

Kommunale Wärmeplanung für die Stadt Mühlheim an der Donau

Bericht

Erstellt am: 17.10.2024
im Auftrag von: Stadt Mühlheim an der Donau
Projektleitung: B. Sc. Marc-André Claus
Inhaltliche Bearbeitung: M. Sc. Holger Zimmermann, B. Sc. Sebastian Gallery,
B. Sc. Marc-André Claus,



Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 Einleitung und Aufgabenstellung	13
2 Grundlagen und Methodik	14
2.1 Datenschutz	14
2.2 Randbedingungen für die Umsetzung	14
2.3 Datenquellen und Datenqualität	16
2.4 Methodik der Bestandsanalyse	18
2.4.1 Struktur der Wärmeversorgung	18
2.4.2 Angaben zum Wärmeverbrauch	18
2.4.3 Kennwerte für Bedarfsermittlung.....	19
2.5 Erhebungen Potenziale	20
2.5.1 Ermittlung des Einsparpotenzials der energetischen Sanierung	20
2.5.2 Potenziale erneuerbare Energien und Abwärmenutzung	22
2.6 Modellierung des Zielszenarios	26
2.6.1 Entwicklung des Wärmebedarfs.....	26
2.6.2 Allgemeine Rahmenbedingungen für die Energieversorgung der Zukunft	27
2.6.3 Entwicklung von Eignungsgebieten.....	29
2.6.4 Bildung des Energieträgermix im Zielzustand	30
3 Projektablauf, Akteure und Beteiligung	33
4 Bestandsanalyse	35
4.1 Gemeindestruktur.....	35
4.2 Wärmeversorgungsstruktur	36
4.2.1 Energieträgerverteilung.....	36
4.2.2 Struktur der Wärmeerzeugung	37
4.2.3 Bestehende Wärmenetze	39
4.2.4 Bestehende Bohrungen für Erdwärmesonden	40
4.2.5 Verteilnetz Erdgas	40
4.3 Stromerzeugende Anlagen und Speicher.....	41
4.4 Wärmebedarf und Wärmedichte.....	42

4.5 Energiebilanz	45
4.6 Treibhausgasbilanz.....	46
5 Potenziale	48
5.1 Einsparpotenzial durch energetische Sanierung	48
5.2 Solarenergie auf Freiflächen	49
5.3 Solarenergie auf Dachflächen.....	50
5.4 Abwasserwärmenutzung.....	51
5.4.1 Abwasserwärme im Kanal	51
5.4.2 Abwasserwärme nach Klärwerk.....	51
5.5 Feste Biomasse / Holz	53
5.6 Flusswasserwärme	54
5.7 Grundwasser	55
5.8 Geothermie mit Erdwärmesonden.....	56
5.8.1 Nutzung Erdwärmesonden in Wärmenetzen.....	56
5.8.2 Nutzung Erdwärmesonden für einzelne Liegenschaften	56
5.9 Geothermie mit Erdkollektoren / Agrothermie.....	57
5.10 Außenluft in Verbindung mit Wärmepumpen	58
5.11 Abwärme aus industriellen Prozessen	59
5.12 Biogas	59
5.13 Power to Gas.....	59
5.14 Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen.....	60
5.14.1 Windkraftanlagen.....	61
5.14.2 Wasserkraftanlagen.....	61
5.14.3 Stromerzeugung aus Photovoltaik	62
5.15 Rolle der Gasnetze.....	62
5.16 Rolle Kraft-Wärme-Kopplung.....	63
5.17 Fazit / Zusammenfassung Potenziale	63
6 Szenarienbildung und Zielbild	66
6.1 Allgemeine Voraussetzungen und Annahmen.....	66
6.2 Entwicklung des Wärmebedarfs.....	67
6.3 Entwicklung des Strombedarfs zur Wärmeerzeugung.....	68
6.4 Eignungsgebiete	69
6.5 Zwischenstand 2030	72

6.6 Zielbild 2040.....	74
6.7 Entwicklung der Treibhausgasemissionen.....	76
7 Wärmewendestrategie	78
8 Maßnahmenkatalog	79
8.1 Übergeordnete / administrative Maßnahmen.....	80
8.2 Beteiligung Öffentlichkeit und Akteure.....	83
8.3 Energieeinsparung / Effizienzsteigerung in Gebäuden.....	84
8.4 Transformation in Eignungsgebieten für dezentrale Versorgung.....	86
8.5 Wärmenetze: Neubau, Ausbau, Transformation.....	87
9 Monitoring und Controlling	89
10 Verstetigung und Fortschreibung.....	91
11 Literatur- und Quellenverzeichnis.....	92
12 ANHANG.....	94
12.1 Bezeichnungen für Energie und Wärme.....	94
12.2 Anhang Karten.....	95
12.3 THG-Faktoren nach KEA-Technikkatalog	96

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bilanzierung des Wärmebedarfs im Ist-Zustand nach Gebäudetypen, Energieträgern und Nutzungssektor	2
Abb. 2: Verteilung der THG-Emissionen (CO ₂ -Äquivalente) nach Energieträgern im Ist-Zustand	3
Abb. 3: Kartenausschnitt: Eignungsgebiete Wärmenetze und effiziente WP bis 2040.....	6
Abb. 4: Entwicklung THG-Emissionen (CO ₂ -Äquivalente) nach Energieträger bis 2040	8
Abb. 5: Der Potenzialbegriff am Beispiel von Solarertrag oder Effizienzsteigerung im Gebäudebestand	20
Abb. 6: Abwasserwärmetauscher im Kanal (Quelle: Fa. Uhrig)	23
Abb. 7: schematische Zuweisung von Versorgungsoptionen im Zielszenario	31
Abb. 8: Projektphasen der KWP-Erstellung.....	33
Abb. 9: Gebäude mit Wärmenutzung nach Anzahl, Fläche, Sektor und Nutzungsart.....	35

Abb. 10: Baublöcke nach Ortsteilen in Mühlheim an der Donau, ALKIS-Daten-Stand 2021	35
Abb. 11: Gebäude nach Gebäudetyp in den Baublöcken, ALKIS-Daten-Stand 2021	36
Abb. 12: Energieträgerverteilung im Ist-Zustand nach Erzeugernutzwärmeabgabe der Gebäude	37
Abb. 13: Verteilung der Feuerstätten nach ihrem Baualter	38
Abb. 14: Verteilung der Feuerstätten nach Energieträger, Anzahl und Leistung	38
Abb. 15: Verteilung der Feuerstätten nach Art, Anzahl und Leistung	38
Abb. 16: Baublöcke mit Wärmenetz / Wärmeverbund	40
Abb. 17: bekannte Bohrungen für EWS nach [ISONG]	40
Abb. 18: Baublöcke mit Erdgasnetz	41
Abb. 19: Erzeugernutzwärmeabgabe nach Gebäudetyp, Energieträger, Anwendung und Nutzungssektor	42
Abb. 20: Absoluter Wärmebedarf (Erzeugernutzwärmeabgabe) pro Baublock	43
Abb. 21: Spezifischer Wärmebedarf (Erzeugernutzwärmeabgabe) pro Baublock	44
Abb. 22: Blockweise Wärmedichte (Erzeugernutzwärmeabgabe)	45
Abb. 23: Bilanzierung des Endenergiebedarfs für Wärmeerzeugung im Ist-Zustand	46
Abb. 24: Endenergieanteile nach Energieträgern	46
Abb. 25: THG-Bilanz im Ist-Zustand	47
Abb. 26: THG-Emissionen nach Energieträger	47
Abb. 27: Einsparpotenziale durch Effizienzsteigerung im Bestand in Abhängigkeit der Sanierungsrate	48
Abb. 28: Freiflächen mit solarer Eignung nach [LUBW FF Solar]	49
Abb. 29: Potenzial zur Wärmeerzeugung aus Solarenergie pro Baublock (mit Angaben aus [LUBW DF 2022])	50
Abb. 30: Vorliegende Ablauftemperaturen nach Kläranlage im Jahresverlauf (Referenzjahr 2022)	51
Abb. 31: Vorliegende Abflussmengen nach Kläranlage als Jahresdauerlinie (Referenzjahr 2022)	52
Abb. 32: Potenzial Abwasserwärme: lieferbare Wärmemenge Wärmepumpe nach Klärwerk	52
Abb. 33: Potenzial Abwasserwärme: thermische Gesamtleistung Wärmepumpe nach Kläranlage	52
Abb. 34: Potenzial Flusswasserwärme: lieferbare Wärmemenge Wärmepumpe	54
Abb. 35: Potenzial Flusswasserwärme: thermische Gesamtleistung Wärmepumpe	54

Abb. 36: Hydrogeologische Übersichtskarte mit Schutzgebieten nach [ISONG].....	55
Abb. 37: Grundwasservorkommen nach [GDI DE GW][ISONG].....	55
Abb. 38: Geothermiepotenzial für Erdwärmesonden im Bestandgebiet nach [KEA EWS 2022].....	57
Abb. 39 Beispielhafte Darstellung Agrothermie, © Doppelacker GmbH [BMWI-09/2019]	58
Abb. 40: Eignungsgebiete.....	69
Abb. 41: Wärmedichte Stetten – Liniendichte	70
Abb. 42: Energieträgerverteilung für die Erzeugernutzwärme 2030	72
Abb. 43: Energieträgerverteilung für die Endenergie 2030.....	73
Abb. 44: Treibhausgasemissionen aus der Wärmenutzung 2030	73
Abb. 45: Energieträgerverteilung für die Erzeugernutzwärme 2040	74
Abb. 46: Energieträgermix im Zielzustand nach Baublöcken.....	75
Abb. 47: Energieträgerverteilung für die Endenergie 2040.....	75
Abb. 48: Treibhausgasemissionen aus der Wärmenutzung 2040	76
Abb. 49: prognostizierter Verlauf der THG-Emissionen bis 2040	77
Abb. 50: PDCA-Zyklus der Umsetzung, „rollierende Planung“	90
Abb. 51: Bilanzgrenzen und Bezeichnungen im Energiefluss bis zur Nutzwärme im Gebäude.....	94

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gegenüberstellung Wärme aus Solarenergie mit PV vs. Solarthermie.....	22
Tab. 2: Übersicht Beteiligung Akteure und Öffentlichkeit.....	34
Tab. 3: Anzahl bekannter Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen	39
Tab. 4: Abschätzung Anzahl an Solarthermieranlagen.....	39
Tab. 5: stromerzeugende Anlagen und Speicher im Stadtgebiet [MaStr 2024].....	41
Tab. 6: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs	67
Tab. 7: Strombedarf für Wärmepumpen 2030 / 2040.....	68

Abkürzungsverzeichnis

Agri-PV	Mit Photovoltaik überspannte landwirtschaftlich genutzte Flächen
Agrothermie	gleichzeitige Flächennutzung für Erdwärme (Kollektoren) und Landwirtschaft
Ankernutzer	Großer Wärmeabnehmer, der den Aufbau eines Wärmenetzes begünstigt
AWNA	Abwasserwärmenutzungsanlage
BAK	Baualtersklasse (von Gebäuden)
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus; Wohngebäude bis zu 2 Wohneinheiten
Eignungsgebiet	Ein Gebiet, das für den beschriebenen Ansatz, z. B. Wärmenetze, grundsätzlich geeignet ist und dahingehend näher untersucht werden sollte
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWS	Erdwärmesonde
Fernwärme	siehe „Nahwärme, Fernwärme, Wärmenetz“
GHD(I)	Gewerbe, Handel, Dienstleistung, (Industrie)
(G)MFH	(Große) Mehrfamilienhäuser
Kalte Nahwärme	Wärmeverteilung auf niedrigem Temperaturniveau, z. B. 20°C
KlimaG BW	Klimaschutz und Klimafolgenanpassungsgesetz Baden-Württemberg
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWP	Kommunale Wärmeplanung
Nahwärme, Fernwärme, Wärmenetz	Verteilnetze für Wärme mit Erzeugung in einer oder mehreren Wärmezentralen (Unterscheidung nicht einheitlich definiert)
NGF	Nettogeschossfläche
Niedertemperatur	Wärmeverteilung auf Temperaturniveau unter 70°C
PV	Photovoltaik
PVT	Photovoltaik-thermische Kollektoren; Solarkollektoren, die sowohl Strom als auch Wärme liefern können

THG	Treibhausgasemissionen (in CO ₂ -Äquivalente)
Wärmewende	(Wärmewendestrategie) Umsetzung des Zielkonzepts; zyklischer Prozess der Wärmewende mit Planen, Umsetzen, Überprüfen, Handeln
Wärmenetz	siehe „Nahwärme, Fernwärme, Wärmenetz“
WKA	Wasserkraftanlage / Windkraftanlage
WP	Wärmepumpe



ZUSAMMENFASSUNG

Die Stadt Mühlheim an der Donau hat in einem Konvoi zusammen mit den Gemeinden Riethem-Weilheim, Seitingen-Oberflacht und Wurmlingen eine freiwillige kommunale Wärmeplanung nach dem Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) durchgeführt. Mit dem vorliegenden Kommunalen Wärmeplan erfüllt Mühlheim an der Donau vorfristig auch die Vorgabe des Wärmeplanungsgesetz des Bundes (WPG) bis Juni 2028 einen Wärmeplan aufzustellen.

Die kommunale Wärmeplanung (KWP) ist eine rechtlich unverbindliche, strategische Fachplanung. Mit der am 01.01.2024 in Kraft getretenen Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) ist die Wärmeplanung nach dem WPG jedoch mit dem GEG hinsichtlich der Fristen zur Umstellung auf regenerative Versorgungsoptionen, insbesondere Wärmenetze, verknüpft worden. Durch den Beschluss der kommunalen Wärmeplanung durch die Stadt entstehen jedoch keine rechtsverbindlichen Auswirkungen für die Bürgerschaft, außer die Kommune beschließt in einem weiteren Schritt explizit formale Vorranggebiete für Wärmenetze gemäß §26 Abs. 1 WPG. Den Kommunen und den Bürgerinnen und Bürgern entstehen somit durch einen frühen Einstieg in die Kommunale Wärmeplanung keine Nachteile oder höhere Anforderungen als denen, in den noch keine KWP vorliegt.

Der Wärmeplan ersetzt keine Energieberatung vor Ort. Die Energieberatung pro Liegenschaft kann sich aber an den Ergebnissen des Wärmeplans, insbesondere den lokalen Potenzialen oder Fokus- und Eignungsgebieten für bestimmte Versorgungsoptionen, orientieren. Der Wärmeplan stellt damit ein strategisches Planungsinstrument für die kommunale Verwaltung, lokale Energieversorger, Gebäudenutzer und -betreiber sowie Gewerbe- und Industriebetriebe in Fragen einer zukunftsfähigen Wärmeversorgung dar.

Ist-Zustand der Wärmeerzeugung und Nutzung:

Für die Kommune wurden die Wärmebedarfe nach Gebäudetyp, Energieträger, Anwendung und Nutzungssektoren wie folgt erhoben und bilanziert (Datengrundlage 2021):

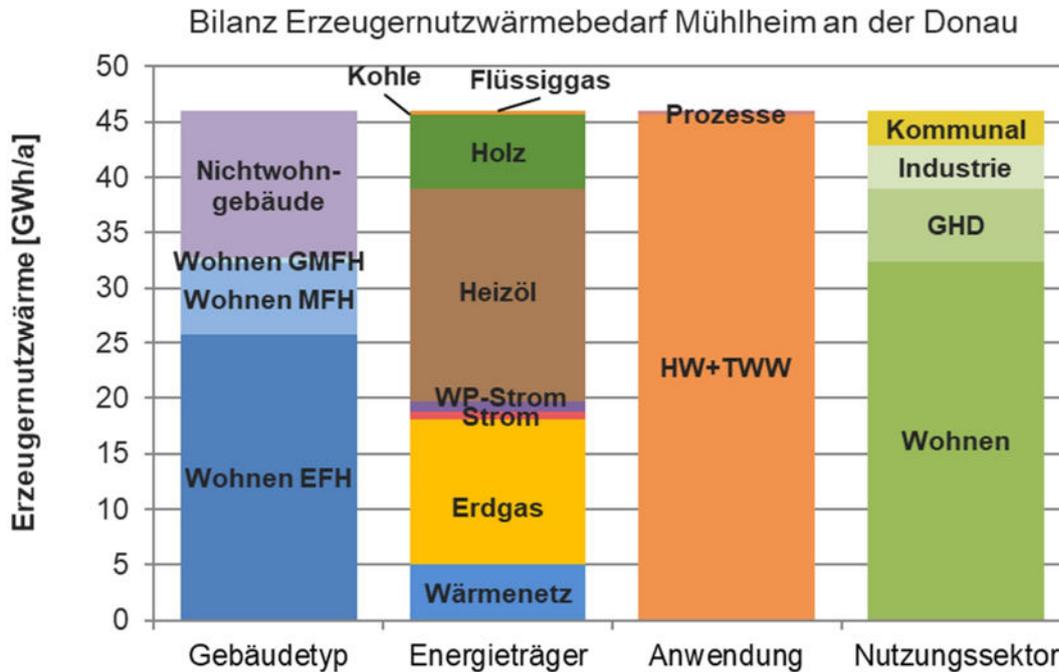


Abb. 1: Bilanzierung des Wärmebedarfs im Ist-Zustand nach Gebäudetypen, Energieträgern und Nutzungssektor

Daraus ergibt sich:

- In rund 1.300 beheizten Gebäuden wird etwa 46.020 MWh/a zur Wärmebedarfsdeckung benötigt (bezogen auf Erzeugernutzwärmeabgabe – Wärmemenge nach Wärmeerzeuger).
- Hauptsächlich wird diese Wärme zur Deckung des Heizwärmebedarfs (HW) und Trinkwarmwasserbedarfs (TWW) benötigt.
- Der Wärmebedarf der Wohngebäude, insbesondere der Einfamilienhäuser (EFH), dominiert.
- Innerhalb der Nichtwohngebäude dominiert der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)
- Der Wärmebedarf wird derzeit zum größten Teil aus fossilen Energieträgern, v. a. Heizöl und Erdgas, gedeckt.
- Etwa 28 % des Wärmebedarfs werden bereits aus erneuerbaren Energien wie Holz oder Umweltwärme mit Wärmepumpen (WP) sowie Wärmenetzen gedeckt.

Auf Grundlage der ermittelten Energieträgerverteilung wurde die Bilanz der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) für den Ausgangspunkt der kommunalen Wärmeplanung gebildet:

THG-Emissionen nach Energieträger Mühlheim a. d. Donau

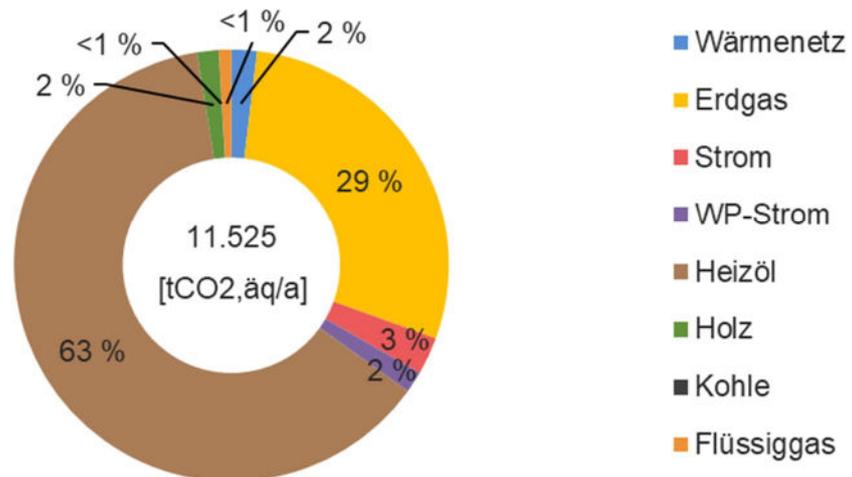


Abb. 2: Verteilung der THG-Emissionen (CO₂-Äquivalente) nach Energieträgern im Ist-Zustand

Analog zur oben dargestellten Energiebilanz dominieren unter den fossilen Energieträgern insbesondere Heizöl und Erdgas.

Bestehende Potenziale

Die erhobenen lokalen Potenziale unterscheiden sich hinsichtlich der Qualität der dafür verfügbaren Datenquellen und der Belastbarkeit, der zur Abschätzung notwendigen Annahmen. Zu beachten ist, dass die Potenziale ggf. untereinander konkurrieren und nicht technisch oder wirtschaftlich gleichwertig erschlossen werden können. Vor der Nutzung der genannten Potenziale können teilweise weitere Untersuchungen zur technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit notwendig werden.

- **Effizienzsteigerung im Bestand:** Im Gebäudebestand wurde ein langfristiges Einsparpotenzial durch Effizienzmaßnahmen von 42,4 % ermittelt. Unter Berücksichtigung einer abgestimmten anzunehmenden Sanierungsrate von 1,5 %/a und der äußeren Einflüsse der Klimaerwärmung ergibt sich eine erwartbare Reduzierung des Wärmebedarfs von 3.570 MWh/a (7,8 %) bis 2030 und von 6.810 MWh/a (14,9 %) bis 2040.
- **Solare Wärme auf Dachflächen:** Das ermittelte langfristige Potenzial zur Wärmeerzeugung auf solar geeigneten Dachflächen beläuft sich auf 3.420 MWh/a.
- **Solare Wärme auf Freiflächen:** Solarthermie-Freiflächenanlagen in der Nähe zu Wärmeabnehmern oder Heizzentralen stellen in Verbindung mit Speichern eine gute regenerative Wärmequelle für Wärmenetze dar. Im Zuge weiterführender Untersuchungen zur Nahwärmeversorgung Mühlheims (Machbarkeitsstudie / Transformationsplan) sollte das Solarpotenzial konkretisiert und mögliche Flächen zur Sicherung definiert werden.
- **Abwasserwärme im Kanal:** Die Hauptsammler der Abwasserkanäle in Stetten und Mühlheim haben beide einen ausreichenden Durchmesser, um dort Wärmetauscher installieren zu können. Die real dort vorliegenden Temperaturen und Durchflussmengen müssen jedoch erst in Messungen überprüft werden. Bei einer Nutzung der Abwasserwärme ist in jedem Fall darauf zu achten, dass die Abkühlung des Abwassers die Klärprozesse in der Kläranlage nicht beeinträchtigt.
- **Abwasserwärme nach Kläranlage:** Die Abkühlung des gereinigten Abwassers nach der Kläranlage mittels Wärmepumpe bietet ein Wärmepotenzial nach Wärmepumpe von 1.120 bis 1.490 MWh/a.
- **Flusswasserwärme:** Das für die Donau abgeschätzte Wärmepotenzial nach Wärmepumpe beläuft sich auf 16.750 bis 25.000 MWh/a. Die Herausforderung besteht darin, einen geeigneten Standort für die Wasserentnahme und Wärmepumpe zu finden. Es gibt bisher keine dafür geeigneten Bauwerke. Für eine Erschließung und genauere Bestimmung des nutzbaren Potentials sind zudem noch weitere (u. a. auch rechtliche Randbedingungen) zu klären.

- **Grundwasserwärme:** Insbesondere im Bereich der Donau und der Bäche Mühlheims sind die hydrogeologischen Voraussetzungen für eine Grundwasserwärmenutzung in Verbindung mit einer Wärmepumpe gegeben. Derzeit sind laut Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG) bereits zwei Anlagen mit Grundwasserwärmenutzung bekannt.
- **Geothermie (Erdwärmesonden):** Für das Stadtgebiet wird aus den verfügbaren öffentlichen Quellen grundsätzlich eine gute Eignung für Erdwärmesonden bestätigt. Besonders geeignete Gebiete wurden bei den Eignungsgebieten als Gebiete für die Nutzung effizienter Wärmepumpen hervorgehoben (s. u.). Zur dezentralen Nutzung für einzelne Liegenschaften im Bestand stehen nach einer Studie der KEA BW etwa 20.450 MWh/a aus Erdwärmesonden in Verbindung mit Wärmepumpen zur Verfügung.
- **Geothermie (Erdwärmekollektoren):** Die Nutzung von Erdwärme aus oberflächennahen Kollektoren (Agrothermie, Erdkörbe o. ä.) in Verbindung mit Wärmepumpen ist grundsätzlich in Randlagen oder locker bebauten Baublöcken für einzelne Liegenschaften mit verringerten Wärmebedarfen möglich und wurde entsprechend im Anteil für dezentrale Wärmepumpen im Zielszenario berücksichtigt. Wenn größere Flächen in der Nähe von Heizzentralen gefunden werden können, eignet sich diese Form der oberflächennahen Geothermie prinzipiell auch für eine zentrale Wärmeversorgung über ein Wärmenetz.
- **Abwärme:** Aus den durchgeführten Befragungen ansässiger Unternehmen sowie der Analyse von Verbrauchsdaten, Branchen oder installierten Leistungen zur Wärmeerzeugung konnten keine für die Kommunale Wärmeplanung konkret nutzbaren Potentiale ermittelt werden. Die anfallende Abwärme wird bereits teilweise selbst genutzt oder fällt in so geringen Mengen an, dass die Nutzung voraussichtlich nicht wirtschaftlich darstellbar ist.

