



**Kommunale
Wärmeplanung**

**Abschlussbericht
für die Stadt Bad Rappenau**
vom 15.02.2024

Überarbeitet am 28.01.2025

Projektpartner

Dieses Projekt wurde unter Zusammenarbeit der Bad Rappenau und der energielenker projects GmbH durchgeführt.

Auftraggeberin

Stadt Bad Rappenau

Kirchplatz 4/1,
74906 Bad Rappenau

Tel.: 07264 922440

Ansprechpartner: Herr Alexander Speer

Auftragnehmer

energielenker projects GmbH

Auberlenstraße 13 B
70736 Fellbach

Tel.: +49 520387-10

Ansprechpartner: Martin Mende
Anika Scherenberg



Bad Rappenau



ABBILDUNGSVERZEICHNIS	6
1 EINLEITUNG.....	8
1.1 EINLEITUNG.....	8
1.2 HINTERGRUND UND MOTIVATION	9
1.3 VORGEHENSWEISE UND PROJEKTPLANUNG	10
1.3.1 Energie- und CO ₂ -Bilanz	11
1.3.2 Potenzialanalyse / Aufstellung Szenarien.....	11
1.3.3 Akteur:innen Beteiligung.....	11
1.3.4 Aufstellung Maßnahmenkatalog.....	11
2 DARSTELLUNG DER AUSGANGSSITUATION.....	12
2.1 KOMMUNALE BASISDATEN	12
2.1.1 Demografische Entwicklung.....	13
2.1.2 Energieversorgung.....	13
2.1.3 Wirtschaft	13
2.1.4 Verkehrliche Anbindung	13
2.2 METHODIK DER DATENAUSWERTUNG	14
2.3 ENDENERGIEEINSATZ ZUR WÄRMEBEREITSTELLUNG UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN.....	15
2.3.1 Endenergieeinsatz zur Wärmebereitstellung Stadt Bad Rappenau.....	15
2.3.2 THG-Emissionen in der Stadt Bad Rappenau	17
2.4 AUSWERTUNG DER ANLAGENTECHNIK	19
2.4.1 Wärmenetze	21
3 TECHNOLOGIEÜBERSICHT	23
3.1 WÄRMEVERSORGUNGSINFRASTRUKTUR.....	23
3.1.1 Zentrale Wärmeversorgung	24
3.1.2 Keimzellen.....	24
3.1.3 Dezentrale Versorgung der Einzelgebäude	24
3.1.4 Wärmespeicher	25
3.1.5 Erdgasnetz.....	25
3.2 WÄRMEERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN	27
3.2.1 Lokale Biomasse.....	28
3.2.2 Solare Wärmenetze.....	29

3.2.3	Wärmepumpen	30
3.2.4	Geothermie	31
3.2.5	Abwasserwärme.....	33
3.2.6	Oberflächengewässer	35
3.2.7	Abwärmenutzung aus Industrie und Gewerbe	36
3.2.8	Power-to-Heat	38
3.2.9	Power-to-Gas	38
3.2.10	All Electric	42
3.3	STROMERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN	42
3.3.1	Windkraftanlagen	42
3.3.2	Photovoltaik.....	42
4	POTENZIALANALYSE	44
4.1	ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG	44
4.2	WIRTSCHAFT	49
4.3	SOLARENERGIE	51
4.4	WASSERKRAFT	57
4.5	WINDENERGIE.....	57
4.6	BIOMASSE	58
4.7	GEO THERMIE.....	59
4.7.1	Hydrothermale Grundwassernutzung	63
4.7.2	Abwasserwärmenutzung.....	64
4.7.3	Thermische Nutzung von Oberflächengewässern.....	65
4.8	ABWÄRMEPOTENZIAL.....	66
4.9	ROLLE DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG.....	66
4.10	ZUSAMMENFASSUNG DER POTENZIALE	68
5	SZENARIENENTWICKLUNG	69
5.1	DIFFERENZIERUNG TREND- UND KLIMASCHUTZ-SZENARIO...	69
5.2	TRENDSZENARIO	70
5.3	KLIMASCHUTZSZENARIO.....	72
5.4	VERGLEICH DER SZENARIEN	74
6	IDENTIFIKATION VON HOTSPOTS FÜR WÄRMEBEDARFE IM STADTGEBIET	75

7	EIGNUNGSGEBIETE BAD RAPPENAU	78
8	FOKUSGEBIETE	80
9	MAßNAHMEN	81
9.1	MAßNAHMENKATALOG	83
	MAßNAHME 1: PARTIZIPATION IN DER KOMMUNALEN WÄRMEPLANUNG	83
	MAßNAHME 2: SANIERUNGSFAHRPLÄNE KOMMUNALER LIEGENSCHAFTEN	84
	MAßNAHME 3: BAD RAPPENAU (FOKUSGEBIETE 1, 5, 6)	85
	MAßNAHME 4: ZIMMERHOF (FOKUSGEBIET 7)	88
	MAßNAHME 5: HEINSHEIM (FOKUSGEBIETE 9, 10)	91
10	ZUSAMMENFASSUNG	94
11	FÖRDERMÖGLICHKEITEN.....	99
11.1	BAFA: BUNDESFÖRDERUNG FÜR EFFIZIENTE WÄRMENETZE (BEW).....	99
11.2	KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ (KWKG)	101
11.3	ERNEUERBARE ENERGIEN-STANDARD (270)	103
11.4	KFW 430: ENERGIEEFFIZIENT SANIEREN	104
11.5	IKK/IKU – ENERGETISCHE STADTSANIERUNG – QUARTIERSVERSÖRGUNG (201,202)	105
11.6	INNOVATIVE KWK-SYSTEME.....	107
11.7	KOMMUNALE KLIMASCHUTZ-MODELLPROJEKTE	109
12	LITERATURVERZEICHNIS	110
13	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	111
14	ANHANG	112

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Projektzeitplan	10
Abbildung 2.1: Bad Rappenau und seine Ortsteile	12
Abbildung 2.2: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergieeinsatz in Bad Rappenau.....	15
Abbildung 2.3: Endenergieverbrauch für Wärme nach Energieträger in Bad Rappenau 2019.....	17
Abbildung 2.4: THG-Emissionen für Wärme nach Energieträger in Bad Rappenau 2019.....	18
Abbildung 2.5: Bestand der erfassten Heizungsanlagen nach Leistungsklassen – Bad Rappenau... 19	
Abbildung 2.6: Bestandsverteilung der Einzelfeuerungsanlagen bis 11 kW - Stadtgebiet Bad Rappenau	20
Abbildung 2.7: Prozentuale Verteilung der erfassten Wärmeerzeuger - Stadtgebiet Bad Rappenau	21
Abbildung 3.1: Komplexe Struktur des Energiesystems der Zukunft mit 100 Prozent erneuerbaren Energien (KEA-BW, 2023).....	26
Abbildung 3.2: Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp (Rödl & Partner; Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp, 2023)	27
Abbildung 3.3: Prinzip Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse.....	28
Abbildung 3.4 Freiflächen-Solarthermieanlage in Crailsheim	29
Abbildung 3.5: Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Geothermie.....	31
Abbildung 3.6: Nutzung von Abwasserwärme.....	33
Abbildung 3.7: Energieintensität verschiedener Branchen	36
Abbildung 3.8: Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit des Temperaturniveaus [dena].....	37
Abbildung 3.9: Funktionsweise Elektrodenheizkessel	38
Abbildung 3.10: Das Prinzip von „Power-to-Gas“	39
Abbildung 3.11: Strombedarf von verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von 1 kWh Raumwärme und Trinkwarmwasser im Jahresdurchschnitt [BDI, 2021]	40
Abbildung 4.1: Prozentualer Anteil der Gebäudetypen - Stadtgebiet Bad Rappenau.....	45
Abbildung 4.2: Altersstruktur der Wohngebäude - Stadtgebiet Bad Rappenau	45
Abbildung 4.3: mögliche Einsparungen bei Erreichung verschiedener jährlicher Sanierungsraten, bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahre	47
Abbildung 4.4: Ausschnitt aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Solarpotenzial auf Dachflächen	52
Abbildung 4.5: Eigene Darstellung der Potenzialflächen für Erdwärmekollektoren nach Vorbild des Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmekollektoren.....	60

<i>Abbildung 4.6: Eigene Darstellung der Potenzialflächen für Erdwärmesonden nach Vorbild des Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmesonden</i>	61
<i>Abbildung 4.7: Übersichtskarte zu Untergrundtemperaturen in 1.000 Metern Tiefe</i>	63
<i>Abbildung 5.1: Trendszenario Bad Rappenau</i>	70
<i>Abbildung 5-2: Entwicklungen der THG-Emissionen im Trendszenario</i>	71
<i>Abbildung 5-3: Entwicklung Wärmebedarf im Klimaschutzscenario</i>	72
<i>Abbildung 5-4: Entwicklungen der THG-Emissionen im Klimaschutzscenario</i>	73
<i>Abbildung 6.1: Ausschnitt der Heatmap des Wärmebedarfs von Bad Rappenau</i>	75
<i>Abbildung 6.2: Wärmelinienichte in Bad Rappenau</i>	76
<i>Abbildung 6.3: Baublockbasierter Anteil an Ölheizungen in Bad Rappenau</i>	77
<i>Abbildung 7.1: Energieplan Bad Rappenau</i>	79
<i>Abbildung 8.1: Übersicht der Fokusgebiete für die Stadt Bad Rappenau</i>	80

1 Einleitung

1.1 EINLEITUNG

Im Kontext der Verpflichtungen des Kyoto-Protokolls und des Ziels der Staatengemeinschaft, die globale Erwärmung auf maximal 2° Celsius, wenn möglich auf 1,5 °C, 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. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, müssen vor Ort konkrete Klimaschutzinitiativen und -projekte gestartet und umgesetzt werden.

Weltweit können Temperaturanstiege, schmelzende Gletscher, ein ansteigender Meeresspiegel, Wüstenbildung, eine Häufung von örtlichen Extremwetterphänomenen 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 „Pfingststurm Ela“), Ausbreitung von wärmeliebenden Tierarten (z. B. tropische Mückenarten am Rhein) oder die stetig steigende jährliche Durchschnittstemperatur (z. B. Sommer 2018) verdeutlichen.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung gesetzlich verankert, den bundesweiten Ausstoß von Kohlenstoffdioxid und anderen Treibhausgasen bis 2030 um 65 Prozent und bis 2040 88 Prozent gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland die Treibhausgasneutralität erreichen. (vgl. BKG 2021, S. 5). Das soll vor allem durch den Ausbau erneuerbarer Energien und eine Steigerung der Energieeffizienz erreicht werden.

1.2 HINTERGRUND UND MOTIVATION

Im Zuge der Novelle des Klimaschutzgesetzes vom 14. Oktober 2020 wurde für Baden-Württemberg als erstes deutsches Bundesland eine verpflichtende kommunale Wärmeplanung für große Kreisstädte und Stadtkreise eingeführt und damit die Relevanz der regionalen und lokalen Ebene bei der Umsetzung der Wärmewende deutlich gemacht. Mit der Änderung vom 06. Oktober 2021 wurde das neue Ziel der Klimaneutralität zum Jahr 2040 festgelegt, wodurch sich der Handlungsdruck nochmal erhöht hat. Unter diese Verpflichtung fällt auch die Stadt Bad Rappenau.

Klimaschutz ist für die Stadt Bad Rappenau nichts Neues. Erst im Oktober 2020 hat der Gemeinderat in Bad Rappenau die Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes beschlossen. Zusätzlich wurde gemeinsam mit der energielenker projects GmbH ein umfassender, für Bad Rappenau entwickelter Katalog mit Klimaschutzleitprojekten zu acht Handlungsfeldern – Erneuerbare Energien, Mobilität, Nachhaltige Wärmeversorgung, Klimafreundliche Gebäude und Verwaltung der Stadt, Flächenmanagement, Wirtschaft, Anpassung an den Klimawandel und Klimafreundliche Lebensstile erarbeitet. Hierbei ist das Handlungsfeld drei „Nachhaltige Wärmeversorgung“ hervorzuheben, welches mit der kommunalen Wärmeplanung einhergeht.

Mit dem vorliegendem kommunalen Wärmeplan sollen neue klimapolitische Themenfelder erschlossen werden. Eine Vernetzung zwischen den relevanten Akteur:innen und Verbrauchssektoren in Bad Rappenau 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 Potenzial für eine integrierte Wärmenutzung bieten.

Auch bereits bestehende Einzelaktivitäten und Projektansätze sollen aufgenommen, gebündelt, weiterentwickelt und ergänzt werden. Auf diese Weise erhält die Stadt Bad Rappenau 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, inwieweit die lokalen Akteur:innen und weitere Aktive in Bad Rappenau tätig und zum Mitmachen animiert werden. Denn nur durch die umfassende Aktivität Vieler sind die gesetzten Klimaschutzziele zu erreichen.

1.3 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 THG-Bilanz
2. Berechnung der Potenziale und Aufstellung von Szenarien
3. Akteur:innen Beteiligung
4. Erstellung eines Maßnahmenkatalogs
5. Verstetigung, Controlling und Berichtserstellung

Die nachfolgende Abbildung visualisiert die Zeitschiene und die seitens der Stadt Bad Rappenau gewählte Vorgehensweise zur Erstellung des Konzeptes. Nachstehend werden wesentliche Bausteine der kommunalen Wärmeplanung erläutert.

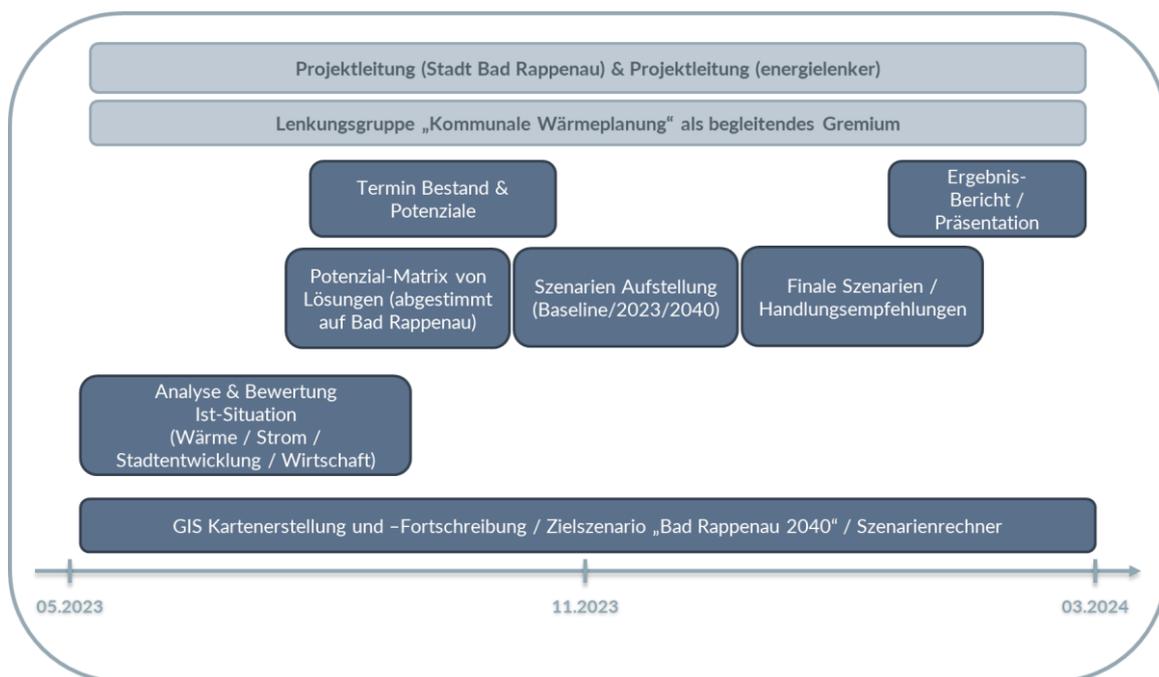


Abbildung 1-1: Projektzeitplan [energielenker projects GmbH]

1.3.1 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 Bad Rappenau festgestellt. Die Höhe und die Verteilungen der CO₂-Emissionen auf die Sektoren Haushalte und Wirtschaft sowie die Art der eingesetzten Energieträger nimmt Einfluss auf festzulegende Themenschwerpunkte und die Definition einzubindender Akteur:innen.

Die Bilanz basiert auf der Datengrundlage der BICO₂BW, einem CO₂-Bilanzierungstool, das vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) entwickelt wurde.

Für die Erstellung sowohl der kommunalen Wärmeplanung als auch des Klimaschutzkonzepts der Bad Rappenau wurde auf dieselbe Bilanz zurückgegriffen.

1.3.2 Potenzialanalyse / Aufstellung Szenarien

Auf Basis der Energie- und CO₂-Bilanz und unter Berücksichtigung der Entwicklungspotenziale sowie der Ziele der Stadt Bad Rappenau werden CO₂-Minderungspotenziale bestimmt und Entwicklungsszenarien für die Jahre 2030 und 2040 aufgestellt. Mit Hilfe der Szenarien können konkrete Klimaschutzziele für Bad Rappenau abgeleitet werden.

1.3.3 Akteur:innen Beteiligung

Die Erarbeitung des Konzepts erfolgt mit der Teilnahme und Unterstützung zahlreicher Akteur:innen. Neben Mitarbeiter:innen der Stadtverwaltung und der Politik sind hier vor allem die Energieversorgungsunternehmen sowie lokale Unternehmen mit hohen Wärme- bzw. Kältebedarfen zu nennen. Ziel ist es alle Akteur:innen frühzeitig in den Prozess der Konzepterstellung einzubinden und gemeinsame Strategien zu entwickeln. Die Beteiligung erfolgte bisher durch Präsentation in öffentlichen Ausschusssitzungen und durch die geplante Offenlegung der Unterlagen.

1.3.4 Aufstellung Maßnahmenkatalog

Neben der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien ist die effiziente Energienutzung die Voraussetzung für das Gelingen der Wärmewende. Die lokale Verknüpfung von Energieströmen erfordert einen integrierten Ansatz, bei dem die Sektoren Strom und Wärme systemisch betrachtet werden. Die Maßnahmen sind als Projektvorschläge zu verstehen, die zur Erreichung der energiepolitischen Ziele der Stadt Bad Rappenau beitragen sollen.

2 Darstellung der Ausgangssituation

In diesem Kapitel werden die verfügbaren Daten zum aktuellen Stand der Wärmeversorgung in Bad Rappenaу dargestellt. Die Daten beziehen sich auf die Gesamtgemeinde. Eine detailliertere Analyse in kleineren Teilgebieten findet sich in den Steckbriefen der Energieplan-Gebiete in Kapitel 7.

2.1 KOMMUNALE BASISDATEN

Die große Kreisstadt Bad Rappenaу wurde erstmals in einer Urkunde im Jahr 1343 unter dem Namen Rappenaу erwähnt. Als zweitgrößter Teil des Landkreises Heilbronn kommt Bad Rappenaу eine wichtige kommunale Bedeutung zu.

Bad Rappenaу setzt sich aus einer Kernstadt und acht ländlich geprägten Ortsteilen zusammen. Die Namen und die Lage der Stadtbezirke werden in Abbildung 2-1 dargestellt. Neben Freizeit, Bildung und Kultur steht in Bad Rappenaу auch das Thema Gesundheit, durch das staatlich anerkannte Solebad, im Mittelpunkt.

Die Stadt Bad Rappenaу gehört zur Region Heilbronn-Franken und liegt im Nordwesten des Bundeslandes Baden-Württemberg, etwa 14 Kilometer nordwestlich von Heilbronn. Durch die Stadt fließt der Mühlbach, ein Zufluss des Neckars, welcher im Nordosten des Stadtgebiets Teil der Gemarkungsgrenze ist.

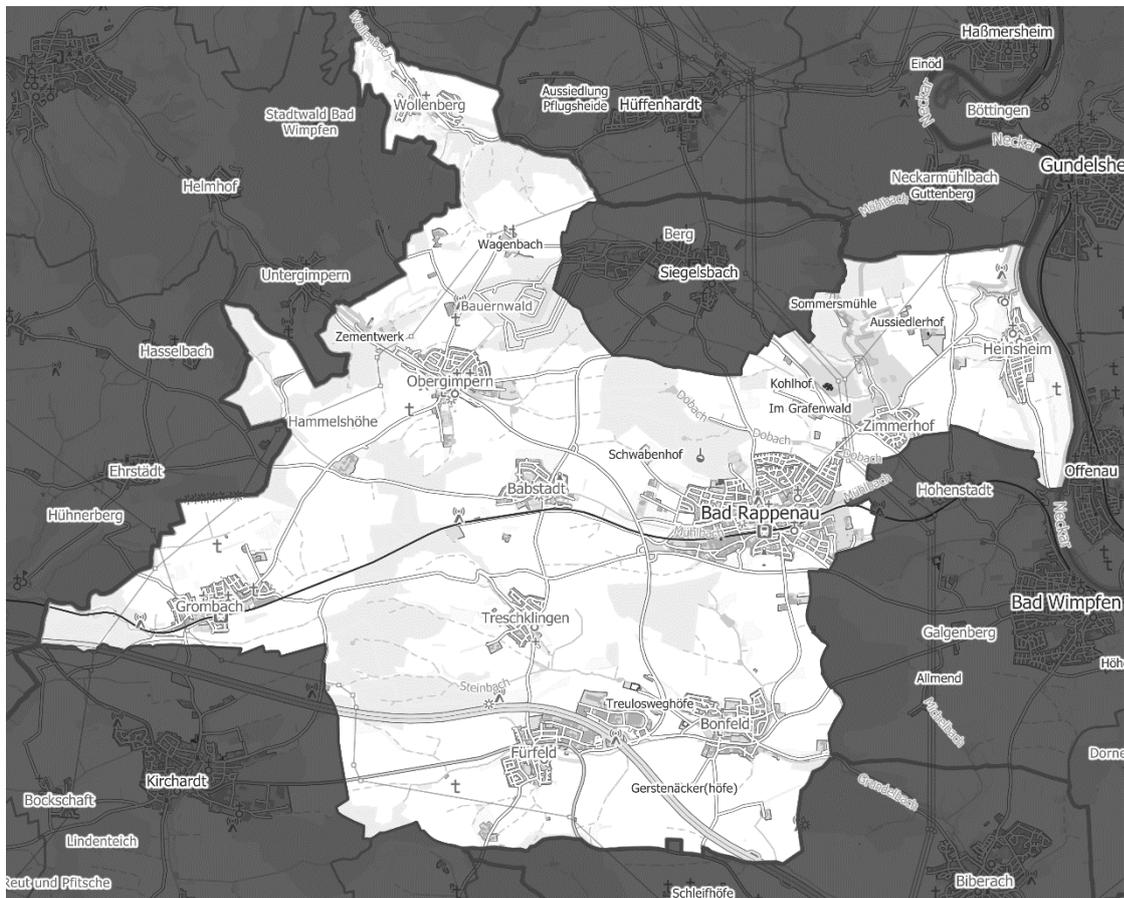


Abbildung 2-1: Bad Rappenaу und seine Ortsteile [energielenker projects GmbH]

2.1.1 Demografische Entwicklung

Bad Rappenau erfährt ein stetiges Bevölkerungswachstum, welches im Jahr 2023 zu 21.752 Einwohnern führt. In einer Prognose des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg wird für die große Kreisstadt Bad Rappenau ein Bevölkerungswachstum von 2,8 % bis zum Jahr 2040 prognostiziert.

2.1.2 Energieversorgung

Der örtliche Energieversorger in Bad Rappenau ist die Syna GmbH, eine Tochtergesellschaft der Süwag Energie AG. Die Syna ist in Bad Rappenau der Netzbetreiber für Strom und Gas und hat im Rahmen der Bestandsanalyse die entsprechenden Verbrauchsdaten zur Verfügung gestellt. Die Syna ist ein überregionaler Netzbetreiber, welche unter anderem Netze in Rheinland-Pfalz, Hessen, Bayern und Baden-Württemberg betreibt.

2.1.3 Wirtschaft

Der Wirtschaftsstandort von Bad Rappenau ist durch Logistik, verarbeitendes und produzierendes Gewerbe geprägt. Ein Großteil der ansässigen Betriebe lassen sich dem Mittelstand zuordnen. Bad Rappenau verfügt über zwei Gewerbegebiete, eins im Stadtteil Bonfeld und eins im Stadtteil Grombach. Außerhalb der Gewerbegebiete sind in Bad Rappenau verschiedene Reha-Kliniken zu finden.

2.1.4 Verkehrliche Anbindung

Die Stadt Bad Rappenau ist durch den Autobahnzubringer zwischen Bonfeld und Fürfeld an die A6 angebunden. Über die A6 sind die Städte Stuttgart und Karlsruhe sowie das Rhein-Main- und das Rhein-Neckar-Gebiet schnell zu erreichen. Daneben verläuft auch die B39 durch das Gemarkungsgebiet von Bad Rappenau.

Neben der Anbindung an die Bundesautobahn und verschiedene Bundesstraßen verfügt die Stadt Bad Rappenau auch über eine Zusanbindung an die Elsenzalbahn, welche von Bad Friedrichshall nach Heidelberg führt. Durch diese Zusanbindung können verschiedene Städte wie beispielsweise Heidelberg oder Heilbronn erreicht werden. Neben der Kernstadt verfügt auch der Stadtteil Babstadt über eine Anbindung an das öffentliche Nahverkehrsnetz.

2.2 METHODIK DER DATENAUSWERTUNG

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

Neben dem genannten Datensatz werden die Daten der Bezirksschornsteinfeger im Stadtgebiet Bad Rappenau 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 Anlagearten (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 durchschnittliche Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe angenommen und daraus die Wärmeenergie erzeugt berechnet. Zur Verfügung stehen somit nur die über einen separaten Zähler bzw. Tarif abgerechneten oder bezogenen Mengen an Strom.

Aufbauend auf der Energiebilanz wird eine Treibhausgasbilanz erstellt. Hierfür wird das CO₂-Bilanzierungstool BICO₂BW eingesetzt. 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 für das Jahr 2040 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 Bad Rappenau aufgeschlüsselt und nach Sektoren dargestellt.

2.3 ENDEENERGIEEINSATZ ZUR WÄRMEBEREITSTELLUNG UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Für die Erstellung von Reduktionsszenarien ist die Definition einer Ausgangsbilanz erforderlich. Die Endenergie ist die Energie, die nach Wandlungs- und Transportverlusten von der Primärenergie übrigbleibt und die den Hausanschluss des Energienutzers passiert.

Die Datengrundlage für die Ausgangsbilanz wurden von der Syna GmbH sowie den Bezirksschornsteinfegern und dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg für die Stadt Bad Rappenau zu Verfügung gestellt. Hierbei wurde mit gebäudescharfen bzw. adressscharfen Daten gearbeitet.

Die Ausgangsbilanz dient als Grundlage, um nach der Bewertung verschiedener Einsparpotenziale in den Sektoren Privat, Wirtschaft und Kommune, den Endenergiebedarf im Jahr 2040 zu prognostizieren.

2.3.1 Endenergieeinsatz zur Wärmebereitstellung Stadt Bad Rappenau

Das Stadtgebiet Bad Rappenau weist sektorenübergreifend einen Endenergiebedarf von 279.059 MWh für die Wärmebereitstellung auf (Verkehr und Haushaltsstrom nicht inkludiert!). Abbildung 2-2 stellt die prozentuale Verteilung der Endenergieeinsätze für die Wärmeversorgung je Sektor dar. Demnach lässt sich anhand der nachfolgenden Verteilung feststellen, dass der private Sektor mit 72 % den größten Anteil am Gesamtendenergieeinsatz ausmacht. Die Wirtschaft nimmt einen prozentualen Anteil von 20 % und kommunale Liegenschaften einen Anteil von 7 % am Endenergieverbrauch ein.

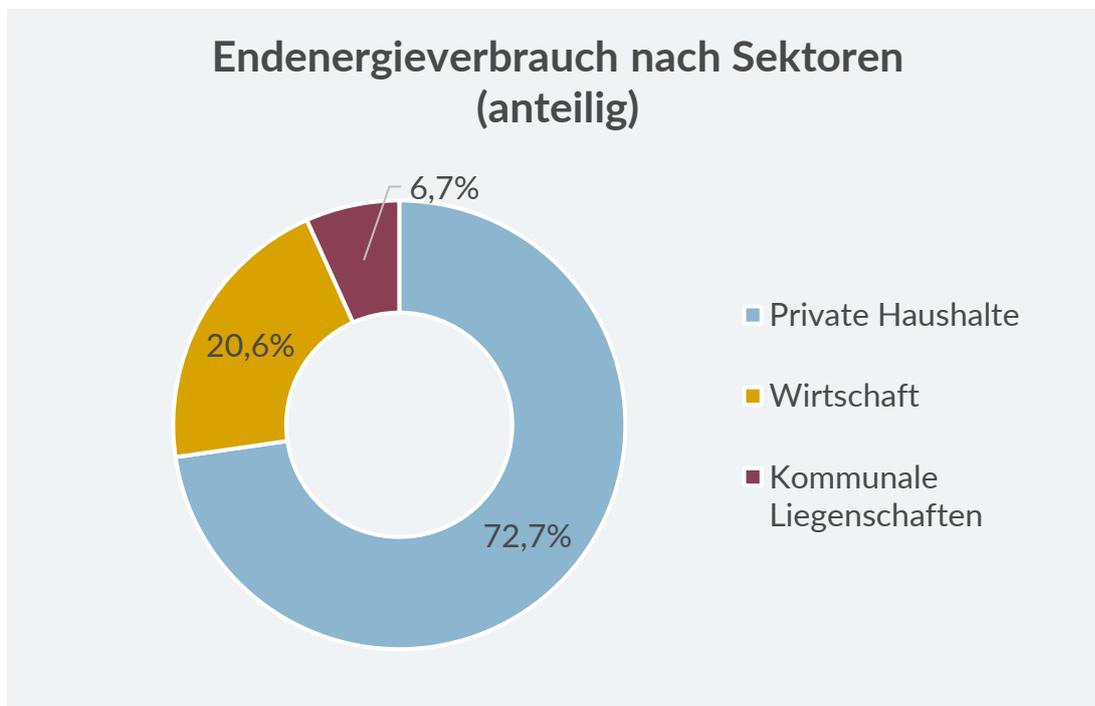


Abbildung 2-2: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergieeinsatz in Bad Rappenau [energielenker projects GmbH, Syna GmbH, Bezirksschornsteinfeger]

Im Sektor kommunale Liegenschaften sind erneuerbare Energieträger für einen Großteil der Wärmebereitstellung verantwortlich. Erneuerbare Energieträger haben einen Anteil von knapp 40 % am Endenergieverbrauch der Kommune. Danach folgt Fernwärme mit ca. 32 %. Die fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas haben zusammen einen Anteil von 18 % am Endenergieverbrauch. Die restlichen 10 % werden durch Heizstrom abgedeckt.

