investitionskosten Umsetzbarkeit eines Wärmenetzes

Prüfung Erschließung Seewasserwärmenutzung		2
HANDLUNGSFELD	Potenzialgebiet Wärmeversorgung	
ZIELSETZUNG	Prüfung der Umsetzbarkeit einer Seewasserwärmepumpe zur Nutzung des Oberflächenwassers des Bodensees zur Wärmeversorgung	

Beschreibung der Maßnahme

Für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung soll erneut geprüft werden, ob eine Seewasserwärmenutzung für die Stadt Radolfzell infrage kommt. Dabei kann auf die Machbarkeitsstudie von vor 10 Jahren zurückgegriffen werden. Bei einer erneuten Machbarkeitsstudie zur Errichtung einer Seewasserwärmepumpe kann geprüft werden, ob sich das Bodenseewasser als Wärmequelle eignet und auch für die Kälteversorgung eignet. Zudem muss geprüft werden, ob das technisch nutzbare Potenzial des Bodenseewassers ausreicht, um weitere Gebiete mit ausreichend Wärme zu versorgen oder ob ein zusätzlicher Energieträger zur unterstützenden Wärmeversorgung genutzt werden muss. Über den Jahresverlauf unterliegt die Wassertemperatur des Bodensees jahreszeitlich bedingten Schwankungen. Zudem muss die ökologische Verträglichkeit der Maßnahme geprüft werden.

Quelle	Kombinations-Möglichkeit	Vorteile	Nachteile
Seewasser	Photovoltaik	<ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässige Versorgung • Anteilige Stromversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Installationsaufwand • Hohe Investitionskosten

- Handlungsschritte**
1. Detailüberprüfung der Seewasserwärmepotenziale
 2. Prüfung der Umsetzbarkeit einer Seewasser-Wärmepumpe
 3. Ggf. Betrachtung weiterer erneuerbarer Energieträger zur Unterstützung der Wärmeversorgung
 4. Prüfung der Kopplung von Strom- und Wärmeerzeugung

Verantwortung / Akteur:innen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hauptakteur: Stadtwerke Radolfzell ▶ Stadt Radolfzell
Umsetzungskosten	▶ 100- 200 T. €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> ▶ BEW Modul I <ul style="list-style-type: none"> ▶ Modul I: Zuschuss 50 % der Kosten für eine Machbarkeitsstudie
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Finanzierung der Investitionskosten ▶ Ggf. mangelndes Potenzial aus erneuerbaren Quellen

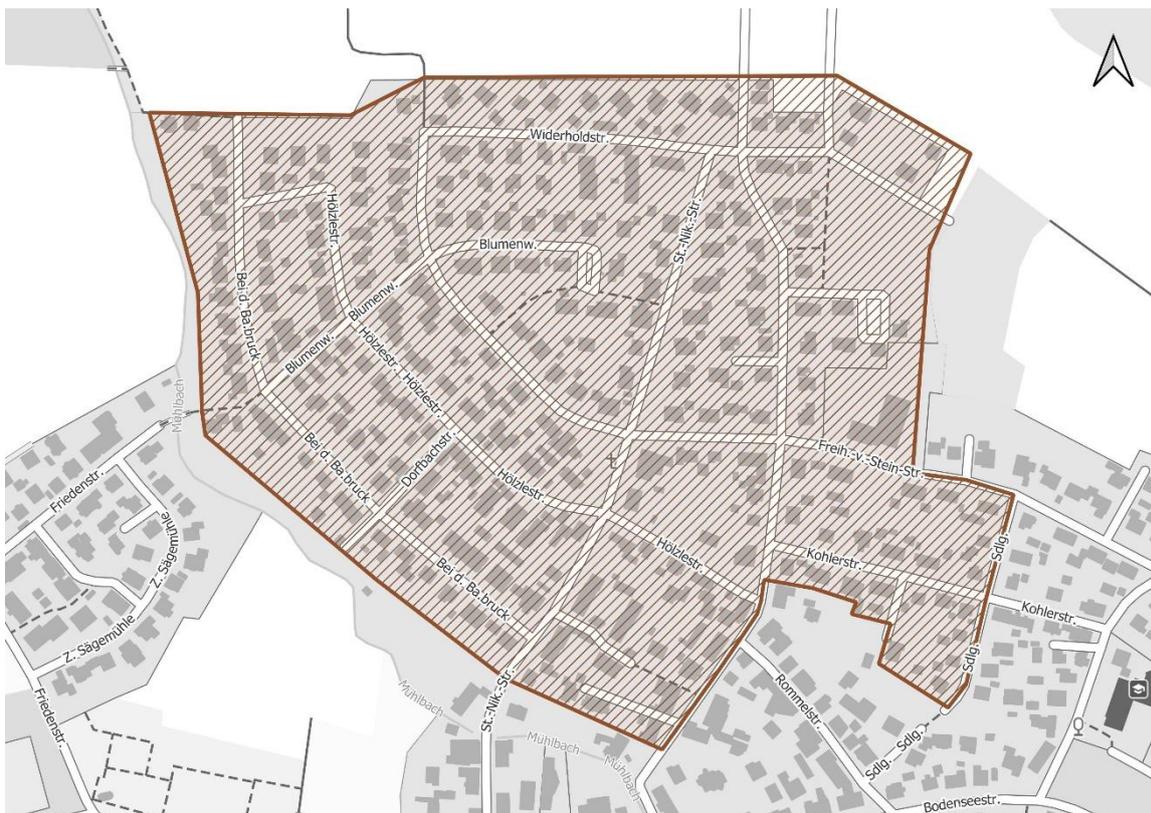
Böhringen: Erstellung eines Quartierskonzeptes mit Schwerpunkt Sanierungsmanagement 3

HANDLUNGSFELD Potenzialgebiet Sanierung

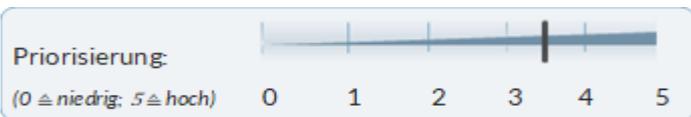


ZIELSETZUNG Effiziente Gebäudesanierung zur Werterhaltung und Energieeinsparung. Abgleich der lokalen Potenziale und des Wärmebedarfes für den Aufbau eines Nahwärmenetzes unter den Aspekten technische Umsetzbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Effizienz

Gebiet Böhringen



Kartengrundlage: basemap.de



Maßnahme3: Böhringen	
Fläche	22 ha
beheizte Gebäude	284
Wärmebedarf	10.170 MWh/a
Verteilung Energieträger	31 % Erdgas, 26 % Öl, 37 % Festbrennstoffe, 5 % Wärmepumpe
Siedlungsdichte	mittel
Gebäudetypologie	vorwiegend Wohnhäuser
Gebäudealter	n/a