Eignungsgebiete

Aus der Bestands- und Potentialanalyse sowie in Abstimmung mit der Kommune und dem Betreiber des bestehenden Wärmenetzes wurden potenzielle Eignungsgebiete für den Aufbau oder die Verdichtung und Erweiterung von Wärmenetzen sowie geeignete Gebiete für den Einsatz effizienter Wärmepumpen (z. B. Geothermie oder Grundwasser als Wärmequelle) abgestimmt. Für diese Eignungsgebiete wurden, soweit dafür entsprechende Anhaltspunkte vorlagen, auch Ausbauszenarien und Zeithorizonte für die Entwicklung der jeweiligen Anteile der Wärmebedarfsdeckung durch die jeweiligen Wärmenetze gebildet und für die Szenarien bilanziert.

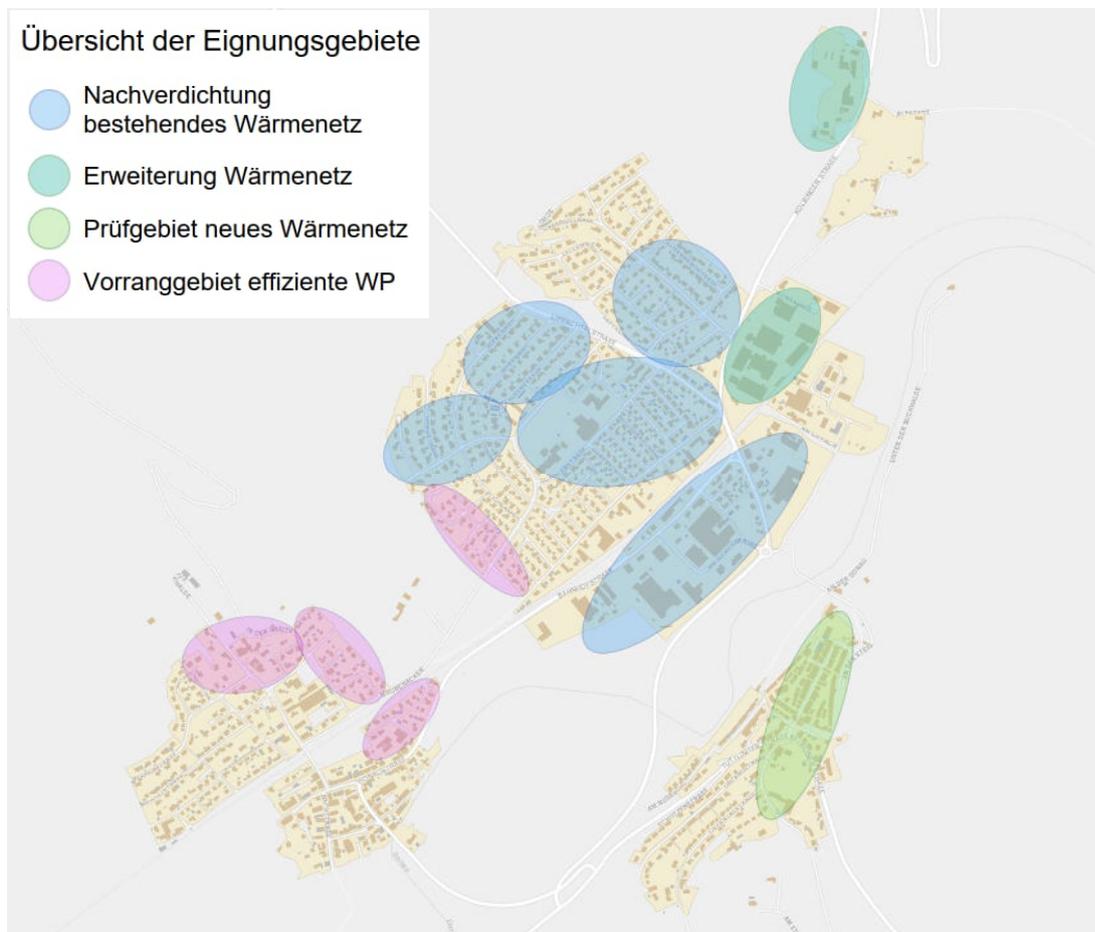


Abb. 3: Kartenausschnitt: Eignungsgebiete Wärmenetze und effiziente WP bis 2040

In den beiden Eignungsgebieten (Nachverdichtungsgebiet + Erweiterungsgebiet) des bestehenden Wärmenetzes könnten unter Berücksichtigung der Bedarfsenkung durch energetische Gebäudesanierung und des Einflusses der Klimaerwärmung rund 35,7 % (7.050 MWh/a) des dort vorliegenden Wärmebedarfs bis zum Jahr 2030 und rund 59,9 % (10.350 MWh/a) bis zum Jahr 2040 durch Nahwärme gedeckt werden.

Im Prüfgebiet für ein neues Netz in der Oberstadt, ggfs. ausgehend von dem bestehenden Wärmeverbund, könnten unter den genannten Rahmenbedingungen rund 60 % (2.900 MWh/a) bis zum Jahr 2040 gedeckt werden.

Für die ganze Stadt könnte unter diesen Annahmen eine Deckung des Wärmebedarfs bis 2040 von 34,4 % (13.250 MWh/a) durch Nahwärme erreicht werden.

Für die Nachverdichtung / Erweiterung des Wärmenetzes, bzw. und vor allem den Neubau in der Oberstadt müssen folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Konkretere Prüfung der Umsetzbarkeit, z. B. durch Machbarkeitsstudie (nach Bundesförderung für effiziente Wärmenetze – BEW)
- Konkrete Planung und Umsetzung von Ausbaustufen und Zentralen
- Begleitende Öffentlichkeitsarbeit und Akteursbeteiligung, um die für die Wirtschaftlichkeit notwendigen Anschlussquoten im Bestand zu erreichen.

Zielszenario und Entwicklungspfad

Mit den Ergebnissen aus der Bestands- und Potentialanalyse und unter Berücksichtigung der mit der Kommune und weiteren wesentlichen Akteuren abgestimmten Randbedingungen und Annahmen für die Entwicklung des Zielszenarios, wurde die anzunehmende künftige Struktur der Wärmeerzeugung und Energieträgerverteilung für die Jahre 2030 und 2040 modelliert.

Daraus ergibt sich eine **Reduktion der Treibhausgasemissionen von 38 % bis 2030 und 83,4 % bis 2040.**

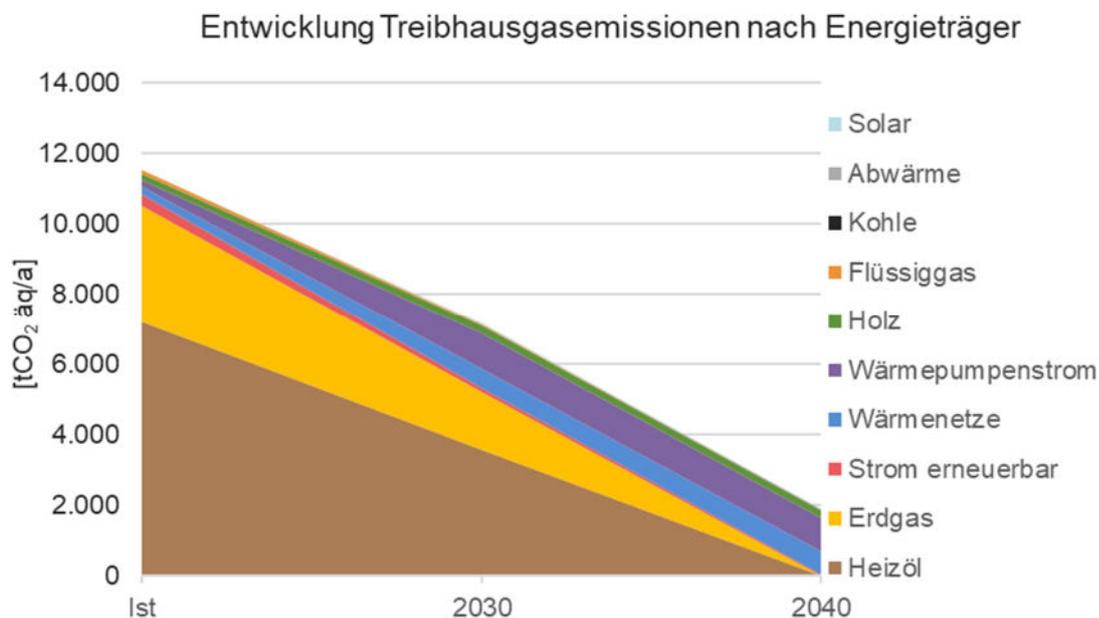


Abb. 4: Entwicklung THG-Emissionen (CO₂-Äquivalente) nach Energieträger bis 2040

Mit der Umstellung auf erneuerbare Energiequellen können die THG-Emissionen entscheidend gesenkt, aber nicht vollständig vermieden werden. Auch für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen sind THG-Emissionen, z. B. aus Herstellung und Transport, zu berücksichtigen. Eine Klimaneutralität im Sinne von „Null THG-Emissionen“ kann für das Stadtgebiet somit nur durch begleitende Maßnahmen zur Kompensation von Emissionen erreicht werden. Für diese Maßnahmen und die Möglichkeit der Anrechnung für die Stadt fehlen jedoch derzeit die übergeordneten rechtlichen Rahmenbedingungen.

Umsetzungsstrategie und Maßnahmen

Die Konzeption einer klimaneutralen Wärmeversorgung im Kontext der übergeordneten politischen Vorgabe zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2040 beruht auf drei strategischen Zielen:

1. Ehrgeizige Einsparungen und Steigerung der Effizienz in der Wärmenutzung
2. Umstellung der Wärmeerzeugungsanlagen auf erneuerbare Energiequellen
3. Aufbau, Verdichtung und Erweiterung von Wärmenetzen

Dazu wurden, gegliedert nach Handlungsfeldern, mit der Stadt und wesentlichen Akteuren Maßnahmen abgestimmt und priorisiert. Nach dem KlimaG BW sollen für die Kommune durch den Wärmeplan mindestens fünf kurzfristig zu beginnende Maßnahmen mit höherer Priorität benannt werden. Diese empfohlenen sind:

1. Aufbau und Etablierung eines kommunalen Klimaschutzmanagements
2. Erstellung einer CO₂-Bilanz für Mühlheim an der Donau (ergänzend zum KWP und als Ausgangspunkt für Controlling der Umsetzung). Die Erstellung findet bereits statt und soll Ende 2024 abgeschlossen sein.
3. Entwicklung und Umsetzung einer Freiflächen-Photovoltaik-Anlage nördlich des Stadtteils Stetten. Das Projekt befindet sich bereits im Bebauungsplanverfahren.
4. Initiierung und Begleitung von Prozessen zur Entwicklung bestehender bzw. dem Aufbau neuer Wärmenetze
5. Themenbezogene Bürgerveranstaltungen zur Information der Bürgerinnen und Bürger über Ergebnisse des KWP und zur beratenden Begleitung bei der Umsetzung.
6. Untersuchungen zu Energieeffizienz und erneuerbare Energien in kommunalen Gebäuden im Rahmen der Fokusberatung Klimaschutz
7. Initiierung und Begleitung von Beratungsangeboten für Besitzerinnen und Besitzer privater Wohngebäude zur Steigerung der Energieeffizienz.
8. Initiierung und Begleitung von Beratungsangeboten für Besitzerinnen und Besitzer privater Wohngebäude zur Transformation dezentraler Heizsysteme und zur Nutzung erneuerbarer Energien.
9. Moderation des Prozesses der Nachverdichtung sowie der Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes.
10. Moderation des Prozesses zur Untersuchung / Überprüfung der Machbarkeit eines neuen potenziellen Wärmenetzes in der Oberstadt

Die Maßnahmen sind in ausführlicher Form im Maßnahmenkatalog des Berichts dokumentiert.

Herausforderungen:

Auch bei vollständiger Ausschöpfung aller bestehenden lokalen Potenziale bleibt die Stadt von äußeren Entwicklungen und Ressourcen abhängig:

- Für die Steigerung der Energieeffizienz im Bestand bestehen Hemmnisse (wie z. B. Ressourcen- und Handwerker-mangel), deren Ursachen durch die Stadt nicht direkt beeinflusst werden können.
- Holz als Brennstoff wird in Zukunft sehr stark nachgefragt, während die Nutzung durch Gesetzgebung und Förderrichtlinien mittelfristig voraussichtlich stärker reglementiert werden wird.
- Aus erneuerbaren Energien hergestellte brennbare Gase (v. a. grüner Wasserstoff) werden auf lange Sicht weder aus lokalen Potentialen noch aus überregionalen Netzen in ausreichender Menge verfügbar sein, um sie technisch und wirtschaftlich in der Breite für Heizzwecke verwenden zu können.
- Durch absehbare Zunahme von strombetriebenen Wärmeerzeugern, insbesondere Wärmepumpen, wird die Transformation des Strommixes und die entsprechende Verstärkung des Stromnetzes zu einem bestimmenden Faktor für das Erreichen der Klimaneutralität. Hier kann die Kommune durch die Erschließung lokaler Potentiale einen Beitrag leisten (was bereits in Form der geplanten Freiflächenphotovoltaikanlage nördlich des Stadtteils Stetten erfolgt). Die Stadt bleibt jedoch auch von der Entwicklung des Bundes-Strommixes und den Möglichkeiten des Netzbetreibers abhängig.
- Wegen der räumlichen Verteilung, der Kleinteiligkeit und den saisonalen Schwankungen der nachhaltigen lokalen Wärmequellen sind Wärmespeicher und Wärmenetze von besonderer Bedeutung für die Erreichung der Klimaneutralität der Stadt.
- Für den Aufbau und den Betrieb von Wärmenetzen sollte der bereits etablierte Wärmenetzbetreiber und Contractor Badenova-Wärmeplus bei der notwendigen Konkretisierung von Eignungsgebieten und der Suche nach verfügbaren Flächen und Standorten zur regenerativen Wärmeerzeugung intensiv unterstützt werden. Zudem besteht prinzipiell die Chance weitere überregional geeignete Akteure, z. B. Bürgerenergiegenossenschaften oder auch andere gewerbliche Contractoren zu finden. In jedem Fall sollten künftige Betreiber möglichst früh in die Konzeptionierung und Umsetzung von Wärmenetzen einbezogen werden.

Allgemein wird die Gewinnung von Solar- und Umweltwärme sowie der Ausbau der Wärmenetze und die Errichtung von benötigten Speichern und Heizzentralen die Stadtgesellschaft fordern. Es sind Flächen zu finden, auf denen die entsprechenden Anlagen zur Strom- oder Wärmegewinnung sowie die Zentralen und Wärmespeicher errichtet werden können. **Für die Akzeptanz sollten alle Betroffenen frühzeitig in die Umsetzung des Wärmeplans miteinbezogen werden.**

Kernaussagen für die Bürgerschaft

Die aufgezeigten Perspektiven für die Entwicklung von Wärmenetzen müssen vor einer formalen Festlegung als Wärmenetzvorranggebiete im Sinne des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zunächst weiter untersucht und konkretisiert werden.

Solange von der Stadt keine formalen Wärmenetzvorranggebiete festgelegt werden, ergeben sich in den oben benannten Eignungsgebieten **keine Verpflichtungen oder Umstellungsfristen aus dem GEG**. Das bedeutet, dass für unmittelbar anstehende Erneuerungen von Heizungsanlagen in den Eignungsgebieten die gleichen Anforderungen gelten, wie im Rest der Stadt.

Für Gebäude im Eignungsgebiet des bestehenden Wärmenetzes (siehe Abb. 3), besteht grundsätzlich die Möglichkeit an das Wärmenetz angeschlossen zu werden. Ob dies im Einzelfall tatsächlich möglich ist und welche Anschlusskosten zugrunde gelegt werden müssen, kann nur nach einer genauen Prüfung gesagt werden.

Vor allem für Gebäude außerhalb eines Wärmenetz-Eignungsgebietes sollte mittelfristig nach einer dezentralen Lösung gesucht werden. Im Hinblick auf die spätestens ab Juli 2028 geltenden Vorgaben für neue Heizungen, sollte diese neue Heizungsanlage die Wärme bereits größtenteils erneuerbar bereitstellen. Dafür stehen folgende prinzipielle Quellen zur Verfügung:

- lokale Potenziale aus Geothermie in Verbindung mit Wärmepumpen (speziell in Vorranggebieten für effiziente Wärmepumpen: siehe Abb. 3)
- Nutzung von anderen Niedrig-Temperatur-Wärmequellen in Verbindung mit Wärmepumpen wie z. B. Außenluft, Eisspeicher, Photovoltaik-thermische Kollektoren (PVT)
- Wärme aus Solarenergie auf Dachflächen (Photovoltaik / Solarthermie / PVT)
- Holz, vorzugsweise aus der Region und in Verbindung mit anderen Energiequellen, um es nur in der Heizperiode zu nutzen (z. B. + Solarenergie)
- „Wärmeinseln“ zwischen benachbarten Gebäuden (z. B. Reihenhäusern) oder auch Gebäuden auf einer Liegenschaft

Generell stellt die Bedarfssenkung durch Effizienzmaßnahmen an der Gebäudetechnik, dem Nutzerverhalten oder der Gebäudehülle einen sinnvollen Schritt vor der Erneuerung des Wärmeerzeugers und Umstellung auf erneuerbare Quellen dar. Mit der Senkung des Bedarfs und der im Heizsystem notwendigen (Vorlauf-) Temperaturen, steigen die Chancen einer technisch und wirtschaftlich sinnvollen Nutzung von erneuerbaren Energien, insb. bei Systemen mit Wärmepumpen. Gebäude können durch Effizienzmaßnahmen also auf ein neues Heizsystem vorbereitet werden („Wärmepumpen-ready“ / „Niedertemperatur-ready“).

Bestehende (fossile) Heizungen können teilweise auch durch Wärmepumpensysteme ergänzt und weiter zur Spitzenlastdeckung genutzt werden, wenn damit die Verpflichtung zur Deckung durch erneuerbare Energien erfüllt wird (Hybridsysteme).

Für die konkrete Entscheidung pro Gebäude ist weiterhin eine qualifizierte Beratung vor Ort notwendig. Die Kommunale Wärmeplanung kann diesen Schritt nicht ersetzen aber als übergeordnetes Planungsinstrument der Kommune bestehende Versorgungsoptionen im Stadtgebiet lokalisieren, zeitlich einordnen oder auch ausschließen.

Für die gebäudeweise Beratung stehen verschiedene Angebote und Förderungen zur Verfügung. Das betrifft lokale Angebote der Energieagentur des Landkreises oder auch den bundesweit geförderten „Sanierungsfahrplan“.

Insgesamt werden die Kosten und auch der Flächenbedarf für die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern steigen. Die Nutzung von Flächen oder Standorten für die Wärmeerzeugung, -speicherung und -übertragung steht dabei zudem in Konkurrenz zu anderen Nutzungen wie der Landwirtschaft oder der Naherholung und muss zudem Auflagen des Naturschutzes beachten. Die Wärmewende stellt damit eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Mit dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) haben Kommunen unter 20.000 Einwohnern die Möglichkeit, freiwillig eine kommunale Wärmeplanung durchzuführen und können sich dafür mit benachbarten Kommunen zusammenschließen („Konvoi“), um Synergien in der Konzepterstellung, aber auch der späteren Umsetzung zu nutzen. Das Land Baden-Württemberg hat dieses Vorhaben durch Fördermittel unterstützt.

Der Beschluss des Gemeinderats zur freiwilligen Erstellung einer kommunalen Wärmeplanung reiht sich in die bereits länger bestehenden ehrgeizigen Klimaschutzaktivitäten der Stadt Mühlheim an der Donau ein.

Der kommunale Wärmeplan (KWP) soll in Form eines übergeordneten Planungsinstrumentes die Basis für eine Strategie zur langfristig klimaneutralen Wärmeversorgung des Gebiets der Kommune bis zum Jahr 2040 bilden. Der KWP nennt dazu die Potenziale und Wärmebedarfe der Stadt sowie Eignungsgebiete für z. B. den Ausbau von Wärmenetzen. Er bildet die Grundlage zur Auswahl von Quartieren für die Durchführung gezielter Entwicklungskampagnen oder zur Erschließung lokaler Potentiale an erneuerbaren Energien. Darüber hinaus soll er für Gebäudeeigentümer und Energieversorger eine Orientierung zur Realisierung klimaneutraler Wärmeversorgungssysteme darstellen.

Der Kommunale Wärmeplan soll nach den Vorgaben des Wärmeplanungsgesetz des Bundes (WPG) sowie des KlimaG BW regelmäßig aktualisiert werden, um im Laufe der Umsetzung auf die jeweils aktuellen technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu reagieren.

2 Grundlagen und Methodik

2.1 Datenschutz

Durch das Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg (KlimaG BW) wurde die rechtliche Grundlage geschaffen gebäude- bzw. zählerscharfe Daten von Wohn- und Nichtwohngebäuden bei z. B. Bezirksschornsteinfegern, Energieversorgungsunternehmen oder der Industrie zu erheben.

Entsprechend hoch ist die Bedeutung des Datenschutzes im kommunalen Wärmeplan. Nach § 33 KlimaG BW und mit Verweis auf die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO, insb. Art. 28) sind die Kommunen zum Schutz der Daten verpflichtet.

Umgesetzt wird diese Pflicht wie folgt:

- Es wurden mit den Lieferanten und Bearbeitern sensibler Daten Verträge nach DSGVO geschlossen, die die Art der Speicherung und Bearbeitung regeln.
- Für die Veröffentlichung der Ergebnisse in Karten wurden die gebäudescharfen Daten zu Baublöcken als kleinste Einheit zusammengefasst, dabei bilden mindestens fünf Gebäude einen Baublock.
- Nach Abschluss des Projektes werden gebäudescharfe Daten gelöscht.

2.2 Randbedingungen für die Umsetzung

Die Umsetzung der Ergebnisse und Maßnahmen des kommunalen Wärmeplans unterliegt vielen äußeren Einflüssen, die die Kommune nicht oder nur in geringem Maße beeinflussen kann. Dazu gehören die Entwicklung der Energiepreise, die Kostenentwicklung für Investitionen und die Verfügbarkeit von Ressourcen zur Umsetzung baulicher Maßnahmen. Weitere maßgebliche Randbedingungen werden durch das Land und den Bund im Kontext des Ordnungsrechts und der Förderkulisse festgelegt:

- Verschärfung der Neubauanforderungen; Pflicht zur Nutzung von Solarenergie
- durch das „Erneuerbare Wärmegesetz Baden-Württemberg“ (EWärmeG BW) vorgeschriebene Mindestanteile erneuerbarer Energien (15 %) oder entsprechender Ersatzmaßnahmen beim Einbau neuer Wärmeerzeuger
- Bundesgesetz zur Kommunalen Wärmeplanung („Wärmeplanungsgesetz“, WPG) mit Vorgaben zu Transformationsplänen und Anteilen erneuerbarer Energien in Wärmenetzen sowie einer Verknüpfung von Eignungsgebieten für bestimmte Versorgungsoptionen mit dem GEG

- Förderung der energetischen Modernisierung von Gebäuden mit dem Ziel der Effizienzsteigerung und Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie der Entwicklung kleinerer Wärmeverbände („Gebäudenetze“) durch die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)
- Förderung für Transformationspläne und die Optimierung bestehender Wärmenetze sowie für Machbarkeitsstudien zur Konzeption, Planung und Umsetzung neuer Wärmenetze durch die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)
- Förderprogramme des Bundes zur energetischen Quartiersentwicklung mit Maßnahmen zur Akteursbeteiligung und Öffentlichkeitsarbeit

Der Prozess zur Erreichung der Klimaneutralität erfordert eine Exit-Strategie aus Öl und Erdgas, die von einer allgemeinen Bedarfssenkung und dem Ausbau von Wärmenetzen begleitet wird. Sowohl Wärmenetze als auch verbleibende dezentrale Heizungsanlagen müssen in Zukunft mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Dabei sollten zuerst lokale Potenziale ausgeschöpft werden bevor überregionale Ressourcen in Anspruch genommen werden. Die Kommune kann dazu mit eigenen administrativen Maßnahmen auf äußere Rahmenbedingungen reagieren, soweit ihr das rechtlich und finanziell möglich ist.