Im Sektor Wirtschaft werden rund 40 % des Endenergiebedarfs durch Erdgas bereitgestellt. Danach folgt Heizöl mit 17 %. Damit machen fossile Energieträger 57 % des Endenergieverbrauch in der Wirtschaft aus. 24 % des Endenergieverbrauchs werden durch erneuerbare Energieträger gedeckt. Der restliche Endenergieverbrauch erfolgt über Fernwärme und sonstige Energieträger.

Im Bereich der Haushalte wird zu 37 % auf Erdgas gesetzt. Zusammengefasst für alle Sektoren beträgt der Erdgasanteil zur Wärmebereitstellung 36 %. Die prozentual großen Anteile an Erdgas lassen sich durch das gut ausgebaute Gasnetz erklären. Neben einem Rückbau der Gasinfrastruktur zur Dekarbonisierung des Wärmesektors können Gasnetze in Zukunft teilweise zur nachhaltigen Energieversorgung beitragen, indem es zur Verteilung klimafreundlicher, leitungsgebundener Energieträger wie synthetische Gase oder gar Wasserstoff genutzt wird. Für eine regenerative Bereitstellung von Wasserstoff und Biomethan sind jedoch enorme Mengen an erneuerbar erzeugtem Strom notwendig. Heizöl wird im privaten Sektor für 31 % des Endenergieverbrauchs genutzt. Insgesamt stellen die konventionellen Energieträger Erdgas und Heizöl somit etwa 68 % der Endenergie zur Wärmebereitstellung im privaten Sektor dar. Hinzu kommen ca. 18 % erneuerbare Energieträger und ca. 12 % Fernwärme. Der restliche Endenergiebedarf wird über sonstige Energieträger und Heizstrom gedeckt.

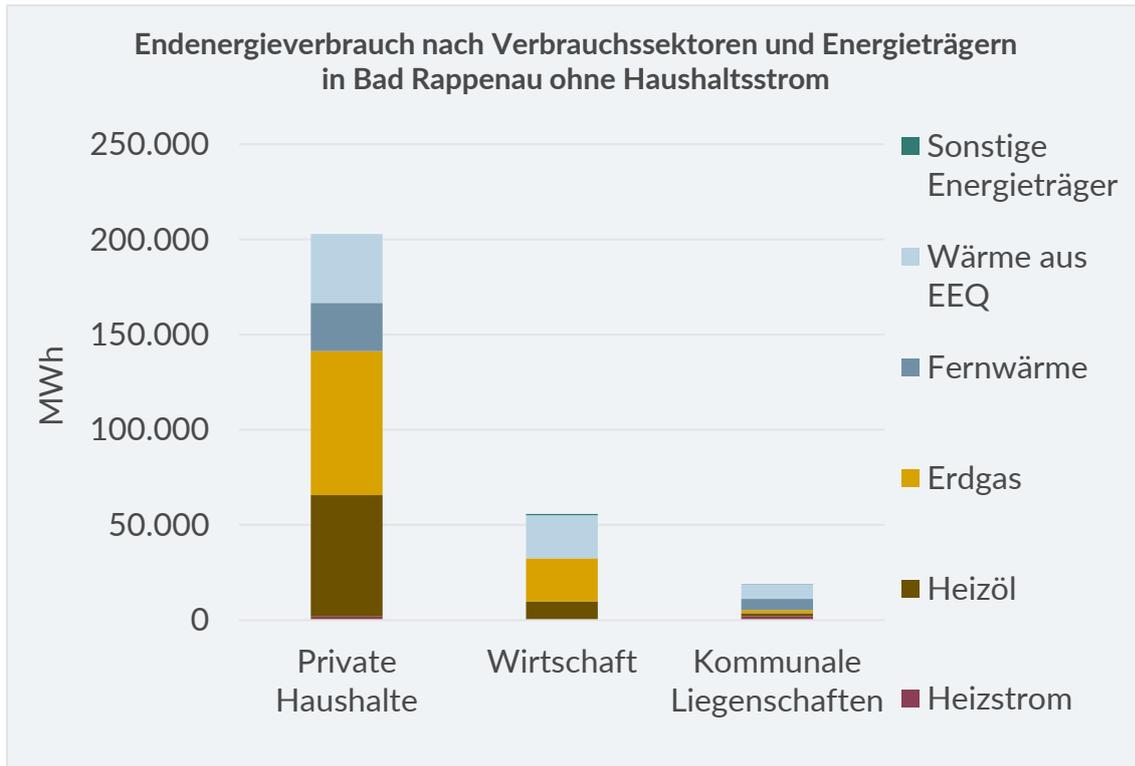


Abbildung 2-3: Endenergieverbrauch für Wärme nach Energieträger in Bad Rappenau 2019 [energielenker projects GmbH, Syna GmbH, Bezirksschornsteinfeger]

2.3.2 THG-Emissionen in der Stadt Bad Rappenau

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 (graue Energie) miteinbeziehen. Die Emissionsfaktoren sind als CO₂-Äquivalente angelegt, sodass das Globale Erwärmungspotential (GWP, engl. Global Warming Potential) aller klimawirksamen Gase vergleichbar gemacht werden kann. Beispielsweise entspricht 1 kg Methan etwa 21 kg CO₂-Äquivalent. Im Folgenden werden die THG-Emissionen vereinfacht nur mit CO₂-Emissionen bezeichnet.

Tabelle 2-1: Emissionsfaktoren der Energieträger [Quelle: Technologie - Katalog der Klima- und Energieagentur Baden-Württemberg]

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

Entsprechend der aufgestellten Ausgangsbilanz fallen auf dem Stadtgebiet Bad Rappenau CO₂-Emissionen in Höhe von knapp 63.041 Tonnen pro Jahr an.

Die prozentualen Anteile der Sektoren an den stadtweiten CO₂-Emissionen sind sehr unterschiedlich, mit einem starken Übergewicht des privaten Sektors. Dieser hat einen Anteil von knapp 76 %. Der Wirtschaftssektor hat einen Anteil von 16 %. Die übrigen Emissionen von etwa 7 % entfallen auf die kommunalen Liegenschaften.

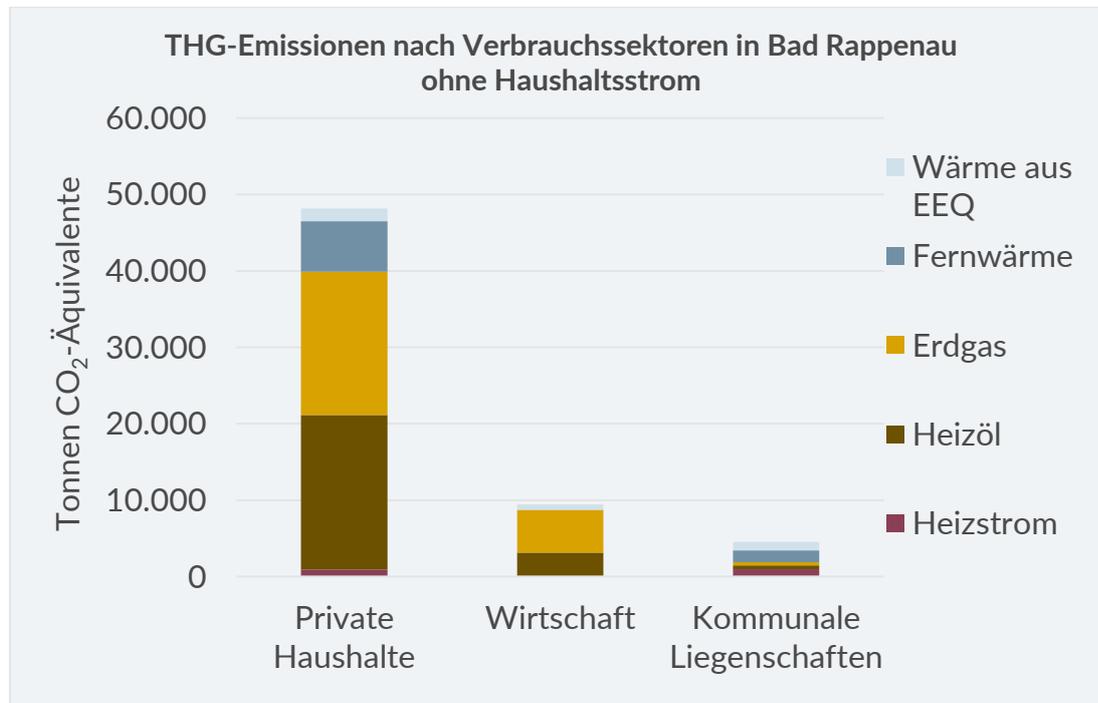


Abbildung 2-4: THG-Emissionen für Wärme nach Energieträger in Bad Rappenau 2019 [energielenker projects GmbH, Syna GmbH, Bezirksschornsteinfeger]

2.4 AUSWERTUNG DER ANLAGENTECHNIK

Insgesamt sind 8.837 heiztechnische Anlagen durch die Daten des Schornsteinfegers erfasst. Dies ist in Abbildung 2-5 nach Anzahl je Leistungsklasse dargestellt. Abbildung 2-7 zeigt die prozentuale Verteilung der erfassten Wärmeerzeuger in dem Stadtgebiet Bad Rappenau.

Den Großteil der Heiztechnik bilden die 3.641 Einzelfeuerungsanlagen. Bei diesen handelt es sich überwiegend um Holzanlagen. Öl- und Kohleanlagen sind ebenfalls im geringen Maß vorhanden. Von den 3.641 Einzelfeuerungsanlagen, entfallen 3.600 auf den Leistungsbereich bis 10 kW, welche im Wesentlichen dem Wohngebäudebereich zugeordnet werden können. Einzelfeuerungsanlagen bezeichnen dabei Anlagen, die vorrangig der Beheizung des Aufstellraumes dienen und über keine Einrichtung verfügen, welche die Wärme in anderen Räumen verteilt, wie zum Beispiel Kaminöfen. Neben den Einzelfeuerungsanlagen nehmen die Öl- und Gasfeuerungsgeräte bis 25 kW einen großen Anteil ein. Zusammengefasst gibt es rund 4.900 Gas- und Ölfeuerungsgeräte. Davon sind 1.447 Brennwertgeräte. Brennwertgeräte sind aufgrund der Nutzung der Kondensationsabgaswärme effizienter als beispielsweise Niedertemperatur- oder Konstanttemperaturkessel. Im Gegensatz zu den Gas-Brennwertanlagen, haben sich Öl-Brennwertanlagen im Allgemeinen nicht durchgesetzt. Dies gilt auch für Bad Rappenau.

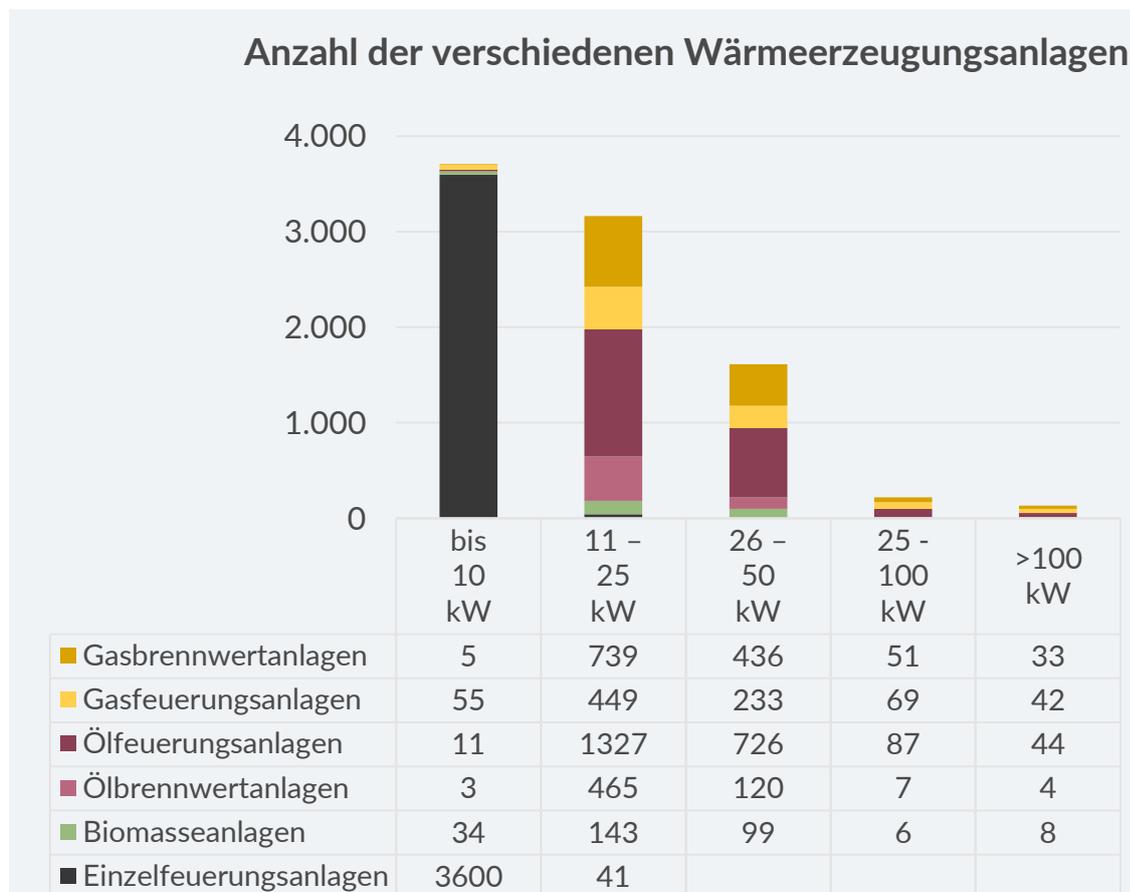


Abbildung 2-5: Bestand der erfassten Heizungsanlagen nach Leistungsklassen – Bad Rappenau [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten]

Unter Feststoffanlagen sind Biomasse- oder Kohleanlagen zu verstehen. In Bad Rappenau machen zentrale Feststoffanlagen nur einen marginalen Anteil aus. Kohleheizungen konnten im Rahmen der Auswertung der Schornsteinfegerdaten nicht gefunden werden.

Der Energieträger Holz wird neben dem Einsatz in Feststoffanlagen, auch in Einzelraumfeuerstätten eingesetzt. Auch Öl kommt in den Einzelraumfeuerstätten auf dem Stadtgebiet Bad Rappenau zum Einsatz. Sämtliche Anlagen werden in der Kategorie *bis 11 kW* geführt.

Von allen 3.600 Einzelraumfeuerungsanlagen nutzen 3.404 Anlagen Holz zur Wärmeerzeugung und 196 Heizöl. Mit ca. 95 % machen die mit Holz betriebenen Anlagen den größten Anteil dieser installierten Geräte aus (vgl. Abbildung 2-6). Es handelt sich vornehmlich um Kaminöfen.

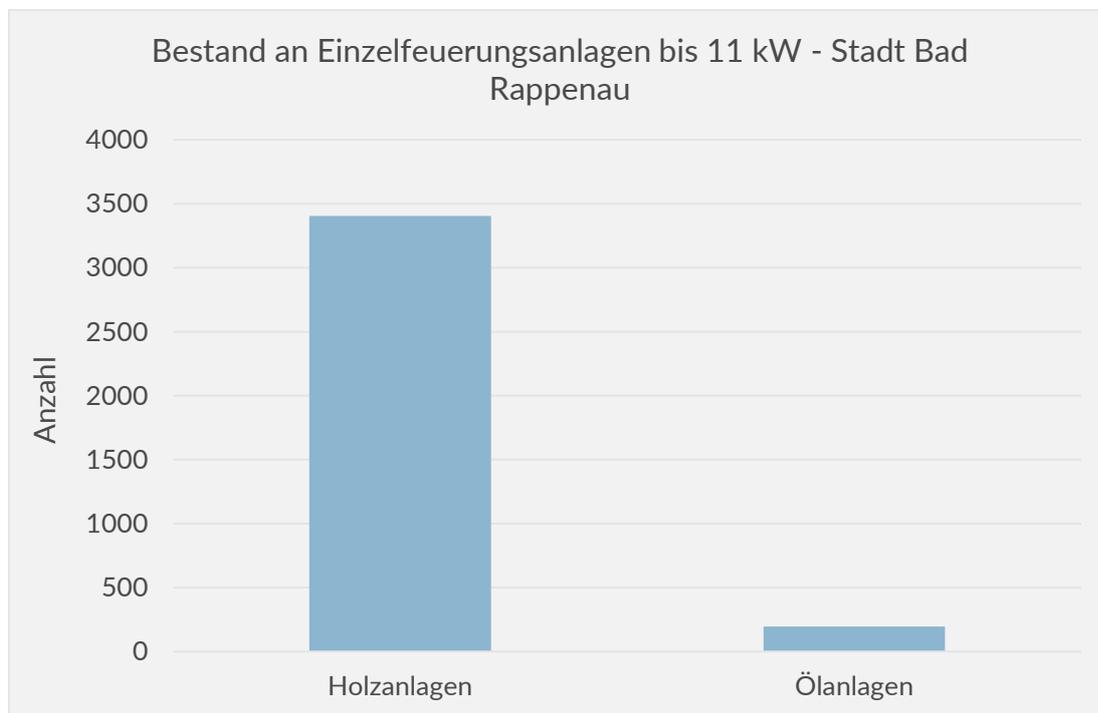


Abbildung 2-6: Bestandsverteilung der Einzelfeuerungsanlagen bis 11 kW - Stadtgebiet Bad Rappenau [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten]

Zur Darstellung der eingesetzten heiztechnischen Anlagen wurde die prozentuale Verteilung unabhängig von den Leistungsklassen summiert. Daraus hat sich die in Abbildung 2-7 dargestellte Verteilung ergeben.

Die Anlagenart und insbesondere der eingesetzte Energieträger haben wesentlichen Einfluss auf die THG-Emissionen. Durch den Wechsel auf emissionsärmere Energieträger lassen sich die CO₂-Emissionen deutlich reduzieren. Die Umrüstung auf effizientere Anlagen verspricht zudem eine Steigerung des Wirkungsgrades und dadurch eine effizientere Nutzung des Energieträgers und damit einhergehend eine Reduktion der THG-Emissionen.

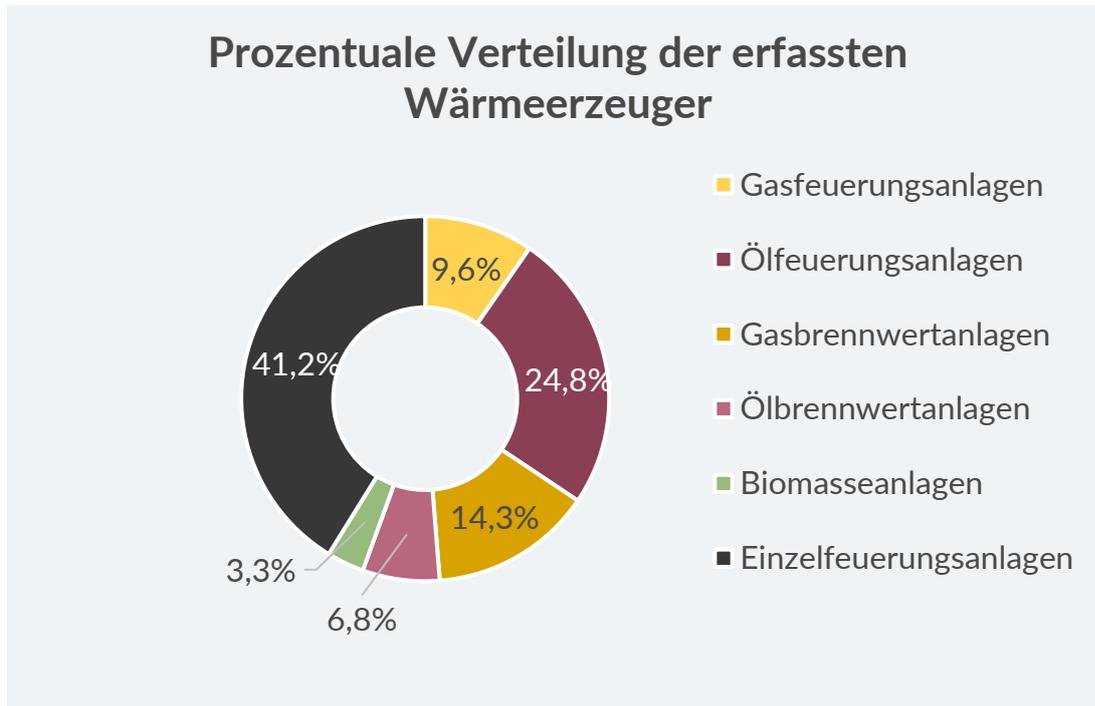


Abbildung 2-7: Prozentuale Verteilung der erfassten Wärmeeerzeuger - Stadtgebiet Bad Rappenau [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Schornsteinfegerdaten]

2.4.1 Wärmenetze

Gemäß den vorliegenden Daten existieren gegenwärtig zwei Wärmenetze in Bad Rappenau. Diese befinden sich im Stadtzentrum der Kernstadt sowie in Zimmerhof. Der gemeinsame Primärenergiemix dieser beiden Netze setzt sich zu 68 % aus Bioabfällen, zu 32 % aus Biogasfeuerung und zu 0,05 % aus Heizöl zusammen. Die Fünf BHKWs die hier zum Einsatz kommen, setzen sich folgendermaßen zusammen:

	Bezeichnung	Thermische Leistung	Brennstoff
1	BHKW 1 Bioabfall-Vergärungsanlage	2.260 kW	Bioabfall
2	BHKW 2 Bioabfall-Vergärungsanlage	2.260 kW	Bioabfall
3	2G 360	813 kW	Biogas
4	2G 450	813 kW	Biogas
5	Deutz BHKW	258 kW	Biogas

Tabelle 2-2 BHKWs für Fernwärme aus Marktstammdaten Register

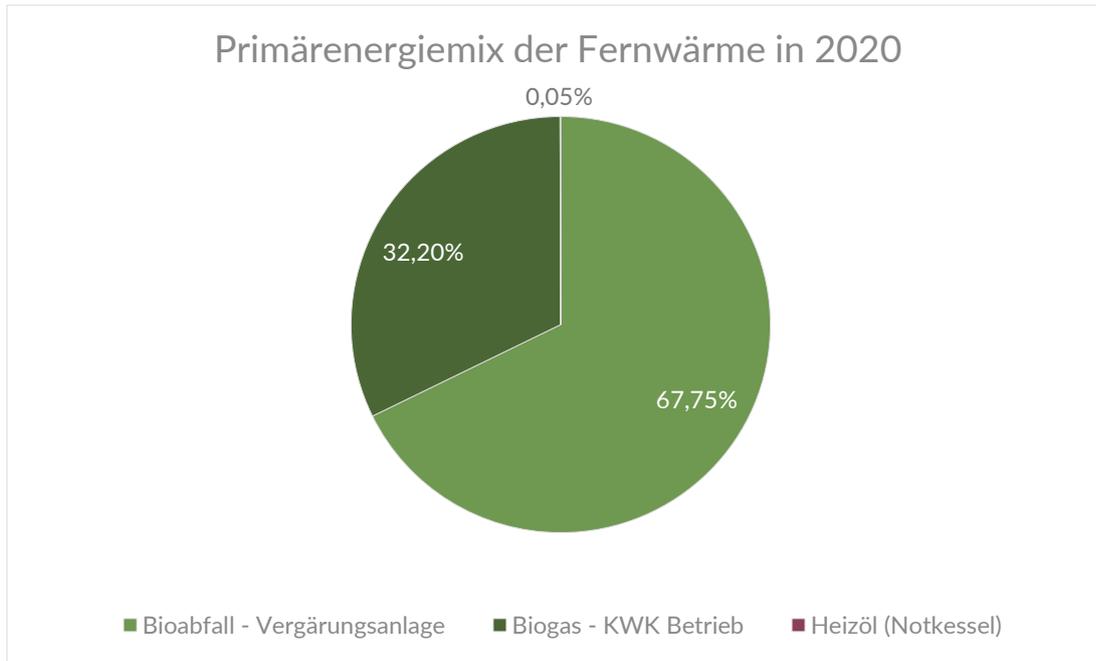


Abbildung 2-8 Primärenergienmix der Fernwärmenetze im Jahr 2020

3 Technologieübersicht

Zur Erreichung der Klimaschutzziele müssen, neben der Dekarbonisierung des Stromsektors und der Ausnutzung erneuerbarer Stromquellen, auch 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. Lokale Wärmequellen können u. a. Solarenergie, Erdwärme, Grundwasser, Oberflächengewässer, Abwasser, Abwärme (z. B. aus dem Gewerbe) oder Biomasse sein. Erneuerbare Wärmequellen können sowohl auf Grundstücksebene als auch auf Quartiersebene über Quartiersansätze und Keimzellen genutzt werden. Neben der Erzeugung werden auch infrastrukturelle Aspekte, wie die Verteilung der Wärme über Fernwärmenetze sowie die Speicherung thermischer Energie eine wesentliche Rolle spielen. In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Wärmeversorgungsinfrastrukturen dargestellt und ein Überblick über die möglichen Wärmequellen und Nutzungstechnologien gegeben.

3.1 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 sukzessiv umgebaut und in moderne Wärmenetze mit geringeren Temperaturniveaus transformiert. Voraussetzung dafür ist, dass dies technisch und aus Sicht der Wärmekunden bedarfsgerecht möglich und für die Betreiber der Wärmenetze wirtschaftlich zumutbar ist (bauliche und energetische 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 und die transportierte Energiemenge pro Trassenmeter entscheidend ist, gilt es zu vermeiden, dass Wärmenetze und Gasnetze miteinander konkurrieren. Gasnetze können perspektivisch als Speichermedium genutzt werden, indem sie vermehrt, biogene und synthetische Gase aufnehmen und transportieren.

3.1.1 Zentrale Wärmeversorgung

Die zentrale Wärmeversorgung bezeichnet die Versorgung mehrerer Gebäude über Wärmenetze. Wärmenetze bieten einen strategischen Vorteil zum Erreichen der Klimaschutzziele: Bei der Modernisierung zentraler Wärmeerzeugungsanlagen 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 mit dem 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 Wärmenetzen – 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.

3.1.2 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, Wohnungsgenossenschaften, Gewerbe oder Neubau. Solche „Keimzellen“ für Nahwärmeinseln sind in Bezug auf die Wärmeerzeugung grundsätzlich technologieoffen. Zur Einhaltung der Klimaschutzziele sollten zukünftig jedoch ausschließlich erneuerbare Energien eingesetzt werden.

3.1.3 Dezentrale Versorgung der Einzelgebäude

Nicht alle Gebäude können sinnvollerweise über Wärmenetze versorgt werden. Liegt der Wärmebedarf des zu versorgenden Bereichs unter 100 MWh / (ha*a), kann davon ausgegangen werden, dass ein konventionelles Wärmenetz in diesem Bereich nicht wirtschaftlich ist und dass die Gebäude auch zukünftig durch dezentrale Einzelheizungsanlagen oder durch Wärmenetze der neusten Generation (z. B. kalte Nahwärmenetze) 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 Brennwertechnologie 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. Weitere Anreize für einen Heizungstausch ergeben sich für die Gebäudeeigentümer durch die bundesweiten attraktiven Fördermöglichkeiten.

3.1.4 Wärmespeicher

Während Wärmeerzeugungsanlagen auf Basis fossiler Energieträger bedarfsgerecht Wärme produzieren, 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

3.1.5 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 Power-to-Gas (PtG)-Anlagen für die Kopplung der Sektoren und Nutzung in KWK-Anlagen. Stehen Verantwortliche in Zukunft 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 3-1 veranschaulicht die komplexe Struktur des Energiesystems der Zukunft mit 100 Prozent erneuerbaren Energien.

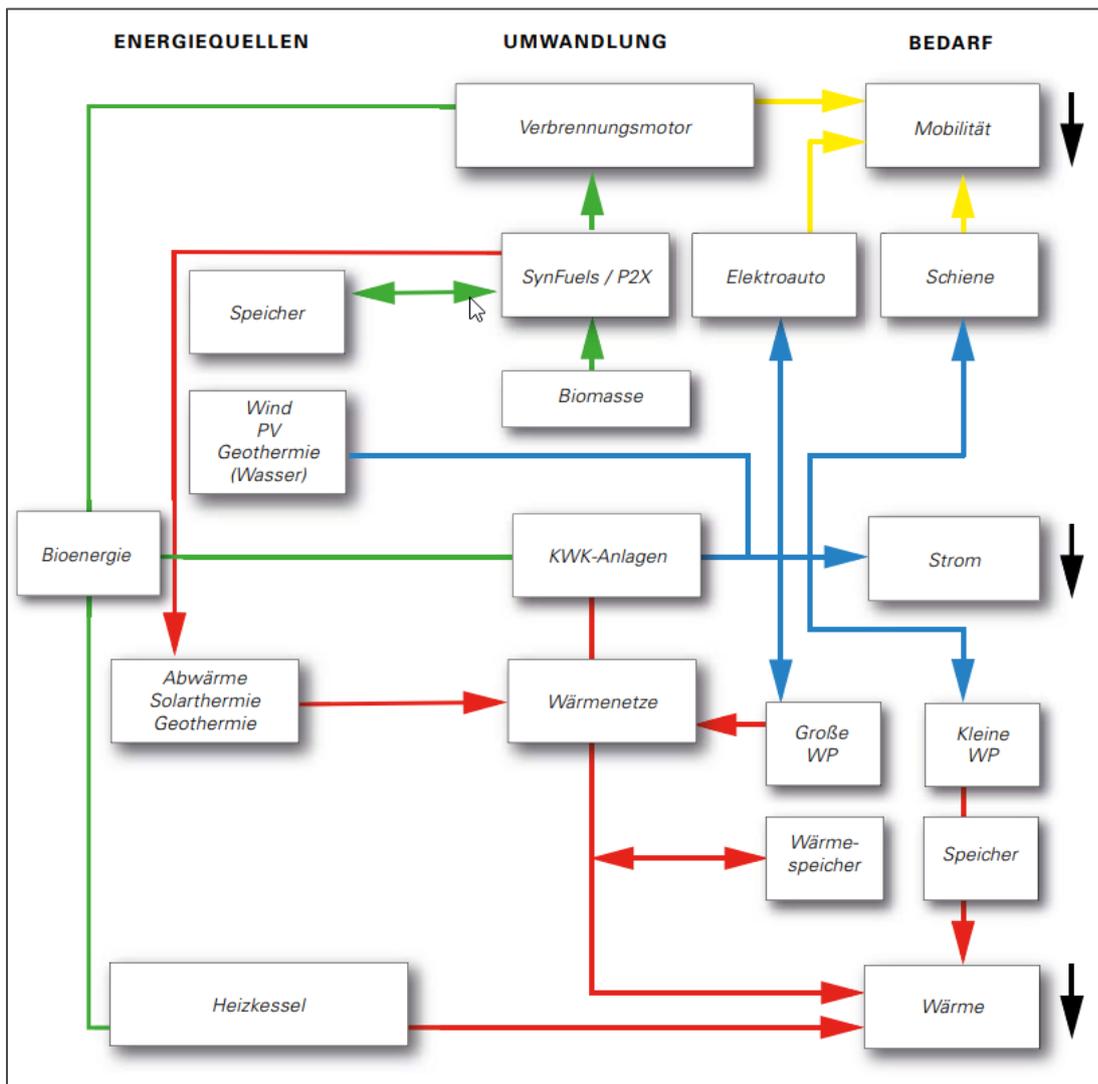


Abbildung 3-1: Komplexe Struktur des Energiesystems der Zukunft mit 100 Prozent erneuerbaren Energien (KEA-BW, 2023)

3.2 WÄRMEERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN

Der Wärmebedarf lässt sich anhand des wärmespezifischen Urbanitätsgrads unterscheiden, der die Wärmedichte in einen Zusammenhang mit den Siedlungstypen stellt (siehe Abbildung 3-2). 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 fünf Prozent der Fläche in den dicht besiedelten Gebieten anfallen.