Beschreibung der Maßnahme

Das im Norden von Böhringen gelegene Gebiet erstreckt sich über eine Fläche von 22 ha in welchem 10.170 MWh/a Wärme benötigt werden. Die Gebäudestruktur dieses Gebiets wird in erster Linie durch Ein- und Mehrfamilienhäuser geprägt. Insbesondere alte Gebäude bieten im Sanierungsfall ein großes Potenzial zur Senkung des Wärmebedarfs. Eine Gebäudesanierung in Kombination mit einem Heizungsaustausch hin zu großflächigen Heizkörpern, die mit einer niedrigeren Vorlauftemperatur arbeiten, erlaubt auch den effizienteren Einsatz von Wärmepumpen. Für das Neubaugebiet Hübschäcker wird eine Nutzung der Seewärme des Böhringersee, als Wärmequelle in Betracht gezogen. Aus den möglichen Wärmenetzen in den angedachten Neubaugebieten können mögliche Synergien zum Wohnungsbestand geprüft werden.

Im vorliegenden Gebiet ergeben sich aus unserer Potenzialanalyse, hauptsächlich geothermische Potenziale als Wärmequelle. Bei der Geothermie ist sowohl Potenzial im Bereich der Geothermiekollektoren als auch der Geothermiesonden vorhanden. Leider liegen zu den Geothermiesonden nur für das halbe Gebiet Daten zur Effizienz vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auch im restlichen Gebiet Potenzial vorhanden ist. Zu beachten ist, dass Erdwärmesondenanlagen, die unterhalb von Bodenplatten bzw. Gebäudeteilen zum Liegen kommen und in Bereichen liegen, in denen lt. Informationssystem für oberflächennahe Geothermie (kurz: ISONG) mit artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen ist, nicht genehmigungsfähig sind.

Durch die Implementierung eines Quartierskonzepts mit Fokus auf Sanierung können gezielte Maßnahmen zur Modernisierung und Instandhaltung von Gebäuden initiiert werden. Dadurch werden die Gebäude auf eine mögliche Installation einer geothermisch gespeisten Wärmepumpe vorbereitet. Gleichzeitig wird die Lebensqualität der Bewohner:innen verbessert und das Quartier nachhaltig entwickelt. Im Kontext des Quartierskonzepts und des Sanierungsmanagements werden städtebauliche Überlegungen zur Entwicklung des Gebiets berücksichtigt. Diese beinhalten unter anderem Gedanken zu Neubauten, dem Erhalt bestehender Strukturen und Gebäudeerweiterungen.

Quelle	Kombinations-Möglichkeit	Vorteile	Nachteile
Geothermie (Sonden)	Holzackschnitzel und Speicher	Verlässliche Erträge auch im Winter	<ul style="list-style-type: none"> Großer Installationsaufwand
Geothermie (Kollektoren)	Holzackschnitzel und Speicher	Geringerer Installationsaufwand als bei Sonden	<ul style="list-style-type: none"> Kleinere Erträge im Winter Hoher Flächenbedarf

- Handlungsschritte**
1. Aufbau eines Sanierungsmanagements, das energetische und städtebauliche Themen vereint betrachtet
 2. Detailüberprüfung der Geothermie- und Solarthermie Potenziale
 3. Prüfung der Umsetzbarkeit einer Seewasser-Wärmepumpe
 4. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer
 5. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z.B. Erdwärmesonden, Solartherm. Dach)

Verantwortung Akteur:innen	/	▶ Hauptakteur: Stadt Radolfzell
		▶ Private Haushalte im Projektgebiet
Umsetzungskosten		▶ Kosten für Konzepterstellung 75-120 T. €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten		▶ KfW432 -

- ▶ Zuschuss KfW 432: 75 % der förderfähigen Kosten

Herausforderungen

- ▶ Investitionsfreudigkeit der Eigentümer
- ▶ Detailüberprüfung der geothermischen Potenziale