Als kleinere Kommune ohne eigene kommunale Unternehmen / Stadtwerke zur Wärmeversorgung muss zur Entwicklung bestehender und ggfs. neu zu errichtender Wärmenetze mit externen bzw. privaten Dienstleistern / Contractoren zusammengearbeitet werden. Die Rolle der Kommune besteht in dieser Konstellation in der Initiierung und Moderation der dazu notwendigen Prozesse:

- Recherche und Kontaktaufnahme mit geeigneten, möglichst auch regional verankerten, Anbietern für den Aufbau und Betrieb von Wärmeversorgungsanlagen / Wärmenetzen.
- Aufnahme von Bedürfnissen oder Impulsen zur Entwicklung von Wärmenetzen aus der Bürgerschaft oder auch dem Gewerbe- / Industriesektor.
- Durchführung von Studien zur Erschließung von lokalen Potentialen an erneuerbaren Energien für Wärmenetze, der Transformation bestehender oder der Entwicklung neuer Wärmenetze im Gebäudebestand.
- Beauftragung und Umsetzung von Konzepten zur Energieversorgung von Neubau- / Entwicklungsgebieten auf Basis effizienter Energienutzung und erneuerbaren Energien.

2.3 Datenquellen und Datenqualität

Für die Erstellung der Wärmeplanung wurde durch den Gesetzgeber im KlimaG BW die Verfügbarkeit wesentlicher Datenquellen gesichert. Dabei gelten gleichzeitig Bestimmungen zur Gewährleistung des Datenschutzes (vgl. Kapitel 2.1). Diese Daten umfassen:

- zählerbezogene Verbrauchsdaten von Energieversorgern / Netzbetreibern zu leitungsgebundenen Energieträgern: Gas, Wärme, Strom für Heizzwecke,
- Kkehrbuchdaten mit technischen Angaben zu Feuerstätten in der Zuständigkeit der Bezirksschornsteinfeger,
- Auskunftspflicht von Industriebetrieben / Großverbrauchern zu Energienutzungen und Verbräuchen.

Für die erfolgreiche Bearbeitung der Kommunalen Wärmeplanung wurden weitere Datenquellen hinzugezogen:

- Angaben zum Gebäudebestand aus dem Amtlichen Liegenschaftskataster Informationssystem (ALKIS): Umriss, Adresse, Nutzungsart
- Höhendaten des LGL mit Gebäudehöhen zur Abschätzung einer beheizten Nutzfläche (Energiebezugsfläche - EBF)
- Ergebnisse einer Befragung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie (GHDI) zu Energienutzungen und Potenzialen
- Öffentlich verfügbare Informationen zu lokalen Potenzialen regenerativer Energien
- Weitere Angaben von Betreibern von Infrastruktur zur Ver- oder Entsorgung wie Wärmenetze, Kläranlagen, lokale Wärme- oder Stromerzeugung etc.

Kennzeichnend für die Aufbereitung und Zusammenführung aller genannten Datenquellen sind die unterschiedlichen Genauigkeiten, Zeitbezüge oder auch räumliche Auflösungen. Außerdem unterscheiden sich die Datengrundlagen in den Kommunen in ihrer Verfügbarkeit, Aktualität oder auch im Datenformat.

Mit der Herausforderung diese für eine möglichst effiziente Verarbeitung sehr unterschiedlich geeigneten Quellen mit einem Geografischen Informationssystem (GIS) nutzbar zu machen und der Unmöglichkeit im Rahmen des Projektes einzelnen Datenfehlern, Widersprüchen oder offensichtlichen Unstimmigkeiten nachzugehen, muss pro Liegenschaft weiter von verbleibenden Unsicherheiten / Ungenauigkeiten ausgegangen werden. Das betrifft insbesondere:

- die geschätzten Wärmebedarfe für nicht-leitungsgebundene Energieträger, z. B. anhand installierter Leistungen von Wärmeerzeugern

- den Anteil von Strom zur Wärmeerzeugung, wenn kein besonderer Tarif dafür besteht
- den Deckungsanteil mehrerer Wärmeerzeuger in einer Liegenschaft
- durch andere Gebäude mitversorgte Gebäude („Wärmeinsel“, gemeinsame Heizungsanlagen)
- die Unsicherheiten bei der automatisierten Zuweisung von adressbezogenen Angaben durch Schreibfehler, andere Schreibweisen, Umbenennung, Abriss, Neubau etc.
- die Anwendung statistischer Kennwerte auf die grob geschätzte EBF zur Festlegung nicht getrennt vorliegender Teilverbräuche, z. B. Anteil Warmwasserbereitung in Wohngebäuden, Wärmebedarf in Nichtwohngebäuden, Anteile von Prozesswärme etc.
- die Aufteilung von Gesamtverbräuchen in Liegenschaften (z. B. GHDI) auf einzelne Gebäude(-teile) und Nutzungen.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung keine korrekte gebäudescharfe Aufnahme und Prognose erfolgt, sondern (allein schon aus Datenschutzgründen) die Aussagen zu größeren Einheiten wie Quartieren, Eignungs- oder Fokusgebieten, Straßenzügen, Baublöcken etc. getroffen werden.

2.4 Methodik der Bestandsanalyse

2.4.1 Struktur der Wärmeversorgung

Für die Erfassung der bestehenden Struktur der Wärmeversorgung wurden folgende Grundlagen und Quellen verwendet:

- Adressbezogene Kehrbuchdaten zu Feuerstellen: Baujahr, Leistung, Energieträger, Art der Feuerstelle und Art der Verteilung (Zentral- oder Einzelraumheizung) der zuständigen Bezirksschornsteinfegermeister
- Angaben des Wärmenetzbetreibers zu den jeweils versorgten Liegenschaften
- Zählerbezogene Angaben zu leitungsgebundenen Energieträgern des Gas- und Stromversorgers
- Installierte Solarthermieanlagen soweit bekannt oder erkennbar

In der Auswertung der Kehrbücher wurde anhand der Art der Feuerstätte nach der anzunehmenden Verwendung unterschieden bzw. irrelevante kleinere Wärmeerzeuger aussortiert (z. B. Schmiedefeuer, Kochgeräte bzw. Anlagen mit weniger als 10 % Anteil an der installierten Leistung):

- Raumwärme und Warmwasser
- Sonstige / Prozesswärme (z. B. Destillen, Schmelzöfen)

2.4.2 Angaben zum Wärmeverbrauch

Verbrauchsangaben für einzelne Energieträger zur Wärmeerzeugung lagen v. a. für leitungsgebundene Energieträger vor:

- Zählerbezogene Angaben zum Wärmeverbrauch im bestehenden Wärmenetz
- Zählerbezogene Angaben zu Erdgasverbräuchen der Netze BW GmbH
- Zählerbezogene Angaben zu Wärmestromverbräuchen der Netze BW GmbH
- Befragungen im Sektor GHDI: Gewerbe- und Industriebetriebe wurden kontaktiert und gebeten Angaben zu ihren Energie- und Wärmenutzungen sowie zu bestehenden Potenzialen zu machen.
- Angaben der Stadt zu kommunalen Gebäuden

Die in unterschiedlichen Formaten und Qualitäten vorliegenden Quellen wurden jeweils aufbereitet und mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) zur weiteren Auswertung zusammengeführt.

Strombetriebene Wärmeerzeuger wie z. B. Nachtspeicheröfen oder Wärmepumpen wurden aus den Daten des Versorgers / Netzbetreibers auf Grundlage der dort registrierten besonderen Tarife ermittelt. Andere strombetriebene Anlagen können

aus den verfügbaren Quellen nicht identifiziert und entsprechend zugeordnet werden. In diesen Fällen ergab sich die Zuweisung deshalb im Wesentlichen aus nach Nutzungsart anzunehmender Beheizung und trotz der Auswertung aller anderen oben genannten Quellen weiterhin unbekanntem Energieträger.

Vorhandene Stromnutzungen für Prozesswärme können damit ebenfalls nicht automatisch, sondern nur durch einen direkten Kontakt bzw. eine Befragung ermittelt werden. Somit ist bei den Angaben zur Wärmeerzeugung aus Strom im KWP auch eine größere Unsicherheit enthalten.

Die Verwendung von Wärme in Liegenschaften des Sektors GHDI kann nicht allein aus einer Angabe zum Gesamtverbrauch einer Liegenschaft (Hauptzähler) abgeleitet werden. Pro Gebäude und Nutzungsart auf der Liegenschaft wurde anhand von anzunehmenden Bedarfskennwerten ein Bedarf für Heizwärme und ggf. Warmwasserbereitung abgeschätzt. Der verbleibende Anteil wurde der Verwendung „Sonstige / Prozesswärme“ zugeordnet.

Verbrauchsangaben unterliegen witterungsbedingten Schwankungen und werden außerdem zu einem großen Teil vom Nutzerverhalten beeinflusst. Für die unmittelbare Einschätzung des Ist-Zustands sind sie jedoch bedeutsam, weil darin auch der ansonsten unbekannt Sanierungszustand abgebildet ist.

2.4.3 Kennwerte für Bedarfsermittlung

Für Gebäude, für die keine konkreten Verbrauchsangaben vorlagen, wurde der Wärmebedarf abgeschätzt. Dies betrifft vor allem Gebäude mit nicht leitungsgebundenen Energieträgern wie z. B. Heizöl, Flüssiggas oder Holz.

Wohngebäude

Da im Stadtgebiet keine gebäudebezogenen Baualter zur Verfügung standen, wurde für die Ermittlung von anzunehmenden Wärmebedarfswerten auf die Hochrechnung aus der installierten Leistung der Wärmeerzeugung mit Hilfe von typischen anzunehmenden Vollbenutzungsstunden pro Energieträger und Anlagentyp zurückgegriffen.

Nichtwohngebäude

Der Verbrauch von Nichtwohngebäuden wird in der Regel mehr von der Nutzung als von der Baualterklasse bestimmt. Für die Nichtwohngebäude, für die kein Verbrauchswert vorlag, wurde deshalb auf die Kennwerte nach VDI 3807 Teil 2 [VDI 3807-2] zurückgegriffen (Mittelwert je m² NGF nach Nutzungsart). Diese wurden für die Verwendung auf die Erzeugernutzwärmeabgabe umgerechnet.

2.5 Erhebungen Potenziale

Nicht alle theoretisch existierenden Potenziale sind auch realistisch erschließbar. Durch die Berücksichtigung der diversen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen, grenzt sich das theoretische Gesamtpotenzial im Laufe der detaillierteren Untersuchungen und nachfolgenden Planungen immer weiter auf das erschließbare Potenzial ein. Im Rahmen des KWP wurde in Abstimmung mit der kommunalen Verwaltung sowie weiteren Akteuren versucht, diese Eingrenzung der Potenziale soweit möglich bereits vorzunehmen. Insbesondere die tatsächliche Verfügbarkeit von Potenzialflächen oder Standorten für benötigte technische Anlagen wie Wärmezentralen mit Lager- oder Speicherkapazitäten, kann im Projektrahmen des KWP jedoch nicht abschließend geklärt werden.

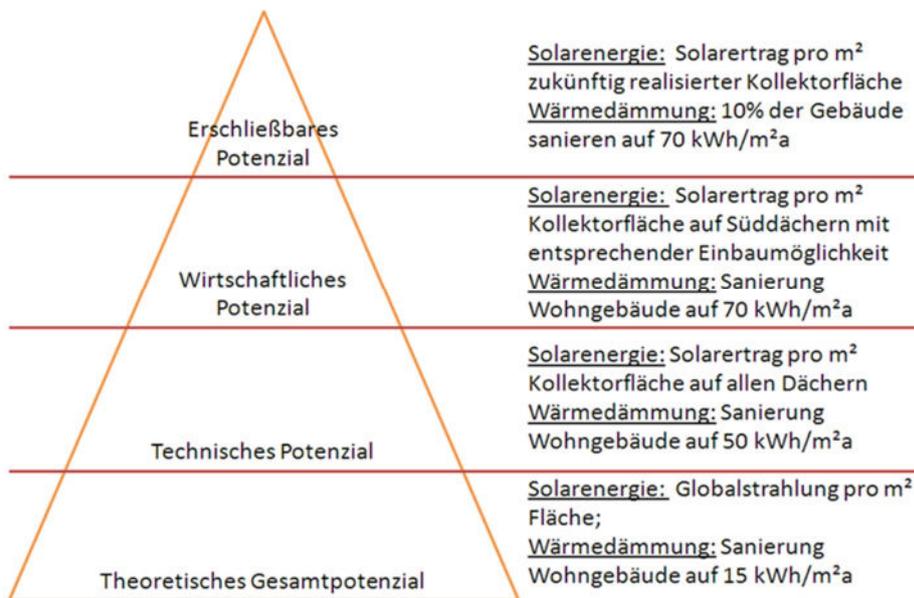


Abb. 5: Der Potenzialbegriff am Beispiel von Solarertrag oder Effizienzsteigerung im Gebäudebestand

2.5.1 Ermittlung des Einsparpotenzials der energetischen Sanierung

Wohngebäude

Das pro Gebäude anzunehmende Einsparpotenzial wurde je nach Nutzungsart auf Basis eines statistisch begründeten Zielwerts in Kombination mit einer als maximal angesehenen Einsparquote festgelegt. Für Wohngebäude entspricht das im Mittel einem Bedarf nach den Förderstandards „Effizienzhaus 55 oder -70“ der KfW.

Anhand des zugewiesenen aktuellen Wärmebedarfs der Gebäude wurde ein derzeitiger Sanierungsstand indirekt berücksichtigt. Lag der Bedarf eines Gebäudes bereits unter oder in der Nähe seines Zielwertes, wurde kein Potenzial angenommen, da eine wirtschaftliche Gebäudemodernisierung als unwahrscheinlich angenommen werden muss.

Für alle anderen Gebäude ergab die Differenz des aktuellen Bedarfs zum Zielwert bzw. eine angenommene maximal mögliche Einsparung das langfristige Gesamtpotenzial.

Die energetische Gebäudesanierung stellt die Maßnahme mit dem größten Anteil am Einsparpotenzial der Wohngebäude dar. Andere Faktoren wie das Nutzerverhalten oder Optimierungen an den bestehenden Anlagen können nicht einzeln bewertet werden und sind im angenommenen Zielwert bereits enthalten.

Nichtwohngebäude

Als Grundlage für die Ermittlung des Einsparpotenzials bei Nichtwohngebäuden sind die Richtwerte des Wärmebedarfs nach Gebäudenutzung aus der VDI 3807 Teil 2 verwendet worden. Aus der Differenz aus Richtwert und Mittelwert nach dieser VDI und unter Berücksichtigung einer maximalen prozentualen Einsparung wurde der zugehörige Reduktionsfaktor für den Heizwärmebedarf der Gebäude abgeleitet.

Die Entwicklung des Prozesswärmebedarfs ist jedoch nicht belastbar abzuschätzen, da sie in nicht geringem Umfang mit der Entwicklung der wirtschaftlichen Lage und der Marktsituation zusammenhängt. Diese Bedarfe wurden für die Szenarienbildung und die Potenzialanalyse nicht verändert, es sei denn, es wurden Angaben dazu in den Fragebögen gemacht.

Sanierungsrate

Die berechneten Einsparungen sind als technisch-wirtschaftliches Potenzial zu verstehen und zeigen einen Zielzustand nach Sanierung aller heute als sanierungsfähig eingeschätzten Gebäude auf. In welchem Rahmen und in welchem Zeitraum dieses Einsparpotenzial erschlossen wird, hängt von der erreichbaren Sanierungsrate ab.

Der Begriff „Sanierungsrate“ ist nicht allgemeingültig definiert. In diesem KWP entspricht sie dem Anteil der sanierungsfähigen Gebäude (siehe oben) an der Gesamtheit der beheizten Bestandsgebäude, die innerhalb eines Jahres im Mittel auf ihre jeweiligen Zielwerte saniert werden.

2.5.2 Potenziale erneuerbare Energien und Abwärmenutzung

Solarenergie auf Freiflächen

Da die Stadt Mühlheim derzeit eine geeignete Fläche für eine Freiflächen-Photovoltaik-Anlage beplant, wurde für die solare Stromerzeugung kein weiteres mittelfristig erschließbares Flächenpotenzial ermittelt.

Für grundsätzlich geeignete Freiflächen zur solaren Wärmeerzeugung können den öffentlich verfügbaren Karten der LUBW sowie den Ende 2023 veröffentlichten Planhinweiskarten zur Teilfortschreibung der Regionalverbände zu PV-Freiflächen entnommen werden (veröffentlicht auf <https://www.regionalverband-sbh.de/>).

Alle in diesen Quellen ausgewiesenen Flächen müssen jedoch in jedem Fall erst auf ihre tatsächliche Verfügbarkeit geprüft werden bevor dafür Potenziale hochgerechnet werden.

Verfügbare Freiflächen mit solarer Eignung in der Nähe von bestehenden Wärmeeinheiten oder Wärmenetz-Eignungsgebieten sind dabei zuerst für die Solarthermie zu prüfen und ggf. vorzusehen und erst danach für die Stromerzeugung durch Photovoltaik.

Solarenergie auf Dachflächen

Durch die technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen der letzten Jahre stellen sich PV-Anlagen mit einem in den Warmwasserspeicher integrierten Heizstab und solarthermische Anlagen zur Wärmegewinnung als wirtschaftlich gleichwertig dar. Abhängig von den jeweiligen Voraussetzungen können beide Systeme zum Einsatz kommen und haben dabei folgende Vor- oder Nachteile:

Tab. 1: Gegenüberstellung Wärme aus Solarenergie mit PV vs. Solarthermie

Photovoltaik mit Heizstab	Solarthermie
Leichtere Installation	Aufwändige Installation durch Wasserkreislauf und Speicher
Für denselben Ertrag wird mehr Kollektorfläche benötigt; Verschattungen und Orientierung sind entscheidend	Höherer Wirkungsgrad des Kollektors; teilweise Verschattung oder nicht optimale Orientierung sind weniger kritisch
Strom als höherwertige Energieform ist flexibel nutzbar. Zunächst zur Eigenstromnutzung, danach Stromüberschuss als Wärme im Speicher	Ausschließlich zur Wärmeerzeugung geeignet

Im Wärmesektor sind für die Nutzung von Solarenergie mit möglichst hohem Deckungsanteil v. a. ein niedriger Bedarf und die darauf abzustimmende Speichergröße und Kollektorfläche sowie deren Orientierung durch eine professionelle Planung wichtig. In durchschnittlichen Einfamilienhäusern sind Deckungsgrade am

Gesamtwärmebedarf von 20 % üblich, in sehr gut gedämmten Gebäuden (z. B. Passivhäusern) können deutlich über 50 % erreicht werden.

Für die Potenzialanalyse wurden die Daten der aktuellen Erhebung des LUBW für Potenziale der Solarenergie auf Dachflächen herangezogen [LUBW DF 2022].

Abwasserwärme im Kanal

Das in die Abwasserkanäle eingeleitete Abwasser enthält aus der vorigen Nutzung Wärme, die zwar keine direkt nutzbare hohe Temperaturquelle darstellt, jedoch den Vorteil einer ganzjährigen Verfügbarkeit deutlich über der Frostgrenze besitzt. Unter bestimmten Voraussetzungen kann sie zusammen mit einer Wärmepumpe durch Abwasserwärmenutzungsanlagen (AWNA) nutzbar gemacht werden. Dabei sorgt das umliegende Erdreich für eine gewisse Speicherung aber auch Regeneration der in das Abwasser abgeführten Wärme. Das in den Kanälen transportierte Abwasser stellt im Jahresverlauf eine nur gering schwankende Quelle für Wärmepumpen dar. Ein weiterer Aspekt ist die Möglichkeit der Kühlung, v. a. für Nichtwohngebäude, zunehmend aber auch für Wohngebäude.



Abb. 6: Abwasserwärmetauscher im Kanal
(Quelle: Fa. Uhrig)

Allgemeine Voraussetzungen für Abwasserwärmenutzungsanlagen sind:

- Genügende Durchflussmenge und Temperatur, um eine technisch und wirtschaftlich interessante Entzugsleistung zu erzielen
- Zugänglichkeit des Kanals für die Einbringung eines Wärmetauschers
- Nähe potenzieller Abnehmer mit geeigneter Wärme- oder Kältenutzung
- Abstand zwischen den Anlagen und besonders zum Klärwerk zur Regeneration der Abwassertemperatur
- Keine wirtschaftliche Konkurrenz zu bestehenden oder geplanten Wärmenetzen

Anhand verfügbarer Datengrundlagen zu Durchmessern und ggf. auch geschätzter Abflussmengen können für eine Wärmenutzung geeignete Abwasserkanäle grob identifiziert werden. Mit einem Betreiber abzustimmen ist jedoch die konkrete Möglichkeit und dessen Bereitschaft zum Einbau eines entsprechenden Wärmetauschers. Eine konkrete Potenzialbestimmung setzt Messwerte zu Durchflussmengen und Temperaturen voraus.

Die Wärmeentnahme sollte zudem in der Nähe geeigneter Liegenschaften liegen.

Abwasserwärme nach Klärwerk

Im Ablauf einer Kläranlage stehen ganzjährig erhöhte Temperaturen und Durchflussmengen zur Verfügung. Zudem ist das Wasser gereinigt und Wärmetauscher können entsprechend effizienter gestaltet werden.

Zur Beurteilung eines Potenzials werden vom Betreiber der Anlage Angaben zum Abfluss der Kläranlage und Informationen zu den räumlichen Gegebenheiten ausgewertet. Aus der Durchflussmenge und einer Abkühlung zwischen 1 und 4 K ergibt sich eine erste Größenordnung für ein theoretisches Potenzial. Abhängig von der möglichen Dimensionierung eines Wärmetauschers und der Minimaltemperatur für die Einleitung in ein Gewässer kann dann auf ein technisches Potenzial an Entzugsleistung aus dem Abwasser geschlossen werden.

Abwärme aus Kläranlagen stellt v. a. für Wärmenetze eine geeignete Wärmequelle dar, sofern sich die Kläranlage in einer wirtschaftlich realisierbaren Entfernung zu den Abnehmern befindet.

Flusswasserwärme

Für die Nutzung von Wärme aus Oberflächengewässern sind vielfältige rechtliche Einschränkungen zu beachten die im Einzelfall mit den zuständigen Behörden zu klären sind, insbesondere:

- Zulässige Abkühlung des Gewässers nach Einleitung des gekühlten Wassers
- Nutzung bestehender Bauwerke (Ausleitkanäle, Wehranlagen etc.)
- Andere Nutzungen der Entnahmestellen bei bestehenden Bauwerken

Aus Angaben zu Durchflussmengen und minimalen Temperaturen pro Jahreszeit (Quelle LUBW) wird ein theoretisches Potenzial ermittelt. Soweit im Rahmen des KWP möglich, können weitere Klärungen zur konkreten Realisierbarkeit, insbesondere zur Realisierung des Wärmetauschers durchgeführt werden.

Naturgemäß lässt sich v. a. außerhalb der Heizperiode Wärme aus den Gewässern entziehen. Bei genügender Wassermenge, kann jedoch auch bei nur geringer Abkühlung eine ggf. ausreichende Wärmemenge entzogen werden.

Grundwasser

Die Angaben zur Untergrundbeschaffenheit, grundwasserführenden Schichten und zur Lage von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten wurde dem „Informationssystem oberflächennahe Geothermie“ (ISONG) entnommen.

Geothermie mit Erdwärmesonden (EWS)

Grundlage für die Potenzialabschätzung von Erdwärmesonden zur Nutzung von Geothermie bildeten die Daten des „Informationssystems oberflächennahe Geothermie“ (ISONG). Hierzu wurden die Karten zur geothermischen Effizienz sowie zur Entzugs-

leistungen bei verschiedenen Bohrtiefen ausgewertet. Vorhandene Wasser- und Heilquellenschutzgebiete bildeten Ausschlusskriterien für die Geothermie-Eignungsgebiete.