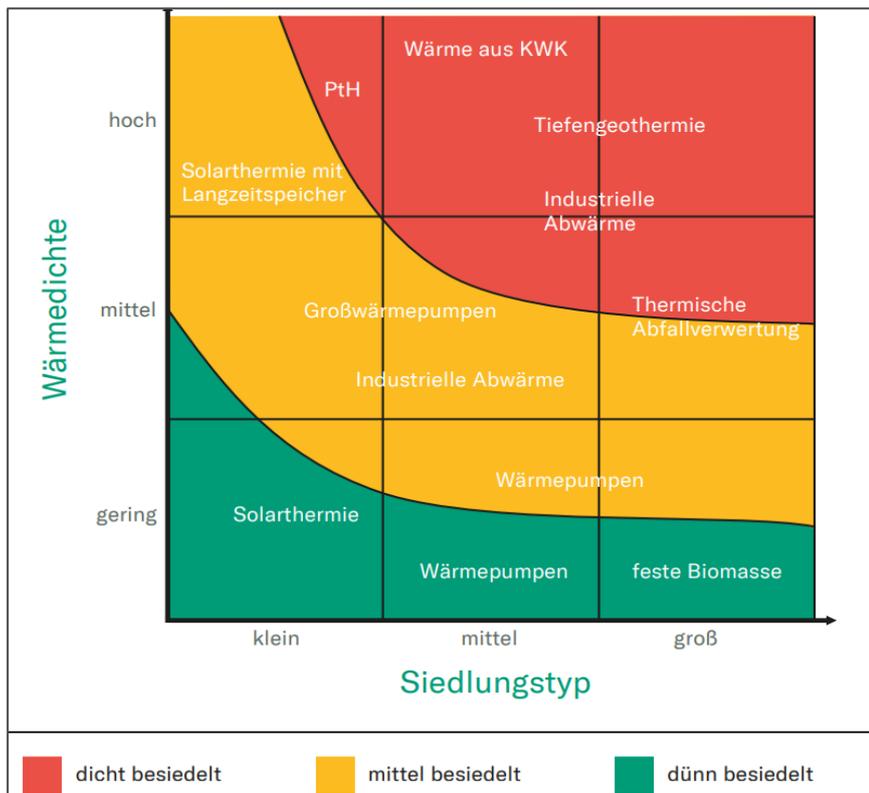


Abbildung 3-2: Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp (Rödl & Partner; Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp, 2023)

In den folgenden Kapiteln werden unterschiedliche Wärmeerzeugungstechnologien vorgestellt. Alle diskutierten Technologien haben ihre Daseinsberechtigung und ihre Vorteile. Für eine erfolgreiche Wärmewende und zur Erreichung der Klimaziele bedarf es einer Diversifizierung erneuerbarer Energietechnologien. 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 Bereichen zum Einsatz kommen, die dem Anforderungsprofil der Technologie optimal entsprechen. Damit können für alle Technologien geeignete Marktsegmente mit jeweils ausreichendem Marktvolumen herausgearbeitet werden.

3.2.1 Lokale Biomasse

Bei der Verwendung von Biomasse als Energieträger 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 der Biomasse 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 3-3 zeigt das Prinzip der Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse.

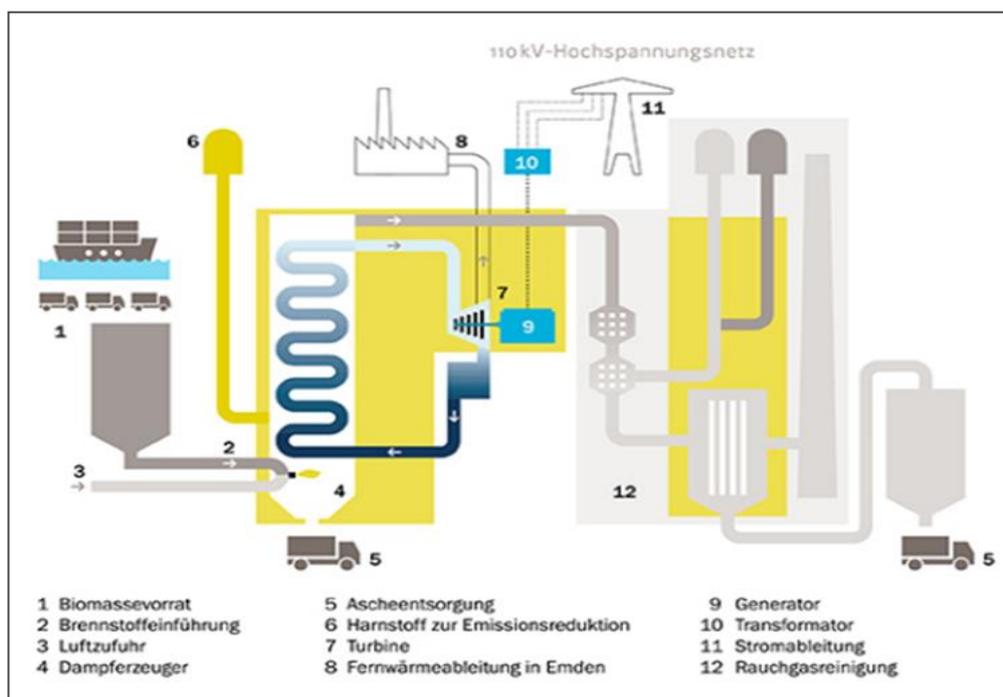


Abbildung 3-3: Prinzip Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse
 [www.statkraft.de/stromerzeugung/biomasse]

3.2.2 Solare Wärmenetze

Solare Wärmenetze sind Wärmenetze, die mit Wärme aus großflächigen Solarthermieranlagen gespeist werden. 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 dieser bis auf 50 % erhöht werden.

Große Solaranlagen haben relevante Auswirkungen auf die Raumnutzung und stellen demzufolge raumbedeutsame Vorhaben dar. Noch stärker als Windkraft- oder Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) sind große Solarthermieranlagen an bestimmte Standortbedingungen 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 Solarthermiegroßanlagen in Wärmenetze integriert, die primär Biomasse als Brennstoff nutzen. Biomasse-befeuerte Wärmenetze arbeiten im Sommer oft im ineffizienten Teillastbetrieb, was u. a. auch mit dem Nachteil von höheren Emissionen und Kosten verbunden ist. Durch die Installation einer Solarthermieanlage zur Deckung großer Teile des Wärmebedarfs im Sommer können diese Anlagen sinnvoll ergänzt werden.

Diese Technologie ist ausgereift und erprobt und wird in Deutschland u. a. in Crailsheim und Ludwigsburg erfolgreich angewendet (siehe Abbildung 3-4).



Abbildung 3-4 Freiflächen-Solarthermieanlage in Crailsheim [<https://www.stw-crailsheim.de/ueberuns/projekt-solarthermie/>]

3.2.3 Wärmepumpen

Wärmepumpen bieten flexible Einsatzmöglichkeiten auf dem Wärmemarkt und gelten im zunehmend elektrifizierten Gebäudesektor als Schlüsseltechnologie [Weck-Ponten, 2023]. 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, insbesondere in dünn besiedelten Gebieten, einen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten. Weitere Einsatzmöglichkeiten sind im Systemverbund mit anderen erneuerbaren Wärmeerzeugern und Wärmenetzen möglich.

Wärmepumpen heben das Temperaturniveau der Wärmequelle auf ein nutzbares Temperaturniveau an und bestehen grundsätzlich aus vier Komponenten: Verdampfer, Verdichter, Kondensator und Expansionsventil. In dem Verdampfer wird die aus der Umgebung gewonnene Wärme an das Kältemittel übertragen, welches anschließend anfängt zu sieden und zu verdampfen. Aufgrund des niedrigen Siedepunktes des Kältemittels können auch niedrige Temperaturen von wenigen Grad über Null zur Wärmebereitstellung verwendet werden. 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 versorgendem Objekt oder einem Einspeisepunkt in ein Wärmenetz.

Die Effizienz von Wärmepumpen hängt maßgeblich vom Temperaturhub, also der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke, ab. Die Effizienz der Wärmepumpe wird durch die JAZ dargestellt.

Wichtige Unterscheidungsmerkmale von Wärmepumpen sind das Wärmequellen- und Wärmesenkenmedium: Luft-Luft-Wärmepumpen nutzen Luft als Wärmequelle und geben Warmluft an die Wärmesenke ab. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen dient Luft als Wärmequelle und Wasser als Wärmesenke. Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzen Erdwärme als Wärmequelle. In einem Solekreislauf, der ein frostsicheres Fluid enthält, wird die Wärme aus dem Erdreich aufgenommen (vgl. Kapitel 3.2.4). Bei Wasser-Wasser-Wärmepumpen ist das Wärmequellen- und Wärmesenkenmedium entsprechend Wasser. Wasser-Wasser-Wärmepumpen werden sowohl für die Temperaturerhöhung von Wärme aus Oberflächengewässern und Abwasser als auch in der oberflächennahen Geothermie, insbesondere für Grundwasserbrunnensysteme, eingesetzt (vgl. Kapitel 3.2.5 und 3.2.6).

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

3.2.4 Geothermie

Als Geothermie wird sowohl die in der Erde gespeicherte Wärmeenergie als auch deren ingenieurtechnische Nutzbarmachung bezeichnet.

Bei der Energiegewinnung aus Geothermie wird zwischen der Tiefengeothermie (petrothermale und hydrothermale Geothermie) und der oberflächennahen Geothermie differenziert.

Tiefe Geothermie bezeichnet die Nutzung geothermischer Lagerstätten ab 400 m Tiefe zur Stromproduktion und/oder Wärmebereitstellung und bietet die Möglichkeit, größere Energieversorgungsprojekte umzusetzen. Bei guten geologischen Voraussetzungen kann die tiefe Geothermie für eine künftig klimaneutrale Wärmeversorgung in den Städten eine herausragende Rolle spielen. Die tiefe Geothermie bietet aufgrund des hohen Temperaturniveaus die Chance bestehende Wärmenetze zu dekarbonisieren.

Systeme zur Nutzung **oberflächennaher Geothermie** verwenden die thermische Energie des Untergrunds bis in eine Tiefe von 400 m zur Gebäudeklimatisierung (Heizen und/oder Kühlen). Als geothermische Wärmequellsysteme werden hauptsächlich Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren und Grundwasserbrunnen eingesetzt. Darüber hinaus gibt es noch weitere Quellsysteme wie z. B. Erdwärmekörbe, Energie-Spundwände oder Energiepfähle.

In Abbildung 3-5 sind unterschiedliche Systeme zur Nutzung von Geothermie dargestellt.

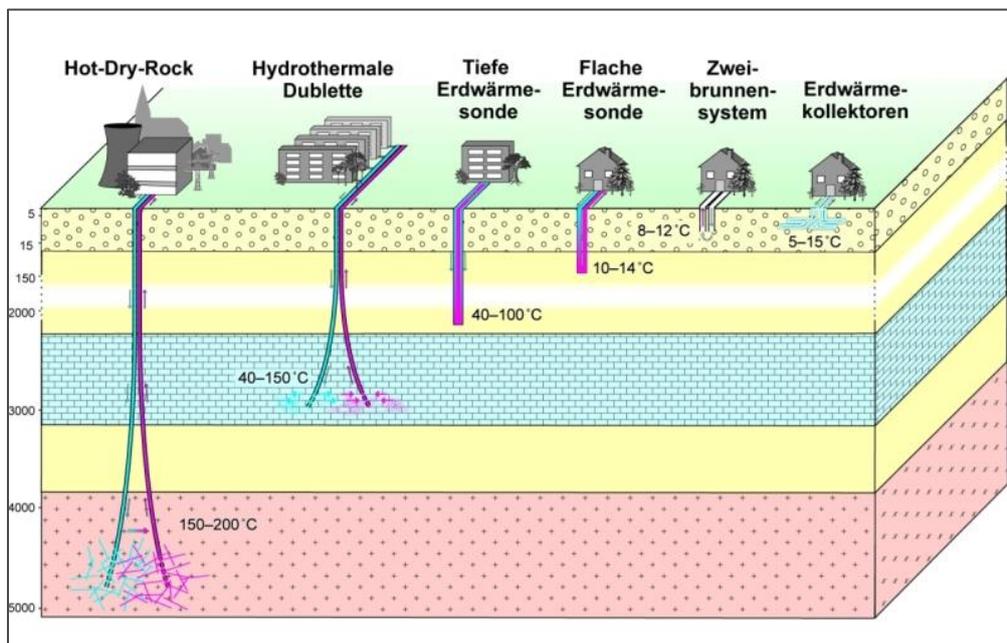


Abbildung 3-5: Wärmeerzeugung durch die Nutzung von Geothermie
[\[www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/index.htm\]](http://www.lfu.bayern.de/geologie/geothermie/index.htm)

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie ist besonders für die gebäudebezogene Wärmeversorgung geeignet, aber auch für Quartierskonzepte wie z. B. kalte Nahwärmenetze. Die grundsätzliche geothermische Eignung eines Gebiets hängt von

der Beschaffenheit des Bodens und der Temperaturen im Untergrund ab. Der große Vorteil von Geothermie gegenüber volatilen erneuerbaren Energiequellen, wie z. B. Wind- und Sonnenenergie, ist die Grundlastfähigkeit und meteorologische Unabhängigkeit.

Die Wärme in der Erde ist ganzjährig verfügbar. Ab ca. 15 m bis 20 m Tiefe können witterungsbedingten Temperaturveränderungen vernachlässigt werden [Weck-Ponten, 2023]. Ab dieser Tiefe überwiegt der geothermische Wärmegradient, sodass die Temperatur um ca. drei Kelvin pro 100 m zunimmt [vgl. Weck-Ponten, 2023].

Eine Erdwärmesonde überträgt Erdwärme an die Wärmeträgerflüssigkeit, die innerhalb der Sondenrohre zirkuliert. Das Rohrsystem hierfür wird in ein vertikal oder schräg verlaufendes Bohrloch eingebracht. Erdwärmesondenbohrungen sind bei der zuständigen Behörde anzuzeigen. Grundlegend gilt für Erdwärmesonden das Grundwasserrecht. Die Nutzung oberflächennaher Erdwärmesonden ist daher von der geographischen Lage von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten sowie der Hydrogeologie abhängig. Neben dem Grundwasserschutz kann auch das Bergrecht tangiert werden. Deswegen werden oberflächennahe Erdwärmesonden häufig nur bis zu einer Tiefe von 100 m ausgeführt. Erdwärmesonden sind das am weitest verbreitete geothermische Wärmequellensystem in Deutschland. Im Gegensatz zu Erdwärmekollektoren weisen Erdwärmesonden ein Wärmequellentemperaturniveau auf, das nahezu unabhängig von Wetterrandbedingungen ist. Darüber hinaus sind Erdwärmesonden geeignet ein Gebäude zusätzlich zur Wärmeversorgung auch zu kühlen.

Erdwärmekollektoren sind ein geothermisches Wärmequellensystem, bei dem horizontale Rohrleitungen unterhalb der Frostgrenze in einer Einbautiefe von ca. 1,5 Metern in den Boden eingebracht werden. Erdwärmekollektoren zeichnen sich durch einen höheren Flächenbedarf als Erdwärmesonden aus, da sie horizontal im Boden verlegt werden. Die Wärme beziehen die Kollektoren aus der eingestrahnten Sonnenwärme und über versickerndes Niederschlagswasser. Für Erdwärmekollektoren ist i. d. R. kein wasserrechtliches Erlaubnisverfahren notwendig. Dadurch können Erdwärmekollektoren eine Alternative zu beispielsweise Erdwärmesonden in Gebieten darstellen, die für diese Systeme genehmigungsrechtlich nicht zulässig sind. Jedoch ist der Flächenbedarf für klassische Erdwärmekollektorsysteme nicht zu vernachlässigen. Die geothermisch genutzte Fläche sollte für diese Systeme ca. das 1,5- bis 2-fache der zu beheizenden Fläche betragen. Allerdings kann die notwendige Fläche u. a. durch mehrstöckige Kollektorsysteme (Sandwichsysteme), durch den Einsatz von vertikal eingebrachten Kollektorsystemen sowie durch die Kombination mit solarthermischen Anlagen zur Regeneration des Untergrundes verringert werden.

Bei der Wärmeerzeugung mit Erdwärmesonden, -kollektoren und Grundwasserbrunnen stammt ca. 75 % der Energie aus dem Untergrund (bei einer angenommenen JAZ von 4,0). Die restliche Energie wird meist in Form von elektrischer Energie für den Betrieb der Wärmepumpen benötigt.

3.2.5 Abwasserwärme

Im Haushalt und in der Industrie wird warmes Wasser nach dem Gebrauch ohne eine weitere energetische Nutzung 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 ein Kelvin abgekühlt wird, um den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage möglichst nicht zu beeinträchtigen, kann aus 1 m³ Abwasser rund 1,5 kWh Wärme gewonnen werden. Aus der gleichen Menge Abwasser kann in einer Abwasserreinigungsanlage etwa 0,05 m³ Klärgas erzeugt werden. Das entspricht einem Energieinhalt von rund 0,3 kWh. Mit anderen Worten: Das Potenzial an Abwärme im Abwasser ist um ein Vielfaches größer als das Potenzial an Klärgas aus den Abwasserreinigungsanlagen.

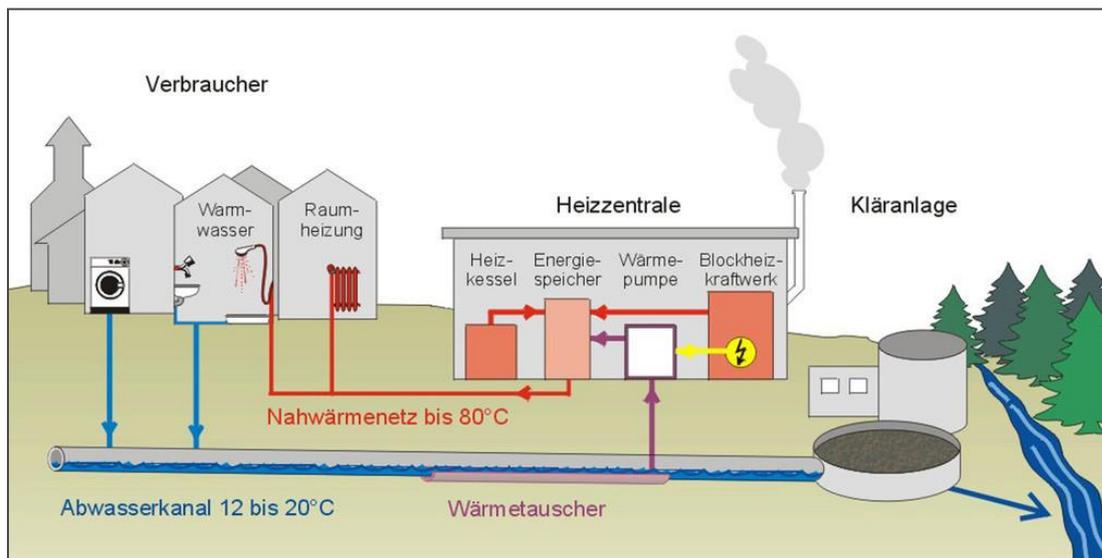


Abbildung 3-6: Nutzung von Abwasserwärme [www.um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/energieeffizienz/abwasserwaermenutzung/]

Unter Berücksichtigung der zwei grundlegenden Bedingungen, dass in einem Kanalisationsabschnitt ein genügendes Wärmeangebot für den Einsatz einer Wärmepumpe vorhanden und der Einbau von Wärmeübertragern 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.

3.2.6 Oberflächengewässer

In Oberflächengewässern, also Fließgewässer und Seen, sind enorme Mengen an Wärmeenergie gespeichert. Um dieses Potenzial zu nutzen, sind Wärmeübertrager 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). Grundlegend darf der Einsatz einer Flusswasserwärmepumpe, wie auch bei der Nutzung der oberflächennahen Geothermie, die Gewässereigenschaften nicht nachteilig verändern. Nach einer ersten Einordnung der verantwortlichen Verwaltungsabteilung ist eine nachteilige Veränderung des Wassers in den Kanälen von Bad Rappenau 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.

Ähnlich wie für den Einsatz von Abwasserwärmepumpen, besteht auch für die Nutzung von Oberflächengewässern eine Diskrepanz zwischen der zeitlichen Verfügbarkeit des Wärmeangebots und der Wärmenachfrage. Geringe Wassertemperaturen im Winter und die Gefahr möglicher Vereisungsprozesse können bei der Nutzung von Oberflächengewässern Betriebseinschränkungen der Wärmepumpe zur Folge haben.

3.2.7 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 9,3 TWh/a vorhanden ist. Abwärme fällt insbesondere in energieintensiven Industrie- und Gewerbebetrieben bei verschiedensten Prozessen an (vgl. Abbildung 3-7).

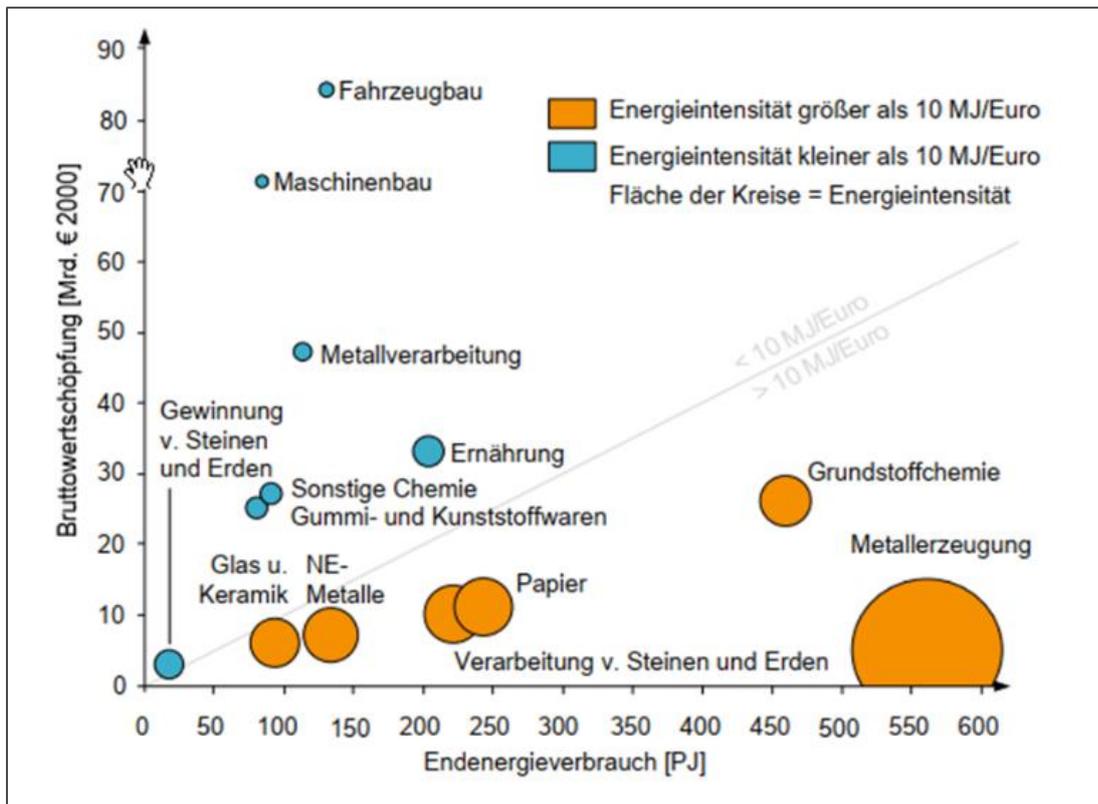


Abbildung 3-7: Energieintensität verschiedener Branchen [Hirtzel und Sonntag]

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. Je nach Rahmenbedingungen kann die Abwärme 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. 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.

In Abbildung 3-8 ist die Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit des Temperaturniveaus dargestellt. Abwärme kann beispielsweise zum Zweck der Wärmerückgewinnung innerhalb der Industrie direkt genutzt werden. Hierbei handelt es sich um den effizientesten und zugleich einfachsten technologischen Ansatz zur Abwärmenutzung. Die Abwärme wird über einen

Wärmeübertrager beispielsweise aus einem Abgasstrom ausgekoppelt und an ein anderes Medium übertragen. Das Wärmeträgermedium kann beispielsweise Heißwasser, Thermoöl, Dampf oder ein gasförmiges Fluid sein. Die übertragene Wärme wird über das Wärmeträgermedium zu vorhandenen Wärmesenken (z. B. Raumwärme- bzw. Trinkwasserwärmebedarfe) transportiert und dort weiter genutzt. Neben der direkten Nutzung der Abwärme vor Ort, kann sie auch über Wärmenetze zu den Verbrauchern transportiert werden.

Zudem lässt sich mit Abwärme auch die Kühlung oder Klimatisierung von Gebäuden oder Prozessschritten realisieren. Dazu wird die Wärme in einer Sorptionskälteanlage (Absorption- oder Adsorption) zur Erzeugung von Kaltwasser genutzt. Somit lässt sich Kälte aus herkömmlichen Kompressionskälteanlagen und deren Strombedarf substituieren.



Abbildung 3-8: Nutzung von industrieller und gewerblicher Abwärme in Abhängigkeit des Temperaturniveaus [dena]

In manchen Fällen muss das Temperaturniveau der Abwärme über Wärmepumpen angehoben werden, um sie nutzbar zu machen. Die Wärmepumpen können entweder mit elektrischem Strom (Kompressionswärmepumpen) oder Wärme auf einem hohen Temperaturniveau (Sorptionswärmepumpen) betrieben werden.

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.

3.2.8 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. Im besten Fall wird Überschussstrom aus erneuerbaren Energiequellen für PtH genutzt. PtH-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 eingesetzt. Mit einem Elektrodenheizkessel ist eine Erzeugung von Prozessdampf von bis zu 30 bar technisch möglich. Der so erzeugte Sattdampf kann mit einem nachgeschalteten Elektrodendurchlauferhitzer auf höhere Temperaturen überhitzt und damit auch höheren Anforderungen an die Dampferzeugung gerecht werden. In Abbildung 3-9 ist ein vereinfachtes Schema zur Betriebsweise eines Elektrodenheizkessels dargestellt. Aufgrund der kompakten Größe der Module ist ein Einsatz auch in dicht besiedelten Gebieten optimal, wo kurzfristig hohe Wärmemengen bereitgestellt werden müssen.

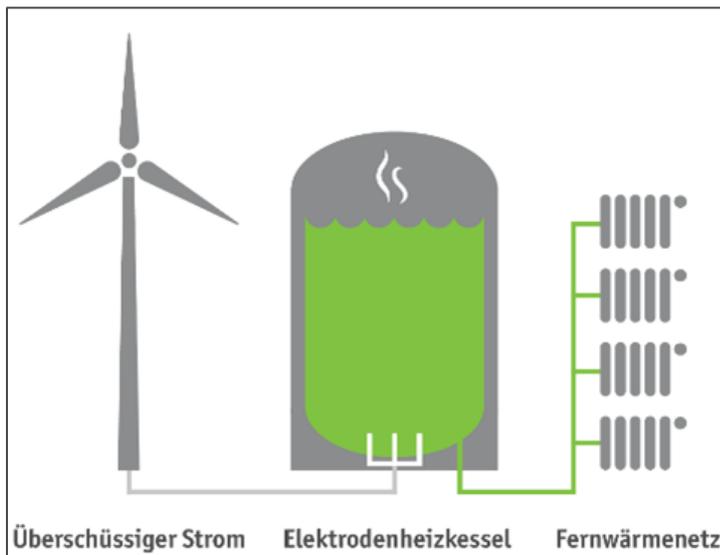


Abbildung 3-9: Funktionsweise Elektrodenheizkessel [Stadtwerke Flensburg]

3.2.9 Power-to-Gas

Neben PtH ist auch PtG eine wichtige Sektorkopplungstechnologie. PtG nutzt Umwandlungsprozesse, um unter Einsatz von Strom Gase wie z. B. Methan oder Wasserstoff zu erzeugen, die energetisch nutzbar sind. In Abbildung 3-10 ist das Prinzip von PtG dargestellt.

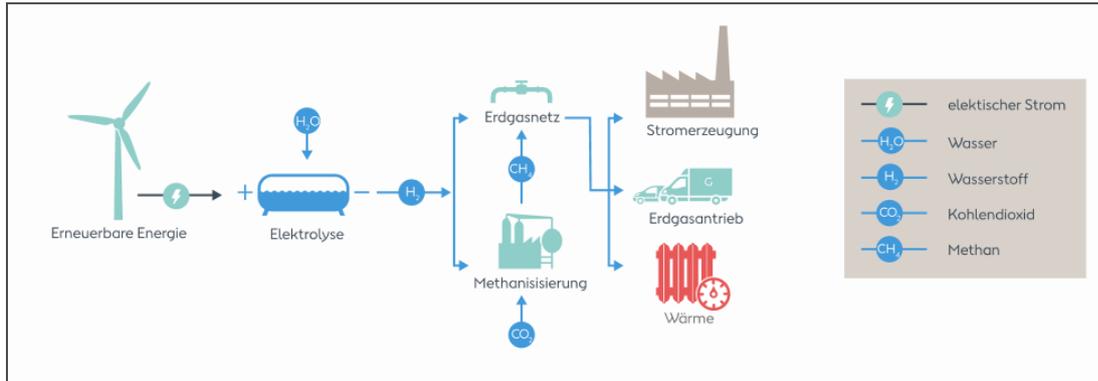


Abbildung 3-10: Das Prinzip von „Power-to-Gas“ [Fraunhofer Institut]

Die Erzeugung von Wasserstoff kann durch verschiedene Verfahren erfolgen, wobei die Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von erneuerbaren Energien eine der umweltfreundlichsten Methoden darstellt. Bei diesem Prozess wird Wasser (H₂O) mithilfe von elektrischem Strom in Wasserstoff (H₂) und Sauerstoff (O₂) aufgespalten. Dies ermöglicht die Produktion von sogenanntem "grünem Wasserstoff", der keine Treibhausgasemissionen verursacht. Es gibt jedoch auch andere Methoden, wie z. B. die Dampfreformierung von Erdgas, die zwar kostengünstiger, aber weniger umweltfreundlich ist, da hierbei CO₂ freigesetzt wird.