Region Konstanzer Straße: Erstellung eines Energiekonzeptes

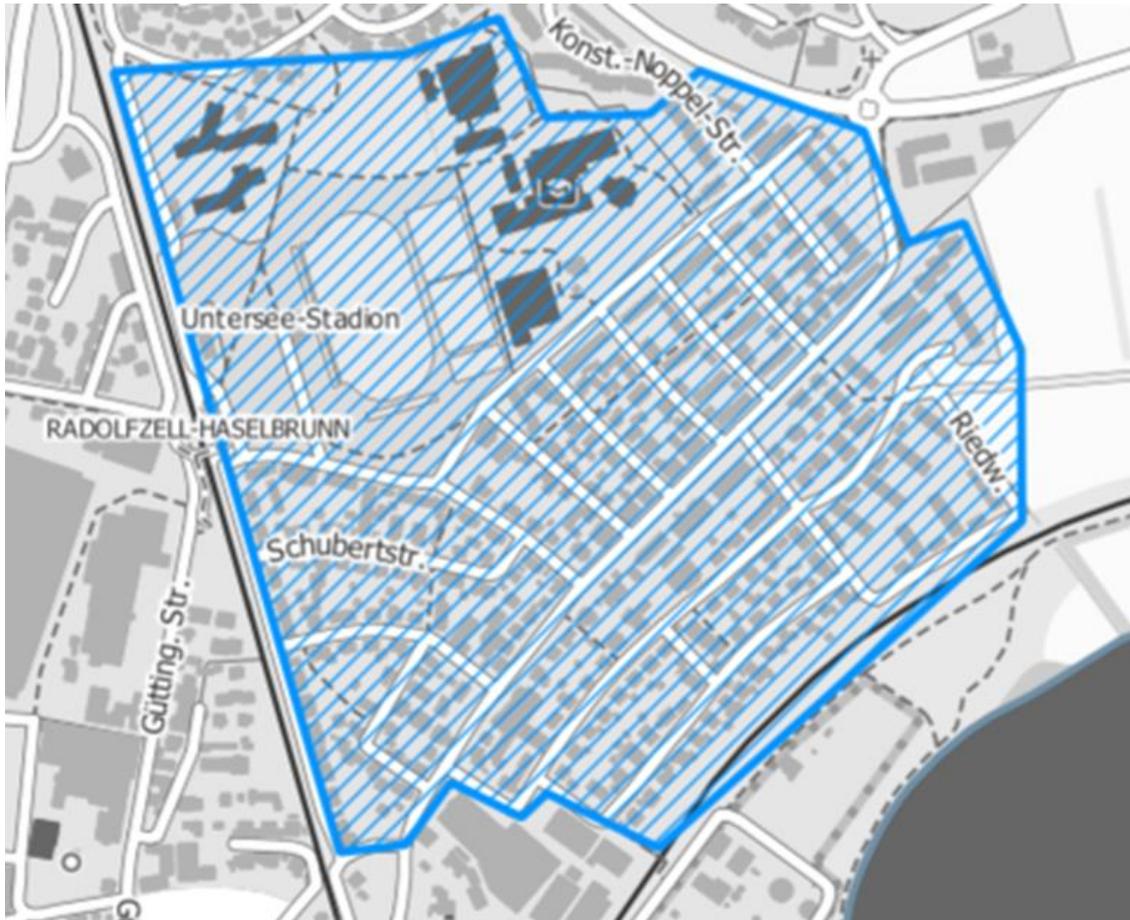
4

HANDLUNGSFELD Wärmenetzneubaugebiet



ZIELSETZUNG Abgleich der lokalen Potenziale und des Wärmebedarfes für den Aufbau eines Nahwärmenetzes unter den Aspekten technische Umsetzbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Effizienz

Gebiet Region Konstanzer Straße



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

(0 ≙ niedrig; 5 ≙ hoch)



Maßnahme 4: Region Konstanzer Straße

Fläche	42 ha
beheizte Gebäude	327
Wärmebedarf	19.588 MWh/a
Verteilung Energieträger	47 % Erdgas, 19 % Öl, 33 % Festbrennstoffe, 1 % Wärmepumpen, 1 % sonst. Elektrowärme
Siedlungsdichte	mäßig
Gebäudetypologie	durchmischt
Gebäudealter	Größtenteils vor 1979

Beschreibung der Maßnahme

Das am Ufer des Makelfinger Winkel gelegene Gebiet Konstanzer Straße umfasst 84 ha Landfläche und beansprucht einen Wärmebedarf von 19.588 MWh/a. Momentan setzt sich die Verteilung der wärmegebundenen Energieträger aus 47 % Erdgas, 19 % Öl, 33 % Festbrennstoffe, 1 % Wärmepumpen und 1 % sonstiger Elektrowärme zusammen.

Für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung gibt es mehrere Optionen. Sowohl geothermische- und solare Potenziale sind im Gebiet vorhanden. Zu beachten ist, dass Erdwärmesondenanlagen, die unterhalb von Bodenplatten bzw. Gebäudeteilen zum Liegen kommen und in Bereichen liegen, in denen lt. Informationssystem für oberflächennahe Geothermie (kurz: ISONG) mit artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen ist, nicht genehmigungsfähig sind. Die großen Dachflächen des südlich- und westlich angrenzenden Industrie- und Gewerbegebietes sind ideale Aufstellorte für solare Anlagen. Des Weiteren grenzt das Gebiet an die örtliche Kläranlage an. Diese hat Abwärmepotenzial, welches mittels eines Nahwärmenetzes in einem angrenzenden Gebiet verteilt werden soll. Mit Hilfe eines Speichers, könnten verschiedene Temperaturniveaus, sowie unterschiedliche Einspeisezeiten gekoppelt werden. Zudem existiert am Schulkomplex ein Netz im städtischen Besitz, für das eventuelle Kombinationsmöglichkeiten mit einer Verbindung des zu prüfenden neuen Netz berücksichtigt werden soll.

Im Rahmen eines Energiekonzepts können für das betreffende Gebiet die Potenziale detailliert erfasst, die Realisierbarkeit von Trassen geprüft und verschiedene Versorgungsoptionen untersucht werden. Ein Energiekonzept in diesem Gebiet kann dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren, Energiekosten zu senken und die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Es kann auch als Grundlage für Förderanträge dienen.

Quelle	Kombinations-Möglichkeit	Vorteile	Nachteile
Ind. Abwärme	Holzackschnitzel und Speicher	effiziente Nutzung bereits vorhandener Wärme	<ul style="list-style-type: none"> • Heizzentrale finden • Wärmeverluste
Geothermie (Sonden)	Solarthermie (Dachflächen)	Zuverlässige Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Installationsaufwand

Handlungsschritte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Detailüberprüfung der Abwärme – und Freiflächenpotenziale 2. Detailüberprüfung der Umsetzbarkeit eines Wärmenetzes 3. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer 4. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z.B. Erdwärmesonden, Solartherm. Dach)
--------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Verantwortung Akteur:innen	/ ▶ Hauptakteur: Stadt Radolfzell ▶ Stadt Radolfzell ▶ Stadtwerke Radolfzell
Umsetzungskosten	▶ 75 – 150 T. €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	▶ KfW 432 bzw. BEW (Bundesförderung effiziente Wärmenetze) ▶ Zuschuss KfW 432: 75 % der förderfähigen Kosten ▶ Zuschuss BEW Förderung Modul I: 50 % der förderfähigen Kosten

Herausforderungen

- ▶ Anschlussbereitschaft
- ▶ Finanzierung der Investitionskosten
- ▶ Mangelndes Potenzial aus erneuerbaren Quellen

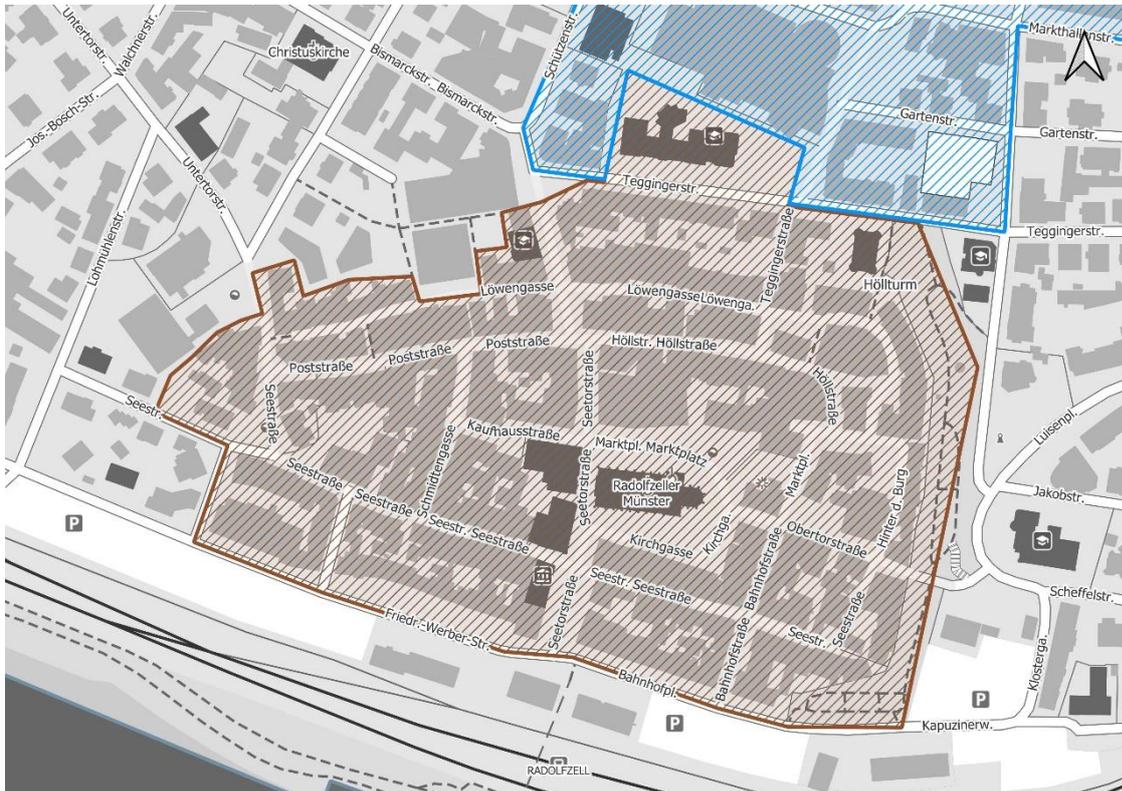
Altstadt: Erstellung eines Quartierskonzeptes mit dem Schwerpunkt 5 Sanierungsmanagement