Im Bestand wird auf die Studie der KEA BW zurückgegriffen, die für Siedlungsgebiete Geothermiepotenziale pro Liegenschaft mit Wohnnutzungen angibt. Diese Potenziale wurden unter Berücksichtigung bekannter rechtlicher Einschränkungen und bereits bebauter / versiegelter Flächen sowie der Wechselwirkungen zwischen benachbarten Erdwärmesonden ermittelt. Die von der KEA BW angenommene Jahresarbeitszahl (JAZ) für Wärmepumpen beträgt dabei 4,5.

Die sich aus der KEA-Studie ergebenden Erträge wurden zudem mit den ermittelten und räumlich aufgelösten Wärmebedarfen in der Kommune in Bezug gesetzt, um Schwerpunktgebiete für die Nutzung von Erdwärmesonden zu identifizieren.

Geothermie mit Erdwärmekollektoren / Agrothermie

Die Nutzung von Erdwärme in geringer Tiefe (1,5–4 m) ist eine Option für Gebiete oder Liegenschaften mit genügend Freifläche zur Installation der notwendigen Kollektoren im Erdreich. Dafür können z. B. Grün- oder Ackerflächen und Sportplätze in Frage kommen (die weiterhin als solche genutzt werden können). Durch den Flächenbedarf für die Kollektoren und die notwendige Nähe zu den Abnehmern (i. d. R. <300 m) kommen v. a. Randlagen oder nur locker bebaute Baublöcke als Potenzialgebiete in Frage. Wegen der jahreszeitlichen Schwankungen in dieser geringen Tiefe und regional unterschiedlichen Bodenverhältnisse variieren die Erträge jedoch.

In Kombination mit dezentralen Wärmepumpen bei den Abnehmern eignet sich die Agrothermie auch für Wärmenetze mit niedrigen Vorlauftemperaturen („kalte Nahwärme“), die v. a. für Neubaugebiete oder durchgängig sanierte Bestandsgebiete interessant sind.

Außenluft in Verbindung mit Wärmepumpen

Elektrisch betriebene Wärmepumpen, die Außenluft als Wärmequelle nutzen, stellen eine – im Verhältnis zu Wärmepumpen mit anderen Quellen – leicht zu realisierende Wärmeherzeugung dar. Probleme können durch die Schallemissionen der Außen-einheit entstehen, insbesondere bei hoher Beanspruchung in der Heizperiode. Außerdem kann aus der Außenluft gerade in der Heizperiode aufgrund niedriger Temperaturen besonders wenig Wärme entzogen werden, wodurch sich die Effizienz der Anlage verringert und der Anteil des Stroms in der gelieferten Wärme stark ansteigt.

Gerade in der Heizperiode, wenn auch regenerativer Strom nur begrenzt erzeugt werden kann, stellt das eine Belastung für das gesamte Stromnetz dar.

Bei der Gestaltung des Energieträgermix im Zielszenario wurden Außenluft-Wärmepumpen deshalb als letzte Option für dezentrale Heizungsanlagen verwendet. Für Zentralen in Wärmenetzen können jedoch große Luft-Wasser-Wärmepumpen im Rahmen von „innovativer Kraft-Wärme-Kopplung“ (iKWK) oder in Verbindung mit großen PV-Anlagen und Speichern sinnvoll sein, um z. B. Stromüberschüsse wirtschaftlich zu nutzen. Bei dezentralen Systemen eignen sich Wärmepumpen am besten für Objekte mit geringerem Wärmebedarf und niedrigen Vorlauftemperaturen, können aber zunehmend auch für durchschnittliche Bedarfe und Temperaturen im Bestand verwendet werden. Günstig ist außerdem lokal, z. B. aus PV-Anlagen, erzeugter Strom, der zumindest teilweise für den Betrieb der Wärmepumpe genutzt werden kann.

Abwärme

Für die potenzielle Nutzung von Abwärme aus industriellen Prozessen wurden aus Verbrauchsangaben, der Branchenzugehörigkeit sowie den für Wärmeerzeuger installierten Leistungen aus den Kkehrbüchern die Liegenschaften mit einem vermuteten Abwärmepotenzial ermittelt.

Diese Betriebe wurden über Fragebögen kontaktiert, um Angaben zu Energienutzung und ggf. vorhandenen Potenzialen zu erhalten.

2.6 Modellierung des Zielszenarios

2.6.1 Entwicklung des Wärmebedarfs

Wärmebedarf für Neubaugebiete

Mit den erhaltenen Angaben zu vorgesehenen weiteren Erschließungen / Verdichtungen der Bebauung wurden die daraus zukünftig anzunehmenden Wärmebedarfe abgeschätzt. Grundlage dafür waren die geplanten Nutzungsarten oder Bezugsgrößen wie Baulandfläche, geplante Nutzfläche in den Gebäuden oder geplante Einwohnerzahlen.

Berücksichtigt wurden Gebiete, für die eine Lokalisierung mit Zuweisung einer Baulandfläche, das Jahr der angestrebten Realisierung und geeignete Angaben zur Abschätzung eines Wärmebedarfs vorlagen.

Senkung durch Effizienzmaßnahmen im Bestand

Das Potenzial zur Senkung des Wärmebedarfs im Bestand durch Effizienzmaßnahmen, insbesondere der Modernisierung der Gebäudehülle, wird analog zu der in Kapitel 2.5.1 geschilderten Vorgehensweise gebildet. Zusammen mit einer abgestimmten jährlichen Sanierungsrate ergibt sich daraus der im Zieljahr bzw. zu den jeweiligen Zwischenständen anzunehmende Wärmebedarf.

Senkung durch Effekte des Klimawandels

Der bereits seit langem messbare Anstieg der Durchschnittstemperaturen und eine Verkürzung der Heizperioden führt langfristig zu einer allgemeinen Reduzierung des Heizwärmebedarfs. Dieser Effekt äußert sich jedoch regional verschieden und kann letztlich nur pauschal abgeschätzt werden. Anhaltspunkte bieten bereits durchgeführte Studien wie [Hausl 2018] oder eine entsprechend vorsichtige Interpolation der Gradtagszahlen regionaler Klimadaten in die Zukunft. Je nach Lage der Kommune und Charakter der Region können daraus Einspareffekte zwischen 5 und 10 % bis 2040 abgeleitet werden.

Senkung durch Abriss und Rückbau

Sollten energetisch relevante Abriss- und Rückbaumaßnahmen in der Kommune bekannt sein, werden diese in der Bedarfsprognose berücksichtigt. In der Regel ist das jedoch nicht der Fall. Der Abriss und Neubau einzelner Gebäude wird in der Kommunalen Wärmeplanung daher nicht gesondert berücksichtigt.

2.6.2 Allgemeine Rahmenbedingungen für die Energieversorgung der Zukunft

Ehrgeizige Einsparung

Eine zentrale Voraussetzung für den sinnvollen Einsatz vieler erneuerbarer Energieträger ist die Verringerung des Energieverbrauchs durch Modernisierungsmaßnahmen und Effizienzsteigerungen. Je weniger Energiebedarf auf einem möglichst niedrigem Temperaturniveau durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden muss, desto geringer ist der technische und wirtschaftliche Aufwand für die Gewinnung, Speicherung und Verteilung. Je mehr Energie aus lokalen Quellen gewonnen werden kann, umso geringer ist der volkswirtschaftliche Aufwand für Gewinnung, Transport, Lagerung oder Speicherung aus überregionalen Quellen.

Nutzung von Speichertechnologien

Im Gegensatz zu heutigen fossilen Energieträgern wie Gas und Heizöl sind erneuerbare Energien nicht zeitlich konstant und über eine überregional ausgebaute Infrastruktur verfügbar. Auch auf absehbare Zeit werden leitungsgebundene erneuerbare Energieträger wie grüner Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe oder biogene Gase voraussichtlich nicht in vergleichbarer Weise zur Verfügung stehen. Die Transformation der heutigen Wärmeerzeugung und Nutzung bis 2030 / 2040 erfordert daher in aller Regel kombinierte Systeme mit großen Speicherkapazitäten. Einerseits werden dadurch zeitliche Schwankungen in der Verfügbarkeit der jeweiligen Quellen gegenüber Wärmebedarf aufgefangen, andererseits können Vor- und Nachteile verschiedener Technologien zur Wärmegewinnung aus erneuerbaren Quellen möglichst zielführend kombiniert werden.

Verfügbarkeit von Holz

Für die dezentrale Versorgung ist durch die aktuellen Rahmenbedingungen in den nächsten Jahren eine starke Verschiebung von fossil betriebenen Feuerstellen zu Wärmepumpen und Holzheizungen zu erwarten. Langfristig könnte die Verwendung von Holz jedoch durch den Gesetzgeber und die Förderkulisse eingeschränkt werden. Auf EU-Ebene gab es Anfang 2023 bereits entsprechende Diskussionen im Rahmen der neuen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie. Die europäischen Wälder stehen aufgrund der Klimaveränderungen, Dürre, Hitze und Waldbränden immer mehr unter Belastung. Zudem soll der Wald zukünftig als CO₂-Senke eine größere Bedeutung bekommen und das daraus gewonnene Holz vermehrt im Holzbau und stofflichen Nutzungen Anwendung finden.

Strombetriebene Wärmeversorgung

Die angestrebte langfristige Transformation der Stromerzeugung in Deutschland zu einem klimaneutralen Strom-Erzeugungsmix und die Verfügbarkeit von strombetriebenen Wärmepumpen stellen einen wesentlichen Baustein der Wärmewende dar. Dadurch wird allerdings gerade in der Heizperiode, also zu Zeiten mit verringerter Erzeugung aus erneuerbaren Quellen, der Strombedarf stark ansteigen. Zugleich erhöht sich die Belastung der Strominfrastruktur etwa durch den angestrebten Ausbau der Elektro-Mobilität oder die Umstellung vieler Prozesse in der Industrie von fossilen Energieträgern auf Strom. Um den durch die zu erwartende Verdrängung von Feuerstellen durch Wärmepumpen stark steigenden Strombedarf in der Heizperiode abzufedern, sollten vor allem effizientere Wärmepumpensysteme in Verbindung mit Quellen wie PVT-Anlagen (Photovoltaik-thermische-Solaranlagen, gekühlte Photovoltaikanlagen, deren Abwärme zusätzlich genutzt werden kann), industrielle Abwärme oder Erdwärme beworben und gefördert werden. In vielen Fällen kann es sinnvoll sein, diese Quellen zentral zu erschließen und ggf. als „kalte Nahwärme“ an die Abnehmer für die Nutzung mit dezentralen Wärmepumpen zu verteilen. Die in der Anschaffung günstigeren aber gerade zur Heizperiode ineffizienteren dezentralen Außenluft-Wärmepumpen sollten v. a. in Neubauten oder ehrgeizig sanierten Gebäuden zum Einsatz kommen, sofern keine anderen Quellen zur Verfügung stehen. Bei der Erarbeitung der Potenziale und der Zielbilanz wurde von aktuell üblichen Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen ausgegangen.

Flächenverbrauch

Nicht zuletzt bedeutet der Einsatz erneuerbarer Energieträger immer einen Flächenverbrauch für z. B. Holz / Biomasse, Solarthermie- oder Photovoltaikanlagen, Agro- / Geothermieflächen, große Wärmespeicher etc. Gerade in urbanen Räumen aber auch überregional bedeutet die Transformation der Wärmeherzeugung eine Verschärfung der Konkurrenz in der Flächennutzung für z. B. Baugebiete, die Naherholung oder Maßnahmen der Klimafolgenanpassung.

2.6.3 Entwicklung von Eignungsgebieten

Für die Wärmeversorgungsstruktur im Zielzustand wurden Eignungsgebiete für die zentrale oder dezentrale Wärmeversorgung ermittelt. Dabei wurden die Gebiete zunächst bezüglich zentraler Wärmeversorgungen untersucht und bei Nichteignung den dezentralen Versorgungsgebieten zugeteilt.

Eignungsgebiete werden als Gebiete definiert, die sich aus heutiger Sicht bis 2030 bzw. 2040 (zumindest anteilig) für eine zentrale oder dezentrale Wärmeversorgung eignen und ggf. dahingehend weiter untersucht werden sollten.

Vorranggebiete für eine bestimmte Versorgungsart, insbesondere Wärmenetze, stellen durch die Stadt für eine Versorgungsart beschlossene Gebiete dar. Dieser Beschluss setzt die mit dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) bestehenden Abhängigkeiten und Fristen für die Erneuerung von Wärmeerzeugern oder dem Anschluss an ein Wärmenetz in Kraft. Diese Zuweisung geschieht sinnvollerweise erst dann, wenn die Machbarkeit eines Umsetzungskonzepts bestätigt wurde, ein Investor / Betreiber zur Verfügung steht und eine Umsetzung konkret abzusehen ist.

Es ist denkbar, dass sich im KWP als Eignungsgebiet definierte Gebiete durch eine vertiefende Studie oder neu erlangte Informationen als nicht realisierbar herausstellen und sich deshalb ihre Bewertung im Rahmen der nachfolgenden Umsetzungsphase ändert.

Es gilt zudem: Aus der Definition als Eignungsgebiet ergeben sich weder Verpflichtungen für die Stadt oder Energieversorger noch ein Anspruch der Gebäudeeigentümer:innen auf eine bestimmte Versorgungsart, insbesondere dem Anschluss an ein Wärmenetz. Erst die explizite Ausweisung eines Vorranggebietes durch die Kommune führt zu bestimmten Auflagen aus dem GEG.

Wärmenetz-Eignungsgebiete

Folgenden Kriterien sind für die Ausweisung als Eignungsgebiet für die Versorgung mittels Wärmenetzen maßgeblich:

- Ausreichend hohe Energiebedarfsdichte im Baublock oder im Straßenabschnitt
- Hoher derzeitiger Anteil an fossil betriebenen Heizungsanlagen und Zentralheizungen im Gebiet
- Heutige Altersstruktur der installierten Feuerungsstätten und ein daraus abgeleiteter anzunehmender Erneuerungsbedarf bis 2030 / 2040
- Geeignete Topografie: keine steilen Anstiege, keine Querungen von geografischen Hindernissen wie z. B. Bahnlinien, Gewässer oder großen Straßen
- Verfügbarkeit von (regenerativen) Energiequellen oder Versorgungstechniken

- Verfügbarkeit von möglichen Aufstellflächen für zentrale Wärmeerzeuger, inklusive ggf. notwendiger Wärmespeicher, Lagerflächen etc.
- Vorhandene Großverbraucher / kommunale Liegenschaften als kurzfristig zu akquirierende Ankernutzer

Jedem Wärmenetz-Eignungsgebiet wird eine anzunehmende Deckungsrate in den jeweiligen Szenarien zugewiesen. Diese beschreibt, wie viel der im Gebiet benötigten Wärme bis 2030 / 2040 über das Wärmenetz gedeckt wird. In der Regel wird im Gebäudebestand der Deckungsanteil nur sukzessive über einen längeren Zeitraum hinweg gesteigert. Auch die Netze selbst wachsen häufig in mehreren Ausbaustufen und entlang von wichtigen Ankerkunden. Die Akquisition und der Anschluss weiterer Anschlussnehmer:innen entlang des Netzes wird durch das Baualter ihrer bestehenden Wärmeerzeuger, durch gesetzliche Regelungen und nicht zuletzt durch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der jeweiligen Liegenschaften bestimmt.

Eignungsgebiete dezentrale Wärmeversorgung

Baublöcke und Ortsteile, die sich aufgrund der oben dargestellten Kriterien voraussichtlich nicht für ein Wärmenetz eignen, werden auch im Zielszenario durch dezentrale Systeme versorgt. Für diese Gebiete werden ebenfalls Optionen für eine klimagerechte Wärmeversorgung dargestellt. Es werden zudem Gebiete mit einem erhöhten Potenzial für den Einsatz effizienterer Wärmepumpen definiert (siehe auch Kap. 2.5.2 „Geothermie mit Erdwärmesonden (EWS)“).

Mitbegriffen sind hier Möglichkeiten für kleinere Wärmeverbünde („Wärmeinseln“), z. B. in oder um einzelne Liegenschaften, zwischen benachbarten Mehrfamilienhäusern oder Reihenhäusern sowie in oder um Liegenschaften mit Synergien aus unterschiedlichen Energienutzungen (z. B. Abwärme).

2.6.4 Bildung des Energieträgermix im Zielzustand

Für die Auswahl von Wärmequellen abhängig vom Bedarf und den zur Verfügung stehenden Potenzialen wurde analog zum in der nachfolgenden Abb. 7 dargestellten Schema vorgegangen. Parallel sind die Ergebnisse aus Abstimmungen und Workshops sowie bereits beschlossenen Maßnahmen in den Energieträgermix des Zielszenarios eingeflossen.

In den grünen Kacheln sind erneuerbare Technologien / Potenziale dargestellt. Je weiter links diese stehen, desto geeigneter sind sie für den Einsatz in dezentralen Anlagen mit einem geringeren Bedarf / geringerer Wärmedichte. Je weiter rechts sie stehen, desto eher eignen sie sich zum Einsatz in der zentralen Wärmeversorgung.

Die leeren Kacheln stellen dabei Versorgungsmöglichkeiten dar, welche für diese Wärmedichte / diesen Bedarf nicht angesetzt wurden / nicht sinnvoll sind.

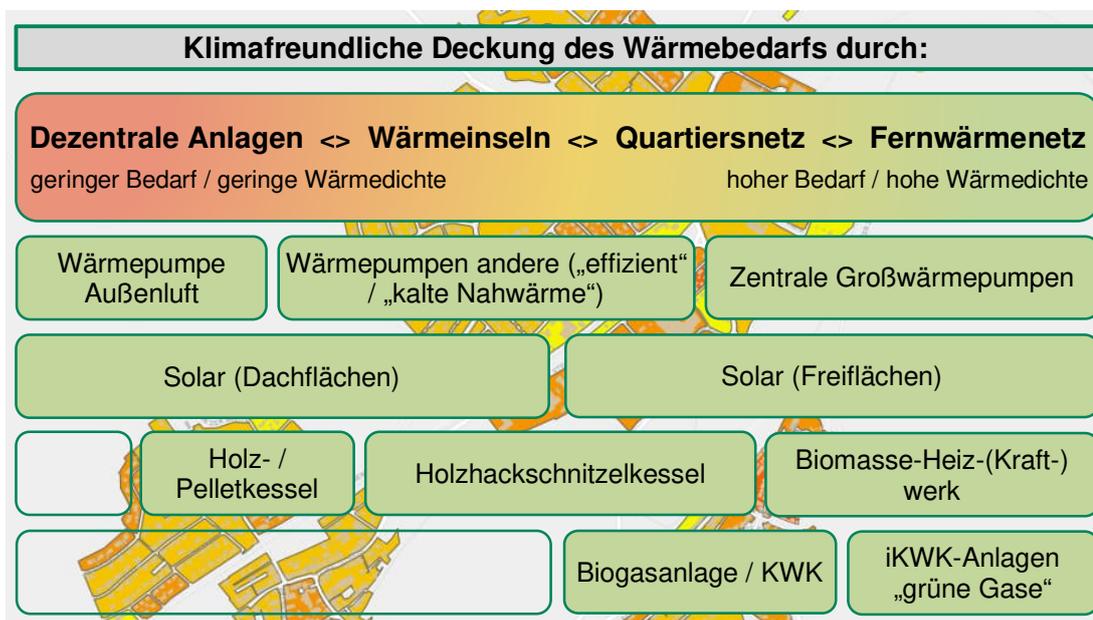


Abb. 7: schematische Zuweisung von Versorgungsoptionen im Zielszenario

Energieträgermix der Wärmenetze

Für die Baublöcke, die eine Zuordnung zu einem Wärmenetz-Eignungsgebiet erhalten haben (siehe Kap. 2.6.2), ergibt sich unter Berücksichtigung des jeweils zu erwartenden Deckungsanteils ein durch das Wärmenetz gedeckter Energiebedarf für 2030 / 2040. Für diesen Anteil wurde anhand lokaler Potenziale und möglicher Standorte einer Zentrale ein Energieträgermix im Wärmenetz gebildet und für das Zielbild angesetzt.

Indikatoren für mögliche Standorte für Wärmezentralen waren dabei:

- Größere kommunale Liegenschaften mit bestehenden Zentralen und Kapazitäten für eine Ausdehnung in den Bestand.
- Lagen mit räumlichem Potenzial, d. h. Flächen für solare Freiflächenanlagen, Erdkollektoren / Agrothermie, und Groß-Wärmespeicher (i. d. R. entsprechend geeignete Randlagen)
- Nähe zu bestehenden Netzen / Wärmeinseln, die sich für eine Erweiterung eignen würden.
- Bestehender Energieträgermix bei Erweiterung oder Transformation eines bestehenden Netzes
- Bereits geplante Anpassungen der Wärmeerzeuger- / Wärmespeicherstruktur der Netzgebiete

Energieträgermix der dezentralen Versorgung

Als Grundlagen für die Festlegung eines dezentralen Energieträgermixes im Zielzustand wurden pro Baublock folgende Kriterien gebildet und berücksichtigt:

- Übernahme bereits heute durch Wärmenetze oder regenerative Quellen wie Holz oder Umweltwärme gedeckter Anteile für das Zielszenario
- Potenzial zur Wärmeerzeugung im Baublock aus Solarenergie (Solarthermie oder Photovoltaik mit Heizstab)
- Potenziale für Wärmepumpen mit effizienteren Quellen als Außenluft (JAZ: 4,0) als stufenförmig erhöhter Anteil an der Deckung des noch verbleibenden Bedarfs im Baublock für folgende gewichtete Quellen (max. jedoch 30 %):
 - Nicht verortete Nutzung von Technologien wie Eisspeicher in Verbindung mit Außenluft, PVT oder andere (z. B. Abluft-Wärmepumpen)
 - Erdwärmesonden: innerhalb von Erdwärme-Potenzialgebieten und positiver Einschätzung der Liegenschaft aus der Studie der KEA BW
 - Erdwärmekollektoren: Randlage / lockere Bebauung, wenig Versiegelung / viele Freiflächen
 - Abwärme / Abwasser: Liegenschaften mit Abwärmepotenzial im Baublock oder einem geeigneten Abwasserkanal
 - Grundwasserwärme: außerhalb von Wasserschutzgebieten bei grundsätzlich anzunehmender Ergiebigkeit
- Zuweisung des verbleibenden Deckungsanteils auf Wärmepumpen mit Außenluft und verringerter Effizienz, d. h. geringerer Jahresarbeitszahl (JAZ = 2,5) und erhöhtem Strombedarf.
- Kurzfristig ist auch mit einem Anstieg des Holzanteils am dezentralen Energieträgermix zu rechnen. Für das Zielszenario wurde deshalb insgesamt ein geringer Anstieg angesetzt.
- Prozesswärme im Sektor GHDI wurde abhängig von den Angaben aus den Fragebögen sowie der Höhe der Bedarfe auf die jeweils angegebenen Energieträger oder Holz bzw. Strom umgestellt.

3 Projektablauf, Akteure und Beteiligung

Die Erstellung des KWP gliedert sich in vier Phasen mit einer über alle Phasen notwendigen Beteiligung verschiedener Akteure:



Abb. 8: Projektphasen der KWP-Erstellung

Für das Projekt wurde mit den im Konvoi beteiligten Kommunen eine Projektsteuerungsgruppe (PSG) gebildet. In diesem Rahmen fanden die Abstimmungen zur Projektorganisation, die Meilensteintermine zur Darstellung von Zwischenergebnissen zu den oben gezeigten Projektphasen sowie ein Workshop zur Festlegung des Zielszenarios statt.