Wasserstoff kann auf verschiedene Weise für die Wärmewende eingesetzt werden. Einerseits kann er direkt als Brennstoff in Brennstoffzellenheizgeräten oder industriellen Brenner verwendet werden, um Wärme für Gebäude und industrielle Prozesse zu erzeugen. Andererseits dient Wasserstoff als Speichermedium, um überschüssige Energie aus erneuerbaren Quellen wie Wind- und Solarenergie zu speichern. Diese gespeicherte Energie kann dann bei Bedarf wieder in Wärme umgewandelt werden.

Eine weitere wichtige Rolle von Wasserstoff ist seine Fähigkeit, teilweise oder vollständig Erdgas in bestehenden Gasnetzen zu ersetzen. Dies kann entweder durch Beimischung von Wasserstoff zu Erdgas erfolgen oder durch die vollständige Umstellung von Gasnetzen auf Wasserstoff. Die Umstellung erfordert allerdings erhebliche Anpassungen an der Infrastruktur einschließlich der Umrüstung von Gasleitungen, Speichern und Endgeräten (H₂-Ready), um sie für Wasserstoff geeignet zu machen.

Die hohe Energiedichte von Wasserstoff macht diesen besonders attraktiv für industrielle Anwendungen, wo große Energiemengen erforderlich sind. Insbesondere in der Schwerindustrie, wie der Stahl- und Chemieindustrie, wird Prozesswärme auf einem hohen Temperaturniveau benötigt, das effektiv durch Wasserstoff bereitgestellt werden kann. Ebenso sind einige industrielle Prozesse schwer zu elektrifizieren oder mit direkten elektrischen Heizmethoden zu betreiben.

In privaten Haushalten sind die Energieeffizienz und die Kosten entscheidende Faktoren. Die Umwandlung von Elektrizität in Wasserstoff und anschließend in Wärme ist mit Energieverlusten verbunden. Direktelektrische Lösungen, wie z. B. Wärmepumpen, sind oft die effizientere und kostengünstigere Lösung für die Raumheizung und Warmwasserbereitung im Wohngebäudebereich. In Abbildung 3-11

ist der Strombedarf von verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von einer Kilowattstunde Raumwärme und Trinkwarmwasser über den Jahresdurchschnitt dargestellt. Um eine Kilowattstunde thermische Energie für Raumwärme und Trinkwarmwasser bereitzustellen, wird für einen mit Wasserstoff betriebenen Gasbrennwertkessel die 1,6-fache Menge an elektrischer Energie benötigt. Im Vergleich zu Wärmepumpen ergibt sich somit ein um das Fünffache bzw. Achtfache höherer Stromeinsatz (in Abhängigkeit der JAZ).

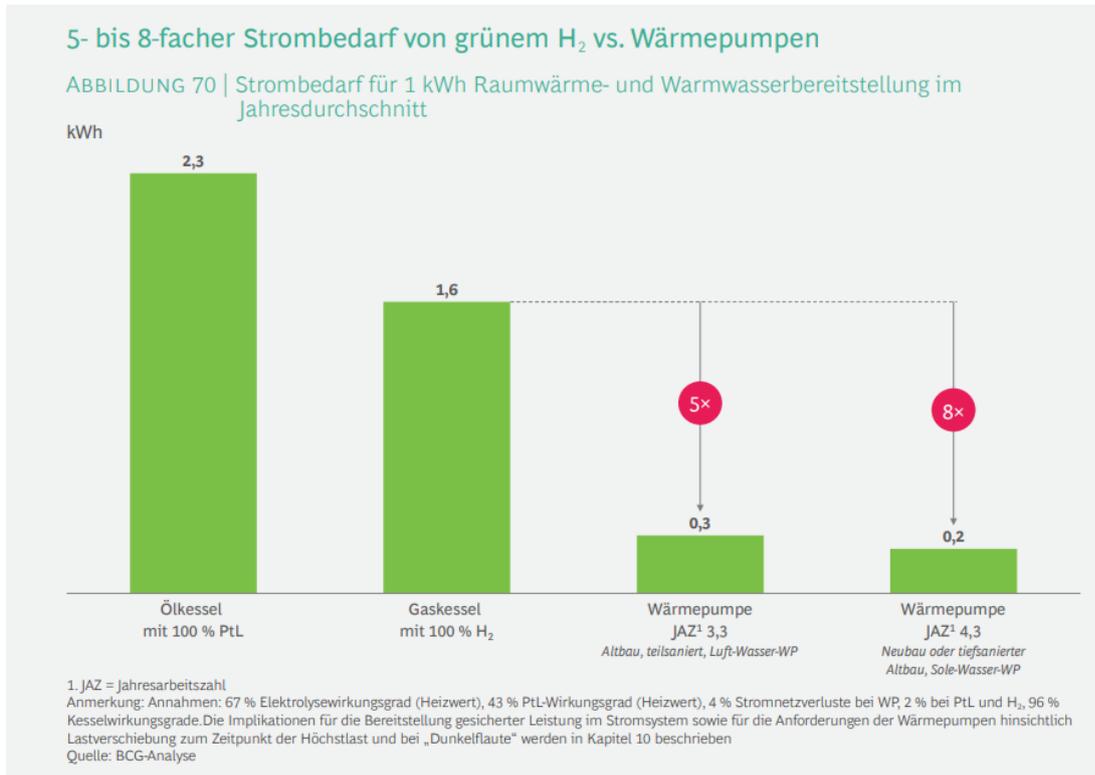


Abbildung 3-11: Strombedarf von verschiedenen Technologien zur Bereitstellung von 1 kWh Raumwärme und Trinkwarmwasser im Jahresdurchschnitt [BDI, 2021]

Obwohl Wasserstoff das Potenzial hat, in bestimmten Nischenanwendungen auch in privaten Haushalten eingesetzt zu werden, etwa in Brennstoffzellenfahrzeugen oder als Teil von Energiegemeinschaften, liegt der Schwerpunkt seiner Nutzung voraussichtlich in der Industrie.

Darüber hinaus kann Wasserstoff für die Synthetisierung von CO₂ zu Methan und Wasser 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.

Der Energiegehalt von synthetischem Methan über den Zwischenprozess der Elektrolyse beträgt 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.

3.2.10 All Electric

„All Electric“ steht für ein Energieversorgungssystem, bei dem regenerativ erzeugter Strom die zentrale Energieform darstellt und darüber die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität gekoppelt werden. 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.

3.3 STROMERZEUGUNGSTECHNOLOGIEN

3.3.1 Windkraftanlagen

Windkraftanlagen (WKA) sind eine Schlüsselkomponente in der Palette der erneuerbaren Energietechnologien und nutzen die kinetische Energie des Windes zur Stromerzeugung. WKA nutzen Rotorblätter, deren aerodynamische Form für die effektive Umsetzung der Windenergie in mechanische Rotationsenergie entscheidend ist. An die Rotorblätter ist die Nabe angebracht, welche die Drehbewegung an das Getriebe weiterleitet. Dieses erhöht die Drehzahl und überträgt die Energie an den Generator, das Herzstück der Anlage, das die mechanische Energie in elektrischen Strom umwandelt. Der erzeugte Strom wird anschließend in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Die Effizienz einer WKA hängt stark von der Windgeschwindigkeit ab, wobei moderne Anlagen bereits bei geringen Windgeschwindigkeiten Strom erzeugen können. Um maximale Energie zu erzielen, sind die meisten Anlagen mit einem Windrichtungsnachführungssystem ausgestattet, das sicherstellt, dass die Rotorblätter stets optimal zum Wind ausgerichtet sind. Einige Anlagen verfügen auch über eine Blattwinkelverstellung, um die Effizienz bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten zu maximieren.

Es wird zwischen Offshore-Windkraftanlagen auf See und Onshore-Anlagen an Land unterschieden. Onshore-Windkraftanlagen sind weit verbreitet und tragen wesentlich zur Stromerzeugung bei. Sie können in ländlichen oder abgelegenen Gebieten installiert werden, wo sie oft in Form von Windparks gruppiert sind. Darüber hinaus gibt es noch Sonderformen von Windkraftanlagen wie z. B. vertikale Anlagen (Darrius-Rotoren) oder Kleinwindkraftanlagen, welche auf Gebäudedächern platziert werden können.

3.3.2 Photovoltaik

PV-Anlagen nutzen die Sonnenenergie zur direkten Umwandlung in elektrische Energie. Diese Anlagen bestehen aus Photovoltaikmodulen, die Solarzellen enthalten, welche das Sonnenlicht mittels des photovoltaischen Effekts in Strom umwandeln. Die Solarzellen, meist aus Silizium, erzeugen bei Sonneneinstrahlung eine elektrische Spannung und somit einen Stromfluss.

Grundsätzlich werden PV-Anlagen in zwei Aufstellungsbereiche untergliedert: Freiflächenanlagen und Gebäudeanlagen. Freiflächenanlagen, oft auf ungenutzten Flächen wie Feldern oder Industriebrachen errichtet, ermöglichen eine großflächige Stromerzeugung und sind in der Regel auf maximale Sonneneinstrahlung ausgerichtet. Gebäudeanlagen hingegen werden auf den Dächern oder an Fassaden von Wohn- oder Geschäftsgebäuden installiert und bieten den Vorteil direkt zur Stromversorgung des Gebäudes beizutragen.

Die technische Effizienz von PV-Anlagen hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die Ausrichtung der Module zur Sonne und die Intensität der Sonneneinstrahlung. Moderne PV-Anlagen sind zunehmend effizienter und langlebiger, was sie zu einer immer attraktiveren Option für die umweltfreundliche Stromerzeugung macht.

Die Integration von Batteriespeichersystemen in dieses System, kann dessen Effizienz erheblich steigern. Insbesondere im Bereich der Dachflächenanlagen gewinnen dezentrale Speichersysteme zunehmend an Bedeutung. Die Speicher sind in der Lage, den während sonnenreichen Stunden erzeugten Strom zu konservieren, der anschließend zu Zeiten geringerer Sonneneinstrahlung oder in der Nacht genutzt werden kann. Dies führt zu einer deutlichen Erhöhung der Selbstversorgungsquote.

4 Potenzialanalyse

Im Rahmen der Potenzialanalyse werden verschiedene Möglichkeiten zur Endenergieeinsparung und Potenziale zur Nutzung von erneuerbaren Energien im Bereich der Wärmeversorgung aufgezeigt und bewertet. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind die Grundlage für die zwei in Kapitel 5 aufgestellten Szenarien zur zukünftigen Wärmeversorgung in Bad Rappenau.

Nachfolgend werden die Potenziale für regenerative Energien sowie für die energetische Sanierung von Wohngebäuden und kommunalen Gebäuden dargestellt. Dabei stellen die Potenziale theoretische Maximalwerte dar, deren Umsetzbarkeit im Einzelfall zu prüfen und weiter zu konkretisieren ist.

Für die Ermittlung der Potenziale für Dachflächen- und Freiflächen-PV, Solarthermie, Wasserkraft, Windkraft, Biomasse, Agri-PV sowie Geothermie- und Abwärme wurden Daten des Energieatlas Baden-Württemberg [LUBW, 2023] sowie des Statistischen Landesamt Baden-Württemberg [Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023] herangezogen.

Die ermittelten Potenziale werden in den nachfolgenden Unterabschnitten näher erläutert. Des Weiteren wird für die dazugehörigen grafischen Darstellungen der Potenzialflächen aus der Potenzialanalyse auf das Statistische Landesamt (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2023) verwiesen.

4.1 ENERGETISCHE GEBÄUDESANIERUNG

Das größte Potenzial zur Einsparung von Endenergie innerhalb der Wärmeversorgung bietet die Sanierung der Gebäudehülle. Zur Abschätzung der Höhe des Einsparpotenzials wurde zunächst ermittelt, welche Anzahl welchen Gebäudetyps im Stadtgebiet vorzufinden ist. Dies konnte den Zensusdaten der Stadt entnommen werden. Darin wurden knapp 5.200 Gebäude erfasst. Die erfassten Gebäude wurden den Gebäudetypen Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH) und großes Mehrfamilienhaus (GMH) zugeteilt. Zusätzlich wurde aus dem Datensatz die Altersstruktur des Gebäudebestandes ermittelt.

In Abbildung 4-1 ist die Verteilung der Gebäudetypen dargestellt. In Bad Rappenau überwiegen Einfamilienhäuser deutlich und machen knapp 60 % aller Gebäude aus. GMF machen nur ca. fünf Prozent der Gebäude aus. Die restlichen Wohngebäude lassen sich den MFH zuordnen.

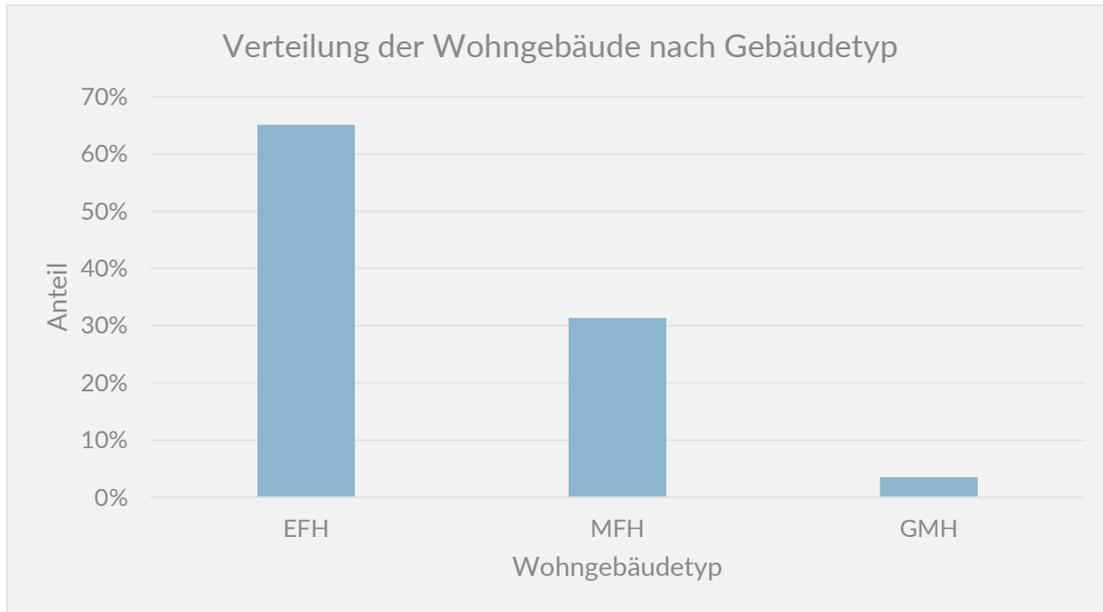


Abbildung 4-1: Prozentualer Anteil der Gebäudetypen - Stadtgebiet Bad Rappenau

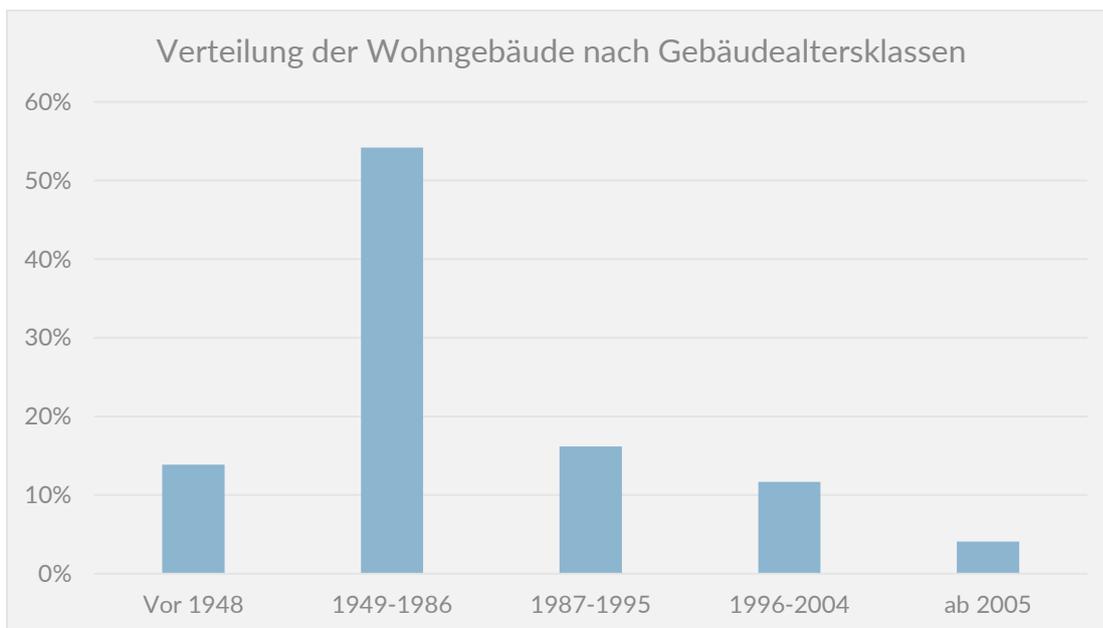


Abbildung 4-2: Altersstruktur der Wohngebäude - Stadtgebiet Bad Rappenau

Ein Teil der Gebäude in Bad Rappenau wurde vor Einführen der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahr 1978 errichtet. Ein hoher Anteil an Gebäuden mit Baujahr vor 1978 lässt in der Regel auf ein hohes Energieeinsparpotenzial im privaten Sektor durch Sanierung schließen.

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 GMH wurden der Gebäudeklasse der MFH zugeordnet.

Zur Bewertung des Einsparpotenzials sind die Referenzgebäudetypen aus der IWU-Gebäudetypologie mit einer Sanierung auf den Standard Effizienzhaus 55 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 4-1: Mittlere Einsparung nach Gebäudekategorie

Gebäudekategorie	Mittlere Endenergieeinsparung (Altersklassen gewichtet)
Einfamilienhaus	52 %
Mehrfamilienhaus	41 %
(Großes) Mehrfamilienhaus	41 %
Einsparpotenzial (gewichtet)	44 %

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

Tabelle 4-2: 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	

Es wird somit in der folgenden Szenarienentwicklung davon ausgegangen, dass der Endenergiebedarf zur Wärmebereitstellung durch eine Sanierung aller Gebäude um 44 % gesenkt werden kann. Ein Heizungstausch ist aufgrund der Bedarfsänderung sinnvollerweise nach einer Sanierung durchzuführen. Dabei ist zu beachten, dass Gebäude, die vor der Datenerhebung saniert wurden, im Jahr 0 in den Gesamtverbrauch einfließen.

Um die berechnete Einsparung von 44 % des Wärmeenergiebedarfs durch Sanierung bis 2040 zu erzielen, müssten 5 % der Gebäudehüllen pro Jahr saniert werden. Abbildung 4-3 stellt die möglichen Einsparungen bei jährlichen Sanierungsraten von 1 – 5 % im Zieljahr 2040 dar.

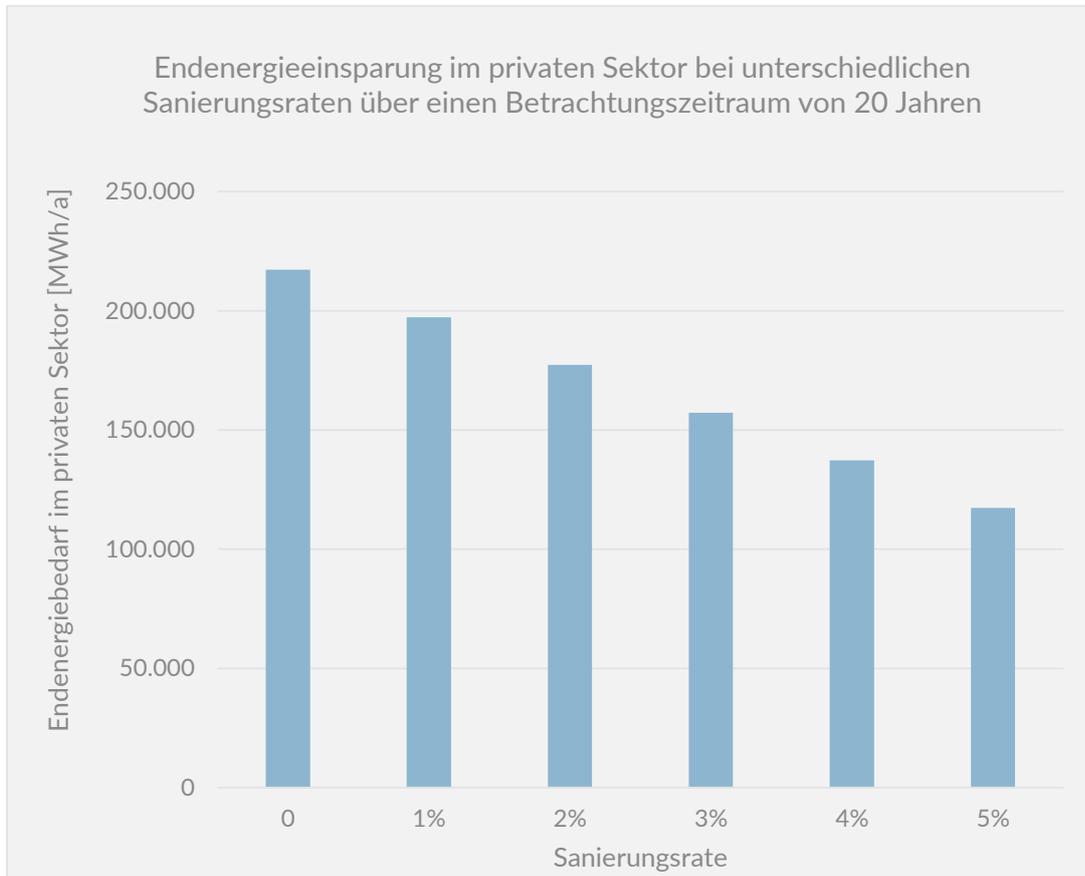


Abbildung 4-3: mögliche Einsparungen bei Erreichung verschiedener jährlicher Sanierungsraten, bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahre

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.

In Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 sind die voraussichtlichen absolute Wärmebedarfe für die Jahre 2030 und 2040 auf Baublockebene abgebildet. Die Reduktion des Endenergiebedarfs ist auf Grundlage von statistischen Werten zu Sanierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden errechnet.

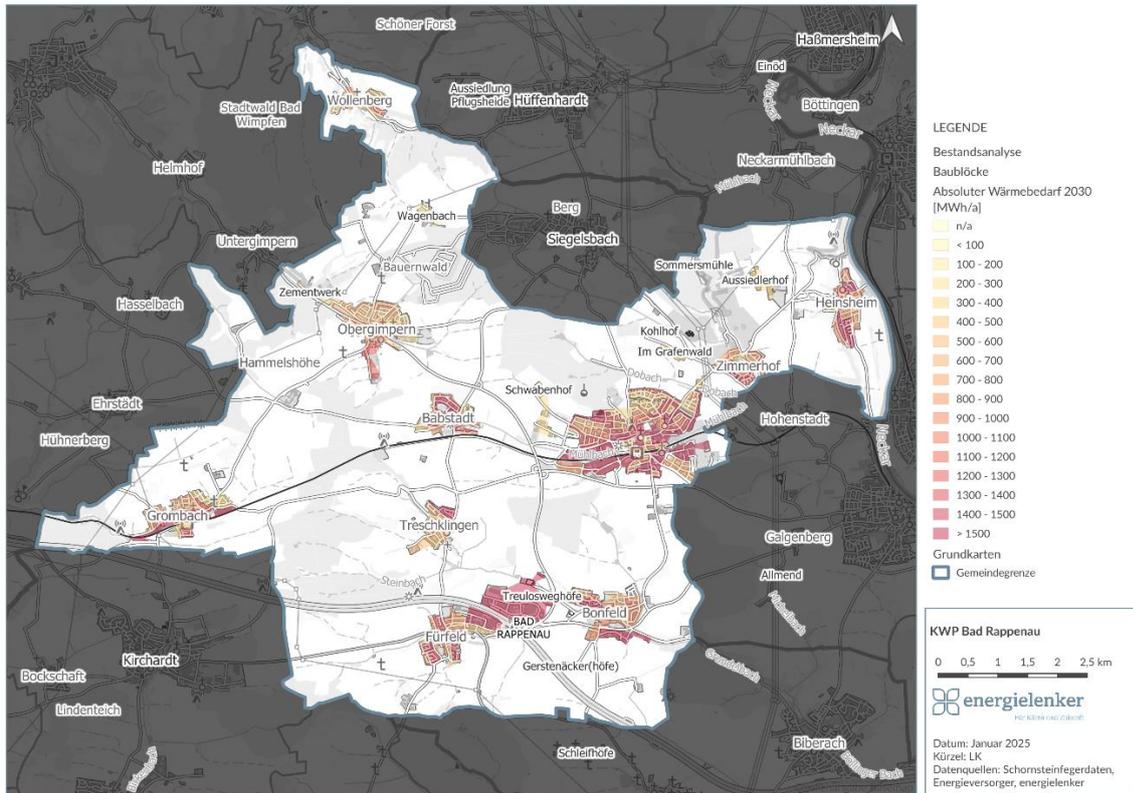


Abbildung 4-4 Absoluter Wärmebedarf auf Baublöckebeine im Jahr 2030

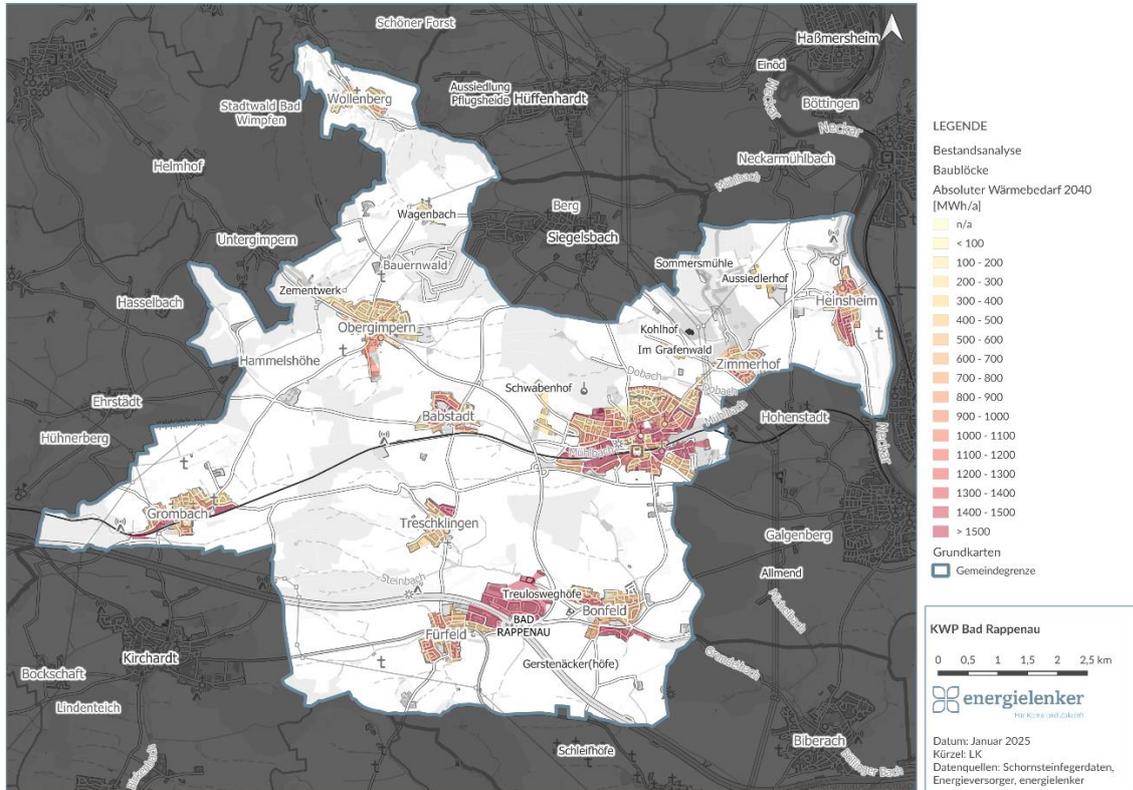


Abbildung 4-5 Absoluter Wärmebedarf auf Baublöckebeine im Jahr 2040

4.2 WIRTSCHAFT

Energieeffizienzpotenziale im Wirtschaftssektor können im Bereich der Querschnittstechnologien erzielt werden. Unter Querschnittstechnologien werden Technologien zusammengefasst, die sich nicht auf eine bestimmte Branche beschränken, sondern über mehrere hinweg Anwendung finden wie Lüftungsanlagen, Beleuchtungstechnologien, Druckluftsysteme, Elektroantriebe (Pumpen), Kälte- und Kühlwasseranlagen oder auch die Wärmeversorgung von Räumen.

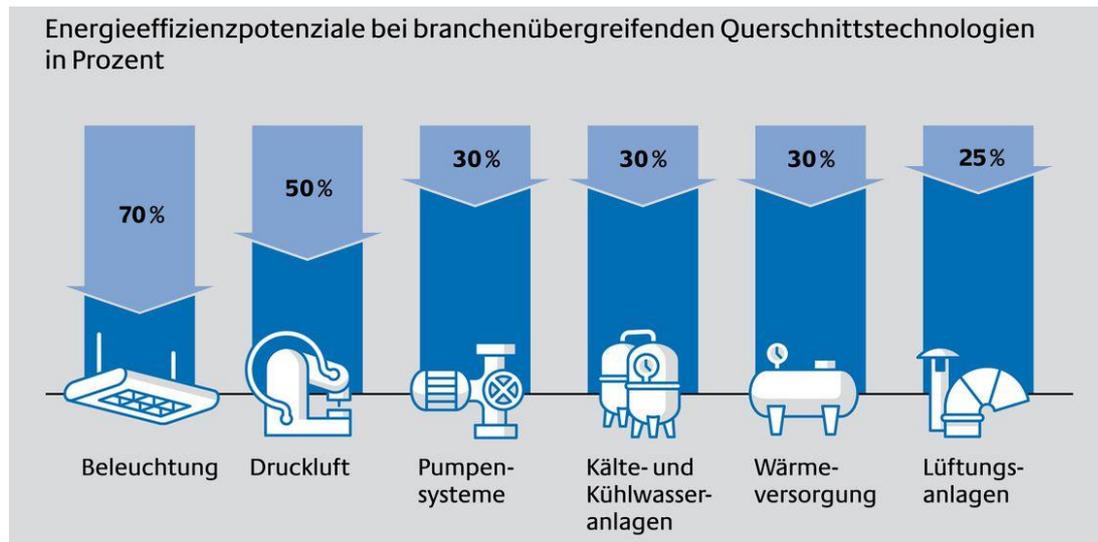


Abbildung 4-6: Energie und Kosten Sparen in Industrie und Gewerbe (Initiative EnergieEffizienz, Deutsche Energie-Agentur GmbH(dena))

Die Einsparpotenziale im Bereich des Wirtschaftssektors bzw. dem Kleingewerbe werden nach den Bereichen Industrie und Gewerbe, sowie Handel und Dienstleistungen (GHD) unterschieden. Im industriellen Bereich liegen die Einsparpotenziale vor allem im effizienteren Umgang mit Prozesswärme (Brennstoffe) und mechanischer Energie (Strom), im GHD-Sektor wird ein großer Teil der Energie zur Bereitstellung von Raumwärme sowie zur Beleuchtung und Kommunikation eingesetzt. Die Stadt Bad Rappenau verfügt über eine vielfältige Wirtschaftsstruktur, die von zahlreichen kleinen und mittelständischen Betrieben sowie viel Handwerk geprägt ist. Ein Beispiel dafür ist die Losberger De Boer Holding GmbH, ein international führender Anbieter von temporären Raumlösungen wie Zeltkonstruktionen. Weitere bedeutende Unternehmen sind die Vulpius Klinik GmbH, spezialisiert auf orthopädisch-chirurgische Eingriffe, und die Mann & Schröder GmbH, ein Hersteller von Kosmetik- und Pflegeprodukten. Die Stadt bietet darüber hinaus umfassende Unterstützung für Unternehmen, um optimale Standortbedingungen zu gewährleisten. Auch das Freizeitangebot in Bad Rappenau ist vielfältig und umfasst zahlreiche Sport- und Erholungsmöglichkeiten, die zur hohen Lebensqualität beitragen. Die enge Verflechtung dieser Betriebe mit den privaten Haushalten erschwert eine isolierte Analyse möglicher Einsparpotenziale im Bereich der Energieeffizienz und Ressourcennutzung.