HANDLUNGSFELD Potenzialgebiet Sanierung



ZIELSETZUNG Effiziente Gebäudesanierung zur Werterhaltung und Energieeinsparung

Gebiet Altstadt



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

(0 = niedrig; 5 = hoch)



Maßnahme 5: Altstadt

Fläche	10,3 ha
beheizte Gebäude	217
Wärmebedarf	15.209 MWh/a
Verteilung Energieträger	77 % Erdgas, 6 % Öl, 14 % Festbrennstoffe
Siedlungsdichte	dicht
Gebäudetypologie	Weitestgehend MFH
Gebäudealter	Größtenteils vor 1986 (Zensus 2011)

Beschreibung der Maßnahme

Die Altstadt von Radolfzell befindet sich im Süden der Stadt direkt am Ufer des Bodensees und beherbergt zahlreich kommunale genutzte Objekte. Das kulturelle Zentrum der Stadt erstreckt sich auf eine Fläche von 10 ha und verfügt über einen Wärmebedarf von 15.209 MWh/a und hat somit eine der höchsten Wärmedichten auf dem Stadtgebiet. Aktuell wird dieser Bedarf zu 77 % durch Erdgas-, zu 14 % durch Festbrennstoff- und zu 6 % durch Ölheizungen gedeckt. Für eine zukunftsfähige Wärmeversorgung kommen für das Gebiet die Nutzung von Seewasserwärme, sowie ggf. Geothermiesonden in Frage. Das gesamte Gebiet liegt im geeigneten Bereich für Erdwärmesonden. Zu beachten ist, dass Erdwärmesondenanlagen, die unterhalb von Bodenplatten bzw. Gebäudeteilen zum Liegen kommen und in Bereichen liegen, in denen lt. Informationssystem für oberflächennahe Geothermie (kurz: ISONG) mit artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen zu rechnen ist, nicht genehmigungsfähig sind. Diese Daten stammen aus Geobasisdaten des Landes Baden-Württemberg. Diese geothermische Energiequelle bietet eine vielversprechende Option für die Wärmeversorgung des Gebiets. Als weitere Wärmequelle steht die Option offen solarthermische Kollektoren auf den Dächern zu installieren.

Die Stadt denkt zusätzlich über den Aufbau eines Nahwärmenetzes nach welches u.U. von einer Seewasser-Wärmepumpe gespeist werden könnte. Es ist aufgrund des hohen Erdgasanteils und der Gebäudealter jedoch davon auszugehen, dass im Gebiet viele Gasetagenheizungen verwendet werden. Für erschwert sich der Anschluss an ein Nahwärmenetz. Im Kontext des Quartierskonzepts und des Sanierungsmanagements werden städtebauliche Überlegungen zur Entwicklung des Gebiets berücksichtigt. Diese beinhalten unter anderem Gedanken zu Neubauten, dem Erhalt bestehender Strukturen und Gebäudeerweiterungen.

Quelle	Kombinations-Möglichkeit	Vorteile	Nachteile
Seewasserwärme	Redundanz	<ul style="list-style-type: none"> Zuverlässige Versorgung 	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Installationsaufwand
Solarthermie	Geothermie	<ul style="list-style-type: none"> Einfache Installation 	<ul style="list-style-type: none"> Schlechte Verfügbarkeit im Winter

- Handlungsschritte**
1. Aufbau eines Sanierungsmanagements, das energetische und städtebauliche Themen vereint betrachtet
 2. Detailüberprüfung der Geothermie- und Seewasserwärmepotenziale
 3. Prüfung der Umsetzbarkeit einer Seewasser-Wärmepumpe
 4. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer
 5. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z.B. Erdwärmesonden, Solartherm. Dach)

Verantwortung Akteur:innen	/	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Hauptakteur: Stadt Radolfzell ▶ Energieversorgungsunternehmen ▶ Eigentümer
Umsetzungskosten	▶	75-120 T. €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	▶	KfW 432 <ul style="list-style-type: none"> ▶ Zuschuss KfW 432: 75 % der förderfähigen Kosten
Herausforderungen	▶	Anschlussbereitschaft

- ▶ Finanzierung der Investitionskosten
- ▶ Mangelndes Potenzial aus erneuerbaren Quellen

Mettnaukur: Erstellung eines Energiekonzeptes für die Mettnaukur

6

HANDLUNGSFELD Potenzialgebiet Sanierung



ZIELSETZUNG Energieeinsparung und Einsparung von Treibhausgasemissionen durch Effizienzsteigerung und Umstellung der Wärmeerzeuger.

Gebiet Mettnaukur



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

(0 ≙ niedrig; 5 ≙ hoch)



Maßnahme 6: Mettnaukur

Fläche	12,3 ha
beheizte Gebäude	2
Wärmebedarf	3.922 MWh/a
Verteilung Energieträger	98 % Erdgas, 2 % Öl
Siedlungsdichte	locker
Gebäudetypologie	Mittelgroße Klinik und Reha Gebäude
Gebäudealter	durchmisch

Beschreibung der Maßnahme

Die Mettnaukur besteht aus mehreren Klink- und Reha-Zentren mit direktem Anschluss an den Bodensee auf der Mettnau. Das Gebäudeensemble besteht aus mehreren Objekten unterschiedlicher Bauweise und -alter. Um die genauen Potenziale vor Ort zu ermitteln und eine zukunftsfähige Energieversorgung sicher zu stellen, sollte ein Energiekonzept für das Gebiet auf der Mettnau erstellt werden. Insbesondere der hohe Wärmebedarf der Liegenschaften legt einen hohen Handlungsbedarf nahe.