Die Beteiligung von Akteuren erfolgte über die gesamte Projektlaufzeit. Entsprechend der Projektphasen wurden die jeweiligen Akteure / Betroffenen in verschiedenen Formaten beteiligt:

- Information und Bekanntmachung des KWP-Starts in der Öffentlichkeit
- Interne Arbeitstreffen zur Projektorganisation und Datenbeschaffung
- Identifikation weiterer Akteure
- Einbeziehung der Energieversorger zur Datenbeschaffung
- Befragung relevanter Energieverbraucher und potenzieller Abwärmelieferanten aus dem Sektor Gewerbe-Handel-Dienstleistung und Industrie
- Abstimmung realisierbarer Potenziale mit der Projektgruppe und dem Wärmenetzbetreiber vor Ort
- Durchführung eines Workshops in der Projektgruppe zur Abstimmung des Zielszenarios und der Eignungsgebiete für die Wärmeversorgung
- Beteiligung des Gemeinderates
- Information der Öffentlichkeit zu Zielen und Maßnahmen des KWPs
- Rückfragen aus der Bürgerschaft und Information über Beratungsangebote und weitere Schritte in der Umsetzung der Kommunalen Wärmeplanung

Die wesentlichen Termine im Projekt zu den Meilensteinen, zur Beteiligung besonderer Akteure und der Öffentlichkeit waren:

Tab. 2: Übersicht Beteiligung Akteure und Öffentlichkeit

Datum	Zielgruppe	Art / Inhalt
20.01.2023	PSG	Auftakt mit AG / Projektsteuerungsgruppe (PSG)
25.01.2023	Akteur	Abstimmung mit Wärmenetzbetreiber
22.05.2023	PSG	Abstimmung Bestandsanalyse
03.07.2023	PSG	Abstimmung Potenzialanalyse
19.09.2023	PSG	Workshop zum Zielszenario mit Projektsteuerungsgruppe
18.12.2023	Akteur	Besichtigung Versorgungsgebiet und Termin mit Betreiber des Sägewerks
09.01.2024	PSG	Meilenstein Zielszenario und Abstimmung Maßnahmen
16.02.2024	Akteur	Abstimmung mit Wärmenetzbetreiber zu Entwicklung und Zielszenario des Wärmenetzes
16.04.2024	Gremien und Öffentlichkeit	öffentliche Vorstellung im GR mit Beteiligung der Bürgerschaft
22.04.2024	Öffentlichkeit	Öffentliche Vorstellung mit Beteiligung der Bürgerschaft

4 Bestandsanalyse

4.1 Gemeindestruktur

Insgesamt wurden 1.295 Gebäude als beheizt oder mit einer anderen Wärmenutzung identifiziert. Davon werden 1.184 als Wohngebäude und 111 als Nichtwohngebäude eingeordnet. Die insgesamt beheizte Fläche beläuft sich auf rund 389.830 m² Energiebezugsfläche (EBF). Sowohl nach der Anzahl der Gebäude als auch nach der EBF dominieren die Einfamilienhäuser (MFH) bzw. der Sektor Wohnen.

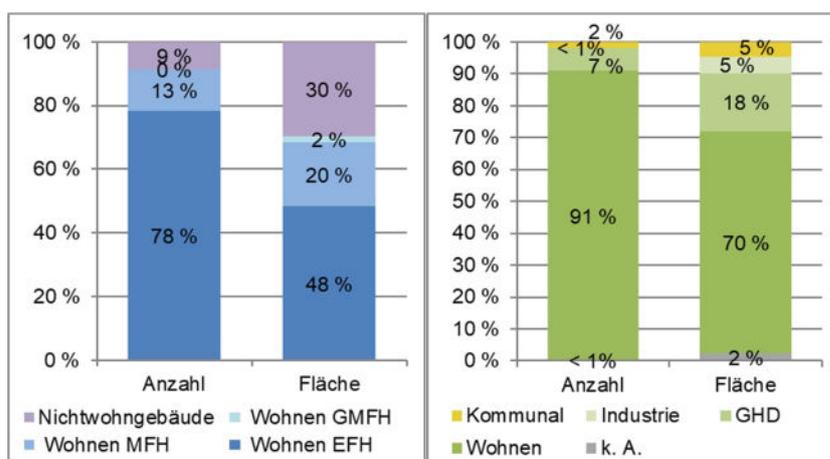


Abb. 9: Gebäude mit Wärmenutzung nach Anzahl, Fläche, Sektor und Nutzungsart
 Nachfolgend in Abb. 10 sind die Baublöcke dargestellt, die für die Aggregation der Daten (aus Datenschutzgründen; siehe Kap. 2.1) verwendet wurden.



Abb. 10: Baublöcke nach Ortsteilen in Mühlheim an der Donau, ALKIS-Daten-Stand 2021

Im Stadtgebiet standen keine gebäudebezogenen Baualter zur Verfügung. Eine Auswertung über die Baualterklassen der Gebäude war daher nicht möglich.

Nachfolgend ist die räumliche Verteilung der Gebäudestruktur in den Baublöcken dargestellt:

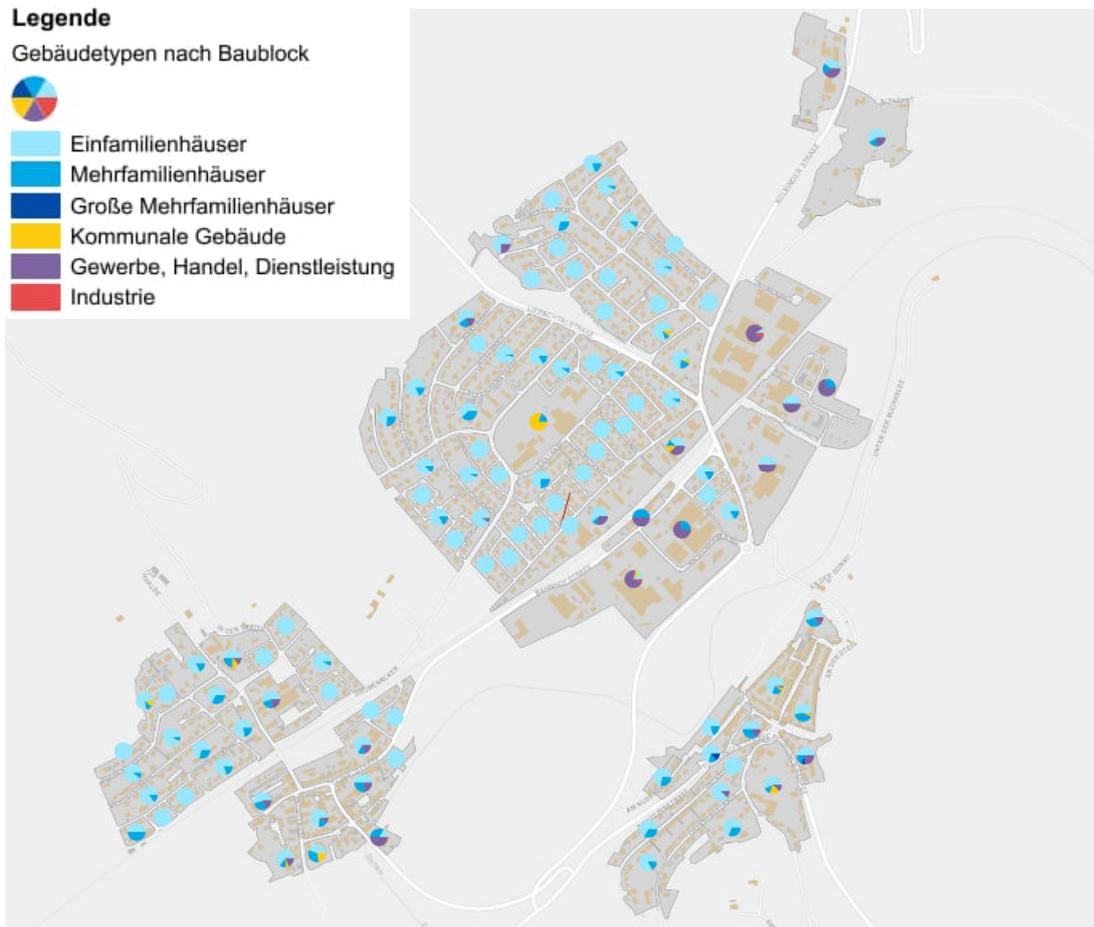


Abb. 11: Gebäude nach Gebäudetyp in den Baublöcken, ALKIS-Daten-Stand 2021

4.2 Wärmeversorgungsstruktur

4.2.1 Energieträgerverteilung

Derzeit werden im Stadtgebiet bereits 28 % des Gesamtwärmebedarfs (Heizwärme, Trinkwarmwasser und Sonstige) aus Wärmenetzen oder erneuerbaren Energieträgern gedeckt. Der verbleibende Anteil der heute noch dezentral und fossil betriebenen Wärmeerzeuger stellt für die Erreichung der Klimaneutralität das entscheidende Handlungsfeld dar.

Im Anhang 12.2 ist die Energieträgerverteilung räumlich aufgelöst pro Baublock kartografisch dargestellt. Nachfolgend ist die stadtweite Energieträgerverteilung nach Erzeugernutzwärmeabgabe (ENW) dargestellt. Die ENW entspricht der Wärme, die von dem Wärmeerzeuger ins Gebäude abgegeben wird (zur näheren Erklärung und Einordnung, siehe auch Anhang 12.1).

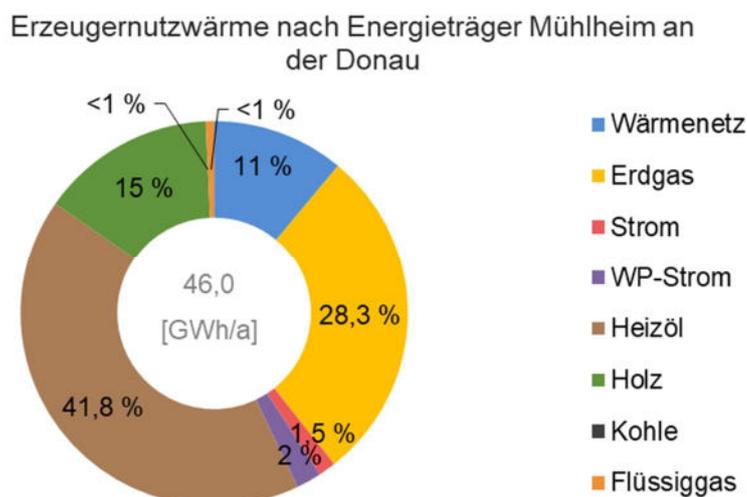


Abb. 12: Energieträgerverteilung im Ist-Zustand nach Erzeugernutzwärmeabgabe der Gebäude. Der Wärmebedarf wird derzeit zum größten Teil aus fossilen Energieträgern, v. a. Heizöl und Erdgas, gedeckt.

4.2.2 Struktur der Wärmeerzeugung

Feuerstätten – Auswertung der Kkehrbücher

Nach Auswertung der Baualter zur Wärmeerzeugung relevanter Wärmeerzeuger ist anzunehmen, dass bis 2040 ein bedeutender Anteil der Wärmeerzeuger erneuert werden wird (Baualter vor 2010 / 2020). Die Nutzungsdauer von Wärmeerzeugern variiert nach Art, Grad der Instandhaltung und Auslastung. Für typische Wärmeerzeuger im Wohnsektor können Spannen zwischen 20 und 30 Jahren für Erneuerungszyklen angenommen werden.

Verteilung Baualtersklassen der Feuerstätten

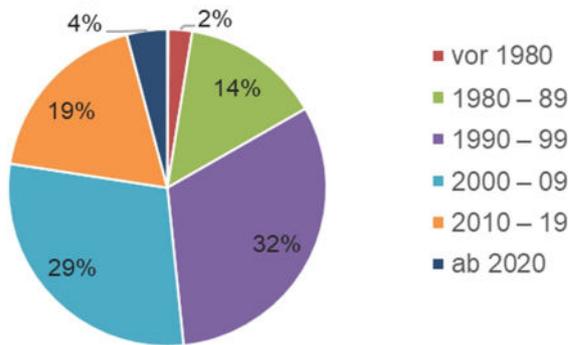


Abb. 13: Verteilung der Feuerstätten nach ihrem Baualter

Die Analyse der in Feuerstätten verwendeten Energieträger nach deren Anzahl und Leistung zeigt, dass Heizöl und Erdgas vorrangig für größere Leistungen im Verhältnis zur Anzahl genutzt werden (75 % Anteil an der installierten Nennwärmeleistung).

Holz wird dagegen hauptsächlich in kleineren Anlagen aber in nicht ganz der Hälfte aller Feuerstätten verwendet.

Feuerstätten nach Energieträger

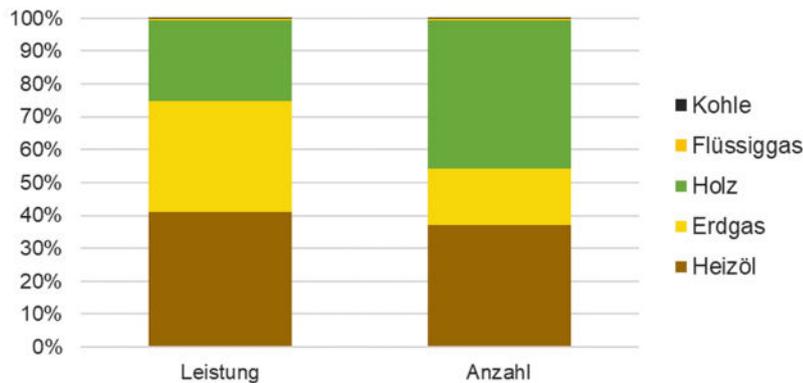


Abb. 14: Verteilung der Feuerstätten nach Energieträger, Anzahl und Leistung

Die Wärmeerzeuger in Feuerstätten sind sowohl nach installierter Leistung als auch nach der Anzahl hauptsächlich Heizkessel. Erwartungsgemäß stellen sie im Verhältnis zur Anzahl den größten Anteil an der insgesamt installierten Leistung. Nur etwas weniger häufig als Heizkessel sind alle Arten von Kaminen, Kachelöfen etc. anzutreffen. Diese decken jedoch nur einen kleineren Anteil der Leistung ab.

Art der Feuerstätten

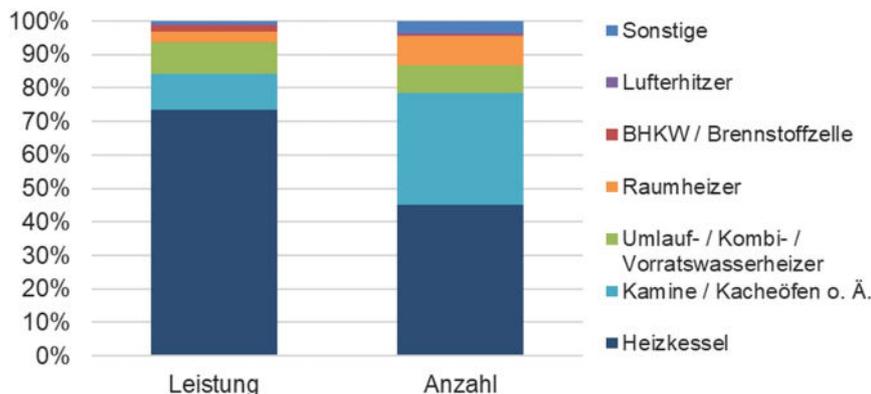


Abb. 15: Verteilung der Feuerstätten nach Art, Anzahl und Leistung

Strom-Direktheizungen / Nachtspeicheröfen

Aus den Aufstellungen des Netzbetreibers konnten Strom-Direktheizungen identifiziert werden, soweit dafür ein spezieller Abrechnungstarif besteht.

Tab. 3: Anzahl bekannter Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen

Art	Anzahl
Nachtspeicherheizungen	305
Wärmepumpen	163
Gesamt:	468

Andere Wärmenutzungen oder Liegenschaften ohne einen entsprechenden Tarif wurden durch die erfolgte Befragung im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie (GHDI) ergänzt. Liegenschaften mit anzunehmender Beheizung, die nach Auswertung aller Quellen weiterhin ohne Hinweise auf einen Energieträger verblieben, wurden ebenfalls geschätzte Bedarfe an Heizstrom zugewiesen.

Solare Wärmeerzeugung durch Solarthermie

Für die Erhebung von solarthermischen Anlagen im Bestand stehen im Rahmen der KWP derzeit keine Quellen für eine standortbezogene Ermittlung zur Verfügung. Eine auf Wunsch der Stadt durchgeführte Abschätzung auf Basis von Luftbildern ergab etwa 83 verschiedene Standorte.

Tab. 4: Abschätzung Anzahl an Solarthermieanlagen

Anzahl	Kollektorfläche	dadurch gedeckter Energiebedarf in den Gebäuden
83	~448 m ²	~250 MWh/a

4.2.3 Bestehende Wärmenetze

Im Stadtgebiet gibt es bereits ein bestehendes Wärmenetz.

- Ausgehend von der Realschule und der Firma skf werden bereits große Teile der Vorstadt mit dem Wärmenetz versorgt.
- Betrieben wird das Wärmenetz von der badenova-Wärmeplus.
- Versorgt wird das Netz mit Wärme aus einem (Biogas)-BHKW, Gasspitzenlastkessel sowie einem Holzhackschnitzelkessel.
- Zudem gibt es ein Wärmeverbund in der Oberstadt ausgehend von der Festhalle.

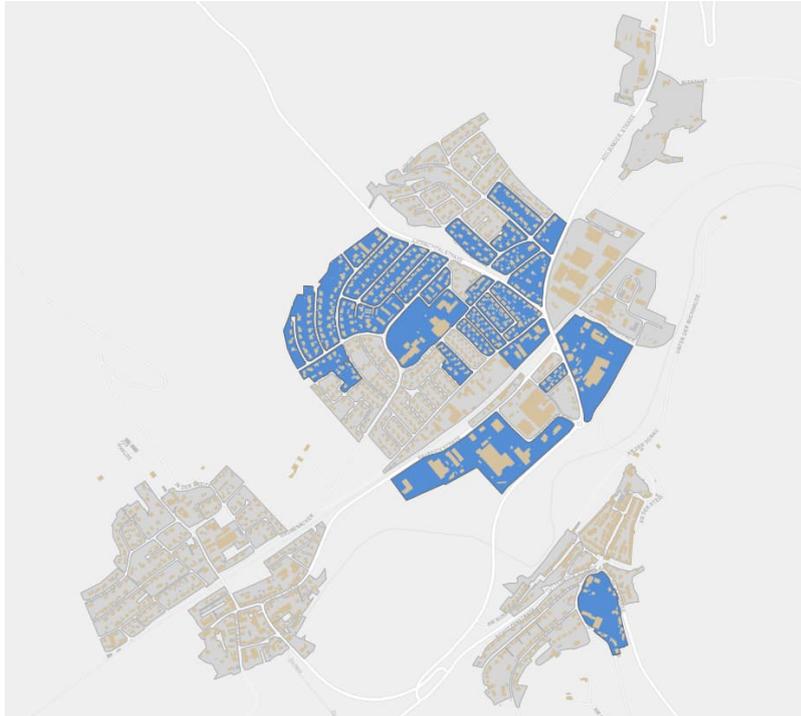


Abb. 16: Baublöcke mit Wärmenetz / Wärmeverbund

4.2.4 Bestehende Bohrungen für Erdwärmesonden

Aus dem Informationssystem Oberflächennahe Geothermie (ISONG) des LGRB Freiburg können, zumindest grob und aus Datenschutzgründen nicht gebäudebezogen, bestehende Erdwärmennutzungen mit registrierten Sondenbohrungen festgestellt werden. Zu erkennen sind Erdwärmesonden (EWS) im gesamten Stadtgebiet (vgl. Abb. 17).



Abb. 17: bekannte Bohrungen für EWS nach [ISONG]

4.2.5 Verteilnetz Erdgas

Alle Ortsteile Mühlheims sind anteilig mit Erdgasnetzen der Netze BW GmbH erschlossen. Im Ortsteil Stetten ist der östliche Teil erschlossen. In der Vorstadt ist der Süden und Südwesten sowie das Gewerbegebiet erschlossen. Aus den über-

mittelten Verbrauchsdaten konnten ca. 1.000 Zählstellen ermittelt werden, an denen eine Nutzung von Erdgas stattfindet. Die Baublöcke, in denen mindestens ein Gebäude über das Erdgasnetz versorgt wird, sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

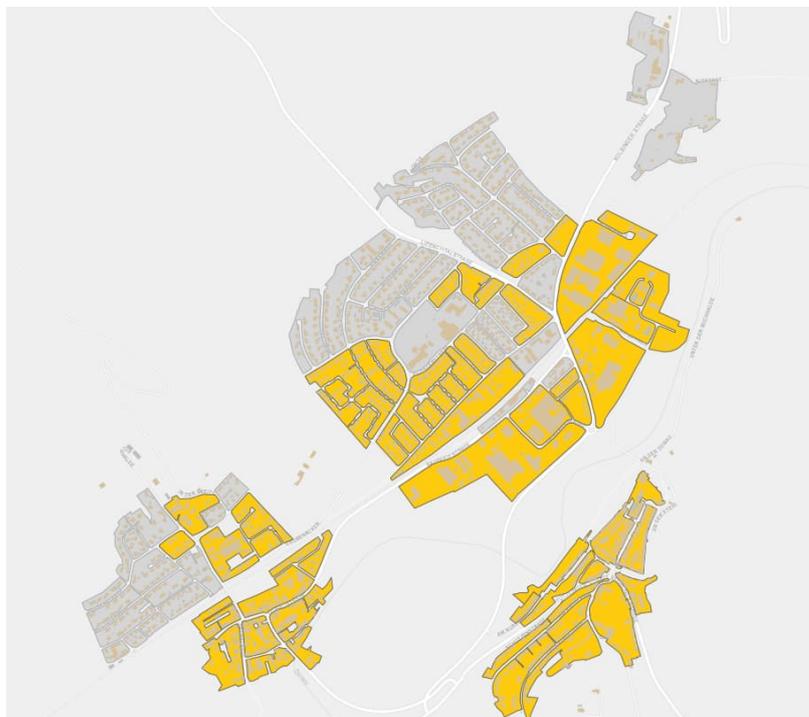


Abb. 18: Baublöcke mit Erdgasnetz

4.3 Stromerzeugende Anlagen und Speicher

Nach Angaben des Marktstammdatenregisters sind derzeit folgende stromerzeugende Anlagen sowie Speicher in Betrieb:

Tab. 5: stromerzeugende Anlagen und Speicher im Stadtgebiet [MaStr 2024]

	Anzahl	Leistung [kWp]
Photovoltaikanlagen	347	4.072
davon in Wohngebäuden	318	3.029
davon in Nichtwohngebäuden	29	1.043
Speicher	125	774
BHKWs	8	566
Wasserkraft	2	19

Durch die PV-Anlagen werden rund 4.000 MWh/a an Strom erzeugt.

4.4 Wärmebedarf und Wärmedichte

Im Ist-Zustand mit Basisjahr 2021 werden im Stadtgebiet 46.020 MWh/a an Wärme (Erzeugernutzwärmeabgabe) benötigt. Der überwiegende Teil davon geht auf die Nutzung in Wohngebäuden zurück. Fossile Energieträger dominieren die Wärmeerzeugung. Derzeit werden etwa 28 % der benötigten Wärme aus erneuerbaren Energieträgern oder Wärmenetzen gewonnen.

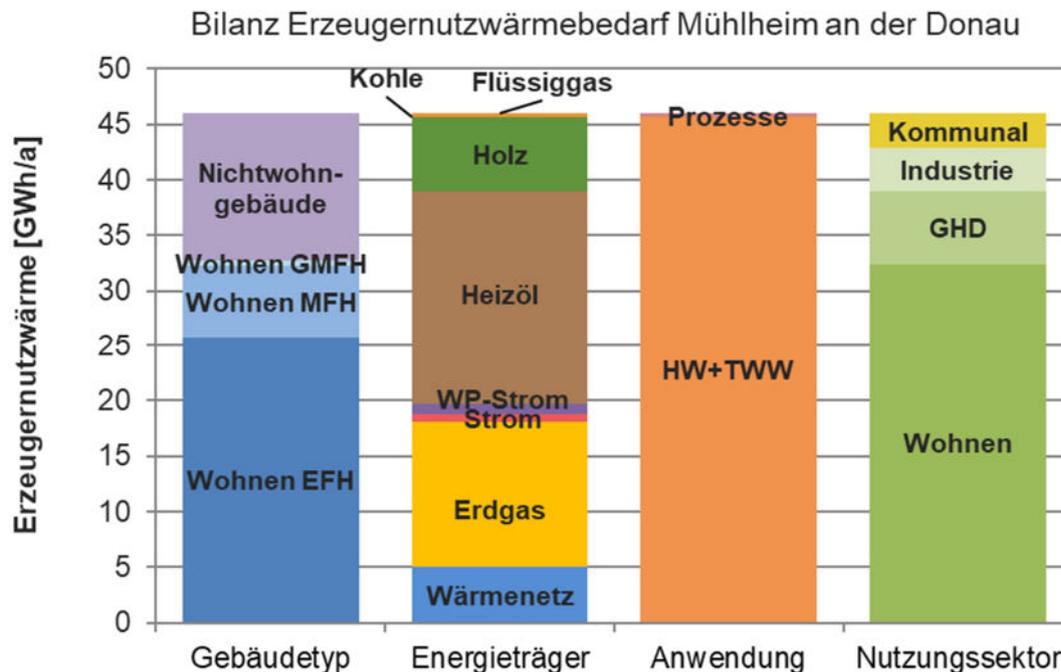


Abb. 19: Erzeugernutzwärmeabgabe nach Gebäudetyp, Energieträger, Anwendung und Nutzungssektor

- Hauptsächlich wird diese Wärme zur Deckung des Heizwärmebedarfs (HW) und Trinkwarmwasserbedarfs (TWW) benötigt.
- Der Wärmebedarf der Wohngebäude, insbesondere der Einfamilienhäuser (EFH), dominiert.
- Innerhalb der Nichtwohngebäude dominiert der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)
- Der Wärmebedarf wird derzeit zum größten Teil aus fossilen Energieträgern, v. a. Heizöl und Erdgas, gedeckt.