Bei der Analyse wurde Einsparpotenziale, die im Bereich der Querschnittstechnologie erfasst und prognostiziert werden können, entsprechend berücksichtigt (vgl. Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5).

Die Gemeindeverwaltung kann – außer Information und Sensibilisierung von Unternehmen für das Thema Klimaschutz – nur wenig Einfluss auf die Energieverbrauchsentwicklungen im Wirtschaftssektor nehmen. Die Rahmenbedingungen werden vorwiegend auf europäischer und nationaler Ebene vorgegeben und liegen zumeist außerhalb des Steuerungsbereiches einzelner Kommunen.

4.3 SOLARENERGIE

Die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) hat ein onlinebasiertes Solarpotenzialkataster erstellt. Das Kataster gibt an, welche Dach- und Freiflächen in Baden-Württemberg für PV und Solarthermie geeignet sind. Demnach können erste gebäudescharfe Informationen zum standortspezifischen Solarpotenzial bereitgestellt werden, die auf einem automatisierten Verfahren basieren. Die Karten dienen dabei zur groben Übersicht und teilen das Solarpotenzial der Dachflächen in vier Ertragskategorien ein. Die Kategorien betiteln „sehr gut“, „gut“, „bedingt“ geeignete und noch durch ein Fachunternehmen „zu prüfende“ Dachflächen. Die Potenzialanalyse des Katasters bezieht sich auf Standortfaktoren wie Dachneigung, Gebäudeausrichtung, Verschattung sowie die lokalen Einstrahlungsdaten.

Gebäudeeigentümern wird jedoch im Rahmen konkreter Absichten zur Installation einer Anlage das Hinzuziehen 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 Bad Rappenau herangezogen werden.

Nachfolgend wird das Potenzial der Sonnenenergie in Dachflächen- und Freiflächen-PV-Anlagen, Agri-PV sowie Solarthermie unterteilt dargestellt.

Dachflächenphotovoltaik

Im Rahmen der Potenzialanalyse stammt die Datengrundlage zur Ermittlung der Solarpotenziale auf Dachflächen aus dem Energieatlas Baden-Württemberg. Dabei wurde ein Belegungsszenario bestimmt, welches eine gleichzeitige Betrachtung von PV und Solarthermie vorsieht (Geschäftsstelle Klimaschutz, 2022).

Resultierend aus der Potenzialanalyse ist gemäß der Flächenverfügbarkeit der Stadt Bad Rappenau ein Gesamtstromertrag von 253.380 MWh/a möglich.

Abbildung 4-7 zeigt einen Ausschnitt der Stadt Bad Rappenau (Stadtverwaltung und Stadtkirche). Dabei handelt es sich um einen Auszug aus dem Energieatlas Baden-Württemberg (LUBW, 2023). Verzeichnet sind, entsprechend der dargestellten Legende, die Potenziale für PV-Dachflächenanlagen.



Eignungsklassen (unter Vorbehalt)

■ Sehr gut
 ■ Gut
 ■ Bedingt
 ■ Vor Ort zu prüfen

Abbildung 4-7: 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 Freiflächen-PV. 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).

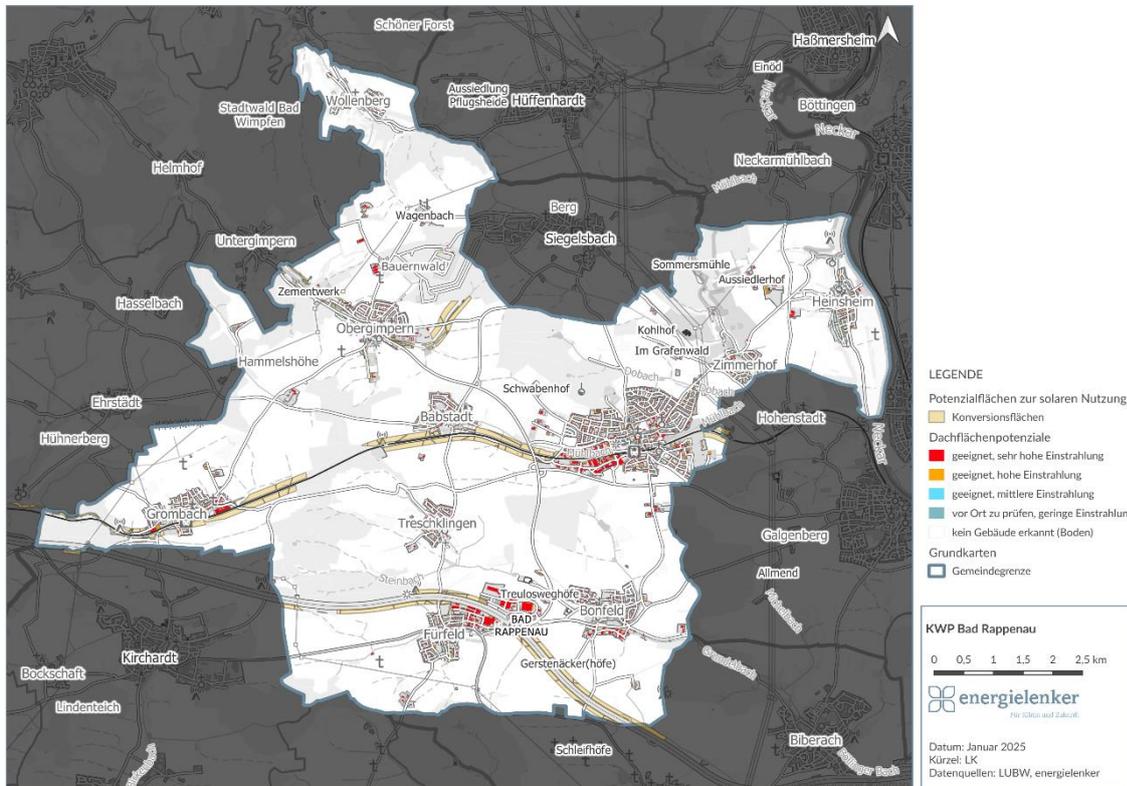
Die Flächen entlang der Autobahnen und Schienenwege eignen sich vor allem deshalb, da das Landschaftsbild bereits vorbelastet ist, es kaum Nutzungskonkurrenz gibt und die Flächen häufig geböscht sind, sodass die Module je nach Himmelsrichtung in einem günstigen Neigungswinkel stehen und daher mit weniger 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, Biotope, Naturdenkmale, FFH-Gebiete, Wasserschutzgebiete (Zone I + II), Überschwemmungsgebiete und Vogelschutzgebiete.

Bei der Erhebung des Freiflächen-PV Potenzials wurden rechtliche Rahmenbedingungen berücksichtigt und nur die Freiflächen, die sich über die Standortkriterien des EEG entlang von Autobahnen und Schienenwegen (Seitenrandstreifen), Konversionsflächen (bspw. ehemals Tagebau, Abfalldeponie) sowie landwirtschaftlich benachteiligte Gebiete (ausgewiesene Flächenkulisse Ackerland, Grünland) betrachtet. Gemäß der Potenzialanalyse für die Stadt Bad Rappenau beträgt das Gesamtpotenzial an Stromerzeugung auf Freiflächen insgesamt rund 26.320 MWh/a.

Weiterhin ist an dieser Stelle anzumerken, dass in den hier genannten Potenzialen ausschließlich Konversions- und benachteiligte Freiflächen Berücksichtigung finden. Selbstverständlich sind Freiflächenanlagen auch auf anderen Flurstücken möglich, womit sich das Maximalpotenzial noch weiter steigern würde. Das so zusätzliche, mögliche Potenzial gilt es mit Einzelanalysen zu überprüfen. 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-PV sein, die im nachfolgenden Abschnitt erläutert wird.



Agri-PV

Neben herkömmlichen PV-Freiflächenanlagen können auch PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen installiert werden. Diese sogenannte Agri-PV bezeichnet damit ein Verfahren zur gleichzeitigen Nutzung von Flächen für die Landwirtschaft und die Solarstromproduktion. Damit steigert Agri-PV die Flächeneffizienz und ermöglicht den Ausbau der PV-Leistung bei gleichzeitigem Erhalt fruchtbarer Acker- oder Weideflächen für die Landwirtschaft.

Agri-PV-Systeme lassen sich als bodennahe (landwirtschaftlicher Betrieb zwischen den PV-Modulen) und hoch aufgeständerte Anlagen (mindestens 2,1 m Höhe, landwirtschaftlicher Betrieb unter den PV-Modulen) realisieren. Der Flächenbedarf von hoch aufgeständerten Agri-PV-Systemen liegt im Normalfall 20-40 % über dem von herkömmlichen Freiflächenanlagen (12 m²/kWp (Fraunhofer ISE, 2022)). Daraus ergibt sich ein gemittelter Flächenfaktor von 1,3. Der Flächenbedarf von bodennahen Agri-PV-Systemen ist etwa drei Mal so hoch wie bei PV-Freiflächenanlagen, woraus ein Flächenfaktor von 3,0 resultiert (Fraunhofer ISE, 2022).

Im Jahr 2020 beträgt die Größe der landwirtschaftlichen Flächen in der Stadt Bad Rappenau laut statistischem Landesamt Baden-Württemberg 45.540.000 m².

Es ergeben sich die in der Tabelle 4-3 aufgeführten Maximalpotenziale für bodennahe und hoch aufgeständerte Agri-PV-Anlagen mit einem Stromertrag von insgesamt 1.179.688 MWh/a. Bei der Ermittlung des vorgeschlagenen Ausbauziels wurden nur geeignete Flächen (Brache, Grünland und Fruchtarten, die im Vergleich zu Referenzflächen ohne Agri-PV in trockeneren und heißeren Jahren mit Agri-PV höhere oder zumindest nur marginal niedrigere Erträge erzielen) berücksichtigt. Daher reduziert sich die nutzbare Fläche auf 13.894.000 m². Da auf landwirtschaftlich genutzten Flächen jeweils lediglich eine der beiden Anlagenarten installiert werden kann, sind die Potenziale alleinstehend zu betrachten und können nicht addiert werden. Die Angaben zur Fläche beziehen sich zudem lediglich - wie bereits erwähnt - auf statistische Werte des Energieatlas Baden-Württemberg. Somit sind der Anlagenstandort und die Anlagenart, welche tatsächlich installiert werden kann, im Einzelfall zu überprüfen.

Tabelle 4-3: Agri-PV Potenziale

Agri-PV-Anlagenart	Fläche [m ²]	Flächenfaktor	Stromertrag [MWh/a]
Bodennah	13.894.000	3,0	184.648
Hoch aufgeständert		1,3	995.040

Agri-PV-Anlagen sind derzeit tendenziell teurer als die konventionellen Freiflächenanlagen, welche im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden. Gleichzeitig kann bei diesen weniger Leistung pro Fläche installiert werden. Dies führt zu höheren Stromgestehungskosten bei Agri-PV. Zudem werden für die Montagesysteme Flächenanteile benötigt, welche die verfügbare landwirtschaftliche Nutzung reduzieren. Diese nicht mehr landwirtschaftlich nutzbaren Flächenanteile machen je nach Anlagendesign 8 % bis 15 % Fläche der Anlage aus (Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe TFZ, 2021). Die Technologie ist deshalb bislang noch nicht weit verbreitet und mögliche Ausbauraten können somit nur schwer abgeschätzt werden. Für die Stadt Bad Rappenau ergibt sich außerdem die Problematik, dass die landwirtschaftlichen Flächen nicht im direkten Einflussbereich der Stadtverwaltung liegen. Die Errichtung der PV-Module muss deshalb immer einzelfallspezifisch gemeinsam mit den Landwirt:innen geplant und umgesetzt werden.

Doch bringt die Technologie auch weitreichende Vorteile mit sich. Wie einleitend schon dargestellt wurde, erhöht sich bei einer gleichzeitigen Nutzung der Flächen für die Landwirtschaft und für die Solarstromproduktion die Landnutzungseffizienz insgesamt erheblich. Wird der Solarstrom direkt vor Ort gespeichert und genutzt, ergeben sich für die landwirtschaftlichen Betriebe Energiekostensparnisse oder sogar eine weitere Einkommensquelle durch die Einspeisung des überschüssigen Stroms.

Solarthermie

Neben der Stromerzeugung ist die Sonnenenergie in privaten Haushalten 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 PV-Anlagen. 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 PV 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 PV-Anlagen gegenüber Solarthermieanlagen zu priorisieren.

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

Unter der Berücksichtigung des Belegungsszenarios für Dachflächen ergibt sich eine theoretisch maximal erzeugbare Wärmemenge in Höhe von jährlich rund 34.740 MWh/a für die Stadt Bad Rappenau.

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 Infrastrukturf lächen, 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.

<i>Technologie</i>	<i>Installierbare Modulfläche</i>	<i>Möglicher Wärmeertrag</i>
Solarthermie Freifläche	215.856 m ²	97.985 MWh/a
Mobilisierungsfaktor 30 %	64.757 m ²	29.396 MWh/a

4.4 WASSERKRAFT

Wasserkraft gilt als stetige Energiequelle. Durch das Aufstauen von Wasser mit einem Wehr kann die Energie kurzfristig gespeichert werden. Aufgrund der langen Einsatzzeit von Wasserkraft-Anlagen von ca. 100 Jahren sind diese besonders kostengünstig in der Energieproduktion. Es werden in der Schweiz ca. 60 % des gesamten Strombedarfs aus Wasserkraft erzeugt. Auf der ganzen Welt sind es ca. 15 % des erzeugten Stroms. Deutschland erreicht nur 3 % aus 7.000 Kleinanlagen, die sich vor allem in der Hand von kleinen Unternehmen und Privatpersonen befinden.

Die technischen Entwicklungen und die Modernisierung von Wasserkraftanlagen bringen erhebliche Leistungssteigerungen für alte Anlagen mit sich. Dabei gilt, dass die erzeugte Energiemenge linear zur Fallhöhe und zur Durchflussmenge steigt. Für geringe Fallhöhen und kleine Leistungen werden sogenannte Wasserkraftschnecken (Turbinen) eingesetzt. Aktuell erschweren die europäische Wasserrahmenrichtlinie und nationale Gesetze den Neubau von Wasserkraftanlagen. Grund dafür sind vor allem naturschutzfachliche Belange, die dem Neubau entgegenstehen. Bei der Modernisierung der bestehenden Anlagen ist darauf zu achten, dass alle natur- und artenschutzrechtlichen Bestimmungen eingehalten werden. In Fließgewässern muss vor allem die Durchgängigkeit für Fische und Kleinlebewesen gewährleistet sein.

Für die Stadt Bad Rappenau konnte kein Potenzial zum Ausbau von Wasserkraft gefunden werden.

4.5 WINDENERGIE

Für den Energieträger Windenergie wird der Energieatlas Baden-Württemberg als Grundlage für die Ermittlung der Windkraftpotenziale genutzt. Nach Berücksichtigung verschiedener Kriterien ergab sich laut dem Energieatlas für die Stadt Bad Rappenau ein Windenergiepotenzial von 665.425 MWh/a (LUBW, 2023).

Basierend auf der Gesamtfläche für Windkraftanlagen von ca. 1.083 ha. und einer typischen Anzahl von 1.800 Volllaststunden (Statista, 2024) ergibt sich ein Potential von 665.425 MWh/a. Diese Energiemengen können rund 66 Windkraftanlagen, mit einer kumulierten Leistung von ca. 370 MW, realisieren. Das führt zu einem flächenbezogenen Ertrag von etwa 0,34 MWh/ha.

Es gilt jedoch anzumerken, dass diese Ertragsprognosen auf theoretischen Hochrechnungen basieren. Hier müssen die erforderlichen Abschaltzeiten sowie die Windverteilung an den unterschiedlichen Standorten berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind die politischen Rahmenbedingungen, wie z. B. die Abstandsregeln oder die EEG-Vergütung im Hinblick auf die Anlagenentwicklung nicht endgültig abschätzbar. Die aktuelle politische Lage suggeriert jedoch eine zukünftige Vereinfachung der Genehmigungsverfahren.

4.6 BIOMASSE

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.

Als Biomasse werden in diesem Kontext die zur Herstellung von Bioenergie verwendeten Rohstoffe bezeichnet. Diese Rohstoffe entstammen primär der Land-, Forst- und Abfallwirtschaft. Diesbezüglich ist zwischen holzartiger Biomasse, Energiepflanzen, Wirtschaftsdünger aus der Landwirtschaft und biogenen Rest- und Abfallstoffen zu unterscheiden. Bioenergie kann in den Energieformen fest, flüssig und gasförmig genutzt werden. Typisch für feste Biomasse sind verschiedenste Holzbrennstoffe (u. a. Scheitholz, Holzhackschnittel oder Holzpellets). Flüssige Bioenergien sind vor allem Biokraftstoffe wie Pflanzenöl, Biodiesel oder Bioethanol. Als gasförmige Bioenergie ist Biogas zu nennen.

Biomasse ist allerdings mit Abstand die flächenintensivste unter den erneuerbaren Energien. Die Energieerträge aus verschiedenen Substraten variieren dabei zum Teil stark. Zudem gibt es Konflikte bei der Nutzung von Biomasse als Energielieferant. Hier ist beispielsweise die „Teller oder Tank“-Debatte zu nennen, in der kritisiert wird, dass Biomasse nicht primär zur energetischen Nutzung angebaut, sondern eher auf Reststoffe zurückgegriffen werden sollte. Zukünftig wird vor allem die verstärkte stoffliche Nutzung von Biomasse, beispielsweise zur Herstellung von Biokunststoffen, gegen den Einsatz dieser zur Energiegewinnung sprechen.

Bei der Erhebung der Biomassepotenziale wurden die Bereiche Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Landschaftspflege und Siedlungsabfälle betrachtet (Geschäftsstelle Klimaschutz, 2022). Der daraus hervorgehende potenzielle Wärmeertrag mit dem Ausbaustand 2020 für Biomasse aus Festbrennstoffen und KWK (Kraft-Wärme-Kopplung) beträgt für die Stadt Bad Rappenau demnach rund 22.173 MWh/a.

4.7 GEOTHERMIE

Die in der Erde gespeicherte Wärme kann zur Wärmeversorgung der Gebäude in der Stadt Bad Rappenau genutzt werden. Grundsätzlich wird zwischen oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie unterschieden (siehe Kapitel 3.2.4).

Nachfolgend werden die Potenziale für die Nutzung von Erdwärme in Bad Rappenau dargestellt. Hierbei lässt sich die grundsätzliche Eignung einzelner Standorte für die Nutzung von Erdwärmekollektoren und -sonden für die Stadt Bad Rappenau auf der Webseite des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (<https://maps.lgrb-bw.de/>) ermitteln. Bzgl. der folgenden Ausführungen muss im Vorhinein betont werden, dass es sich lediglich um eine grobe Erfassung handelt, die der Orientierung dienen soll. Sie ersetzen keine spezifische Standortbeurteilung, die im Falle konkreter Umsetzungsplanungen auf jeden Fall zusätzlich erfolgen muss.

Des Weiteren sind die Potenziale nicht grundsätzlich addierbar. Die angegebenen Potenzialflächen von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren konkurrieren in der Regel.

Erdwärmekollektoren

Wie in Abbildung 4-8 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 wird die Siedlungsfläche der Stadt Bad Rappenau herangezogen. Dabei wird angenommen, dass die geothermische Wärme in einem Umkreis von 1.000 Metern um das Siedlungsgebiet genutzt werden kann. Zudem wird von uns ein Mobilisierungsfaktor von 30 % angenommen. Dieser Faktor beschreibt wieviel der technisch zur Verfügung stehenden Fläche praktisch genutzt werden kann.

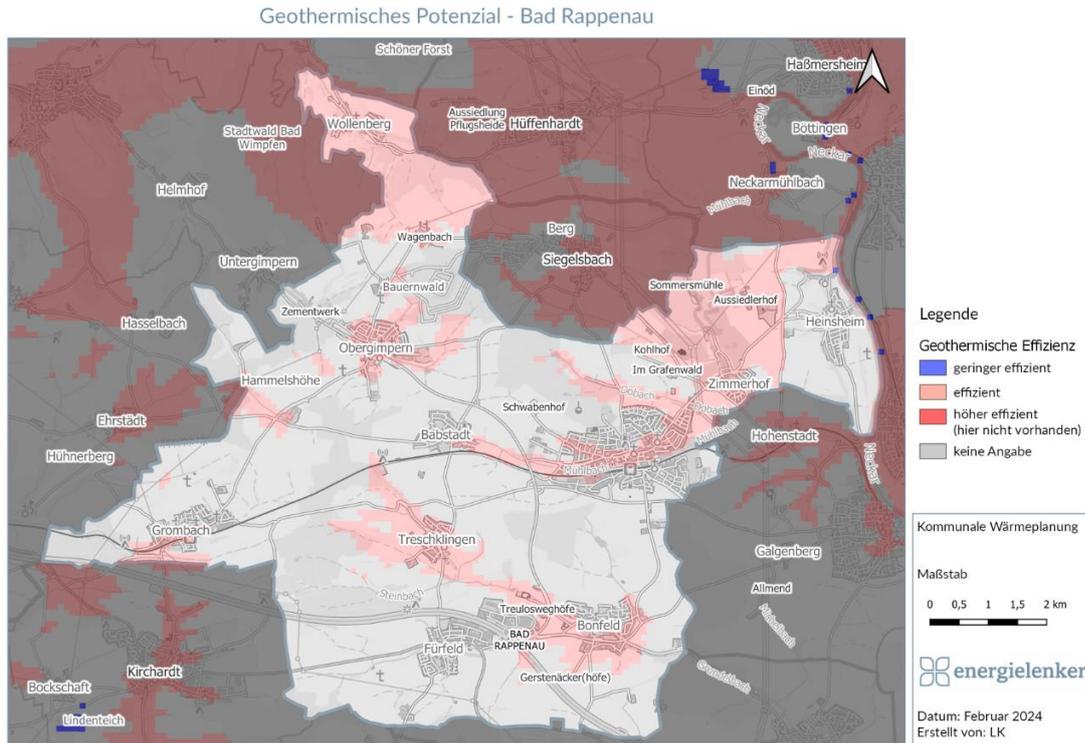


Abbildung 4-9: Eigene Darstellung der Potenzialflächen für Erdwärmesonden nach Vorbild des Energieatlas des Landes Baden-Württemberg - Erdwärmesonden [LGRB]

Bezüglich der Informationsgrundlage liegen im Stadtgebiet von Bad Rappenau nur wenige Daten zur thermischen Effizienz von Erdwärmesonden vor. Nur in den bisher geologisch untersuchten Bereichen werden im Energieatlas nutzbare Flächen dargestellt und nach ihrer geothermischen Eignung unterschieden. Aufgrund der großen Unsicherheit bezüglich der geothermischen Eignung des restlichen Stadtgebiets wird das geothermische Potential der Erdwärmesonden nur auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten abgeschätzt.

Es wird angenommen, dass etwa 13 % der Siedlungsfläche von Bad Rappenau theoretisch für die Erdwärmekollektoren geeignet sind. Zusätzlich werden folgende Annahmen für Erdwärmesonden getroffen:

- Jährliche Betriebsstunden: 1.800 h/a (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume [LLUR, 2011])
- Mittlerer Ertrag: 70 kWh/(m²a) (Ermittelt auf Grundlage der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg-Daten [LUBW])
- Flächendaten der Eignungsklassen (LUBW)

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein theoretisches Wärmebereitstellungspotenzial von rund 401.853 MWh/a durch Erdwärmesonden.

In der Stadt Bad Rappenau besteht die Möglichkeit einer effizienten Nutzung der Geothermie sowohl durch den Einsatz von Erdwärmekollektoren als auch -sonden. Dabei werden auch Förderangebote für die oberflächennahe Geothermie und den Einsatz von Wärmepumpen bereitgestellt. Im Hinblick auf die verstärkte Nutzung regenerativer Energien eröffnen sich Ausbaupotenziale vor allem beim Neubau.

Zudem kann die Umweltwärme bei Sanierungsmaßnahmen zur Absenkung der Vorlauftemperaturen in Bestandsgebäuden eine effiziente und sinnvolle Versorgungslösung bieten.

Tabelle 4-4: Übersicht des Geothermie-Potenzials - Stadtgebiet Bad Rappenau [energielenker projects GmbH]

Technologie	Möglicher Wärmeertrag
Geothermie Erdwärmekollektoren	240.276 MWh/a
Geothermie Erdwärmesonden	401.853 MWh/a
Geothermie gesamt	642.129 MWh/a

4.7.1 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). Das Leibnitz Institut für Geophysik hat eine umfassende Studie durchgeführt, in der eine deutschlandweite Karte mit Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen erstellt wurde. Diese Studie ergab, dass in Bad Rappenau ein Potenzial von etwa 40 Grad Celsius in einer Tiefe von 1000 Metern möglich ist.

Eine konkrete Abschätzung des vorhandenen hydrothermalen Grundwasserpotenzials lässt sich auf Basis der vorliegenden Daten nicht durchführen. Hierbei ist vor allem die Frage, ob diese sehr tiefen Bohrungen wirtschaftlich sinnvoll und aufgrund von geologischen Gegebenheiten überhaupt technisch umsetzbar sind. Dies muss von Spezialisten auf diesem Gebiet im Detail geprüft und evaluiert werden.

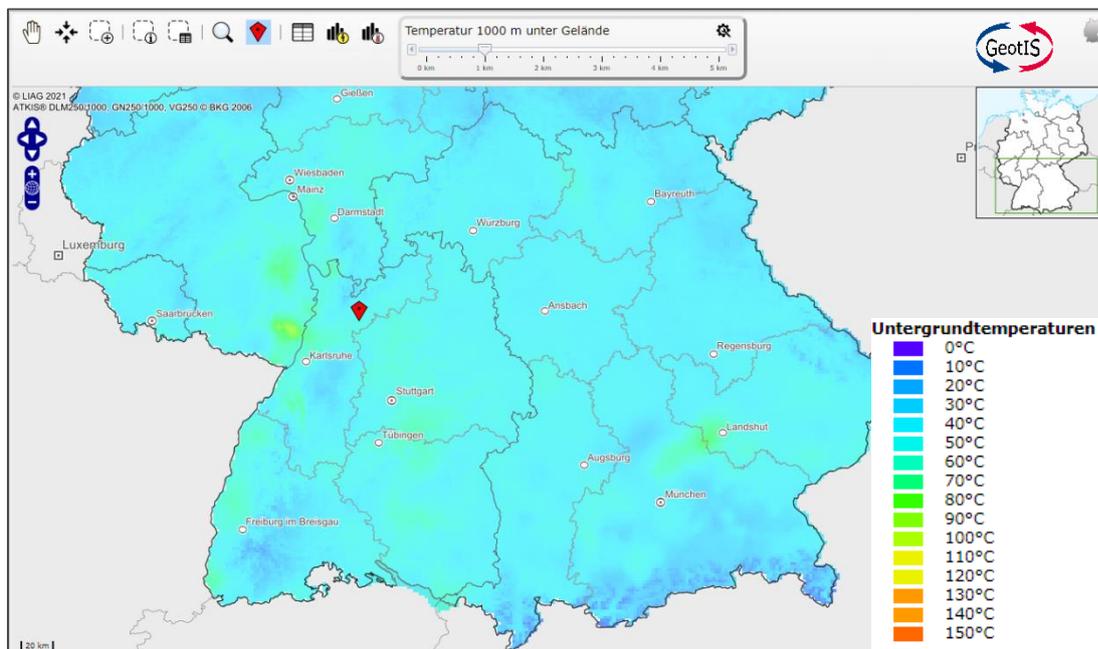


Abbildung 4-10: Übersichtskarte zu Untergrundtemperaturen in 1.000 Metern Tiefe.

[GEMAR, T., ALTEN, J., GANZ, B., KUDER, J., KÜHNE, K., SCHUMACHER, S. & SCHULZ, R. (2014): *The Geothermal Information System for Germany - GeotIS - ZDGG Band 165 Heft 2, 129-144*]

4.7.2 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 wird die Wärme über einen Abwasserwärmeüberträger entnommen, der 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.

Einflussgrößen bei der Technik- und Standortauswahl sind die Nennweite des Kanals, der Trockenwetterabfluss des Abwassers im Kanal, die Abwassertemperatur bei Eintritt in die Kläranlage, Mindestabnahme der Verbraucher, das zeitliche Potenzial und das räumliche Potenzial, bestimmt durch die Distanz zwischen Wärmequelle und -senke.

Über die Trockenwetterabflüsse der Kanalisation in Bad Rappenau liegen keine Werte vor. Daher kann für Bad Rappenau kein genaues Potenzial ermittelt werden. Um jedoch die Größenordnung des Potenzials aufzuzeigen, wird ein Beispiel mit einigen getroffenen Annahmen aufgeführt.

Im Rahmen der Abschätzung wird der Trockenwetterabfluss als nutzbare Menge an Wärme definiert, welche mit 100 % in die Berechnung einfließt. Des Weiteren wird mit einem Temperaturentzug von 1,5 K, einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 2,7 für die Wärmepumpe sowie 2.100 Volllaststunden gerechnet. Die folgende Tabelle 4-5 zeigt die potenzielle Wärmemenge, die durch den Einsatz einer Wärmepumpe unter den genannten Annahmen bereitgestellt werden könnte. Dabei werden drei Szenarien in Abhängigkeit des Trockenwetterabflusses betrachtet. Das erste Szenario, bezeichnet als "Mindestmaß", basiert auf dem mindestens vorhandenen Trockenwetterabfluss von 15 l/s. Das zweite Szenario, "Referenzbeispiel" genannt, verwendet den Trockenwetterabfluss einer Kommune in vergleichbarer Größe. Das letzte Beispiel zeigt ein erweitertes Potenzial, das von einem doppelten Trockenwetterabfluss des geforderten Mindestmaßes ausgeht.