Strategieentwicklung zur Erhöhung der Sanierungsrate für städtische Liegenschaften 7

HANDLUNGSFELD Reduzierung des Wärmeenergiebedarfs



ZIELSETZUNG Aufbau einer Verstetigung, Akzeptanz für verschiedene Maßnahmen

Beschreibung der Maßnahme

Die Stadt Radolfzell verfolgt eine Strategieentwicklung zur Erhöhung der Sanierungsrate der städtischen Liegenschaften. In diesem Rahmen wird ein umfassender Fahrplan entwickelt, um die städtischen Liegenschaften priorisiert und methodisch anzugehen. Dieser Fahrplan umfasst verschiedene Schwerpunkte und Maßnahmen, um die städtischen Liegenschaften nachhaltig zu optimieren und den Energieverbrauch zu minimieren.

In einem ersten Schritt wird ein Gesamtfahrplan erarbeitet, der potenziell die Sanierung aller städtischen Liegenschaften umfasst. Ein solcher Plan dient als Leitfaden für eine langfristige Strategie zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Senkung der Betriebskosten.

Im nächsten Schritt wird ein exemplarischer Sanierungsfahrplan für ein Pilotprojekt entwickelt. Der Fokus liegt dabei auf Gebäuden mit nicht reparierbaren oder veralteten Heizungsanlagen und hohem Wärmebedarf. Die Sanierung dieser Gebäude wird als besonders dringlich angesehen, da hier die größten Energieeinsparpotenziale liegen.

Es wird eine Priorisierung der städtischen Liegenschaften angestrebt, wobei die Gebäude nach ihrem Energieeinsparpotenzial und ihrer Dringlichkeit, basierend auf Alter und Zustand der vorhandenen Heizungsanlagen, bewertet werden. Anschlussmöglichkeiten an bestehende und geplante Wärmenetze sind zu berücksichtigen. Dies kann dazu beitragen, die begrenzten Ressourcen effizient einzusetzen und die Gebäude mit dem größten Verbesserungspotenzial zu priorisieren. In einem ersten Schritt wird mit den dringendsten kommunalen Liegenschaften begonnen und diese im Rahmen eines Sanierungsfahrplans abgearbeitet.

Es ist zu prüfen, ob die identifizierten Sanierungsmaßnahmen regelmäßig in die Haushaltsplanung der Stadt aufgenommen werden können, um sicherzustellen, dass die finanziellen Mittel für die Umsetzung der Maßnahmen zur Verfügung stehen.

Darüber hinaus wird die Stadt Radolfzell nach geeigneten Geschäftsmodellen suchen, um die Sanierungskosten zu optimieren und Einsparpotenziale zu realisieren. Dies kann z.B. die Einbindung von Contracting-Partnern oder die Nutzung von Förderprogrammen sein.

- Handlungsschritte**
1. Prioritätsmatrix für die Bewertung der städtischen Liegenschaften erstellen
 2. Ausarbeitung eines beispielhaften Sanierungsfahrplan für ein Pilotprojekt
 3. Sanierungsfahrplan für die dringlichsten städtischen Liegenschaften
 4. Regelmäßiges Update der Prioritätsmatrix

Verantwortung / ▶ Stadt Radolfzell
Akteur:innen

10 FÖRDERMÖGLICHKEITEN

Zur Finanzierung von Nahwärmenetzen (Leitungsnetz, Erzeuger, Speicher, Hausübergabestationen) besteht die Möglichkeit auf Förderkulissen zurückzugreifen (Auswahl).

1. BAFA: Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)
2. Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)
3. Erneuerbare Energien - Standard (270)
4. KfW 430: Energieeffizient Sanieren
5. KfW 432: Energetische Stadtsanierung- Zuschuss
6. IKK / IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (201, 202)
7. Innovative KWK-Systeme
8. Kommunale Klimaschutzmodellprojekte

BAFA: BUNDESFÖRDERUNG FÜR EFFIZIENTE WÄRMENETZE (BEW)

<i>Ansprech-Partner</i>	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz</i>
<i>Antragsberechtigt</i>	<i>Unternehmen, Kommunen, kommunale Eigenbetriebe, kommunale Unternehmen, kommunale Zweckverbände, eingetragene Vereine, eingetragene Genossenschaften, Contractoren</i>
<i>Förderungen</i>	<i>Modul I: Machbarkeitsstudien und Transformationspläne Modul II: Systemische Förderung zur Neuerrichtung von Wärmenetzen und Transformation von Bestandssystemen. Modul III: Schnell umsetzbare Einzelmaßnahmen.</i>
<i>Förderhöhe</i>	<i>Modul I. Zuschuss bis 50 %, max. 2 Mio. € pro Antrag Modul II: Zuschuss bis 40 %, max. 100 Mio. € Modul III: Zuschuss bis 40 %, max. 100 Mio. €</i>
<i>Voraussetzungen</i>	<i>Modul I: - Ziel der Transformationspläne und Machbarkeitsstudien muss die Treibhausneutralität im Jahr 2045 sein Modul II: Neuerrichtung von Wärmenetzen und Transformation von Bestandssystemen: - Neuerrichtung: mind. 75 % EE- oder Abwärme-Einsatz über einen Zeitraum von 10 Jahren - Transformation der Bestandsnetze: bis 2045 treibhausgasneutral - Maßnahmen müssen einen Beitrag zur Dekarbonisierung und Effizienzsteigerung des Wärmenetzes leisten - Entwurfs- und Genehmigungsplanungen überwiegend abgeschlossen Modul III: Schnell umsetzbare Einzelmaßnahmen:</i>

	<p>- Gilt nur für die Errichtung von Solarthermieanlagen, Wärmepumpen, Biomassekesseln und Wärmespeichern, deren Anschluss an das Wärmenetz, die Integration von Abwärme, die Erweiterung von Wärmenetzen und die Installation zusätzlicher Wärmeübergabestationen</p> <p>Allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wärmenetze mit mehr als 16 Gebäuden oder mehr als 100 Wohneinheiten gefördert. - kleinere Netze können im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM) gefördert werden
Kumulierbarkeit	Keine Kumulierung mit anderen öffentlichen Mitteln von Bund und Ländern
Weitere Informationen	https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html
Frist	Die Richtlinie tritt am 15. September 2022 in Kraft. Ihre Geltungsdauer ist auf sechs Jahre begrenzt.