In Abb. 20 ist der Wärmebedarf pro Baublock räumlich dargestellt. Dadurch können Verbrauchsschwerpunkte in der Stadt erkannt werden. Diese bilden, neben weiteren Kriterien, eine Grundlage für die Identifizierung von möglichen Eignungsgebieten für Wärmenetze und zur Identifikation von eventuellen Ankernutzern.

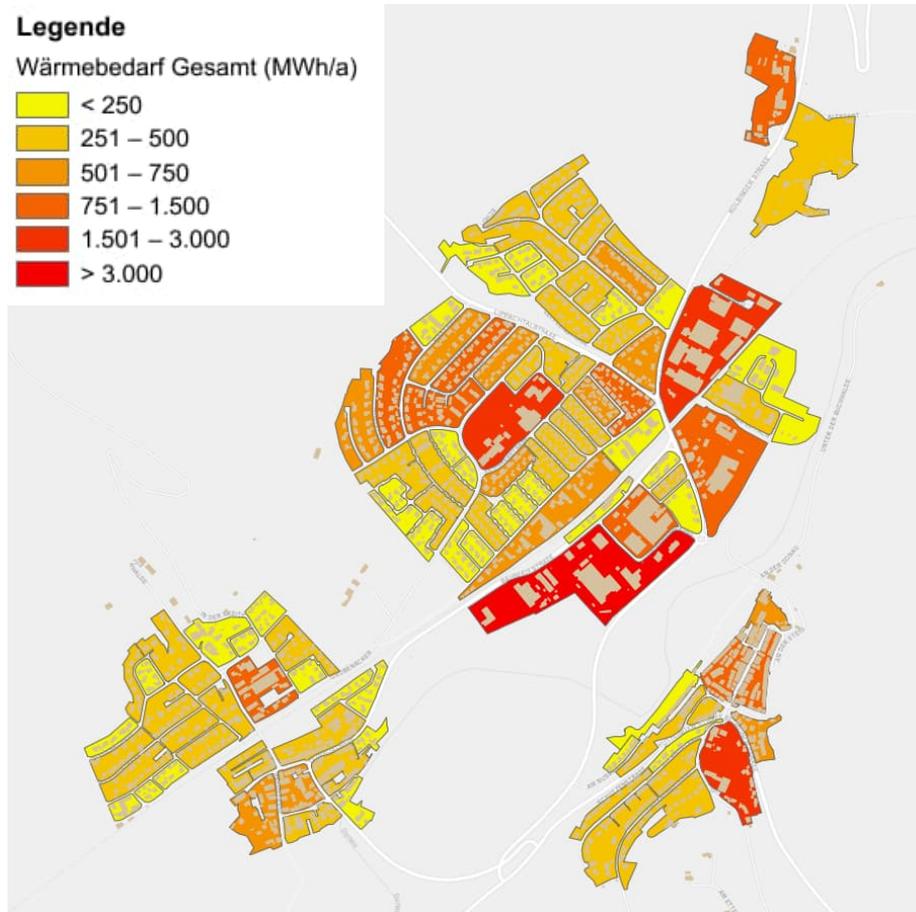


Abb. 20: Absoluter Wärmebedarf (Erzeugernutzwärmeabgabe) pro Baublock

Betrachtet man die Verteilung der spezifischen Wärmebedarfe pro Quadratmeter beheizte Gebäudefläche (siehe Abb. 21), so können Aussagen zur energetischen Qualität, insbesondere für dort vorhandene Wohngebäude, abgeleitet werden. Je höher der blockweise spezifische Wärmebedarf, desto geringer ist im Mittel die energetische Qualität der Außenhülle der Gebäude und desto höher ist i. d. R. das Potential der Effizienzsteigerung in der Wärmenutzung.

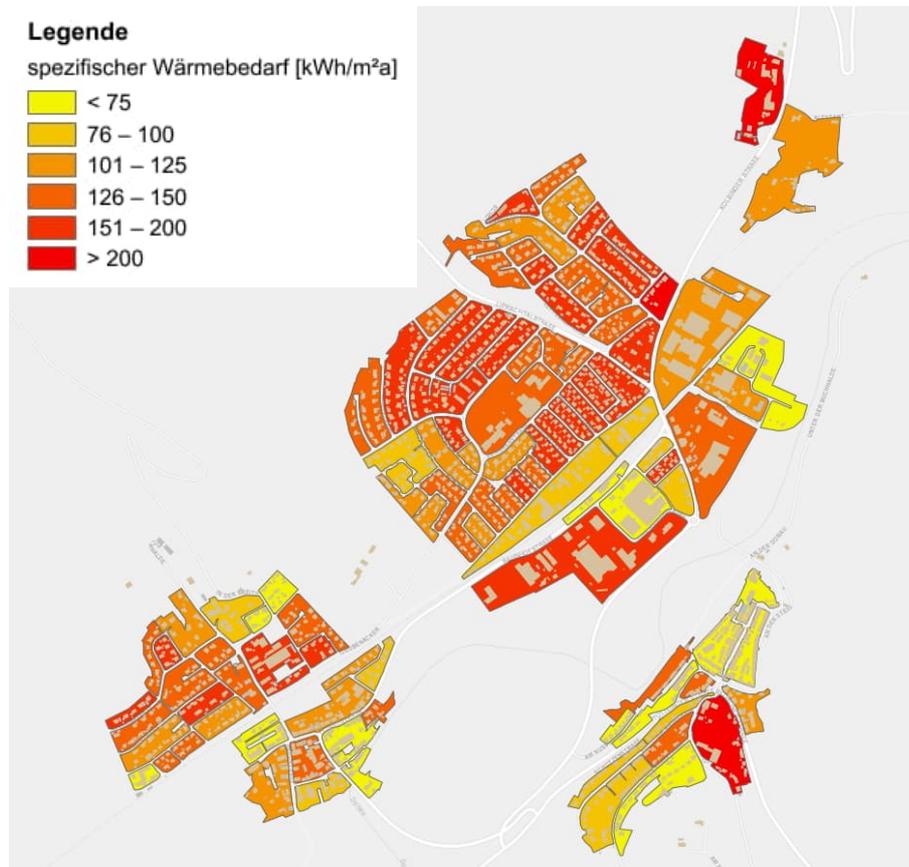


Abb. 21: Spezifischer Wärmebedarf (Erzeugernutzwärmeabgabe) pro Baublock

Die Abb. 22 stellt die Wärmebedarfsdichte pro Hektar Baublockfläche dar. Diese bildet eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen und damit für die Ermittlung von Eignungsgebieten für Wärmenetze.

Je mehr Energie für kleinere Baublockflächen und damit i. d. R. über kürzere Wärmenetzleitungen geliefert werden kann, umso geringer sind die netzbezogenen Wärmeverluste und die Investitionskosten für die Leitungerschließung eines Gebietes pro gelieferte Wärmemenge. Diese Betrachtung dient als Erstbeurteilung der Wirtschaftlichkeit eines potenziellen Netzes und muss in jedem Fall durch weitere Betrachtungen ergänzt werden. Dazu gehören beispielsweise die Oberflächenbeschaffenheit und damit verbundene Kosten der Wiederherstellung der Oberfläche nach Leitungsverlegung, der zur Verfügung stehende Platz im Untergrund zur Leitungsverlegung oder der Aufwand für notwendige Querungen von Straßen, Brücken oder Schienen sowie eventuelle Hindernisse im Gelände.

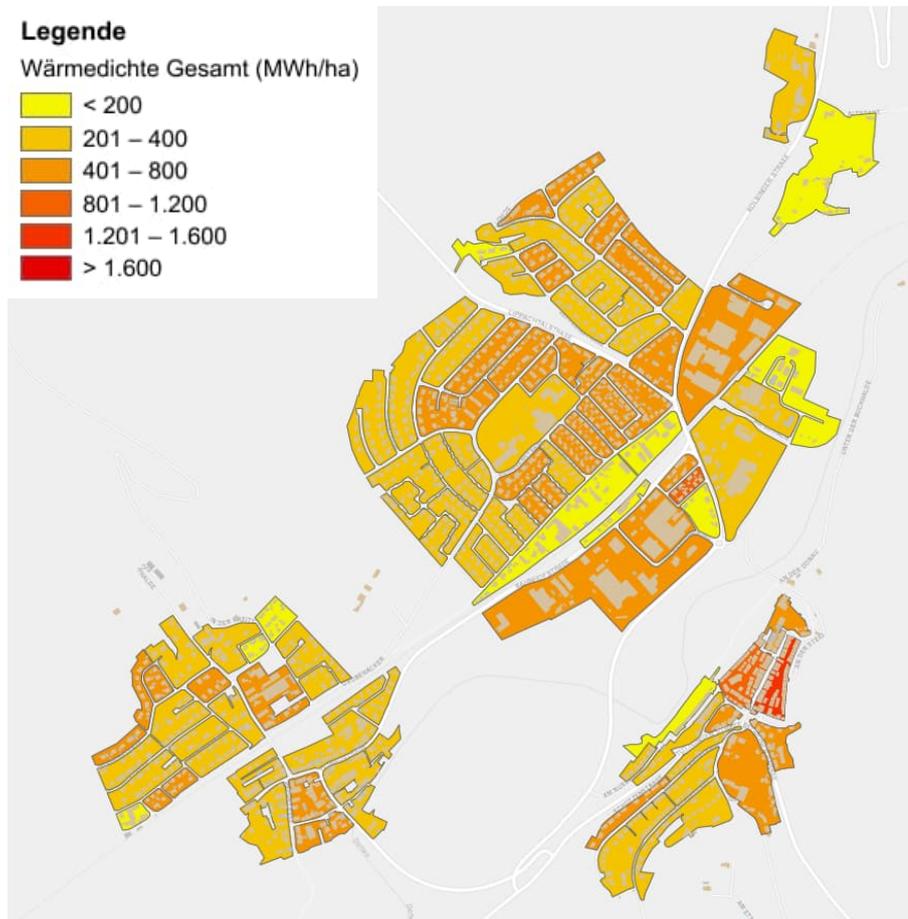


Abb. 22: Blockweise Wärmedichte (Erzeugernutzwärmeabgabe)

4.5 Energiebilanz

Endenergie und Erzeugernutzwärmeabgabe

Für den gebäudebezogenen Wärmebedarf ist die Erzeugernutzwärme (ENW) die relevante Größe. Diese beschreibt die für die Wärmenutzung im Gebäude benötigte Wärmeabgabe des Wärmereizgers.

Für die Treibhausgasbilanz ist hingegen die Energiemenge relevant, welche an das Gebäude geliefert und i. d. R. über Zähler oder Messeinrichtungen abgerechnet wird (Erdgas, Heizöl, Holzpellets, Fernwärme, Strom...). Diese berücksichtigt neben dem Energiebedarf durch die Nutzung (ENW), auch die mit der Erzeugung, Speicherung und Verteilung verbundenen Verluste.

Die im Ist-Zustand ermittelte Endenergiebilanz mit Aufteilung des Endenergiebedarfs auf die Gebäudetypen, Energieträger, Anwendungsart und Nutzungssektoren stellt sich wie folgt dar:

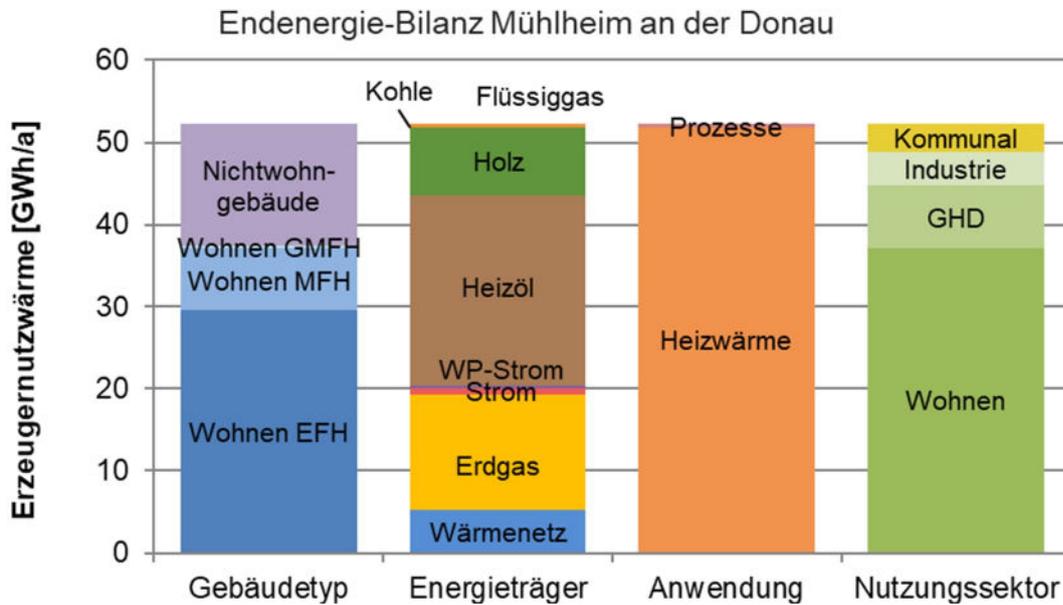


Abb. 23: Bilanzierung des Endenergiebedarfs für Wärmeerzeugung im Ist-Zustand

Analog zur Bilanz der Erzeugernutzwärmeabgabe dominieren der Wohnsektor und fossile Energieträger.

Endenergie nach Energieträger Mühlheim an der Donau

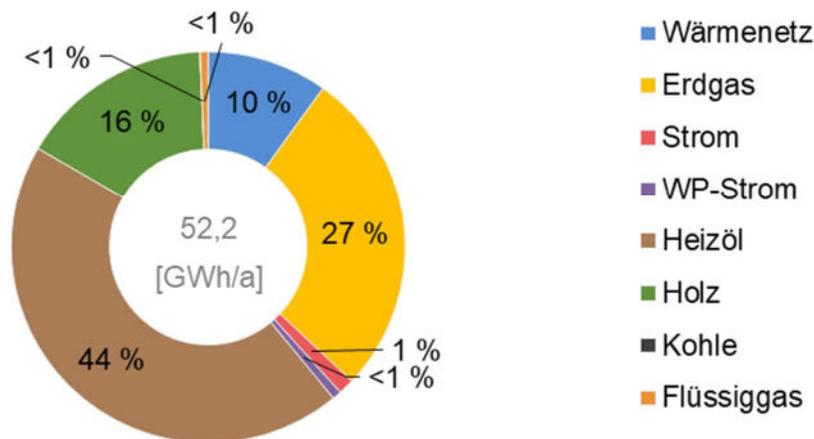


Abb. 24: Endenergieanteile nach Energieträgern

4.6 Treibhausgasbilanz

Die für die Energieträger anzusetzende Endenergie bildet die Basis für die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen (THG) und wurde dazu mit den in Anhang 0 dargestellten THG-Emissionsfaktoren (CO₂-Äquivalente, inkl. Vorketten und Netzverlusten der Wärmenetze) der KEA BW [KEA TK 2022] in Beziehung gesetzt.

Durch die Wärmenutzung werden derzeit 11.525 t/a an bilanziellen Treibhausgasemissionen verursacht die sich wie folgt verteilen:

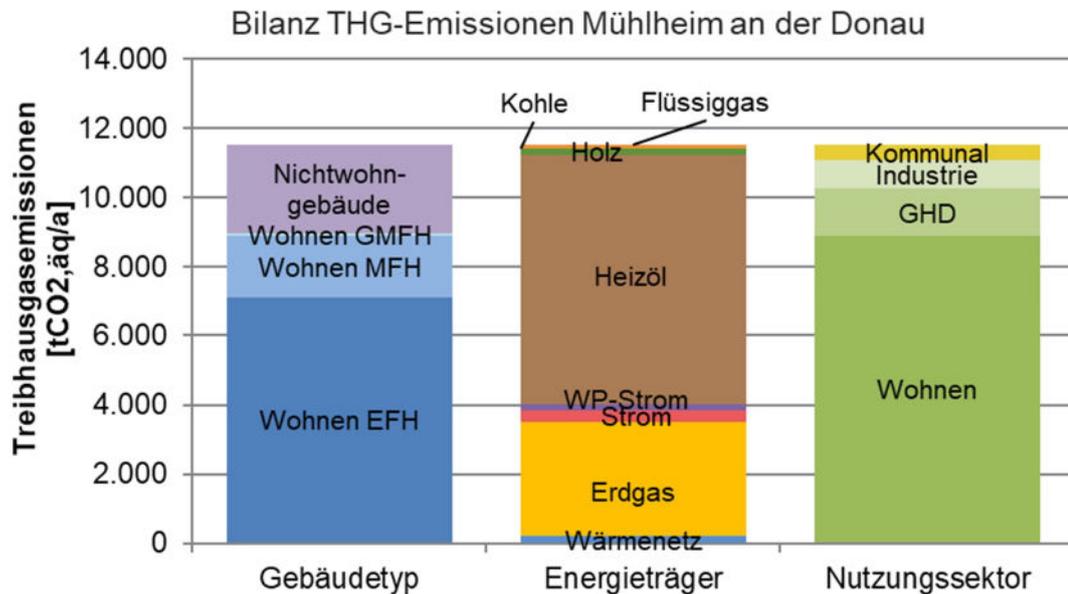


Abb. 25: THG-Bilanz im Ist-Zustand

Die größten Anteile an den THG-Emissionen haben neben der Wohnnutzung die Energieträger Heizöl und Erdgas, deren Anteile gegenüber ihrem Endenergieanteil gestiegen sind. Die erneuerbaren Energien und das Wärmenetz, welches seine Energie teilweise hocheffizient mit einem Biogas-Blockheizkraftwerk und mit einem Holzhackschnitzelkessel erzeugt, werden ökologisch besser bewertet und ihre Anteile sinken.

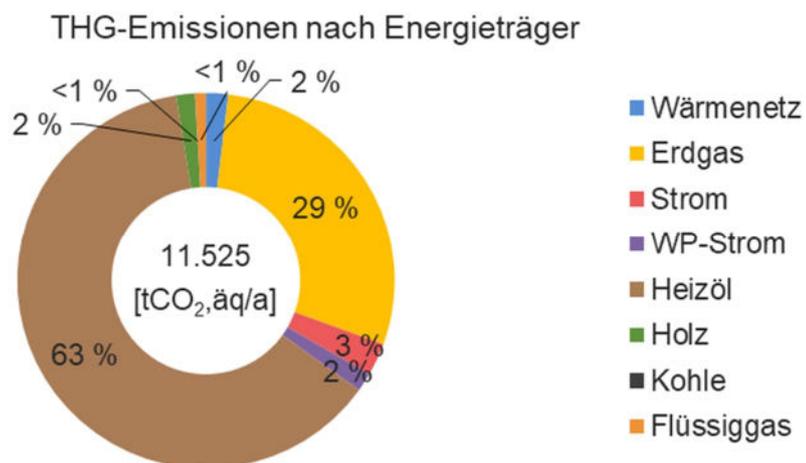


Abb. 26: THG-Emissionen nach Energieträger

5 Potenziale

Für weiterführende Infos zur Methodik der Ermittlung der Potenziale, siehe Kap. 2.5.

5.1 Einsparpotenzial durch energetische Sanierung

Die Steigerung der Effizienz in der Wärmenutzung durch energetische Sanierung, andere Effizienzmaßnahmen sowie der Einfluss der Klimaerwärmung auf den Energiebedarf der Gebäude stellen ein bedeutendes Potenzial dar, das jedoch nur über einen sehr langen Zeitraum auszuschöpfen ist. Insgesamt wurde ein **langfristiges Einsparpotenzial von 42,4 %** ermittelt.

Für die aus heutiger Sicht realistisch erreichbaren Einsparungen bis 2030 bzw. 2040, wurde im Rahmen der Akteursbeteiligung sowohl für die Wohn- als auch Nichtwohngebäude eine Sanierungsrate von 1,5 % abgestimmt. Damit wird für die spätere Szenarienbildung angenommen, dass pro Jahr 1,5 % der sanierungsfähigen Gebäude auf ihren Zielzustand gebracht werden. Die derzeit in Deutschland durchschnittlich erreichte Sanierungsrate im Bestand liegt derzeit bei unter 1 %. Somit wird davon ausgegangen, dass die Bemühungen in diesem Bereich zukünftig steigen.

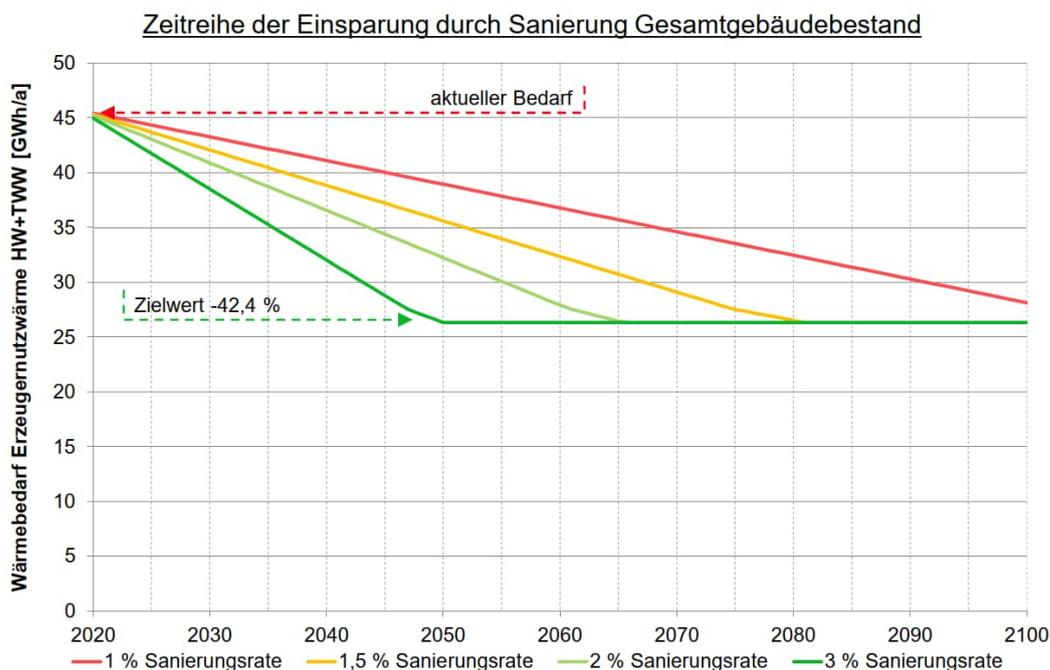


Abb. 27: Einsparpotenziale durch Effizienzsteigerung im Bestand in Abhängigkeit der Sanierungsrate

Es ergibt sich eine erwartbare Reduzierung des Wärmebedarfs von 3.570 MWh/a (7,8 %) bis 2030 und von 6.810 MWh/a (14,9 %) bis 2040.