Tabelle 4-5 Mögliche Potenziale Abwasserwärmenutzung

Szenario	Trockenwetterabfluss	Wärmemenge (bei Einsatz einer Wärmepumpe)
Mindestmaß	15 l/s	314 MWh/a davon Strombedarf: 116 MWh/a davon Abwasserwärme: 198 MWh/a
Referenzbeispiel	20 l/s	419 MWh/a davon Strombedarf: 155 MWh/a davon Abwasserwärme: 264 MWh/a
Erweitertes Potenzial	30 l/s	629 MWh/a davon Strombedarf: 233 MWh/a davon Abwasserwärme: 396 MWh/a

Die Abschätzung lässt den Schluss zu, dass in den Abwasserkanälen ein gewisses Potenzial vorhanden ist. Es muss jedoch im Einzelfall anhand detaillierter Daten evaluiert werden, in welcher Form und in welchem Umfang dieses Potenzial nutzbar ist. Für eine valide Einschätzung der Potenziale ist eine Machbarkeitsstudie sinnvoll.

4.7.3 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 Bad Rappenau ist vor diesem Hintergrund in erster Linie der Neckar von Relevanz. Mit einem mittleren Niedrigwasserabfluss von 24 m³/s führt der Neckar genug Wasser um bei besagtem mittleren Niedrigwasserabfluss mit einer Temperaturabsenkung um 1,5 Kelvin auf eine maximale Entzugsleistung von etwa 150 MW zu kommen. Diese können sowohl technisch als auch bedarfsseitig nicht ausgeschöpft werden. Daher beträgt das Potenzial der Bedarfe von Energieplangebiet 9 und 10 und somit etwa 21 GWh. Daraus ergibt sich mit 3.500 Volllaststunden eine Leistung von etwa 6 MW thermisch. Daraus würde eine mittlere Wassertemperaturabsenkung von etwa 0,1 K resultieren.

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 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.

4.8 ABWÄRMEPOTENZIAL

Abwärme, gelegentlich auch als Abhitze bezeichnet, ist die Bezeichnung für die bei verschiedenen Prozessen als Nebenprodukt entstehende Wärme. Oftmals wird diese Wärme ungenutzt in die Umwelt abgegeben, wodurch mitunter sogar zusätzlicher Energieaufwand für Pumpen, Ventilatoren oder Kühlaggregate entsteht. Einige betrachten Abwärme grundsätzlich als ungenutzte Wärme. Dennoch existiert auch der Begriff der Abwärmenutzung, der auf Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz hinweist, beispielsweise die Wärmerückgewinnung.

Bad Rappenau verfügt über verschiedene Gewerbe- und Logistikbetriebe, bedingt durch die verkehrliche Anbindung. Allerdings sind in Bad Rappenau keine größeren potenziellen Abwärmequellen zu finden.

4.9 ROLLE DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG

Die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zur Versorgung von Wärmenetzen stellt eine effektive Strategie zur flexiblen und netzdienlichen Erzeugung von Strom und Wärme dar. KWK-Anlagen zeichnen sich durch ihre hohe Effizienz aus und sind besonders geeignet zur Deckung der Grundlast, während sie gleichzeitig ausreichend Flexibilität bieten, um auf die Schwankungen erneuerbarer Energien zu reagieren. Angesichts der Notwendigkeit, den Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas zu reduzieren, wird langfristig eine Umstellung auf erneuerbare Energieträger, insbesondere biogene Gase und Wasserstoff, angestrebt. Dies erfordert sowohl die Modernisierung bestehender Anlagen als auch die Umsetzung neuer Projekte nach dem Prinzip der „innovativen Kraft-Wärme-Kopplung“ (iKWK).

iKWK-Systeme zeichnen sich durch eine besonders hohe Energieeffizienz und geringe Treibhausgasemissionen aus. Diese Vorteile werden erzielt, indem KWK-Anlagen mit einem hohen Anteil an Wärme aus erneuerbaren Energien kombiniert werden, um bedarfsgerecht Strom und Wärme zu erzeugen oder umzuwandeln (vgl. § 2 Nr. 9a KWKG).

Bei der Planung neuer, größerer Biomasseheizwerke für Wärmenetze ist es entscheidend, die Option der Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung zu integrieren, um die Gesamteffizienz und Nachhaltigkeit zu maximieren.

Biomassepotenziale bilden eine wichtige Schnittstelle zu Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen). Im Rahmen der Potenzialanalyse wird die Biomasse aus verschiedenen Quellen – wie der Forstwirtschaft (Holz, Restholz, Waldpflegeholz), der Landwirtschaft (Energiepflanzen, Gülle, Reststoffe) sowie der Abfallwirtschaft (biogene Abfälle, Klärschlamm, Bioabfälle) – hinsichtlich ihrer energetischen Nutzungsmöglichkeiten betrachtet. Aus der verwerteten Biomasse, insbesondere in Form von Biogas, lässt sich in KWK-Anlagen sowohl thermische Energie als auch elektrische Energie bereitstellen. Die entsprechenden Kennzahlen zum thermischen und elektrischen Energieoutput ergeben sich aus der Umwandlung der jeweiligen Biomassepotenziale.

Auf dieser Grundlage kann abgeschätzt werden, dass für die Stadt rein theoretisch ein thermisches Energiepotenzial von 22,17 MWh durch den Einsatz von KWK-Anlagen erschlossen werden könnte. Die konkrete Standortwahl sowie die zu derzeitiger Infrastruktur-Anlagen erfordern jedoch weiterführende Untersuchungen, um technische, infrastrukturelle und wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen zu können.

Es liegen keine detaillierten Daten zur derzeitigen Infrastruktur und Energieverbräuchen bestehender KWK-Anlagen vor oder können aus Datenschutzgründen nicht dargestellt werden, da sie von den Betreibern nicht freigegeben wurden. Zusätzlich erschweren wirtschaftliche, regulatorische und technische Unsicherheiten eine belastbare Abschätzung der Potenziale.

4.10 ZUSAMMENFASSUNG DER POTENZIALE

Nachfolgend werden die ermittelten theoretischen Potenziale erneuerbarer Energien zusammenfassend dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass zur Energieerzeugung insbesondere im Bereich der Solarenergie ein großes Potenzial liegt. Darüber hinaus kann Windenergie eine herausragende Rolle spielen durch 66 realisierbare Windenergieanlagen.

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 Bad Rappenau, deren Hebung im Einzelfall zu prüfen ist.

Table 4-6: Zusammenfassung der Potenziale für erneuerbare Energieträger

	Potenziale
Photovoltaik Gesamt (Dach und Freifläche)	Möglicher Stromertrag: 280,12 GWh/a
Photovoltaik (Agri-PV)	Möglicher Stromertrag: 1.179 GWh/a
Solarthermie Gesamt (Dach und Freifläche)	Möglicher Wärmeertrag: 98 GWh/a
Windenergie	66 Windenergieanlagen realisierbar (theoretisches Maximalpotenzial)
Biomasse	Möglicher Wärmeertrag 22,17 GWh/a
Erdwärmekollektoren	Möglicher Wärmeertrag: 240,28 GWh/a (Annahmen s. Kap. 6.3)
Erdwärmesonden	Möglicher Wärmeertrag: 401,85 GWh/a (Annahmen s. Kap. 6.3)
Abwasserwärmenutzung	Möglicher Wärmeertrag: 0,4 GWh/a
Flussthermie	Möglicher Wärmeertrag: 21 GWh/a

5 Szenarienentwicklung

Die Szenarien sollen aufzeigen, wie die im Klimaschutzgesetz angestrebte Erreichung einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040 ermöglicht werden kann. Zusammensetzung der Energieerzeugung.

Nachfolgend werden jeweils ein Trend- und ein Klimaschutzszenario dargestellt. Dabei werden zwei unterschiedliche zukünftige Entwicklungspfade für die Endenergieeinsparung und Reduktion der Treibhausgase in der Stadt Bad Rappenau aufgezeigt. Die Szenarien werden auf Basis der Erkenntnisse aus der Bestands- und Potenzialanalyse ausgearbeitet und beziehen dabei die in Kapitel 4 berechneten Endenergieeinsparpotenziale durch energetische Sanierung sowie die Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien mit ein.

5.1 DIFFERENZIERUNG TREND- UND KLIMASCHUTZ-SZENARIO

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. Das Trendszenario gilt dabei nur als Referenz um die Wirksamkeit des Klimaschutzszenarios unterschreibt. Die Stadt Bad Rappenau strebt jedoch, auch auf Grundlage der gesetzlichen Vorgaben nach dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW), klar die Erfüllung des Klimaschutzszenarios an.

In den aufgestellten Szenarien sind die in Kapitel 4 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. Es wird angenommen, dass das synthetische Methan ausschließlich durch den Einsatz von Ökostrom erzeugt wird.

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 2040 keine hohen Einsparungen des Energieverbrauches, da Maßnahmen der Beratung bezüglich Sanierung und Nutzer- und Nutzerinnenverhalten 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- und Nutzerinnenverhalten 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 Windenergie-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 Sanierungstiefe¹. Die Berechnung des Haushaltsstrombedarfs erfolgt über den Absenkpfad (Bundesdurchschnitt)².

5.2 TRENDSZENARIO

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

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

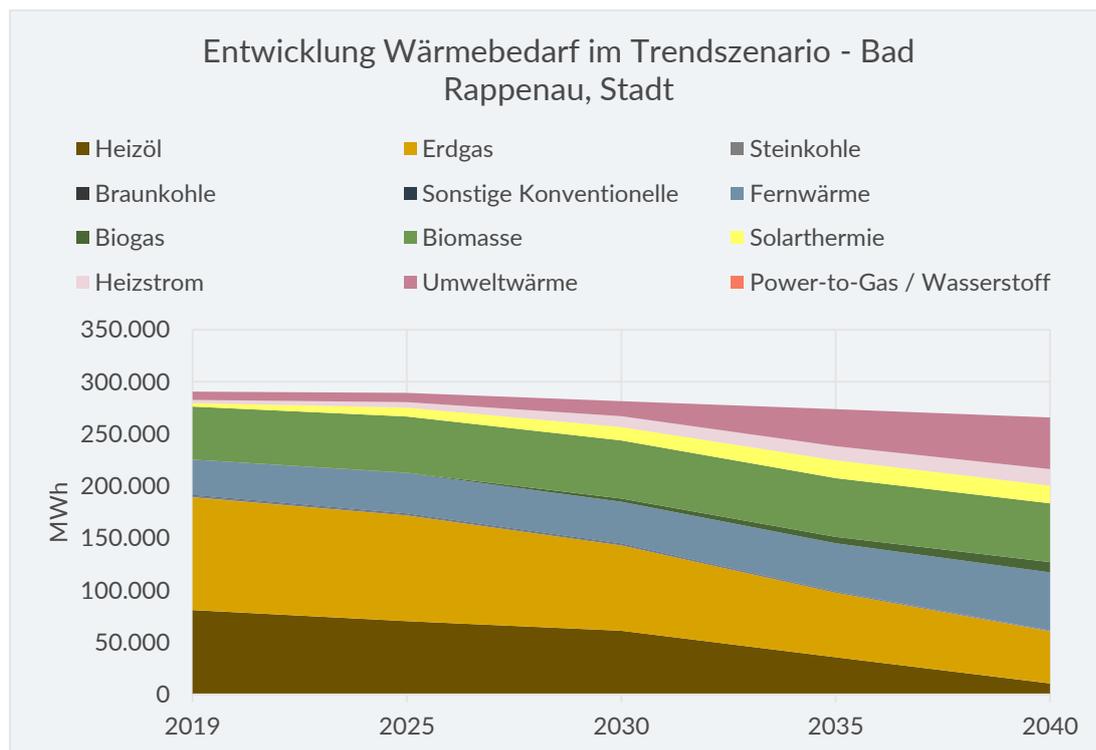


Abbildung 5-1: Trendszenario Bad Rappenau

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

² (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.*

Im Trendszenario nimmt der Wärmebedarf bis zum Jahr 2040 leicht ab. Dies liegt etwa an einer angenommenen Effizienzsteigerung sowie der angenommenen Sanierungsrate und -tiefe im Bereich der privaten Haushalte.

Bis zum Jahr 2040 werden dabei die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl teilweise durch erneuerbare Energieträger Solarthermie sowie strombasierte Endenergieträger wie Umweltwärme oder Heizstrom) substituiert. Das Trendszenario unterliegt jedoch der Annahme, dass der Energieträger Erdgas auch im Jahr 2040 einen großen Anteil ausmacht, da die Synthese von Methan 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.³ Die wesentlichen Energieträger sind zukünftig das Erdgas mit rund 19 %, Umweltwärme mit 19 %, Fernwärme und Biomasse mit jeweils einem Anteil von 21 % am Wärmebedarf. Die Solarthermie kann vorrangig zur Deckung des Warmwasserbedarfs auf den Dachflächen des Gebäudebestandes eingesetzt werden und deckt damit in diesem Szenario einen Anteil von 6 % des Endenergiebedarfs. In Abbildung 5-2 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 50 % bis 2040.

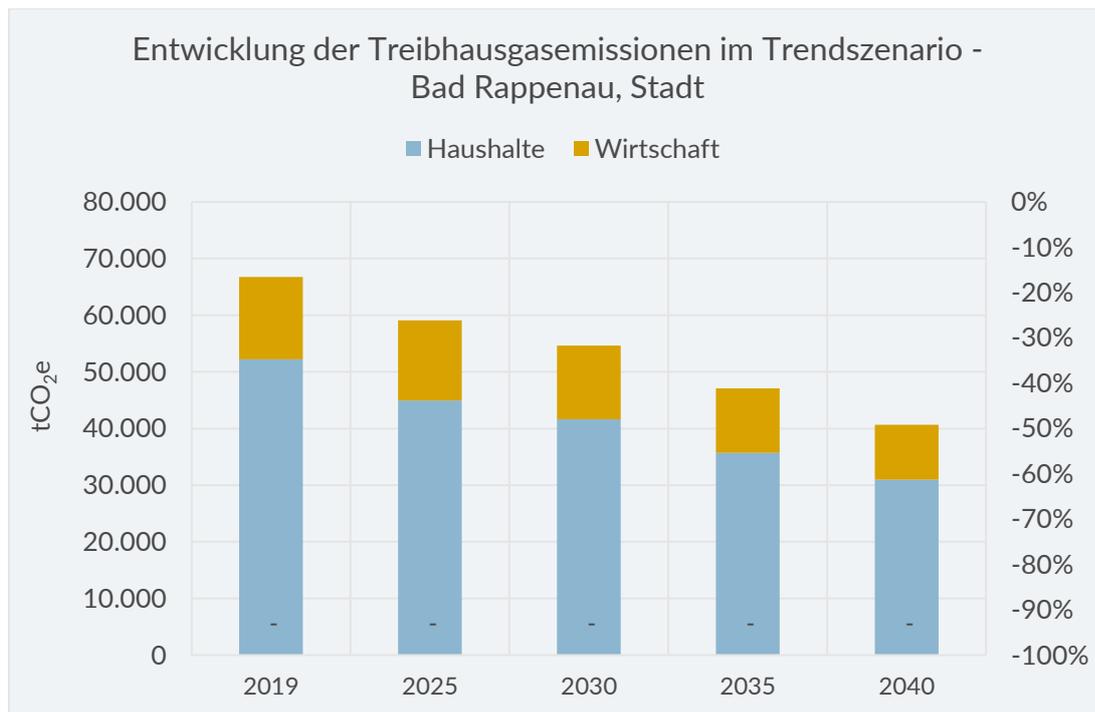


Abbildung 5-2: Entwicklungen der THG-Emissionen im Trendszenario

³ 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 gCO_{2e}/kWh gegenüber 238 gCO_{2e}/kWh für Erdgas.

5.3 KLIMASCHUTZSZENARIO

Der Wärmebedarf im Klimaschutzscenario dagegen unterscheidet sich fundamental im Vergleich zum Trendszenario und ist in der nachfolgenden Abbildung 5-3 dargestellt. Das Szenario wird unter folgenden Randbedingungen aufgestellt:

- (energetische) 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

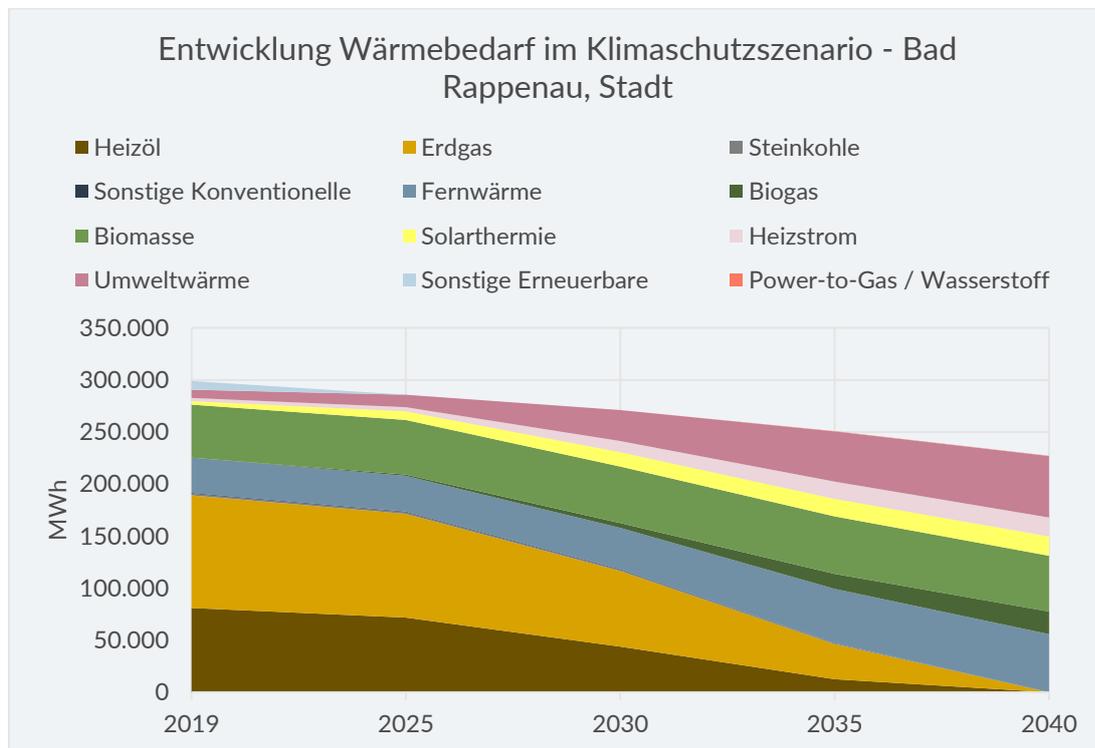


Abbildung 5-3: Entwicklung Wärmebedarf im Klimaschutzscenario

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 nehmen die fossilen Energieträger stark ab, sodass der Wärmemix im Zieljahr 2040 ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern besteht. Die Reduzierung des Endenergiebedarfs basiert auf den Rahmenbedingungen des Szenarios. Die wesentlichen Energieträger sind zukünftig die Umweltwärme mit rund 26 %, Biomasse mit 24 %, Fernwärme mit 25 %, Biogas mit 10 % und Solarthermie mit einem Anteil von 8 % am Wärmebedarf.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Entwicklung der THG-Emissionen, ausgehend vom Basisjahr 2019, dargestellt. Zu bedenken ist, dass die Umstellung auf erneuerbare Energien zwar dazu beiträgt, die CO₂-Emissionen erheblich zu reduzieren, aber nicht zwangsläufig auf null senkt. Selbst bei einem vollständigen Übergang zu erneuerbaren Energien werden immer noch gewisse Mengen an Treibhausgasen ausgestoßen. Darüber hinaus gibt es Sektoren wie die Landwirtschaft und bestimmte industrielle Prozesse, die schwer zu dekarbonisieren sind. Die Umstellung auf erneuerbare Energien ist jedoch ein entscheidender Schritt zur Reduzierung der Gesamtemissionen und zur Bekämpfung des Klimawandels.

Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Die THG-Emissionen sinken laut dem Klimaschutzszenario vom Ausgangsjahr 2019 um 90 % bis 2040.

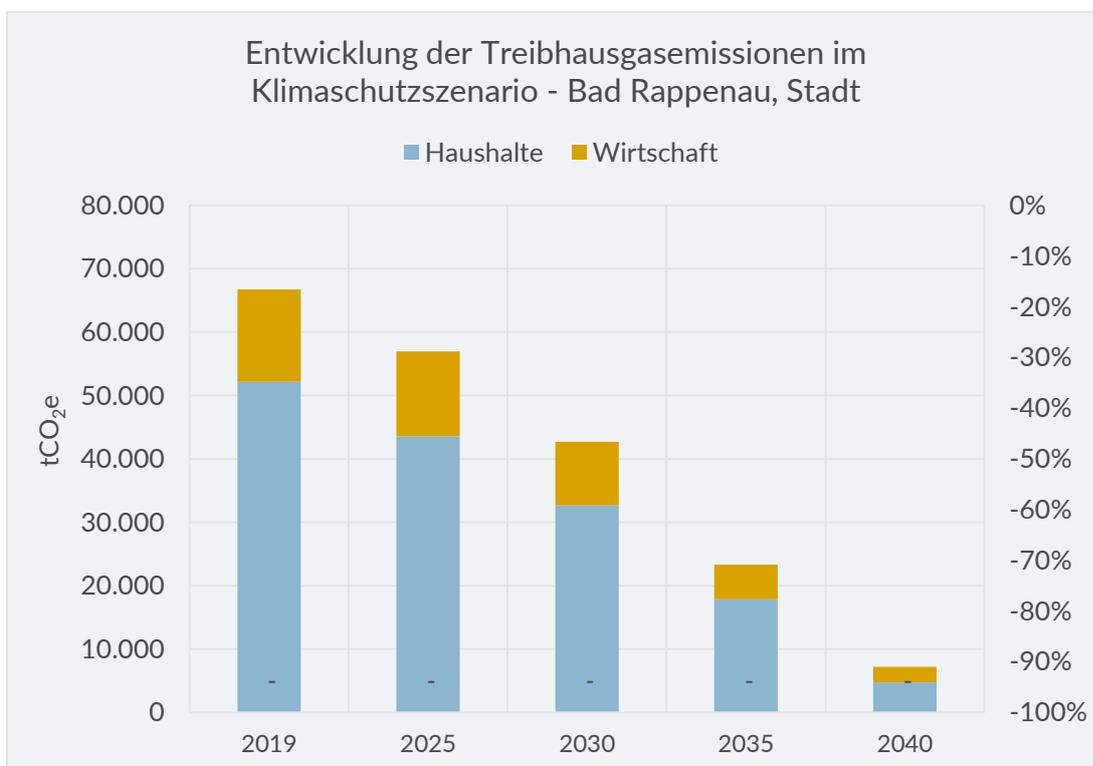


Abbildung 5-4: Entwicklungen der THG-Emissionen im Klimaschutzszenario

5.4 VERGLEICH DER SZENARIEN

Bei der Betrachtung beider Szenarien lässt sich feststellen, dass mit zunehmendem Ambitionsniveau der Szenarien die Anteile von Erdgas und Erdöl schneller abnehmen, während der Anteil von sonstigen Erneuerbaren und Solarthermie deutlicher zunehmen, im Klimaschutzszenario zusätzlich auch die Anteile der Biomasse und Umweltwärme.

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 die Pflicht, neue Heizungen mit mindestens 65 % erneuerbaren Energien zu betreiben. Das Ziel einer klimaneutralen Wärmeversorgung ist nur durch weitere Anstrengungen bei der Steigerung der Energieeffizienz, durch Energieeinsparung und durch den entsprechenden Ersatz fossiler Energieträger zu erreichen. Ein tatsächliches „Weiter-wie-bisher“ ist vor diesem Hintergrund nicht zu erwarten.

6 Identifikation von Hotspots für Wärmebedarfe im Stadtgebiet

Die Identifizierung und Priorisierung von Hotspots erfolgen durch eine sorgfältige Bewertung, die verschiedene entscheidende Kriterien einbezieht. Diese Kriterien wurden beispielsweise anhand von Heatmaps im Stadtgebiet bewertet, um eine umfassende Analyse zu ermöglichen. Zu den maßgeblichen Kriterien gehören:

- der Wärmebedarf,
- die Wärmelinien-dichte
- der Anteil an Ölheizungen,

Die gewählten Kriterien werden nicht isoliert betrachtet, sondern in einem ganzheitlichen Kontext analysiert. Der Wärmebedarf und die Wärmelinien-dichte sind von zentraler Bedeutung. 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. Zusätzlich kommen solche Gebiete als Vorranggebiete für die energetische Sanierungen der Gebäudehülle in Frage.

Im Stadtgebiet von Bad Rappenau wurden die Wärmeverbräuche analysiert und eine Auswahl von „Wärme-Hotspots“ für eine nähere Betrachtung ausgewählt. Das erste „Screening“ der Wärmeverbräuche basiert auf der Auswertung der Leitungsgebundenen- und der Schornsteinfegerdaten. Aus diesen wurden Heatmaps generiert, um bei der Größe der Datenmengen intuitiv einen Überblick zu erhalten. Abbildung 6-1 zeigt die Heatmap des Wärmebedarfs von Bad Rappenau.

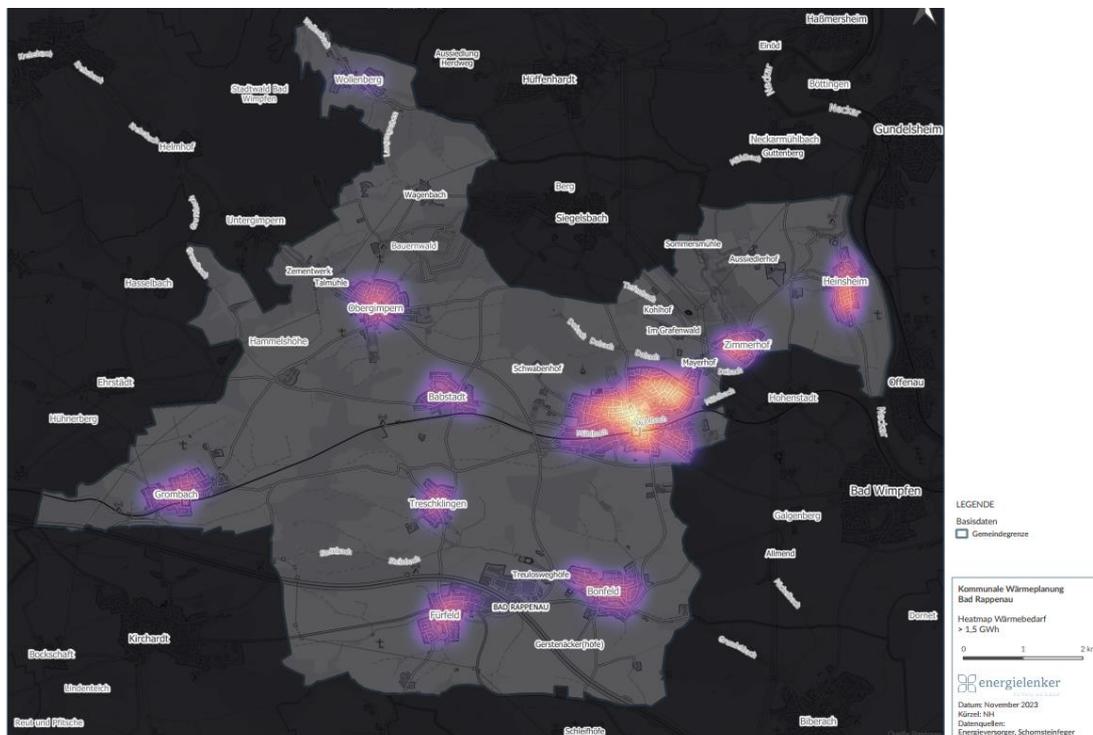


Abbildung 6-1: Ausschnitt der Heatmap des Wärmebedarfs von Bad Rappenau [energielenker projects GmbH; Datengrundlage: Syna GmbH, Schornsteinfegerdaten]

In den ausgewählten Bereichen wurden dann in einem zweiten Schritt auf der Basis der Datengrundlage Wärmebedarfsdichten für einzelne Baublöcke und Wärmelinienindichten ermittelt und in Wärmeklassen strukturiert (siehe Abbildung 6-2). Die Einteilung in Wärmeklassen dient der Ermittlung der Verteilung und Konzentration der Wärmeverbräuche im Stadtgebiet und ermöglicht so eine erste Abschätzung darüber, ob eine Versorgung mit Wärmenetzen sinnvoll sein kann.

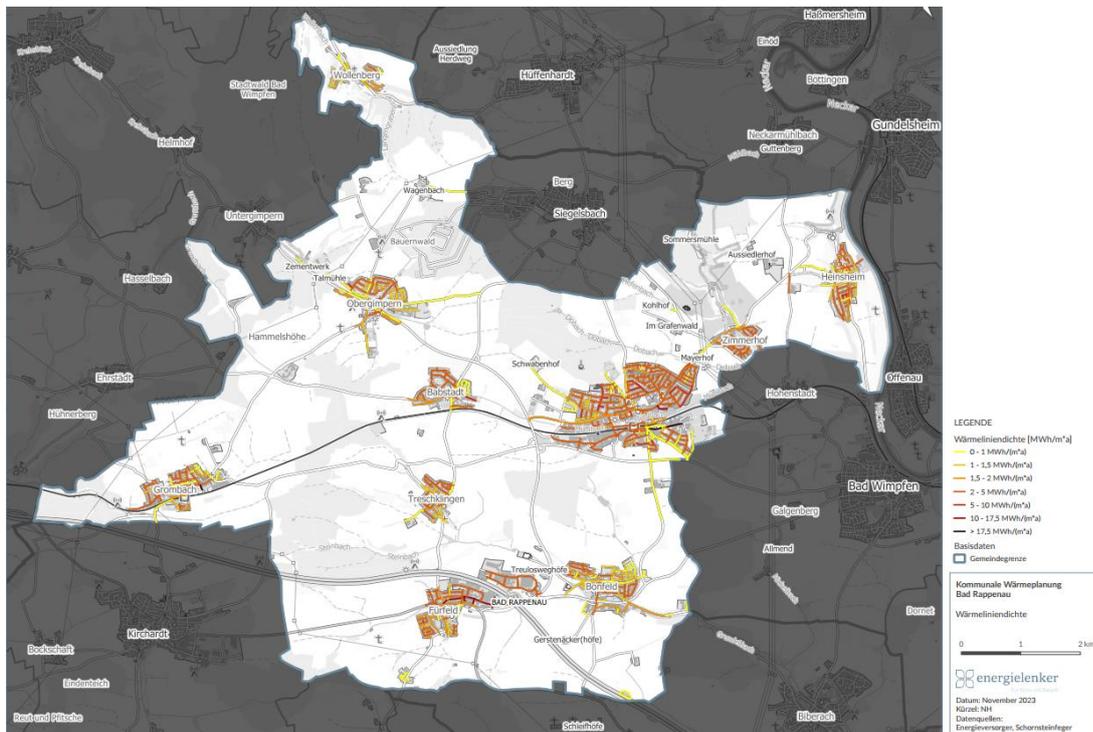


Abbildung 6-2: Wärmelinienindichte in Bad Rappenau

Ein weiteres entscheidendes Kriterium ist der Anteil der Ölheizungen. Gebiete mit einer hohen Ölheizungsquote bieten aufgrund von erhöhten CO₂-Emissionen ein großes Potenzial für den Umstieg auf erneuerbare Energien und sollten priorisiert umgestellt werden (siehe Abbildung 6-3). Wichtige Hinweise hierzu bieten die in Kapitel 4 beschriebenen Potentiale aus dem Energieatlas des Landes Baden-Württemberg und aus der Potentialanalyse des Rhein-Neckar-Kreises.