10.1 KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ (KWKG)

Ansprechpartner	Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz
Antragsberechtigte	Betreiber von KWK-Anlagen Betreiber eines neuen oder ausgebauten Wärmenetzes
Förderungen	<p>Zahlung von Zuschlägen durch die Netzbetreiber sowie die Vergütung für KWK-Strom (inkl. von Brennstoffzellen), der in ein Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist wird. Im Einzelnen Zuschlagszahlungen für</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. KWK-Strom aus neuen, modernisierten und nachgerüsteten KWK-Anlagen, der auf Basis von Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen gewonnen wird, 3. KWK-Strom aus bestehenden KWK-Anlagen, der auf Basis von gasförmigen Brennstoffen gewonnen wird, 4. den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen sowie für den Neubau von Wärmespeichern, in die Wärme aus KWK-Anlagen eingespeist wird, 5. den Neu- und Ausbau von Kältenetzen sowie für den Neubau von Kältespeichern, in die Kälte aus KWK-Anlagen eingespeist wird.
Förderhöhe	<p>Zuschläge in Höhe von 3,1 Cent/kWh (ab 2 MW) bis 8 Cent/kWh (bis 50 kW) zzgl. 0,6 Cent/kWh bei Substitution von Braun- und Steinkohle-KWK-Anlagen</p> <p>Höhe des Zuschlags für den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bis DN 100 (Mittel über Gesamtnetz) 100 Euro je laufenden Meter der neu verlegten Wärmeleitung, höchstens aber 40 Prozent der Investitionskosten - bei mehr als DN 100 (Mittel über Gesamtnetz) 30 % der Investitionskosten

	<ul style="list-style-type: none"> - maximal 20 Mio. € je Projekt <p>KWK-Anlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bei neuen oder modernisierten KWK-Anlagen: elektrische Leistung bis einschließlich 0,5 oder mehr als 50 Megawatt. Sowie nachgerüsteten KWK-Anlagen. - ab 30. Juni 2023 werden neue KWK-Anlagen ab zehn Megawatt Leistung nur zugelassen, wenn sie technisch mit Wasserstoff betrieben werden können. Oder mit maximal 10 Prozent der Errichtungskosten ab dem 01.08.2028 auf eine leistungsgleiche wasserstoffbetriebene KWK-Anlage umrüsten. - Ab dem 1. Januar 2024 entfällt laut § 6 des KWKG 2023 die Förderung von Anlagen, die Strom auf Basis von Biomethan erzeugen. - die Anlagen gewinnen Strom auf Basis von Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen. - die Anlagen sind hocheffizient - die Anlagen verdrängen keine bestehende Fernwärmeversorgung aus KWK-Anlagen - die Anlagen erfüllen die Anforderungen nach § 9 Absatz 1 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes erfüllen, soweit es sich um Anlagen mit einer installierten Leistung im Sinne von § 3 Nummer 31 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes von mehr als 100 Kilowatt handelt.
Voraussetzungen	<p>Neu- und Ausbau von Wärmenetzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - mindestens 75 % KWK-Wärme oder - mindestens 25 % KWK-Wärme, wenn 50 % oder mehr aus KWK, EE, oder Abwärme stammen - es handelt sich um ein öffentliches Netz (Optionen für weitere Anschlüsse) <p>Wärme- und Kältespeicher:</p> <ul style="list-style-type: none"> - eine Zulassung gemäß § 24 - Wärme des Wärmespeichers überwiegend aus KWK-Anlagen, die an das Netz der allgemeinen Versorgung angeschlossen sind und die in dieses Netz einspeisen können. - mittlere Wärmeverluste entsprechend einer nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erstellten Berechnung weniger als 15 Watt je Quadratmeter Behälteroberfläche
Kumulierbarkeit	
Weitere Informationen	https://www.gesetze-im-internet.de/kwkg_2016/
Frist	Keine Fristen

10.2 ERNEUERBARE ENERGIEN-STANDARD (270)

Ansprechpartner	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), KfW Bankengruppe
Antragsberechtigte	private und öffentliche Unternehmen, Contractoren, Körperschaften des öffentlichen Rechts, kommunale Zweckverbände, Genossenschaften, Stiftungen und Vereine, Privatpersonen und gemeinnützige Antragsteller, Freiberufler, Landwirte
Förderungen	Gefördert werden <ol style="list-style-type: none"> 1. die Errichtung, Erweiterung und Erwerb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien oder von Anlagen nur zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien, 2. Wärme- und Kältenetze sowie Wärme- und Kältespeicher, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden und 3. die Flexibilisierung von Stromnachfrage und -angebot bzw. die Digitalisierung der Energiewende mit dem Ziel, die erneuerbaren Energien systemverträglich in das Energiesystem zu integrieren. 4. Contracting-Vorhaben und Modernisierungen mit Leistungssteigerung
Förderhöhe	Zinsgünstige Darlehen in Höhe von bis zu 50 Mio. € und max. 100 % der förderfähigen Investitionen
Voraussetzungen	Anlagen erfüllen die technischen Anforderungen des Gesetzes für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - 2023), einschließlich der hierfür erforderlichen Planungs-, Projektierungs- und Installationsmaßnahmen. Vorhaben im Ausland: <ul style="list-style-type: none"> - müssen die gesetzlich geltenden umwelt- und sozialrechtlichen Standards des Investitionslandes erfüllen - Vorhaben mit Investitionsort in Ländern, die weder EU-Mitglied noch Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung-Hoheinkommensland sind, werden von der KfW im Einzelfall geprüft Erwerb gebrauchter Anlagen: <ul style="list-style-type: none"> - die nicht länger als 12 Monate am Stromnetz angeschlossen sind - die nicht bereits von der KfW gefördert wurden und zeitgleich eine Modernisierung mit Leistungssteigerung erfolgt.
Kumulierbarkeit	Kombination: Eine Kombination mit anderen Förderprogrammen ist möglich, sofern diese keine Beihilfe enthalten. Wenn in dem Programm Investitionen finanziert werden, die keine Förderung nach dem im Einzelfall jeweils einschlägigen Erneuerbare-Energien-Gesetz erhalten, ist eine Kombination auch mit Förderprogrammen möglich, in denen Beihilfen enthalten sind, sofern die zulässigen Beihilfeobergrenzen eingehalten werden.
Weitere Informationen	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
Frist	Keine Fristen