5.2 Solarenergie auf Freiflächen

Große Solarthermieanlagen in Verbindung mit entsprechenden Speichern stellen wegen der erreichbaren Temperaturen eine leicht zu integrierende regenerative Quelle für Wärmenetze dar. In Verbindung mit Wärmepumpen bieten Solarthermieanlagen zudem die Möglichkeit auch außerhalb der Zeiten hoher Sonneneinstrahlung weiter Wärme aus dem System zu entnehmen. Im Zuge weiterführender Untersuchungen zur Nahwärmeversorgung Mühlheims (Machbarkeitsstudie / Transformationsplan) sollte das Solarpotenzial konkretisiert und mögliche Flächen zur Sicherung in der Nähe zu bestehenden oder geplanten Wärmezentralen definiert werden. Der mit der Solarthermie erreichbare Deckungsanteil an der Wärmeerzeugung im Wärmenetz hängt von der verfügbaren Aufstellfläche, von Höhe und Verlauf des Bedarfs im Netz sowie von der Größe eines für höhere Deckungsanteile notwendigen (Groß-)Wärmespeichers ab.

Größere Photovoltaikanlagen tragen mit ihrer Stromerzeugung nicht nur zur allgemeinen Verbesserung des Strommixes und zur Erzeugung von Überschüssen für die zukünftige Erzeugung von z. B. Wasserstoff bei, sie können auch zur direkten Verwertung von Überschüssen in lokalen Power-to-Heat Konzepten verwendet werden. Da die Stadt Mühlheim jedoch derzeit bereits eine geeignete Fläche für eine Freiflächen-Photovoltaik-Anlage beplant, wurde für die solare Stromerzeugung kein weiteres mittelfristig erschließbares Flächenpotenzial ermittelt. Weiteres Potenzial könnten sich auf den in den Potenzialkarten der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) als benachteiligt eingeschätzten Flächen oder Gleis- und Straßenränder mit solarer Eignung ergeben (siehe Abb. 28).

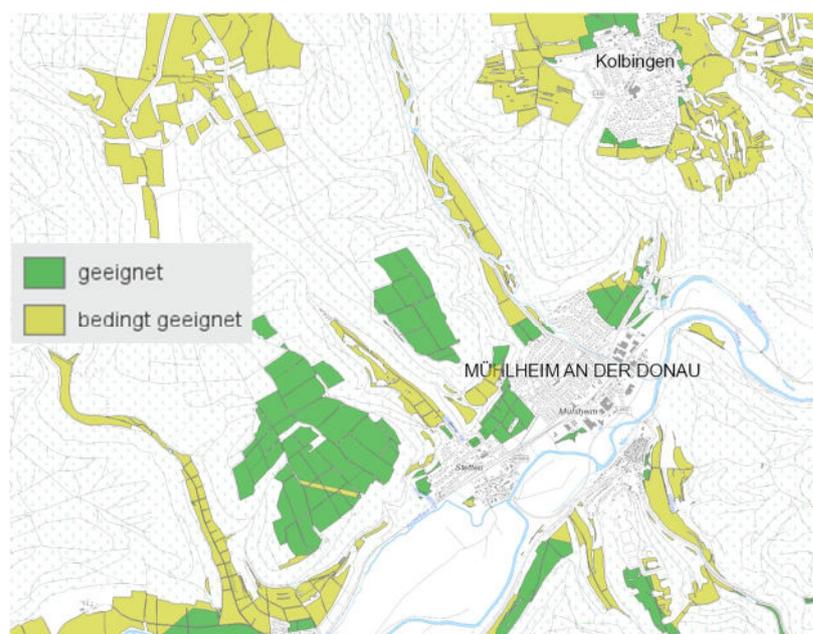


Abb. 28: Freiflächen mit solarer Eignung nach [LUBW FF Solar]

5.3 Solarenergie auf Dachflächen

Insgesamt beläuft sich das ermittelte Potenzial zur solaren Wärmeerzeugung auf den geeigneten Dachflächen auf 3.420 MWh/a Wärme. Derzeit werden davon bereits in etwa 250 MWh/a verwendet (vergleiche auch Kap. 4.2.2).

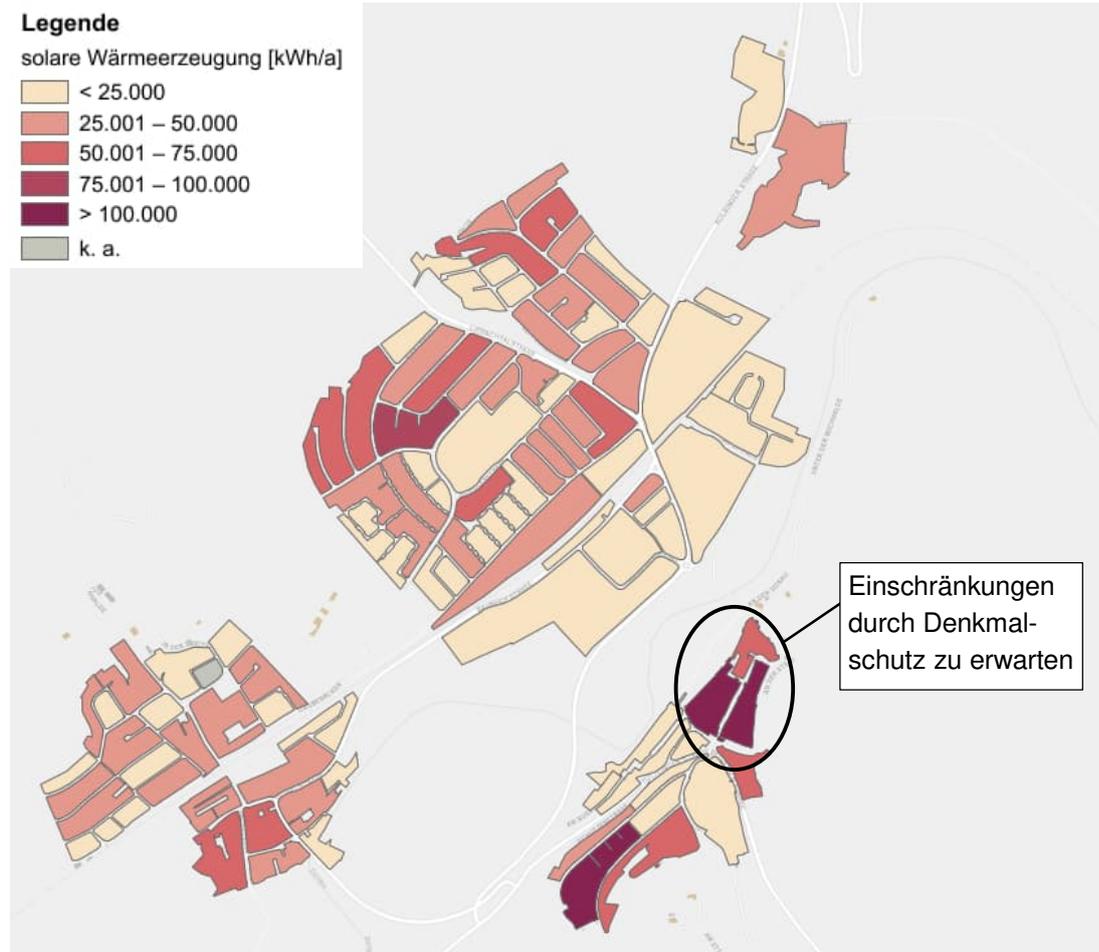


Abb. 29: Potenzial zur Wärmeerzeugung aus Solarenergie pro Baublock (mit Angaben aus [LUBW DF 2022])

Das Potenzial von **Fassaden zur Nutzung von Solarenergie** ist im Einzelfall abhängig von der Verschattung und möglichst großen zusammenhängenden Flächen an der Fassade. Außerdem sind die lokalen Voraussetzungen zur statisch einwandfreien Anbringung zu berücksichtigen. Besonders eignen sich hohe freistehende Gebäude mit größeren Flächen ohne Durchbrüche (Fenster). Durch die senkrechte Anbringung werden die solaren Erträge im Winterhalbjahr begünstigt. Ohne die Kenntnis der individuellen Verschattungssituationen, kann kein Potenzial ermittelt werden. Diese müssen im Einzelfall geklärt werden.

5.4 Abwasserwärmenutzung

5.4.1 Abwasserwärme im Kanal

Die Hauptsammler der Abwasserkanäle in Stetten und Mühlheim haben jeweils einen ausreichenden Durchmesser, um dort Wärmetauscher installieren zu können. Die real dort vorliegenden Temperaturen und Durchflussmengen liegen jedoch nicht vor und müssen zunächst in Messungen überprüft werden. Bei einer Nutzung der Abwasserwärme ist in jedem Fall darauf zu achten, dass die Abkühlung des Abwassers die Klärprozesse in der Kläranlage nicht beeinträchtigt.

5.4.2 Abwasserwärme nach Klärwerk

Die Kläranlage Mühlheims liegt Flussabwärts und rechts der Fließrichtung an der Donau. Die dadurch entstehende Entfernung zu den Wärmeabnehmern und die Notwendigkeit der Querung des Flusses stehen einer Nutzung der Abwasserwärme entgegen. Allerdings hat die Wärmenutzung aus dem gereinigten Wasser nach dem Klärprozess, gegenüber der Wärmenutzung aus dem Abwasserkanal vor dem Klärwerk den Vorteil, dass keine Einschränkungen wegen der Prozesse der Kläranlage mehr bestehen. Die Wassertemperaturen sind auch nach dem Klärwerk weiterhin in einem ganzjährig verfügbaren hohen Temperaturniveau vorhanden und damit ideal für die Wärmenutzung mit einer Wärmepumpe.

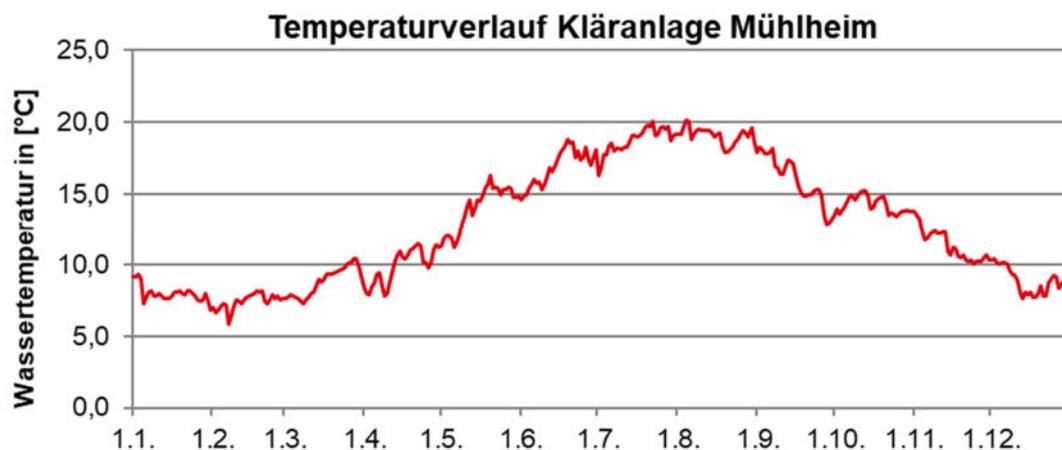


Abb. 30: Vorliegende Ablauftemperaturen nach Kläranlage im Jahresverlauf (Referenzjahr 2022)

Zu beachten ist jedoch: Das geklärte und nach der Wärmenutzung abgekühlte Wasser wird der Donau zugeführt und sorgt dort für eine Abkühlung (in Abhängigkeit der dort herrschenden Temperaturen im zeitlichen Verlauf und der Höhe der Abkühlung bei der Wärmenutzung). Dies muss im Rahmen der näheren Untersuchungen und Planungen berücksichtigt werden. Zu starke Abkühlungen sind nicht zulässig.

In über 90 % des Jahres sind Abflussmengen von etwa 30 m³/h anzunehmen.



Abb. 31: Vorliegende Abflussmengen nach Kläranlage als Jahresdauerlinie (Referenzjahr 2022)

Bei einer Abkühlung des gereinigten Abwassers nach der Kläranlage von durchschnittlich vier Grad mittels Wärmepumpe bietet die Abwasserwärmenutzung ein Wärmepotenzial nach Wärmepumpe von 1.120 bis 1.490 MWh/a bei einer Entzugsleistung von rund 190 kW_{th} bis 250 kW_{th}.

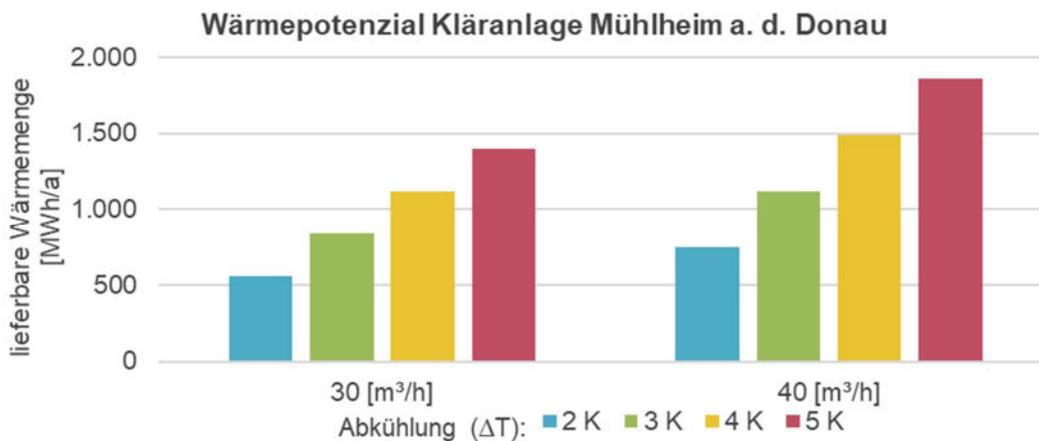


Abb. 32: Potenzial Abwasserwärme: lieferbare Wärmemenge Wärmepumpe nach Klärwerk

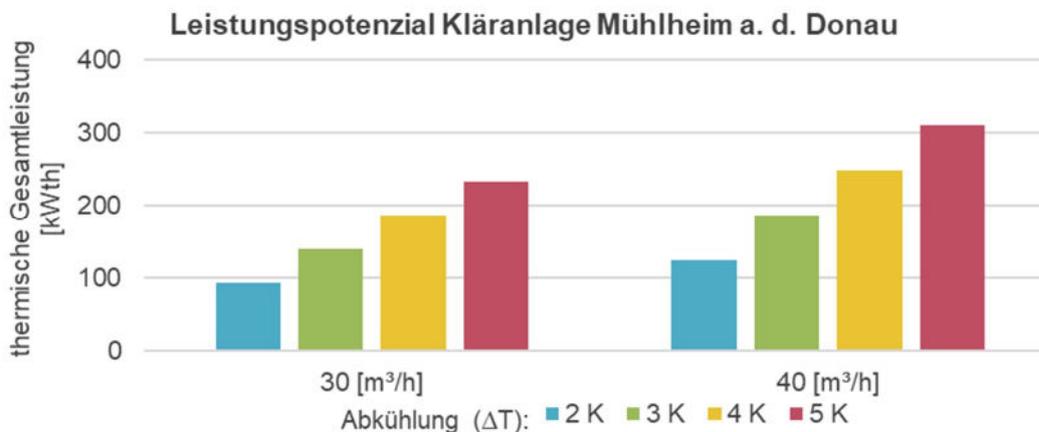


Abb. 33: Potenzial Abwasserwärme: thermische Gesamtleistung Wärmepumpe nach Kläranlage

5.5 Feste Biomasse / Holz

Holz ist der einzige kurzfristig breit verfügbare erneuerbare Energieträger mit der Möglichkeit zur Erzeugung hoher Temperaturen sowie einer gewissen Transport- und Lagerfähigkeit zur überregionalen und zeitlich flexiblen Verwendung. Das Erreichen der Klimaziele wird deshalb unter anderem von der überregionalen Verfügbarkeit von Holz als Brennstoff und der Entwicklung seiner wirtschaftlichen Parameter abhängen. Die lokalen Potenziale auf dem Stadtgebiet werden für den zu erwartenden Bedarf bei Weitem nicht ausreichen und werden außerdem bereits verwendet.

Das Forstamt Tuttlingen hat eine eigene Kurzstudie zum Holzpotenzial im Stadtwald angestellt. Dabei wird von einem zusätzlichen Potenzial von 30.000 bis 45.000 MWh/a ausgegangen. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass in der Region und der Stadt Tuttlingen selbst bereits Holzheizwerke geplant werden, die auf dieses Potenzial zurückgreifen wollen.

Die bis 2030 / 2040 benötigten Mengen an Holz zur thermischen Verwertung in möglichen Holzheiz-(kraft-)werken müssen daher zum größten Teil aus anderen externen Quellen bzw. auf dem Markt für energetisch nutzbares Holz beschafft werden. Aus Gründen des Naturschutzes, der Ressourceneffizienz und mit Rücksicht auf die Bedeutung der stofflichen Nutzung von Holz handelt es sich dabei um Waldrestholz aus der (nachhaltigen) Forstwirtschaft sowie Altholz / holzartige Abfälle aus Haushalten, Gewerbe oder der Landschaftspflege.

Dezentrale Holzheizungen eignen sich besonders für Liegenschaften mit Möglichkeiten zur Lagerung des Brennstoffs, erhöhtem Wärmebedarf und der Notwendigkeit von hohen Temperaturen im Heizungssystem. Langfristig soll jedoch nach dem Willen der Bundesrepublik Deutschland sowie auch der Europäischen Union die stoffliche Nutzung in den Vordergrund rücken. Auf Landesebene äußert sich dies beispielsweise bereits in der Holzbauinitiative des Landes Baden-Württemberg¹.

Aus Gründen der Ressourceneffizienz, aber auch zur Minderung von Belastungen aus der Holzverbrennung, sollten Holzheizungen neben der Verwendung in Zentralen für große Wärmenetze nach Möglichkeit auf die Verwendung in einer „Wärmeinsel“ im Verbund mit ergänzenden Energieträgern wie z. B. Solarthermie und auf die oben beschriebenen Anwendungen begrenzt werden.

¹ <https://www.holzbauoffensivebw.de/de>

5.6 Flusswasserwärme

Die durch Mühlheim fließende Donau bietet ein Potenzial zur Abkühlung des Flusswassers zur Wärmeenergieerzeugung mithilfe einer Wärmepumpe. Nach den vorliegenden Daten zur Durchflussmenge und Temperatur des Flusswassers stellt sich das Potenzial wie folgt dar:

Das abgeschätzte Wärmepotenzial nach Wärmepumpe beläuft sich bei einer Entnahme und Abkühlung von 10–15 % des Flusswassers auf 16.750 bis 25.000 MWh/a bei einer Entzugsleistung von 2.100 kW_{th} bis 3.100 kW_{th}.

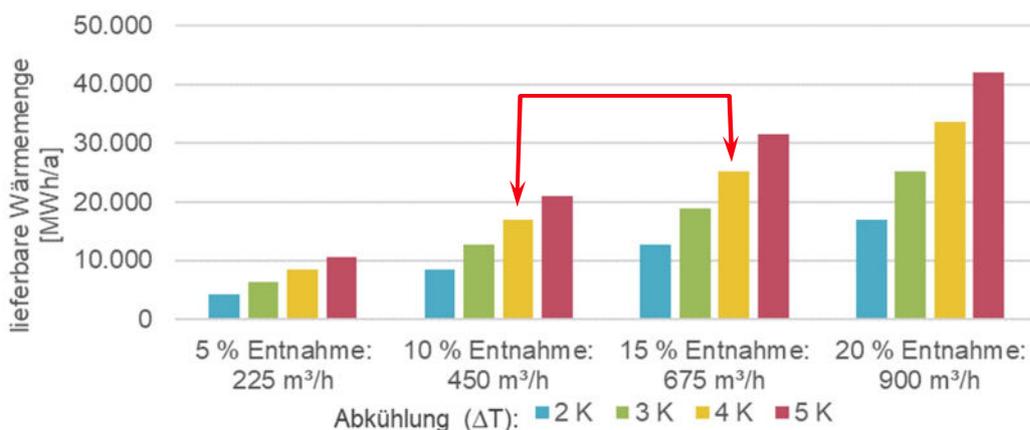


Abb. 34: Potenzial Flusswasserwärme: lieferbare Wärmemenge Wärmepumpe

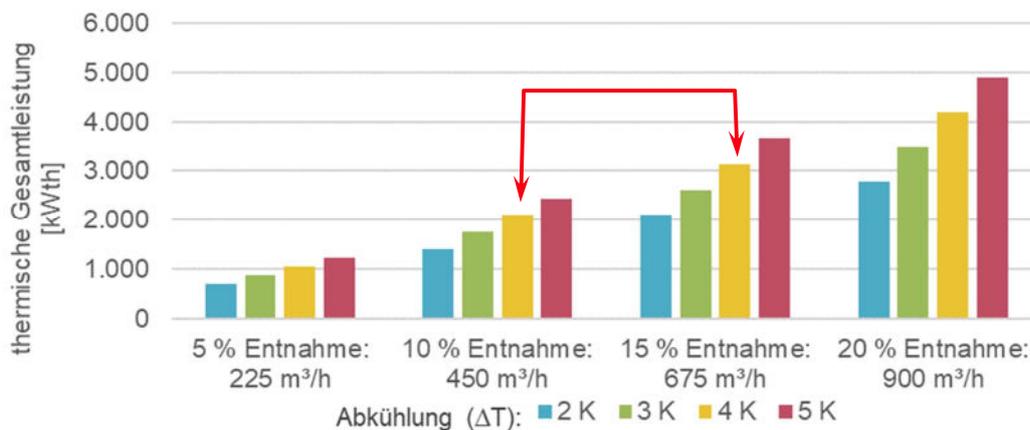


Abb. 35: Potenzial Flusswasserwärme: thermische Gesamtleistung Wärmepumpe

Generell kann Wärme aus Gewässern v. a. im Sommer und in den Übergangszeiten als Beitrag zur Grundlast genutzt werden, wenn Vorgaben zur maximalen Abkühlung eingehalten werden. Außer technischen Randbedingungen wie dem Jahresverlauf von Temperatur und Wassermenge oder der Nähe zu potenziellen Abnehmern sind in jedem Fall die Besitzverhältnisse und ökologische Anforderungen der jeweiligen Standorte und Gewässer zu berücksichtigen. Eine Wärmenutzung aus Flüssen ist genehmigungspflichtig.

5.7 Grundwasser

Die Wärmegegewinnung aus Grundwasser als Form der oberflächennahen Geothermie ist außerhalb von Wasserschutzgebieten grundsätzlich möglich und v. a. für Neubaugebiete oder für kleinere Netze im sanierten Bestand sinnvoll.

In der Praxis müssen für jeden Standort mehrere Probebohrungen und Messungen durchgeführt werden, bevor mit der Energiequelle lokal geplant werden kann. Es können kleinräumig große Unterschiede in der Nutzbarkeit auftreten. Die Grundwassernutzung ist grundsätzlich genehmigungspflichtig.

Insbesondere im Bereich der Donau und der Bäche Mühlheims sind die hydrogeologischen Voraussetzungen für eine Grundwasserwärmenutzung in Verbindung mit einer Wärmepumpe gegeben. Derzeit sind laut Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG) bereits zwei Anlagen mit Grundwasserwärmenutzung bekannt.



Abb. 36: Hydrogeologische Übersichtskarte mit Schutzgebieten nach [ISONG]

Allerdings weist das Geodatenportal Deutschland [GDI DE GW] die Eignung mit „weniger oder wechselnd ergiebig“ für die Region um Mühlheim an der Donau aus.



Abb. 37: Grundwasservorkommen nach [GDI DE GW][ISONG]

5.8 Geothermie mit Erdwärmesonden

In Verbindung mit Wärmepumpen stellen Erdwärmesonden (EWS) eine nachhaltige Wärmequelle dar, die sowohl zentral in Wärmenetzen als auch dezentral für einzelne Liegenschaften genutzt werden können.

Laut den Daten des „Informationssystems oberflächennahe Geothermie“ (ISONG) ist im Stadtgebiet die oberflächennahe Geothermie mittels EWS grundsätzlich möglich und wird durchgehend als „effizient“ eingestuft.

In der Praxis sollten Probebohrungen und Messungen durchgeführt werden, bevor mit der Energiequelle lokal geplant werden kann. Die tatsächlich nutzbare Wärmemenge hängt dabei neben individuellen wirtschaftlichen und technischen Voraussetzungen der Liegenschaft auch davon ab, wo und wie viele weitere Sonden sich in der Nachbarschaft befinden oder ob durch Kühlung außerhalb der Heizperiode eine Regeneration der Bohrung stattfindet.