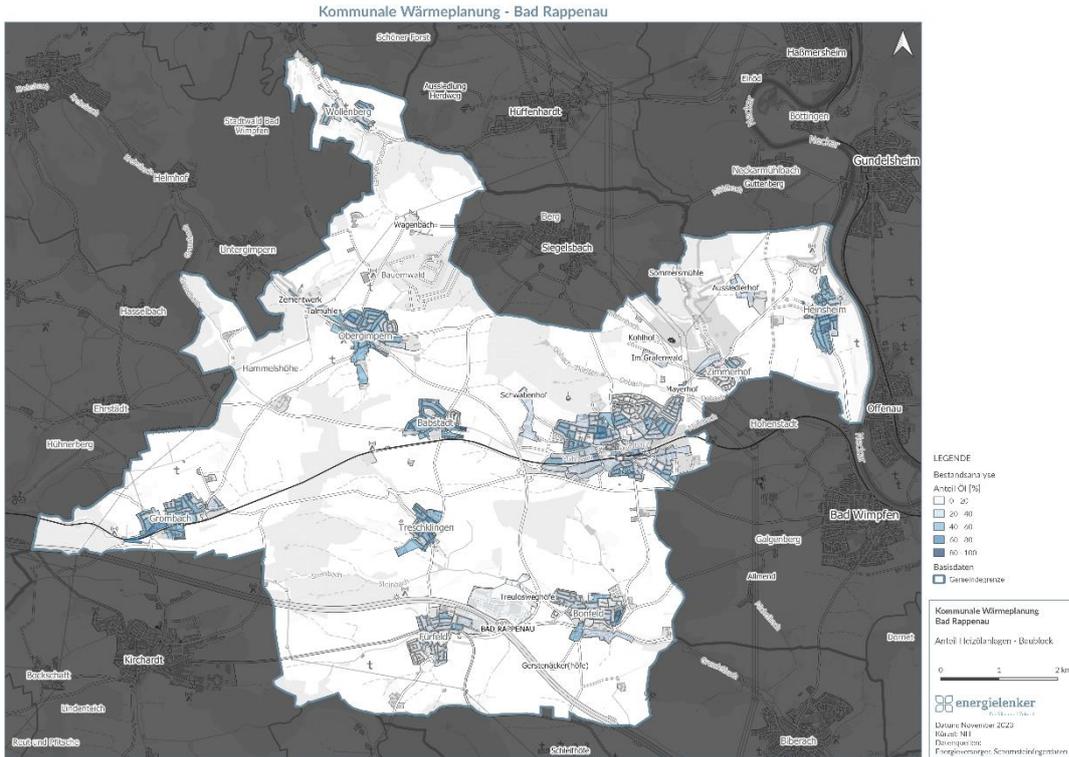


Abbildung 6-3: Baublockbasierter Anteil an Ölheizungen in Bad Rappenau

7 Eignungsgebiete Bad Rappenau

Die Ergebnisse der Bestandsanalyse, die identifizierten Hotspots und Handlungspotenziale sowie die in Kapitel 4 ermittelten Potenziale münden in einem gesamtstädtischen Energieplan, welcher die Handlungsgrundlage für die kommunale Wärmeplanung in Bad Rappenau darstellt. Unterschieden wird hierbei in Eignungsgebiete, die einerseits für eine zentrale Wärmeversorgung (Wärmenetz) geeignet sind und Eignungsgebiete für eine dezentrale Wärmeversorgungslösung (Einzelversorgung) geeignet sind.

In Eignungsgebieten für eine dezentrale Wärmeversorgung wird auf Grundlage der aktuellen Untersuchungsergebnisse davon ausgegangen, dass die Umsetzung eines Wärmenetzes nicht realisierbar ist. Hier muss jeder Eigentümer selbst für sein Gebäude bzw. Gebäudekomplex Maßnahmen zur Verringerung des Energiebedarfs bzw. zur Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien durchführen.

Hingegen sind die aus der Analyse ermittelten zentralen Eignungsgebiete Bereiche, in denen der Aufbau eines Wärmenetzes grundsätzlich als sinnvoll erachtet wird und deren Umsetzung beispielsweise in einer Machbarkeitsstudie näher geprüft werden sollte. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass in den zentralen Eignungsgebieten eine dezentrale Lösung für 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 alle Akteure bei der Entscheidungsfindung unterstützen.

Abbildung 7-1 zeigt einen Überblick über zentrale und dezentrale Eignungsgebiete im Stadtgebiet der Stadt Bad Rappenau.

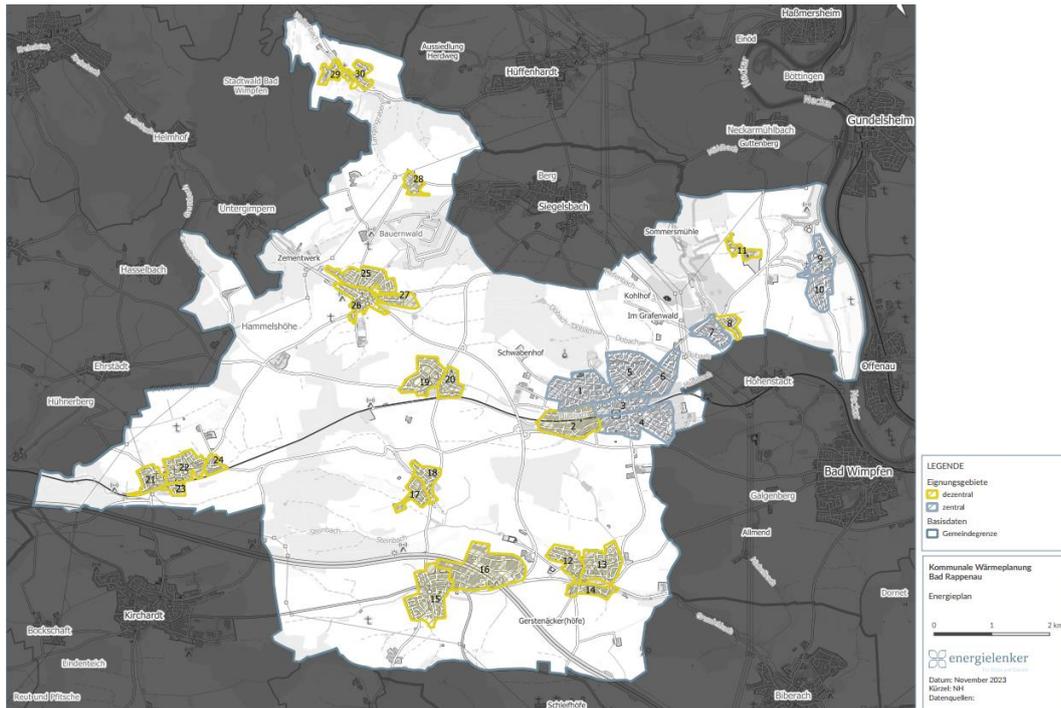


Abbildung 7-1: Energieplan Bad Rappenau

Für eine übersichtliche Darstellung der einzelnen Eignungsgebiete 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. Hier werden zusätzlich konkrete Maßnahmenvorschläge für das Gebiet gemacht. Die Steckbriefe sind in der Anlage 1 zum Abschlussbericht zusammengeführt.

8 Fokusgebiete

Fokusgebiete umfassen Stadtgebiete in Bad Rappenu, die einen signifikanten Handlungsbedarf aufweisen und eine hohe Wirksamkeit bei der Umsetzung der angestrebten Klimaneutralität versprechen.

Die Fokusgebiete für die Stadt Bad Rappenu wurden aus den ermittelten Hotspots (Kapitel 6) und Eignungsgebieten (Kapitel 7) entwickelt. Um sicherzustellen, dass die identifizierten Fokusgebiete realistisch und praxisgerecht sind, werden strukturelle Merkmale wie Gebäudealter, Standort in der Stadt und andere relevante Faktoren berücksichtigt. Dieser Abgleich erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Verwaltung und wurde iterativ durchgeführt.

Dies gewährleistet, dass die gewählten Fokusgebiete den örtlichen Gegebenheiten und Bedürfnissen gerecht werden und gleichzeitig eine optimale Integration erneuerbarer Energien in die Wärmeversorgung ermöglichen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8-1 dargestellt. Für jedes dargestellte Fokusgebiete werden im folgenden Kapitel geeignete konkrete Maßnahmen genannt, die einen möglichen Weg zur Klimaneutralität in diesen Gebieten aufzeigen.

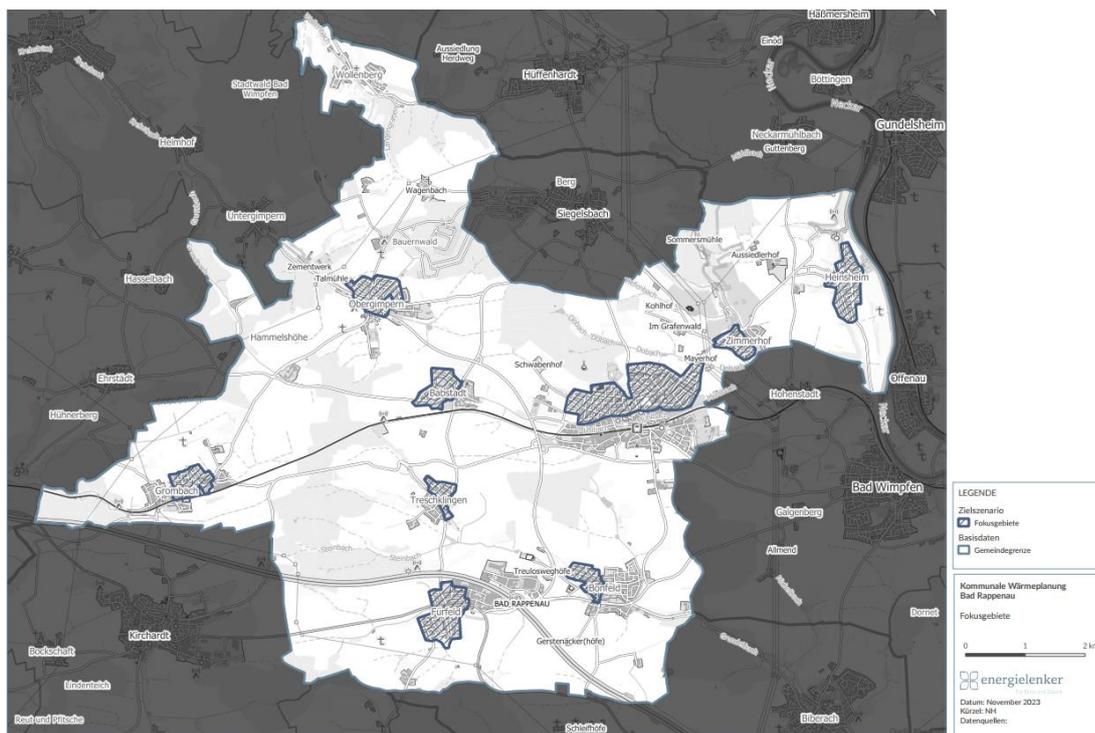


Abbildung 8-1: Übersicht der Fokusgebiete für die Stadt Bad Rappenu

9 Maßnahmen

Insgesamt wurden neun Fokusgebiete in der Gemeinde Bad Rappenau identifiziert. Für fünf dieser Bereiche wurden spezifische Handlungsschwerpunkte und Handlungsschritte als Maßnahmen 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 beispielsweise 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 für den Aufbau eines Wärmenetzes mit niedrigen Vorlauftemperaturen vorbereitet. Zudem kann die Lebensqualität der Bewohner:innen durch einen erhöhten Nutzerkomfort im Gebäude und 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 jeder Energieversorgungsvariante 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 fünf Maßnahmen der Stadt Bad Rappenau dargestellt, der eine mögliche Reihenfolge für die Umsetzung der erarbeiteten dieser 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, wurden acht weitere, übergeordnete Maßnahmen für die Stadt erarbeitet.

Tabelle 9-1: Maßnahmenfahrplan

Nr.	MASSNAHMENKATALOG FÜR DIE KOMMUNALE WÄRMEPLANUNG IN BAD RAPPENAU	2024		2025		2026		2027		2028		2029	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	Partizipation in der kommunalen Wärmeplanung												
2	Sanierungsfahrpläne für kommunale Liegenschaften												
3	Bad Rappenau (FG 1, 5, 6) Wärmenetzprüfgebiet												
4	Zimmerhof (FG 9, 10) Wärmenetzprüfgebiet												
5	Heinsheim (FG 7) Wärmenetzprüfgebiet												
		Konzepterstellung		Durchführungsphase (Konzept)						Beantragung Fördermittel			

9.1 MAßNAHMENKATALOG

Maßnahme 1: Partizipation in der kommunalen Wärmeplanung

Partizipation in der kommunalen Wärmeplanung		1
HANDLUNGSFELD	Öffentlichkeitsarbeit	
ZIELSETZUNG	Aufbau eines Netzwerks, Akzeptanz für verschiedene Maßnahmen	

Beschreibung der Maßnahme

Information und Kommunikation sind integraler Bestandteil zur erfolgreichen Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung. Ein wichtiger Baustein ist die Zusammenarbeit und Einbindung der lokalen Akteure im Stadtgebiet. Hierzu sollte in regelmäßigen Öffentlichkeitsveranstaltungen die Möglichkeit der direkten Partizipation gegeben werden. Denkbar sind auch Formate wie ein Energieeffizienzstammtisch. Hierdurch wird eine hohe Akzeptanz der verschiedenen Maßnahmen in der Bevölkerung erreicht. Über die Einbindung der lokalen Akteure können sich weitere Synergieeffekte wie z. B. Sponsoring ergeben. Des Weiteren können Erfahrungen innerhalb der Informationsveranstaltungen ausgetauscht werden, um so bestmögliche Lösungsansätze in der kommunalen Wärmeplanung zu erreichen.

Die Beteiligung könnte im Rahmen von Veranstaltungen innerhalb der Stadt oder mithilfe von digitalen Beteiligungsprozessen erfolgen. Die Themen sollten in einem engen Zusammenhang mit den empfohlenen Auswertungsmaßnahmen für den öffentlichen Raum stehen.

- Handlungsschritte**
1. Regelmäßiger Austausch mit den lokalen Akteuren
 2. Bereitstellung von Informationen und Teilen der kommunalen Wärmeplanung
 3. Koordination der Maßnahmenumsetzung und Kampagnen
 4. Bespielen der vorhandenen/bestehenden Netzwerke und Strukturen

Verantwortung / Akteurinnen und Akteure ▶ Gemeinde Bad Rappenau

Maßnahme 2: Sanierungsfahrpläne kommunaler Liegenschaften

Sanierungsfahrpläne kommunaler Liegenschaften

2

HANDLUNGSFELD Sanierung



ZIELSETZUNG Sicherstellung der Vorbildwirkung der Kommune, Wirtschaftlichkeit und Effizienz

Beschreibung der Maßnahme

Die Kommune soll ihre Vorbildwirkung bei der Umsetzung des Wärmeplans sicherstellen. Dazu sind, soweit noch nicht erfolgt, für alle kommunalen Gebäude und Objekte Sanierungsfahrpläne zu erstellen. Anhand von Sanierungsfahrplänen können Sofortmaßnahmen identifiziert werden, die mit geringem Kostenaufwand unmittelbar umsetzbar sind, sowie ein langfristiger Fahrplan erarbeitet werden, mit dem energetische Sanierungsmaßnahmen effizient im Sanierungs- und Lebenszyklus der Gebäude festgelegt werden. Sanierungsfahrpläne stellen so den effizienten Einsatz von finanziellen Mitteln der Kommune in der Sanierung des eigenen Gebäudeportfolios sicher.

Die energetische Sanierung der kommunalen Liegenschaften stellt auch langfristig geringe Energiekosten für die Gemeinde sicher. Mit der Verringerung der Anschlussleistung an Wärmenetzen wird Erzeugerkapazität für den Anschluss weiterer Gebäude an das Wärmenetz frei.

- ▶ **Handlungsschritte**
 1. Erstellung kommunaler Sanierungsfahrpläne
 2. Umsetzung Sofortmaßnahmen
 3. Festlegung langfristiger Maßnahmen
 4. Einwerbung von Fördermitteln für Sanierungsvorhaben

Verantwortung / Akteur:innen ▶ **Hauptakteur Gemeinde Bad Rappenau**

- Herausforderungen**
- ▶ Finanzierung Erstellung Sanierungsfahrpläne
 - ▶ Sicherstellung Ambitionsniveau Sanierungsmaßnahmen

Maßnahme 3: Bad Rappenau (Fokusgebiete 1, 5, 6)

Bad Rappenau: Erstellung eines Energiekonzeptes

3

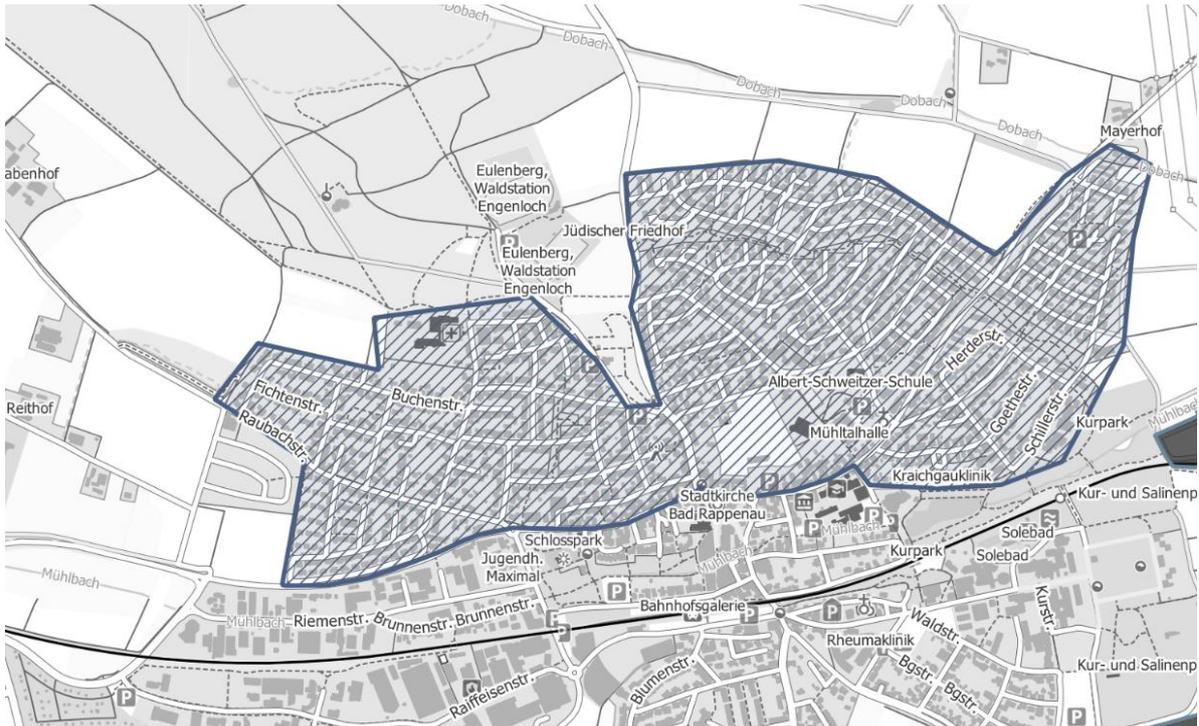
HANDLUNGSFELD Wärmenetzprüfgebiet



ZIELSETZUNG

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

Gebiet Bad Rappenau (Fokusgebiete 1, 5, 6)



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

(0 \triangleq niedrig; 5 \triangleq hoch)



Maßnahme 2: Bad Rappenau (Fokusgebiete 1, 5, 6)

Fläche	131 ha
beheizte Gebäude	1479
Wärmebedarf	70.705 MWh/a
THG-Emissionen	18.880 t CO ₂ eq
Verteilung Energieträger	33 % Erdgas, 29 % Öl, 32 % Festbrennstoffe, 1,5 % Fernwärme, 5 % sonst. Elektrowärme
Siedlungsdichte	hoch
Gebäudetypologie	durchmischt
Gebäudealter	größtenteils vor 1979 (Zensus 2011)

Beschreibung der Maßnahme

Das Gebiet, welches die Fokusgebiete 1, 5 und 6 beinhaltet, befindet sich am nördlichen Rand der Stadt Bad Rappenau. Auf einer Fläche von 131 ha werden hier 70.705 MWh/a Wärme benötigt. Der Baubestand im Gebiet ist zu weiten Teilen vor 1979 erbaut worden. Rund 33 % der Wärmeerzeuger sind mit Erdgas-, 29 % mit Öl- und 32 % mit Festbrennstoffen betriebene Wärmeerzeuger. Dazu kommen 1,5 % Fernwärme und 5 % Wärmeerzeuger über sonstige Elektrowärme.

In dem angedachten Gebiet ist bereits ein kleines Wärmenetz vorhanden. Der Betreiber des Netzes ist bisher an einer Erweiterung nicht interessiert. Der Aufbau eines neuen, zusätzlichen Netzes wird erschwert, da wesentliche Ankerkunden bereits am vorhandenen Netz angeschlossen sind. Gleichzeitig wurde für das Betrachtungsgebiet unter Berücksichtigung des bestehenden Wärmenetzes eine verbleibende durchschnittliche Wärmelinien-dichte von ca. 3,1 MWh/m*a ermittelt. Diese gilt als ausreichend für den Aufbau eines wirtschaftlichen klassischen Wärmenetzes. Ein Wärmenetz bietet den Gebäudeeigentümern den Vorteil, dass hier mehrere Wärmequellen für eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung effizient integriert werden können und sich so die Investitionskosten für einzelne Gebäude im Vergleich zur Integration verschiedener Quellen für ein Einzelgebäude reduzieren. Bei Errichtung klassischer Wärmenetze mit Vorlauftemperaturen über 70 °C können Bestandsgebäude in der Regel ohne zusätzliche Sanierungsmaßnahmen angeschlossen werden.

Das Gebiet ist nur begrenzt für dezentrale Erdwärmesonden geeignet, Hauseigentümern steht daher diese Option nur eingeschränkt zur Verfügung. U. a. gelten hier Bohrtiefenbeschränkungen, die den Ertrag einzelner Sonden verringern. Eine Grabbarkeit in Tiefen von 1-2 m für Erdwärmekollektoren ist gegeben. Die Wärmebereitstellung mit Erdwärmesonden oder Erdwärmekollektoren in einer zentralen Wärmeversorgung kann dagegen von einem besser geeigneten Randstandort erfolgen. Der Einsatz von Wärmepumpen für Luft als Wärmequelle ist möglich, angesichts des vorwiegenden Baualters der Gebäude sind gleichzeitig mit der Umstellung Sanierungsmaßnahmen zu erwarten, um einen effizienten Betrieb dieser Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Im Rahmen eines Energiekonzeptes können für das betreffende Gebiet die Potenziale für CO₂-neutrale Wärme 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	Heizzentrale finden Voraussetzung Gebäudebestand
Solarthermie (Freiflächen)	Mit Speicher und Redundanz	Niedriger Installationsaufwand	Geringer Ertrag im Winter

Handlungsschritte

1. Detailüberprüfung der geothermischen- und solarthermischen Potenziale
2. Detailüberprüfung Ausbau bestehendes Wärmenetz
3. Detailüberprüfung Neubau Wärmenetz (soweit Ausbau nicht möglich)
4. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer
5. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z. B. Erdwärmekollektoren, Solarthermie (Dach))

Verantwortung Akteur:innen	/	Hauptakteur Gemeinde Bad Rappenau
Umsetzungskosten	▶	100-150 T €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	▶	BEW Modul I Zuschuss BEW Förderung Modul I: 50 % der förderfähigen Kosten
Herausforderungen	▶	Bereitschaft zur Erweiterung des Netzes und Integration zusätzlicher Erzeugeranlagen ▶ Anschlussbereitschaft ▶ Finanzierung der Investitionskosten ▶ Umsetzbarkeit eines Wärmenetzes

Maßnahme 4: Zimmerhof (Fokusgebiet 7)

Zimmerhof: Erstellung eines Energiekonzeptes

4

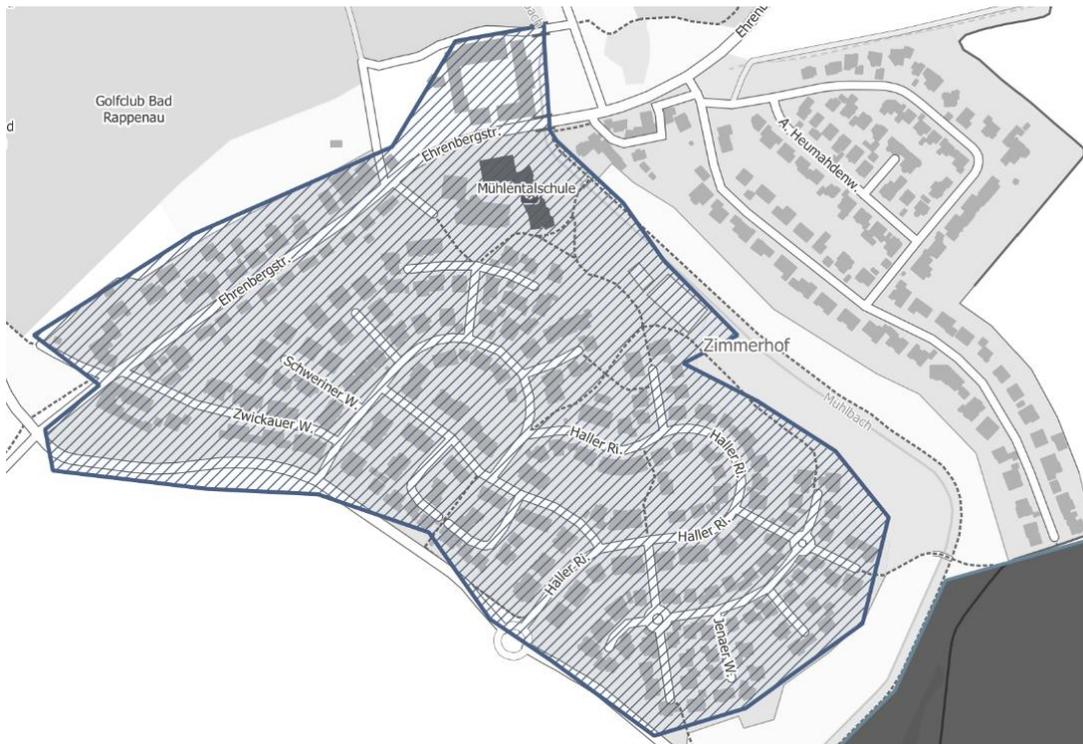
HANDLUNGSFELD Wärmenetzprüfgebiet



ZIELSETZUNG

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

Gebiet Zimmerhof (Fokusgebiet 7)



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

(0 ≙ niedrig; 5 ≙ hoch)



Maßnahme 4: Zimmerhof

Fläche	20 ha
beheizte Gebäude	229
Wärmebedarf	11.114 MWh/a
THG-Emissionen	2.794 t CO ₂ eq
Verteilung Energieträger	61 % Erdgas, 7 % Öl, 23 % Festbrennstoffe, 4 % Fernwärme, 5 % sonst. Elektrowärme
Siedlungsdichte	Mittel
Gebäudetypologie	Durchmischt
Gebäudealter	überwiegend vor 1979 (Zensus 2011)

Beschreibung der Maßnahme

Das Gebiet Zimmerhof umfasst den Westteil des Ortsteiles Zimmerhof. Auf einer Fläche von 20 ha werden hier 11.114 MWh/a Wärme benötigt. Der Baubestand im Gebiet ist zum überwiegenden Teil vor 1979 erbaut worden. Bisher sind 61 % der Wärmeerzeuger mit Erdgas, 7 % der Wärmeerzeuger mit Öl und 23 % mit Festbrennstoffen betriebene Wärmeerzeuger. Dazu kommen 4 % Fern-/Nahwärme und 5 % Wärmeerzeuger über sonstige Elektrowärme.

Im Gebiet Zimmerhof besteht ein Wärmenetz. Der Betreiber des Netzes hat sich auf Ankerkunden fokussiert und ist an einer Erweiterung bisher wenig interessiert. Sowohl der Anschluss an das bestehende Netz als auch der Aufbau eines zusätzlichen Netzes erscheint möglich, da die verbleibende durchschnittliche Wärmelinien-dichte von ca. 3,1 MWh/m*a für den wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes unter Annahme einer hohen Anschlussquote gut geeignet ist. Ein Wärmenetz bietet den Gebäudeeigentümern den Vorteil, dass hier mehrere Wärmequellen für eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung effizient integriert werden können und sich so die Investitionskosten für einzelne Gebäude im Vergleich zur Integration verschiedener Quellen für ein Einzelgebäude reduzieren.

Das Gebiet weist eine gute Eignung für die Anwendung sowohl von Erdwärmesonden als auch Erdwärmekollektoren auf, für erstere ist eine Bohrtiefenbegrenzung zu beachten. Dieses Potenzial kann als Grundlast in einem Wärmenetz verwendet werden und dort mit anderen Wärmequellen kombiniert werden.