10.3 KfW 430: ENERGIEEFFIZIENT SANIEREN

Ansprechpartner	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), KfW Bankengruppe
Antragsberechtigte	Natürliche Personen als Eigentümer/ Ersterwerber von Ein- und Zweifamilienhäusern mit maximal 2 Wohneinheiten oder Eigentumswohnungen in Wohnungseigentümergeinschaften
Förderungen	Energetische Sanierung von bestehenden Wohngebäuden, deren Bauantrag beziehungsweise Bauanzeige vor dem 01.02.2002 gestellt wurde; KfW-Effizienzhaus als auch Einzelmaßnahmen (unter anderem Erstanschluss an Nah- oder Fernwärme)
Förderhöhe	Geförderte Kosten je Wohneinheit bis zu 48.000 Euro für die Sanierung zum KfW-Effizienzhaus oder 10.000 Euro für Einzelmaßnahmen, Investitionszuschuss abhängig von Maßnahme und künftiger Energieeffizienz bis zu maximal 120.000 Euro
Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> - Einbindung eines anerkannten Experten für Energieeffizienz, wirtschaftlich unabhängige Beauftragung - Bauantrag (alternativ Bauanzeige) wurde vor dem 01.02.2002 gestellt - bestehende Wohngebäude nach § 2 EnEV, die nach ihrer Zweckbestimmung überwiegend dem Wohnen dienen - für die Sanierung gelten technische Mindestanforderungen (siehe Dokumente Anlage - Technische Mindestanforderungen und Infoblatt - Liste der Technischen FAQ) - Sanierung ist durch ein Fachunternehmen auszuführen
Kumulierbarkeit	<p>Kombinierbar mit weiteren Fördermitteln:</p> <p>Altersgerecht Umbauen – Kredit (159) oder Barrierereduzierung – Investitionszuschuss (455)</p> <p>Alternativ: Kreditförderung im Produkt Energieeffizient Sanieren (Produktnummern 151/152)</p>
Weitere Informationen	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/Foerderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/
Frist	Keine Fristen

10.4 KFW 432: ENERGETISCHE STADTSANIERUNG

Ansprechpartner	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), KfW Bankengruppe
Antragsberechtigte	Es werden kommunale Gebietskörperschaften (Städte, Gemeinden und Landkreise) deren Eigenbetriebe
Förderungen	Mit dem Zuschuss „Energetische Stadtsanierung“ werden Maßnahmen, mit denen die Energieeffizienz im Quartier erhöht wird, gefördert. Es können sowohl Sach- als auch Personalkosten finanziert werden. Gefördert wird die Erstellung von integrierten Quartierskonzepten, sowie das Sanierungsmanagement
Förderhöhe	Die Förderung besteht aus einem Zuschuss, der bis zu 75% der förderfähigen Kosten enthält. Für das integrierte Konzept gibt es keinen Höchstbetrag des Zuschusses. Für ein Sanierungsmanagement liegt der Höchstbetrag bei bis zu 210.000 Euro je Quartier für 3 Jahre. Bei einer Verlängerung kann auf bis zu 350.000 Euro- aufgestockt werden. Zuschüsse unter 5.000 Euro werden nicht ausgezahlt.
Voraussetzungen	-Kein Quartierskonzepts im gleichen Gebiet vorhanden
Kumulierbarkeit	Eine Kombination mit anderen Förder-mitteln ist möglich. Außerdem möglich ist die weitere Förderung einer Person, die bereits für ein Vorhaben aus der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) als Klimaschutzmanager bezuschusst wurde.
Weitere Informationen	https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Quartiersversorgung/F%C3%B6rderprodukte/Energetische-Stadtsanierung-Zuschuss-Kommunen-(432)/
Frist	Keine Fristen

10.5 IKK/IKU – ENERGETISCHE STADTSANIERUNG – QUARTIERSVERSORGUNG (201,202)

Ansprechpartner	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), KfW Bankengruppe
Antragsberechtigte	Kommunen, kommunale Eigenbetriebe und Zweckverbände (IKK), mehrheitlich kommunale Unternehmen (IKU), Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts mit mehrheitlich kommunalem Hintergrund, gemeinnützige Organisationsformen und Kirchen, Unternehmen
Förderungen	KWK(K)-Anlagen, industrielle Abwärme, Wärme- und Kältespeicher, Wärme- und Kältenetze
Förderhöhe	Zinsgünstige Darlehen bis zu 100 % der förderfähigen Investitionen (Programm 202: max. 50 Mio. €), Tilgungszuschüsse bis zu 10 %
Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> - Quartiersbezogene Versorgung erstreckt sich über die Grundstücksgrenzen der einspeisenden Anlage - Mindestens ein Abnehmer muss an das Netz angeschlossen sein, der nicht gleichzeitig Eigentümer oder Betreiber der einspeisenden Anlage ist - Alle förderfähigen Investitionen müssen die Energieeffizienz verbessern

	<p>Modul A Wärme- und Kälteversorgung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Einhaltung der gesetzlichen Standards bzw. der anerkannten Regeln der Technik sind Voraussetzung für alle förderfähigen Maßnahmen - Hocheffiziente strom- oder thermisch geführte/ führungsfähige Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen auf Basis von Erd-/Biogas; nicht auf Basis von z. B. Kohle oder Öl. - Erzeugungsanlagen erfüllen "Hocheffizienz" gemäß Definition § 2 Absatz 8 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (2016) beziehungsweise der EU-Richtlinie 2012/27/EU Anhang II; ist bei Antragstellung zu bestätigen - Kälteversorgung überwiegend aus Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung - Mitförderung erforderlicher Anschlüsse und Übergabestationen, sofern sie Bestandteil des Investitionsvorhabens sind und keine Förderung der entsprechenden Kosten aus KfW-Programmen der energetischen Gebäudesanierung erfolgt.
Kumulierbarkeit	<p>Kombination: Die Kombination mit öffentlichen Fördermitteln ist zulässig, sofern die Summe aus Krediten, Zuschüssen und Zulagen die Summe der Aufwendungen nicht übersteigt. Die Inanspruchnahme anderer Förderprogramme des Bundes für dieselbe Maßnahme ist nicht zulässig.</p> <p>Eine Kombination mit der Wärme-/ Kältenetz- beziehungsweise Wärme-/ Kältespeicherförderung nach §§ 18 bis 21 beziehungsweise §§ 22 bis 25 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz ist möglich, sofern es sich um ein Vorhaben mit hohem Quartiersbezug handelt.</p>
Weitere Informationen	<p>https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Förderprodukte/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunen-(201)/</p> <p>https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunale-Unternehmen/Förderprodukte/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-kommunale-Unternehmen-(202)/</p>
Frist	Keine Fristen