Im Rahmen eines Energiekonzepts können für das betreffende Gebiet die Potenziale für CO₂-neutrale Wärme 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	Heizzentrale finden Voraussetzung Gebäudebestand
Geothermie (Sonden)	Mit Speicher und Biomasse (z. B. Holz-hackschnitzel) als Spitzenlast	Effiziente Abdeckung Spitzenlast	Heizzentrale finden Voraussetzung Gebäudebestand

Handlungsschritte

1. Detailüberprüfung der geothermischen Potenziale
2. Detailüberprüfung Ausbau bestehendes Wärmenetz
3. Detailüberprüfung Neubau Wärmenetz (soweit Ausbau nicht möglich)
4. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer
5. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z. B. Biomasse, Abwärme Kläranlage, Solarthermie (Dach))

Verantwortung Akteur:innen / **Hauptakteur Gemeinde Bad Rappenau**
 Betreiber Wärmenetz, potenzieller Betreiber eines neuen Wärmenetzes, Gebäudeeigentümer im Ortsteil

Umsetzungskosten ▶ 75-120 T €

- Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten** ▶ Zuschuss BEW Förderung Modul I: 50 % der förderfähigen Kosten
- Herausforderungen** ▶ Bereitschaft zur Erweiterung des Netzes und Integration zusätzlicher Erzeugeranlagen
 - ▶ Anschlussbereitschaft
 - ▶ Finanzierung der Investitionskosten
 - ▶ Umsetzbarkeit eines Wärmenetzes

Maßnahme 5: Heinsheim (Fokusgebiete 9, 10)

Heinsheim: Erstellung eines Energiekonzeptes

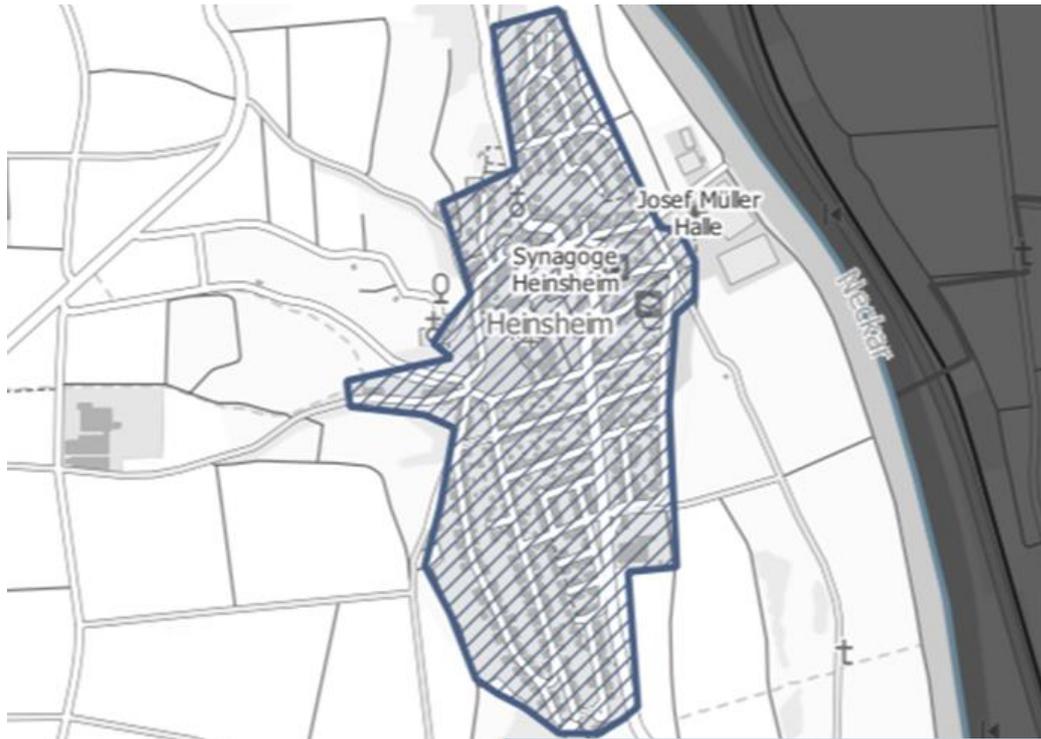
5

HANDLUNGSFELD Wärmenetzprüfgebiet



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

Gebiet Heinsheim (Fokusgebiete 9, 10)



Kartengrundlage: basemap.de

Priorisierung:

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



Maßnahme 3: Heinsheim (Fokusgebiete 9, 10)

Fläche	46 ha
beheizte Gebäude	486
Wärmebedarf	20.721 MWh/a
THG-Emissionen	6.147 t CO ₂ eq
Verteilung Energieträger	53 % Öl, 36 % Festbrennstoffe, 11 % sonstige Elektrowärme
Siedlungsdichte	hoch
Gebäudetypologie	durchmisch
Gebäudealter	größtenteils vor 1979 (Zensus 2011)

Beschreibung der Maßnahme

Das Gebiet, welches die Fokusgebiete 9 und 10 beinhaltet, befindet sich am nord-östlichen Rand der Gemeinde Bad Rappenau. Auf einer Fläche von 46 ha werden hier 20.721 MWh/a Wärme benötigt.

Der Baubestand im Gebiet ist zu weiten Teilen vor 1979 erbaut worden. Bisher sind rund 53 % der Wärmeerzeuger mit Öl- und 36 % mit Festbrennstoffen betriebene Wärmeerzeuger. Dazu kommen 11 % Wärmeerzeuger über sonstige Elektrowärme.

In dem angedachten Gebiet wurde gerade ein kleines Wärmenetz verlegt und wird in den nächsten Monaten in Betrieb gehen. Der Betreiber des Netzes hat sich auf Ankerkunden fokussiert und ist an einer Erweiterung nicht interessiert. Der Aufbau eines weiteren Netzes erscheint schwierig. Als verbleibende durchschnittliche Wärmelinien-dichte wurden 2,7 MWh/m*a ermittelt. Dieser Wert ist ausreichend für den wirtschaftlichen Betrieb eines klassischen Wärmenetzes, setzt aber eine sehr hohe Anschlussquote im Betrachtungsgebiet voraus. Ein Wärmenetz bietet den Gebäudeeigentümern den Vorteil, dass hier mehrere Wärmequellen für eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung effizient integriert werden können und sich so die Investitionskosten für einzelne Gebäude im Vergleich zur Integration verschiedener Quellen für ein Einzelgebäude reduzieren. Bei Errichtung klassischer Wärmenetze mit Vorlauftemperaturen über 70 °C können Bestandsgebäude ohne zusätzliche Sanierungsmaßnahmen angeschlossen werden.

Das Gebiet ist nicht für Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren geeignet, Hauseigentümern steht daher diese Technologie als besonders effiziente Option nicht zur Verfügung. Der Einsatz von Wärmepumpen für Luft als Wärmequelle ist möglich, angesichts des vorwiegenden Baualters der Gebäude sind gleichzeitig mit der Umstellung Sanierungsmaßnahmen zu empfehlen, um einen effizienten Betrieb dieser Wärmeversorgung zu ermöglichen.

Für ein Wärmenetz kann auch die Verwendung einer Flusswasserwärmepumpe am anliegenden Neckar geprüft werden. Auf entsprechende Erfahrungen der Stadt Mannheim für eine größere Wärmepumpe (20 MW) kann dabei zurückgegriffen werden.

Im Rahmen eines Energiekonzeptes können für das betreffende Gebiet die Potenziale für CO₂-neutrale Wärme 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
Biogas	Solarthermie und Speicher	Spitzenlast im Winter gut abdeckbar	Flächenbedarf
Flußwasser-wärmepumpe	Holz hackschnitzel und Speicher	Geringerer Flächenbedarf	geringere Erträge im Winter Verfügbarkeit Biomasse

Handlungsschritte

1. Detailüberprüfung der flusswasserthermischen Potenziale
2. Detailüberprüfung Ausbau bestehendes Wärmenetz
3. Detailüberprüfung Neubau Wärmenetz (soweit Ausbau nicht möglich)
4. Ermittlung des Anschlussinteresses der vorgesehenen Wärmeabnehmer
5. Prüfung weiterer regenerativer Wärmequellen (z. B. Biomasse, Solarthermie (Dach))

Verantwortung / Akteur:innen	Hauptakteur Gemeinde Bad Rappenau Betreiber Wärmenetz, potenzieller Betreiber eines neuen Wärmenetzes
Umsetzungskosten	▶ 75-120 T €
Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten	▶ Zuschuss BEW Förderung Modul I: 50 % der förderfähigen Kosten
Herausforderungen	▶ Bereitschaft zur Erweiterung des Netzes und Integration zusätzlicher Erzeugeranlagen ▶ Anschlussbereitschaft ▶ Finanzierung der Investitionskosten ▶ Umsetzbarkeit eines Wärmenetzes

10 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. Dennoch 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. Daher hat das Land Baden-Württemberg in seinem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) bestimmt, dass zunächst alle Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern, wie die Stadt Bad Rappenau, eine mittel- bis langfristige Strategie entwickeln sollen, wie bis 2040 eine klimaneutrale Wärmeversorgung erreicht werden kann.

Dazu muss die Stadtentwicklung der Stadt Bad Rappenau an den festgelegten Klimaschutzziele ausgerichtet werden, um systematisch geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die Treibhausgasemissionen so weit zu reduzieren, dass im Zieljahr 2040 nicht mehr ausgestoßen als adsorbiert werden. Wichtige Handlungsfelder sind neben einer deutlichen Reduzierung des Wärmeenergiebedarfs, die Steigerung der Energieeffizienz und die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung durch die Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme.

Die nach Landesrecht erstellte kommunale Wärmeplanung in Bad Rappenau wird der Wärmeplanung nach dem im November beschlossenen bundesweiten Wärmeplanungsgesetzes gleichgestellt. Die vorliegende Strategie sieht keine Ausweisung eines Wärmenetzausbaugebiets oder Wärmenetzneubaugebiets nach § 26 ff Wärmeplanungsgesetz des Bundes vor. Der Einsatz von 65 % erneuerbarer Energien ist daher bei einem Heizungsaustausch im Bestand in Bad Rappenau erst ab 01.07.2028 verpflichtend, soweit nicht vorher ein Netzgebiet durch einen separaten Beschluss des Gemeinderates ausgewiesen wird. Allein der Beschluss der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung reicht dafür nicht aus. Ein Umstieg auf erneuerbare Energiequellen ist dennoch sinnvoll, da ab 2040 keine fossilen Energieträger mehr für die Wärmeversorgung genutzt werden dürfen.

Die Kernstadt mit den teilweise weit auseinanderliegenden Ortsteilen und die Lage im ländlichen Raum prägt die besondere Struktur als Flächenstadt. Die städtebauliche Gestalt Bad Rappenaus wird - abgesehen von den Gewerbegebieten und den Ortskernen - überwiegend durch eine kleinteilige, aufgelockerte Siedlungs- und Gebäudestrukturen der Nachkriegsjahre bis in die Gegenwart bestimmt. Ansatzweise gibt es im Kernstadtbereich zwar verdichteten Geschosswohnungsbau, aber vor allem in den Ortsteilen überwiegen Einfamilienhausgebiete. Diese haben zudem einen

signifikanten Anteil an nicht sanierten Gebäuden vor in Kraft treten der ersten Wärmeschutzverordnung im Jahr 1978.

Diese weisen regelmäßig einen erhöhten Wärmeverbrauch in Privathaushalten auf. Dadurch kommt dem Sektor „private Haushalte“ eine besondere Bedeutung im Rahmen der Wärmeplanung in der Stadt Bad Rappenau zu.

Im Rahmen der Strategieentwicklung für die künftige Wärmeversorgung in Bad Rappenau wurden folgende Inhalte erarbeitet:

- ▶ Darstellung der Ausgangssituation (Bestandsanalyse)
- ▶ Suche nach Hinweisen der Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme (Potenzialanalyse)
- ▶ Technologieübersicht
- ▶ Szenarien-Entwicklung bis 2040
- ▶ Identifikation von Hotspots im Stadtgebiet mit einem besonders hohen Handlungsbedarf
- ▶ Entwicklung einer Strategie zur Transformation in eine klimaneutrale Wärmeversorgung mit geeigneten Maßnahmen

Die Bestandsanalyse der Stadt Bad Rappenau basiert auf dem heutigen Bedarf. Der Wärmebedarf wurde für die Sektoren Private Haushalte, Gewerbe-Dienstleistung-Handel (GHD), Industrie und öffentliche Liegenschaften anhand von vorhandenen Daten, wie Gebäudealtersklassen oder auch eigens erhobenen gebäudescharfen Daten, wie beispielsweise Schornstiefegerdaten und Verbrauchsdaten von Energieversorgern, ermittelt. Um aus Datenschutzgründen keine Rückschlüsse auf personenbezogene Daten ziehen zu können, werden die Daten in der Bestandsanalyse blockweise gemittelt und zusammenfasst.

Als Basisjahr für die Analyse wurde das Jahr 2019 bestimmt, da in den nachfolgenden Pandemie Jahren ein abweichendes Verbraucherverhalten zu beobachten war und zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht alle Daten für 2021 oder 2022 komplett vorlagen. Für die Gesamtstadt wurde ein Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung von 279.059 Megawattstunden pro Jahr ermittelt. Auf dem Stadtgebiet entfallen ca. 63.041 t CO_{2e}-Emissionen pro Jahr an. Für 65 % sind private Haushalte verantwortlich. Insgesamt konnten 8.837 Heizanlagen unterschiedlicher Leistungsklassen und Energieträger ermittelt werden.

Bei der Analyse möglicher erneuerbarer Energiequellen wurden die Ergebnisse der Auswertung aus dem Klimaschutzkonzept (nach BICO₂-Standard) sowie vorhandene Daten aus dem Energieatlas des Landes herangezogen.

Es wird als möglich eingeschätzt, dass die Fernwärme zur Deckung der Wärmebedarfe künftig eine große Rolle spielen kann. Klimafreundliche Wärmequellen, wie Umweltwärme, Abwärme aus BHKWs und Power-to-Heat tragen zukünftig mit stetig steigenden Anteilen zum Wärmemix bei.

Um dem Anspruch der Stadt Bad Rappenau an die Zielvision für das Jahr 2040 gerecht zu werden, sind neben bewährten Technologien auch Zukunftslösungen wie bspw. die Sektorenkopplung und Power-to-X berücksichtigt worden. Für eine konkrete Nutzung

neuer Energiequellen sind jedoch weitere konkrete, auf das einzelne Projekt bezogene, vertiefende Untersuchung der Potenziale hinsichtlich der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit erforderlich.

Für die Energieeinsparung und für Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien stehen heute schon zahlreiche Technologien zur Verfügung, die individuell für ein Gebiet, Unternehmen oder für Privathaushalte genutzt und kombiniert werden können. In einem Überblick werden die verschiedenen Technologien, die hauptsächlich zum Einsatz kommen können, vorgestellt.

Mit den Ergebnissen der Bestands- und Potenzialanalyse konnten Hotspots und Fokusgebiete identifiziert werden, in denen der Handlungsbedarf und die Handlungsmöglichkeiten besonders hoch sind. Hier ist bei einer Umsetzung von geeigneten Maßnahmen ein besonders hoher Effekt in der Reduzierung der Treibhausgase in Bad Rappenau zu erwarten.

Für den Transformationspfad wurde ein Trendszenario („Weiter-wie-bisher“) und ein Klimaschutzszenario mit verstärkten klimaschutzfördernden Maßnahmen betrachtet. Für beide Szenarien wurden die Wärmebedarfsentwicklung und mögliche Absenkanteile der Treibhausgase in Fünfjahresschritten grafisch dargestellt. Im Vergleich wird sichtbar, dass das Ziel einer klimaneutralen Wärmeversorgung nur durch weitere Anstrengungen bei der Energieeinsparung, bei einer Förderung von Energieeffizienz und durch dementsprechenden Ersatz fossiler Energieträger zu erreichen ist. Ein tatsächliches „Weiter-wie-bisher“ ist vor diesem Hintergrund nicht möglich.

Da der gesamte Siedlungsbereich untersucht wurde, können Aussagen für alle Teile der Kernstadt und Ortsteile (Teilgebietssteckbriefe) gemacht werden. Für die weitere Betrachtung wurden Eignungsgebiete für eine zentrale und dezentrale Wärmeversorgung bestimmt. In heute schon netznahen und verdichteten Wohngebieten wird es für möglich gehalten, dass private Haushalte bis 2040 mit Fernwärme versorgt werden könnten.

Insbesondere angrenzende Gebiete mit einer hohen Wärmeliniendichte (Wärmebedarfe pro Trassenmeter) kommen grundsätzlich für eine zentrale Wärmeversorgung in Frage. Mit dem Ausbau sind hohe Kosten verbunden. Nicht überall sind Akteure da, die die Umsetzung und den Betrieb übernehmen können. Wie der Ausbau vorangetrieben werden könnte, ist für einige Gebiete noch zu entwickeln. Die Stadt ist hierbei kein Akteur, allerdings gibt es in Bad Rappenau bereits einen privaten Fernwärmenetzbetreiber, welcher mit der Stadt Bad Rappenau zusammenarbeitet. Für die Strom- und Gasversorgung ist bisher die Syna GmbH verantwortlich. Daher ist die Transformation nur durch die Einbeziehung und durch enge Abstimmung mit diesen möglich. Potenzielle Erweiterungsmöglichkeiten der vorhandenen Wärmenetze sollen aber geprüft werden. Unterstützung erhalten die oben genannten Akteure jedoch durch begleitende Maßnahmen der Stadt Bad Rappenau.

Die restlichen Gebiete werden für die dezentrale Wärmeversorgung vorgesehen. Insbesondere Einfamilienhausgebiete haben regelmäßig eine zu niedrige Wärmelinienichte, zudem die Gebäude häufig einen hohen Sanierungsbedarf haben. Für diese Gebiete ist zunächst ein Netzausbau wirtschaftlich nicht darstellbar. Hier liegt der Schwerpunkt auf der energetischen Sanierung der Gebäude oder Gebäudekomplexen, der Einbau klimaneutraler Heizanlagen auf Basis von Umweltwärme (z. B. Wärmepumpe, Solarthermie, Erdkollektoren).

Die energetische Sanierung bzw. die damit einhergehende Reduzierung der Wärmebedarfe ermöglicht den künftigen Aufbau eines ein Wärmenetzes mit niedrigen Vorlauftemperaturen, wenn keine fossilen Brennstoffe mehr für die Wärmeerzeugung eingesetzt werden dürfen.

Die Entscheidung über die Auswahl des Wärmeerzeugers bleibt seitens der Bad Rappenauer Kommunalen Wärmeplanung jedem Eigentümer vorbehalten, auch für Gebiete, die ein Wärmenetz haben, bekommen oder die noch geprüft werden. Ein Anschluss und Benutzungszwang ist seitens der Stadt Bad Rappenau nicht angedacht. Die Vorgaben aus dem bundesweiten Gebäudeenergiegesetz und dem Erneuerbaren-Wärme-Gesetz Baden-Württemberg sind dennoch einzuhalten.

Um die Klimaziele bei der Wärmeversorgung bis 2040 über einen Zwischenschritt in 2030 zu erreichen, werden im vorliegenden Konzept geeignete Maßnahmen genannt, die kurz-, mittel- und langfristig umzusetzen wären. Hierbei kommt der Stadt Bad Rappenau eher eine begleitende und steuernde Rolle zu, da sie keine eigene Wärmeversorgungssparte hat. Der Schwerpunkt der Maßnahmen liegt bei der energetischen Sanierung von Gebäuden und bei vorbereitenden Untersuchungen für die Erweiterung von bestehenden Wärmenetzen, insbesondere für die Versorgung von privaten Haushalten.

Die Optimierung des Netzes und Nachverdichtung sowie die Prüfung von Potentialen und Machbarkeit neuer Wärmenetze unterliegen den lokalen Netzbetreibern. Ihre Arbeit erfolgt in enger Abstimmung mit der Stadt Bad Rappenau. Für städtische Liegenschaften soll ein eigener Sanierungsfahrplan erstellt werden. Für einzelne größere Anlagen werden konkrete Untersuchungen bzw. Maßnahmen zur Optimierung und Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung angedacht.

Bestimmte energieintensive Branchen der Industrie werden auch weiterhin hochtemperierte Prozesswärme benötigen, die zukünftig über Power-to-Heat, die Verbrennung von synthetischen Gasen oder Biogas bereitgestellt wird. Das betrifft aber nur vereinzelt Unternehmen in Bad Rappenau. Dennoch haben Betriebe mit hohem Energiebedarf hier bereits begonnen, auf erneuerbare Energiequellen umzusteigen. Es ist zu erwarten, dass künftig die meisten Unternehmen mehr Energie einsparen wollen, um ihre Betriebskosten zu senken. Für eine höhere Effizienz der Anlagen als auch für die Nutzung erneuerbarer Energien oder der Optimierung der Wärme- bzw. Kälteversorgung gibt es zahlreiche gute technische Lösungen.

Eine abschließende Schätzung der Investitionskosten der jeweiligen Maßnahmen ist zum heutigen Zeitpunkt nicht darstellbar. Dazu sind weitere konkrete Untersuchungen, wie Potential- oder Machbarkeitsstudien oder die Entwicklung von

Quartierskonzepten erforderlich. Die kommunale Wärmeplanung bleibt eine dauerhafte Pflichtaufgabe der Stadt Bad Rappenau.

Eine dynamische Anpassung der kommunalen Wärmeplanung an veränderte Rahmenbedingungen ist sinnvoll, ebenso eine regelmäßige Überprüfung zu erreichender Zielwerte. Für die Umsetzung von Maßnahmen ist eine dauerhafte enge Abstimmung und Zusammenarbeit mit den örtlichen Energieversorgern und Wärmenetzbetreibern essenziell. Die Fortschreibung der kommunalen Wärmeplanung ist gesetzlich spätestens bis zum 30.06.2030 vorzunehmen.

Die Umsetzung der Maßnahmen, welche in der vorliegenden kommunalen Wärmeplanung angedacht sind, bedeutet für die Stadt Bad Rappenau eine große Herausforderung. Dafür müssen eventuell Verwaltungsstrukturen angepasst sowie finanzielle, personelle und zeitliche Ressourcen vorgehalten werden. Die Transformation der Wärmeversorgung betrifft alle, sowohl die Bewohnerinnen und Bewohner der Gesamtstadt als auch Unternehmen und öffentliche Organisationen. Jeder muss seinen Beitrag leisten. Der Abstimmungsbedarf mit den verschiedenen Akteuren der Wärmeversorgung ist hoch. Jedoch ist die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung durch die Stadtgemeinschaft ein entscheidender Baustein für die Reduzierung der Treibhausgase im Sinne einer besseren und klimafreundlichen Zukunft in Bad Rappenau.

11 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. IKK / IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (201, 202)
6. Innovative KWK-Systeme
7. Kommunale Klimaschutzmodellprojekte

11.1 BAFA: BUNDESFÖRDERUNG FÜR EFFIZIENTE WÄRMENETZE (BEW)

<i>Ansprechpartner</i>	<i>Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz</i>
<i>Antragsberechtigte</i>	<i>Unternehmen, Kommunen, kommunale Eigenbetriebe, kommunale Unternehmen, kommunale Zweckverbände, eingetragene Vereine, eingetragene Genossenschaften, Kontraktoren</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</i>

	<p><i>Modul III: Schnell umsetzbare Einzelmaßnahmen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - 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><i>Allgemein:</i></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
<i>Kumulierbarkeit</i>	<i>Keine Kumulierung mit anderen öffentlichen Mitteln von Bund und Ländern</i>
<i>Weitere Informationen</i>	<i>https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html</i>
<i>Frist</i>	<i>Die Richtlinie tritt am 15. September 2022 in Kraft. Ihre Geltungsdauer ist auf sechs Jahre begrenzt.</i>

11.2 KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ (KWKG)

<i>Ansprechpartner</i>	<i>Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz</i>
<i>Antragsberechtigte</i>	<i>Betreiber von KWK-Anlagen Betreiber eines neuen oder ausgebauten Wärmenetzes</i>
<i>Förderungen</i>	<i>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</i> <i>1. KWK-Strom aus neuen, modernisierten und nachgerüsteten KWK-Anlagen, der auf Basis von Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen gewonnen wird,</i> <i>3. KWK-Strom aus bestehenden KWK-Anlagen, der auf Basis von gasförmigen Brennstoffen gewonnen wird,</i> <i>4. den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen sowie für den Neubau von Wärmespeichern, in die Wärme aus KWK-Anlagen eingespeist wird,</i> <i>5. den Neu- und Ausbau von Kältenetzen sowie für den Neubau von Kältespeichern, in die Kälte aus KWK-Anlagen eingespeist wird.</i>
<i>Förderhöhe</i>	<i>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</i> <i>Höhe des Zuschlags für den Neu- und Ausbau von Wärmenetzen:</i> <i>- bis DN 100 (Mittel über Gesamtnetz) 100 Euro je laufenden Meter der neu verlegten Wärmeleitung, höchstens aber 40 Prozent der Investitionskosten</i> <i>- bei mehr als DN 100 (Mittel über Gesamtnetz) 30 % der Investitionskosten</i> <i>- maximal 20 Mio. € je Projekt</i>

	<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

11.3 ERNEUERBARE ENERGIEN-STANDARD (270)

Ansprechpartner	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWK), KfW Bankengruppe
Antragsberechtigte	private und öffentliche Unternehmen, Kontraktoren, 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: - 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-Hocheinkommensland sind, werden von der KfW im Einzelfall geprüft Erwerb gebrauchter Anlagen: - 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

11.4 KFW 430: ENERGIEEFFIZIENT SANIEREN

Ansprechpartner	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWK), 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

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

<i>Ansprechpartner</i>	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), KfW Bankengruppe</i>
<i>Antragsberechtigte</i>	<i>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</i>
<i>Förderungen</i>	<i>KWK(K)-Anlagen, industrielle Abwärme, Wärme- und Kältespeicher, Wärme- und Kältenetze</i>
<i>Förderhöhe</i>	<i>Zinsgünstige Darlehen bis zu 100 % der förderfähigen Investitionen (Programm 202: max. 50 Mio. €), Tilgungszuschüsse bis zu 10 %</i>
<i>Voraussetzungen</i>	<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><i>Modul A Wärme- und Kälteversorgung:</i></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.

<p><i>Kumulierbarkeit</i></p>	<p><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p>
<p><i>Weitere Informationen</i></p>	<p><i>https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunen/Förderprodukte/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-Kommunen-(201)/</i></p> <p><i>https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Öffentliche-Einrichtungen/Kommunale-Unternehmen/Förderprodukte/Energieeffiziente-Quartiersversorgung-kommunale-Unternehmen-(202)/</i></p>
<p><i>Frist</i></p>	<p><i>Keine Fristen</i></p>

11.6 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. JAZ von 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	

<i>Weitere Informationen</i>	https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/kwk_merkblatt_innovative_kwk-systeme.html https://www.kea-bw.de/news/innovative-kwk-systeme
<i>Frist</i>	<i>keine Fristen; Ausschreibungen durch die Bundesnetzagentur jeweils zum 01.06 und 01.12 eines jeden Jahres</i>

11.7 KOMMUNALE KLIMASCHUTZ-MODELLPROJEKTE

Ansprechpartner	Projekträges Jülich (PTJ)
Antragsberechtigte	Antragsberechtigt sind Kommunen (Städte, Gemeinden und Landkreise) und Zusammenschlüsse von Kommunen sowie Betriebe, Unternehmen und sonstige Einrichtungen mit mindestens 25 Prozent kommunaler Beteiligung
Förderungen	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 Umweltverbunds, grüne City-Logistik und Treibhausgas-Reduktion im Wirtschaftsverkehr; sowie - Smart-City (Vernetzung, Integration und intelligente Steuerung verschiedener umwelttechnischer Infrastrukturen)
Förderhöhe	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
Voraussetzungen	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
Kumulierbarkeit	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.
Weitere Informationen	https://www.ptj.de/klimaschutzinitiative/modellprojekte https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/foerderaufruf-kommunale-klimaschutz-modellprojekte.html
Frist	Antragsfristen jeweils 01.Jan und 31.Dez. eines Jahres

12 Literaturverzeichnis

- Fraunhofer ISE. (2022). *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende*. Freiburg: Fraunhofer ISE.
- Geschäftsstelle Klimaschutz. (2022). *Energiesteckbriefe der Kommunen des Rhein-Neckar-Kreises zur Potenzialanalyse Erneuerbare Energien im und für den Landkreis Rhein-Neckar*. Heidelberg: Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis. Von https://www.rhein-neckar-kreis.de/site/Rhein-Neckar-Kreis-2016/get/params_E1931507126/3004757/Energiesteckbriefe_Potenzialanalyse_Kommunen_RNK_2023-04-05_kompr.pdf abgerufen
- Geschäftsstelle Klimaschutz. (2022). *Potenzialanalyse Erneuerbare Energien im und für den Rhein-Neckar-Kreis*. Heidelberg: Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis.
- KEA-BW. (kein Datum). Von KEA-BW: <https://www.kea-bw.de/> abgerufen
- Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis. (2023). *Potenziale für Erneuerbare Energien im Rhein-Neckar-Kreis*. Von <https://www.rhein-neckar-kreis.de/start/landkreis/erneuerbare+energien.html> abgerufen
- LGRB (Hrsg.). (2018). *Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG)*. Von <https://produkte.lgrb-bw.de/informationssysteme/geoanwendungen/isong> abgerufen
- LUBW. (2023). *Energieatlas Baden-Württemberg*. Abgerufen am 14. März 2023 von <https://www.energieatlas-bw.de/>
- Rödl & Partner; *Wärmespezifischer Urbanitätsgrad in Abhängigkeit von Wärmedichte und Siedlungstyp*. (2023). Von <https://www.roedl.de/themen/erneuerbare-energien/2019-08/der-waermemarkt-der-zukunft-potenziale-erkennen-und-erfolgreich-umsetzen> abgerufen
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2020). *Statistisches Landesamt Baden-Württemberg*. Abgerufen am 22. April 2022 von Bevölkerung und Gebiet: <https://www.statistik-bw.de/BevoelkGebiet/GebietFlaeche/01515020.tab?R=KR121>
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg. (2023). *statistik-bw*. Von <https://www.statistik-bw.de/> abgerufen
- Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe TFZ. (2021). *Agri-Photovoltaik - Stand und offene Fragen*. Straubing.
- Weck-Ponten, 2023, *Simulationsbasiertes Mehrebenen-Planungswerkzeug für geothermische Wärmepumpensysteme*, Dissertation, RWTH Aachen University, DOI: 10.18154/RWTH-2023-09082, URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/969286/files/969286.pdf>

13 Abkürzungsverzeichnis

BMU	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz</i>
IfaS	<i>Institut für angewandtes Stoffstrommanagement</i>
ifeu	<i>Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH</i>
m ²	<i>Quadratmeter</i>
m ² /kWp	<i>Quadratmeter pro Kilowattpeak</i>

14 Anhang

1. Heatmap – Wärmebedarf
2. Heatmap – Wärmebedarf > 1,5 GWh/a
3. Baublockebene – Absoluter Wärmebedarf im Bilanzjahr
4. Baublockebene – Wärmedichte im Bilanzjahr
5. Wärmeliniendichte
6. Heatmap – Heizöl
7. Baublockebene – Anteil Heizölwärmeerzeuger
8. Baublockebene – Anteil Heizölbedarf
9. Baublockebene – Anteil Gebäude mit Baujahr bis 1978
10. Potenzial – Geothermie Sonden
11. Potenzial – Geothermie Kollektoren
12. Potenzial – Freiflächenpotenzial für solare Energienutzung
13. Potenzial – Windpotenzialflächen
14. Potenzial – Abwärmepotenziale
15. Energieplan – Übersichtskarte zu den Energieplan Gebieten
16. Maßnahmen – Übersichtskarte über die Maßnahmenggebiete