10.6 INNOVATIVE KWK-SYSTEME

Ansprechpartner	Bundesamt für Wirtschaft und Ausführungkontrolle (BAFA)
Antragsberechtigte	Betreiber innovativer KWK-Systeme
Förderungen	Innovative KWK-Systeme
Förderhöhe	<ul style="list-style-type: none"> - 45.000 Vollbenutzungsstunden der Gebotsmenge für KWK-Strom in der Höhe des Zuschlagswertes - pro Kalenderjahr höchstens 3.500 Vollbenutzungsstunden der Gebotsmenge
Voraussetzungen	<p>Allgemein:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gebotsmenge muss mehr als 1.000 kW umfassen und darf 10.000 kW installierte KWK-Leistung nicht überschreiten - min. Komponenten: KWK- Anlage, Komponente zur Bereitstellung innovativer erneuerbarer Wärme, elektrischer Wärmeerzeuger - erfolgreiche Teilnahme am Ausschreibungsverfahren - gemeinsame Regelung und Steuerung der Komponenten - Anschluss der Komponenten am gleichen Wärmenetz - Komponenten verfügen über mess- und eichrechtskonforme Messeinrichtungen zur kontinuierlichen Erfassung der eingesetzten Brennstoffe, der bereitgestellten Wärme sowie für jedes 15-Minuten-Intervall die eingesetzte und die erzeugte Strommenge - Eigenstromversorgungsgebot, Einspeisung des gesamten erzeugten Stroms in ein Netz der Allgemeinen Versorgung <p>hocheffiziente neue und modernisierte KWK-Anlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> - elektrische Leistung mehr als 1 MW bis einschließlich 50 MW - Modernisierung min. 50 % der Kosten für Neuerrichtung KWK-Anlage mit gleicher Leistung nach aktuellem Stand der Technik <p>Komponente zur Bereitstellung innovativer erneuerbarer Wärme:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabrikneu - Min. Jahresarbeitszahl 1,25 - kann pro Kalenderjahr min. 30 % der Referenzwärme als innovative Wärme bereitstellen - nur einer KWK-Anlage zugeordnet <p>elektrischer Wärmeerzeuger:</p> <ul style="list-style-type: none"> - kann jederzeit min. 30 % der maximal auskoppelbaren Wärme der KWK-Anlage bereitstellen - stromseitig und unmittelbar wärmeseitig mit der KWK-Anlage verbunden
Kumulierbarkeit	
Weitere Informationen	<p>https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kwk_merkblatt_innovative_kwk-systeme.html</p> <p>https://www.kea-bw.de/news/innovative-kwk-systeme</p>

<i>Frist</i>	<i>keine Fristen; Ausschreibungen durch die Bundesnetzagentur jeweils zum 01.06 und 01.12 eines jeden Jahres</i>
--------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

10.7 KOMMUNALE KLIMASCHUTZ-MODELLPROJEKTE

<i>Ansprechpartner</i>	<i>Projekträges Jülich (PTJ)</i>
<i>Antragsberechtigte</i>	<i>Antragsberechtigt sind Kommunen (Städte, Gemeinden und Landkreise) und Zusammenschlüsse von Kommunen sowie Betriebe, Unternehmen und sonstige Einrichtungen mit mindestens 25 Prozent kommunaler Beteiligung</i>
<i>Förderungen</i>	<i>Investive Modellprojekte mit weitreichender Treibhausgasminderung und Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung Besonders förderwürdig sind Modellprojekte aus den Handlungsfeldern - Abfallentsorgung; - Abwasserbeseitigung; - Energie- und Ressourceneffizienz; - Stärkung des Umweltverbands, grüne City-Logistik und Treibhausgas-Reduktion im Wirtschaftsverkehr; sowie - Smart-City (Vernetzung, Integration und intelligente Steuerung verschiedener umwelttechnischer Infrastrukturen)</i>
<i>Förderhöhe</i>	<i>70% der förderfähigen Kosten; für Anträge, die zwischen dem 1.Aug. und dem 31. Dez. 2021 gestellt werden 80%; finanzschwache Kommunen bis 90%; Mindestzuwendung 200.000 Euro, max. 10 Mio. Euro</i>
<i>Voraussetzungen</i>	<i>Einreichen einer Projektskizze und Aufforderung zur Antragstellung Der Modellcharakter der Vorhaben soll sich auszeichnen durch hohe Treibhausgasminderung im Verhältnis zur Fördersumme; die Verfolgung der klimaschutzpolitischen Ziele des Bundes; einen besonderen und innovativen konzeptionellen Qualitätsanspruch; den Einsatz bester verfügbarer Techniken und Methoden; die Übertragbarkeit beziehungsweise Replizierbarkeit des Ansatzes eine überregionale Bedeutung und deutliche Sichtbarkeit mit bundesweiter Ausstrahlung- stromseitig und unmittelbar wärmeseitig mit der KWK-Anlage verbunden</i>
<i>Kumulierbarkeit</i>	<i>Eine Kumulierung mit Drittmitteln, Zuschussförderungen und Förderkrediten ist vorbehaltlich entgegenstehender beihilferechtlicher Vorgaben zugelassen, sofern eine angemessene Eigenbeteiligung in Höhe von mindestens 15 Prozent des Gesamtvolumens der zuwendungsfähigen Ausgaben erfolgt, bei finanzschwachen Kommunen in Höhe von 10 Prozent.</i>
<i>Weitere Informationen</i>	<i>https://www.ptj.de/klimaschutzinitiative/modellprojekte https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/foerderaufruf-kommunale-klimaschutz-modellprojekte.html</i>
<i>Frist</i>	<i>Antragsfristen jeweils 01.Jan und 31.Dez. eines Jahres</i>

11 LITERATURVERZEICHNIS

- ifeu. (2016:3). *Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: ifeu.
- KEA-BW, Die Landesagentur. (2023). Förderprogramm für die freiwillige kommunale Wärmeplanung. Abgerufen am 02. 08 2023 von <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/foerderprogramm-fuer-die-freiwillige-kommunale-waermeplanung>
- KEA-BW, Die Landesagentur. (2023). Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg- §27 Kommunale Wärmeplanung. Abgerufen am 02. 08 2023 von <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/27-kommunale-waermeplanung>
- LGRB (Hrsg.). (2018). *Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG)*. Von <https://produkte.lgrb-bw.de/informationssysteme/geoanwendungen/isong> abgerufen
- Mehr Demokratie e.V.; BürgerBegehren Klimaschutz. (2020). *Handbuch Klimaschutz, Wie Deutschland das 1,5-Grad-Ziel einhalten kann*.
- Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045, Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*. (S. Klimaneutralität, & A. E. Verkehrswende, Hrsg.)
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2020). *Statistisches Landesamt Baden-Württemberg*. Abgerufen am 2022. April 2022 von Bevölkerung und Gebiet: <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/01515020.tab?R=KR121>
- Statistisches Landesamt BW. (2022).