5.8.1 Nutzung Erdwärmesonden in Wärmenetzen

In räumlicher Nähe zu Eignungsgebieten für Wärmenetze stellen Erdwärmesonden in Verbindung mit Wärmepumpen und Speichern eine gut geeignete Quelle für Wärmenetze dar. Dabei kann zwischen Konzepten mit zentraler Wärmepumpe und einem warmen Vorlauf im Wärmenetz sowie solchen mit dezentralen Wärmepumpen in den angeschlossenen Liegenschaften („kalte Nahwärme“) unterschieden werden.

In Verbindung mit Kühlung oder auch saisonal ergänzenden Energieträgern wie Solarthermie auf der gleichen Fläche können Wärmeüberschüsse außerhalb der Heizperiode im Sondenfeld bzw. im Erdreich gespeichert und die Wärmequelle dadurch regeneriert werden.

Im Rahmen der weiterführenden Untersuchungen (Transformationsplan des bestehenden Wärmenetzes sowie Machbarkeitsstudien von neuen potenziellen Netzen) sollte auch die Verfügbarkeit geothermisch geeigneter Flächen in der Nähe potenzieller oder bestehender Wärmenetze überprüft werden.

5.8.2 Nutzung Erdwärmesonden für einzelne Liegenschaften

Auch für einzelne Liegenschaften und eine dezentrale Wärmeversorgung können Erdwärmesonden genutzt werden. Insbesondere Liegenschaften, die technisch und wirtschaftlich sehr gut mit einer Wärmepumpe beheizt werden können, profitieren von einer effizienten Quelle und dadurch einer erhöhten Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe. Der Stromanteil in der gelieferten Wärme sinkt bei steigender JAZ und damit auch die Betriebskosten für den Betreiber.

Zur dezentralen Nutzung für einzelne Liegenschaften im Bestand stehen nach einer Studie der KEA BW etwa 20.450 MWh/a aus Erdwärmesonden in Verbindung mit Wärmepumpen zur Verfügung. Die Baublöcke, die sich aufgrund des vorliegenden Potenzials im Verhältnis zum eigenen Wärmebedarf besonders eignen, wurden in der Folgenden Karte dargestellt:

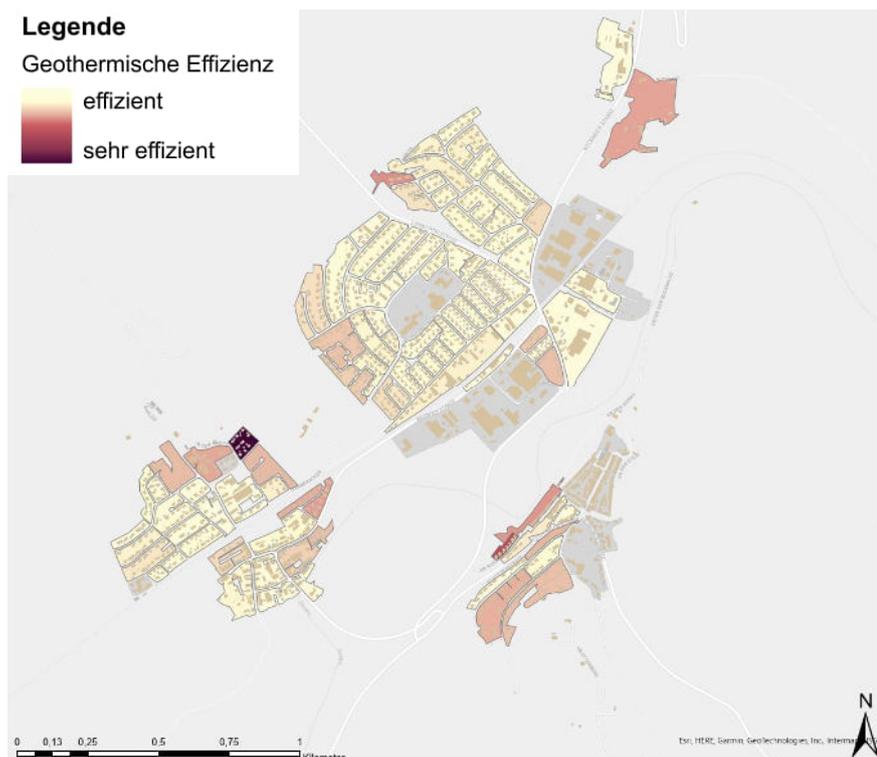


Abb. 38: Geothermiefpotenzial für Erdwärmesonden im Bestandgebiet nach [KEA EWS 2022]

Ist die Nutzung von Erdwärmesonden wenig effizient, oder aufgrund des Verhältnisses zwischen lieferbarer Wärmemenge und Wärmebedarf der Liegenschaften nicht sinnvoll, sind die Liegenschaften in der Darstellung ausgegraut. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in der Studie der KEA BW ausschließlich Potenziale für Liegenschaften mit Wohnnutzungen gebildet wurden. Gebiete mit einem hohen Nichtwohn-Anteil können somit nicht belastbar bewertet werden und sind ebenfalls ausgegraut.

5.9 Geothermie mit Erdkollektoren / Agrothermie

Die Nutzung von Erdwärme in geringer Tiefe (1,5–4 m) ist eine Option für Gebiete oder Liegenschaften mit genügend Freifläche zur Installation der notwendigen Kollektoren im Erdreich. Dafür können z. B. Grün- oder Ackerflächen und Sportplätze in Frage kommen (die weiterhin als solche genutzt werden können). Durch den Flächenbedarf für die Kollektoren und die notwendige Nähe zu den Abnehmern

(i. d. R. <300 m) kommen v. a. Randlagen oder nur locker bebaute Baublöcke als Potenzialgebiete in Frage. Durch die üblicherweise auf dieser Tiefe im Erdreich vorliegenden Temperaturen von 5–15 °C (jahreszeitliche Schwankungen), können im Jahr pro Hektar Freifläche zwischen 400–700 MWh/a Wärme für ein Wärmenetz gewonnen werden.

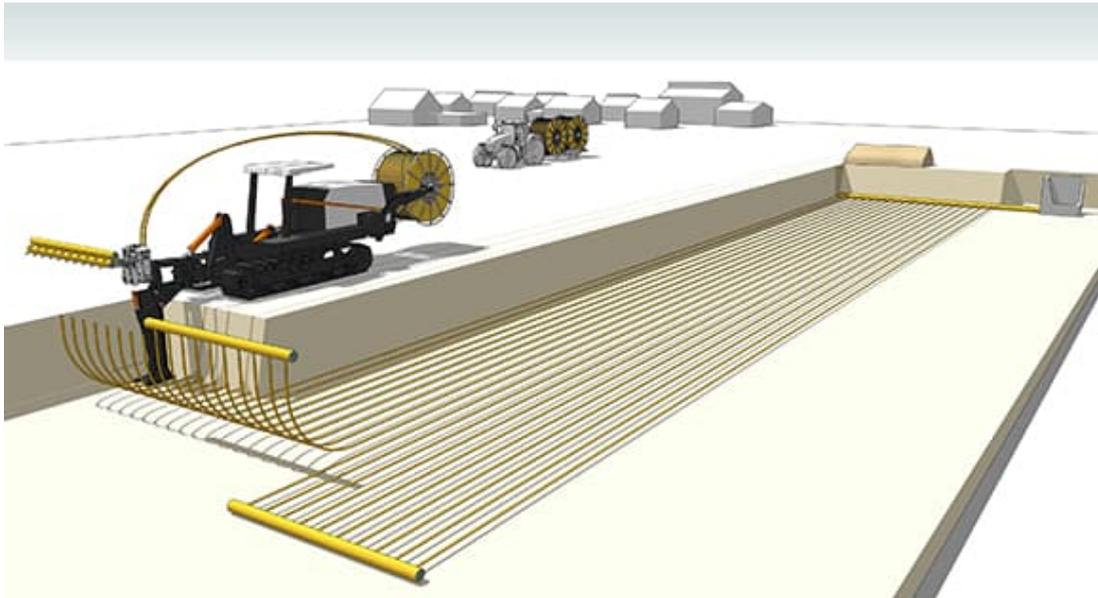


Abb. 39 Beispielhafte Darstellung Agrothermie, © Doppelacker GmbH [BMWI-09/2019]

Die Verfügbarkeit geeigneter Flächen, z. B. in Randlagen oder locker bebauten Baublöcken, müsste im Einzelfall durch die Kommune oder die jeweiligen Eigentümer festgestellt werden, bevor Hochrechnungen zum realisierbaren Potenzial sinnvoll sind.

5.10 Außenluft in Verbindung mit Wärmepumpen

Das Potenzial zur Wärmeerzeugung durch Luft-Wasser-Wärmepumpen entsteht aus der Modellierung des Energieträgermix im Zielszenario pro Baublock. Dabei werden lokale Gegebenheiten der Bausubstanz, der Platzverhältnisse und des angenommenen Wärmebedarfes grob berücksichtigt. Für die dezentrale Wärmeerzeugung ergeben sich daraus im Jahr 2040 ca. 14.200 MWh/a nach Wärmepumpe.

Darüber hinaus können Großwärmepumpen in Verbindung mit Außenluft auch in Zentralen für Wärmenetze zur Anwendung kommen. Insbesondere für iKWK-Konzepte mit flexibler Nutzung günstiger Preise am Strommarkt, stellen Großwärmepumpen eine wirtschaftlich sinnvolle Komponente der zentralen Wärmeerzeugung dar.

5.11 Abwärme aus industriellen Prozessen

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden die größeren Unternehmen aus dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung, Industrie (GHDI) per Fragebogen unter anderem zu ihren Abwärmepotenzialen befragt. Dabei wurden von einigen Unternehmen angegeben, dass Abwärme vorhanden ist, jedoch entweder bereits auf der Liegenschaft genutzt oder aber wegen zu geringer Temperaturen und Leistungen nicht wirtschaftlich verwertbar ist.

Es konnten daher keine für die Kommunale Wärmeplanung konkret nutzbaren Potentiale ermittelt werden.

5.12 Biogas

Die Rahmenbedingungen für Biogasanlagen haben sich in den letzten Jahren tendenziell verschlechtert, könnten sich jedoch mittelfristig wieder verbessern. Die Rolle von Biogasanlagen könnte in der Zukunft an Bedeutung gewinnen, da sie neben strommarktgeführten BHKW auch als möglicher Standort der Methanisierung von Wasserstoff in Frage kommen.

Die im Stadtgebiet anfallenden Mengen aus biologisch verwertbaren Abfällen und Grüngut werden bereits überregional zur Kompostherstellung gesammelt und genutzt. Für die Stadt kann kein Potenzial zum Betrieb einer Biogasanlage aus regionalen Reststoffen angenommen werden.

5.13 Power to Gas

Mit „Power-to-Gas“ werden Verfahren bezeichnet, mit denen unter Verwendung von elektrischer Energie, vorzugsweise aus erneuerbaren Quellen, brennbare Gase („EE-Gase“) synthetisiert werden. Die Bedeutung dieser Verfahren für die Energiewende liegt in der Möglichkeit, bisher genutzte fossile Brennstoffe zu ersetzen und überschüssigen Strom aus erneuerbaren Quellen zu speichern und sektorübergreifend zu nutzen. Grundsätzlich wird zwischen zwei Verfahren unterschieden:

- Power-to-H₂: Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff durch Elektrolyse. Nutzung von Wasserstoff als Brennstoff oder weitere Methanisierung.
- Power-to-CH₄: Methanisierung von Wasserstoff durch Reaktion mit CO₂. Nutzung des erzeugten Gases analog zu bisher verwendetem Erdgas.

Kriterien für geeignete Standorte von Power-to-Gas Anlagen sind:

- Nähe zu erneuerbaren Stromquellen mit nutzbaren Überschüssen

- Nähe zu Biogasanlagen oder anderen CO₂-Quellen für eine Methanisierung
- Nähe zu direkten Abnehmern für Wasserstoff oder Methan (z. B. Tankstellen oder Industrieanlagen mit Bedarf an Prozesswärme)
- Vorhandenes (wasserstofffähiges) Gasnetz zur Einspeisung der erzeugten EE-Gase
- bestehende Speichermöglichkeiten von Wasserstoff / Methan
- Nähe zu Abnehmern für Abwärme und Sauerstoff als Nebenprodukte

Aus technischen und v. a. wirtschaftlichen Gründen dürften Brennstoffe aus diesen Verfahren kurz- und mittelfristig jedoch ausschließlich für die Sektoren Verkehr und Industrie zur Anwendung kommen.

Für die Wärmeerzeugung wird die mögliche Verfügbarkeit von EE-Gasen voraussichtlich auch langfristig (bis 2040) noch auf große KWK-Anlagen in Zentralen von Wärmenetzen beschränkt bleiben, da die bestehenden Erdgas-Netze mit den derzeit vorhandenen Ressourcen und Rahmenbedingungen nicht großflächig mit EE-Gasen gefüllt werden können. Nach den Auskünften von Gasnetzbetreibern ist dabei weniger die vorhandene Infrastruktur der bestimmende Faktor, sondern die Erzeugung bzw. Einspeisung ausreichender Mengen von regenerativ erzeugtem Wasserstoff.

Anhand der oben aufgeführten Kriterien werden im Stadtgebiet keine möglichen Standorte für lokale Power-To-Gas Konzepte erkannt.

5.14 Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen

Durch die Transformation hin zu einer stärker strombasierten Wärmeerzeugung steigt auch die Bedeutung der Transformation des Bundes-Strommix zur Klimaneutralität. Die für die Klimaneutralität der Stadt notwendige Menge an regenerativ erzeugtem Strom oder den daraus generierten Mengen an erneuerbaren Gasen (Wasserstoff oder Methan) kann jedoch nicht allzeit innerhalb des Stadtgebiets erzeugt werden. Auch trotz dem angedachten starken Ausbau der regenerativen Erzeugung im Stadtgebiet, ist Mühlheim an der Donau weiterhin auch auf den Energiebezug von außerhalb angewiesen und dadurch auch in Bezug auf die Erreichung der geforderten Klimaneutralität von externen Entwicklungen im Stromsektor abhängig.

Für die Stadt bedeutet das die Ausschöpfung vorhandener regenerativer Potenziale zur regenerativen Stromerzeugung, um den lokalen Bedarf zu decken und zur Produktion überregional nutzbarer Überschüsse beizutragen. Große PV-Anlagen oder die Ausweisung von Standorten für Windkraftanlagen sind Maßnahmen im Handlungsbereich der Kommune. Die Nutzung des Potenzials auf Dachflächen kann von der Kommune unterstützt werden, liegt aber letztlich in der Hand der jeweiligen Eigentümerinnen und Eigentümer.

Die künftige bilanzielle Deckung des Bedarfs an erneuerbarem Strom muss insgesamt mit folgenden Anwendungen abgestimmt werden:

- Elektro-Mobilität
- Elektrifizierung industrieller Prozesse
- Erzeugung von erneuerbaren Gasen (z. B. „grüner Wasserstoff“) für Industrie, Verkehr und große KWK-Anlagen in Wärmenetzen
- Betrieb von Wärmepumpen, insbesondere zur Heizperiode

5.14.1 Windkraftanlagen

Insbesondere in der Heizperiode stellen Windkraftanlagen einen notwendigen Baustein der Stromversorgung aus regenerativen Quellen dar. Durch die im Zielszenario anzunehmenden Deckungsanteile von elektrisch betriebenen Wärmepumpen und dem dadurch zu erwartenden zusätzlichen Strombedarf kommt dem Ausbau der regenerativen Stromerzeugung mit Erträgen in der Heizperiode eine Schlüsselrolle für die Wärmewende zu.

Für den Windkraftausbau hat das Land Baden-Württemberg im aktuellen KlimaG BW die Windkraft-Flächenziele des Bundes aus dem Windenergieflächenbedarfsgesetz vom 20. Juli 2022 nochmals verschärft. Demnach gilt eine Zielvorgabe von 1,8 % der Landesfläche und eine Festlegung und Änderung der Teilpläne sowie des Regionalplans bis zum 30.09.2025.

Zum Stand der KWP-Erstellung wurde vom Regionalverband Schwarzwald-Baar-Heuberg im Rahmen des Beteiligungsverfahrens zu den Teilplanfortschreibungen für Regionalbedeutsame Windkraftanlagen kein Standort für Windkraftanlagen vorgesehen.

Auch nach den öffentlich verfügbaren Quellen (Windatlas LUBW) ist in Mühlheim kein nennenswertes technisches Potenzial für benannt.

5.14.2 Wasserkraftanlagen

Laut dem Markstammdatenregister gibt es zwei kleine stromerzeugende Anlagen aus Wasserkraft (siehe Kap.4.3). Die Durchflussmenge der Donau bietet aufgrund ihrer Höhe ein gewisses Potenzial zur Stromerzeugung. Allerdings stehen dem große Umweltauflagen und -anforderungen entgegen, die eine potenzielle Nutzung als voraussichtlich unwirtschaftlich erscheinen lassen.

Von der LUBW wird für Mühlheim kein Potenzial für Wasserkraftanlagen benannt.

5.14.3 Stromerzeugung aus Photovoltaik

Für die lokale Stromerzeugung bestehen Potenziale in der Nutzung von Dachflächen und der Errichtung der geplanten Freiflächenanlagen nördlich des Ortsteils Stetten.

Für die Nutzung weiterer Freiflächen müssen die tatsächliche Verfügbarkeit, die Genehmigungsfähigkeit sowie technische Randbedingungen für einen Anschluss zur Einspeisung in das Stromnetz geklärt werden. Freiflächenanlagen können dabei auch mit anderen Nutzungen wie z. B. Erdwärmesonden oder, bei entsprechender Aufständigung, auch mit landwirtschaftlichen Nutzungen oder Parkflächen kombiniert werden. Weiteres Potenzial besteht damit v. a. entlang der Bahnschienen sowie den Zufahrtsstraßen.

Aufgrund der derzeit geplanten PV-Freiflächenanlage sind weitere Freiflächenanlagen jedoch kurzfristig nicht zu erwarten.

Das Potenzial für PV-Anlagen zur Stromerzeugung auf Dachflächen beläuft sich nach Daten der [LUBW DF 2022] auf insgesamt 21.800 MWh/a. Nach Abzug der für die solare Wärmeerzeugung ermittelten 3.400 MWh/a verbleiben 18.400 MWh/a für die Stromproduktion durch Photovoltaik auf Dachflächen.

5.15 Rolle der Gasnetze

Um die Wärmewende umzusetzen, müssen auch Perspektiven für die Entwicklung der Gasnetze angedacht werden. Durch die bestehende Rechtslage sind die Netzbetreiber weiter zur Versorgung mit Erdgas verpflichtet (Konzessionsverträge), solange es Abnehmer gibt. Solange sich daran nichts ändert, können langfristig folgende Leitlinien verfolgt werden:

- Kein Neubau oder Erweiterung von Erdgasnetzen
- Backbone-Leitungen mit Gasspeichern, Großabnehmern und großen KWK-Anlagen in Wärmenetzen sollten langfristig erhalten und auf biogene Gase / Wasserstoff vorbereitet werden.
- Der großflächige Umbau der Gasverteilungs-Infrastruktur für einen erhöhten oder sogar 100 %-en Anteil von Wasserstoff stellt eine technische und wirtschaftliche Herausforderung dar, die nur sehr langfristig bewältigt werden kann. Hier müssen Prioritäten nach Art und Umfang der langfristigen Abnahme (Industriegebiete) und dem abzusehenden Instandhaltungsbedarf festgelegt werden.
- Ohne gewerbliche Abnehmer mit Bedarf an Erdgas oder anderen brennbaren Gasen stehen Fernwärmenetze prinzipiell in wirtschaftlicher Konkurrenz zum bestehenden Erdgasnetz. Fernwärmeausbau in gasversorgte Gebiete sollte daher mit einer Kampagne zum Rückbau des Gasnetzes begleitet werden.

Laut den derzeitigen Wasserstoffausbauplänen in Baden-Württemberg von Terranets BW ist für Mühlheim an der Donau vor 2040 kein Wasserstoffnetzanschluss vorgesehen [terranets BW].

5.16 Rolle Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung in Zentralen zur Versorgung von Wärmenetzen stellt weiterhin eine sinnvolle Option zur flexiblen und netzdienlichen Strom- und Wärmeerzeugung durch eine Effizienztechnologie dar. Allerdings muss der Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas langfristig durch erneuerbare Energieträger (biogene Gase / Wasserstoff) ersetzt werden. Zudem sollten bestehende und neue Anlagen nach dem Prinzip der „innovativen Kraft-Wärme-Kopplung“ (iKWK) modernisiert bzw. realisiert werden:

- Stromgeführter Betrieb der KWK-Anlage bei wirtschaftlich günstiger Einspeisung
- Verbindung mit einer regenerativen Wärmequelle (z. B. Solarthermie, Geothermie oder Groß-Wärmepumpe mit Außenluft)
- Groß-Wärmespeicher mit Power to Heat zur wirtschaftlichen Nutzung von Stromüberschüssen im Netz (z. B. Abschaltung KWK und Nutzung Wärmepumpe oder Aktivierung Heizstab im Pufferspeicher)

Neue größere Biomasseheizwerke für Wärmenetze sollten ebenfalls mit der Option einer Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung konzeptioniert werden.

5.17 Fazit / Zusammenfassung Potenziale

Die erhobenen lokalen Potenziale unterscheiden sich hinsichtlich der Qualität der dafür verfügbaren Datenquellen und der Belastbarkeit der zur Abschätzung notwendigen Annahmen. Zu beachten ist, dass die Potenziale ggf. untereinander konkurrieren und nicht technisch oder wirtschaftlich gleichwertig erschlossen werden können. Vor der Nutzung der genannten Potenziale können im Einzelfall weitere Untersuchungen zur technischen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit notwendig werden.

- **Effizienzsteigerung im Bestand:** Im Gebäudebestand wurde ein langfristiges Einsparpotenzial durch Effizienzmaßnahmen von 42,4 % ermittelt. Unter Berücksichtigung einer abgestimmten anzunehmenden Sanierungsrate von 1,5 %/a und der äußeren Einflüsse der Klimaerwärmung ergibt sich eine erwartbare Reduzierung des Wärmebedarfs von 3.570 MWh/a (7,8 %) bis 2030 und von 6.810 MWh/a (14,9 %) bis 2040.

- **Solare Wärme auf Dachflächen:** Das ermittelte langfristige Potenzial zur Wärmeerzeugung auf solar geeigneten Dachflächen beläuft sich auf 3.420 MWh/a.
- **Solare Wärme auf Freiflächen:** Solarthermie-Freiflächenanlagen in der Nähe zu Wärmeabnehmern oder Heizzentralen stellen in Verbindung mit Speichern eine gute regenerative Wärmequelle für Wärmenetze dar. Im Zuge weiterführender Untersuchungen zur Nahwärmeversorgung Mühlheims (Machbarkeitsstudie / Transformationsplan) sollte das Solarpotenzial konkretisiert und mögliche Flächen zur Sicherung definiert werden.
- **Abwasserwärme im Kanal:** Die Hauptsammler der Abwasserkanäle in Stetten und Mühlheim haben beide einen ausreichenden Durchmesser, um dort Wärmetauscher installieren zu können. Die real dort vorliegenden Temperaturen und Durchflussmengen müssen jedoch erst in Messungen überprüft werden. Bei einer Nutzung der Abwasserwärme ist in jedem Fall darauf zu achten, dass die Abkühlung des Abwassers die Klärprozesse in der Kläranlage nicht beeinträchtigt.
- **Abwasserwärme nach Kläranlage:** Die Abkühlung des gereinigten Abwassers nach der Kläranlage mittels Wärmepumpe bietet ein Wärmepotenzial nach Wärmepumpe von 1.120 bis 1.490 MWh/a.
- **Flusswasserwärme:** Das für die Donau abgeschätzte Wärmepotenzial nach Wärmepumpe beläuft sich auf 16.750 bis 25.000 MWh/a. Die Herausforderung besteht darin, einen geeigneten Standort für die Wasserentnahme und Wärmepumpe zu finden. Es gibt bisher keine dafür geeigneten Bauwerke. Für eine Erschließung und genauere Bestimmung des nutzbaren Potentials sind zudem noch weitere (u. a. auch rechtliche Randbedingungen) zu klären.
- **Grundwasserwärme:** Insbesondere im Bereich der Donau und der Bäche Mühlheims sind die hydrogeologischen Voraussetzungen für eine Grundwasserwärmenutzung in Verbindung mit einer Wärmepumpe gegeben. Derzeit sind laut Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG) bereits zwei Anlagen mit Grundwasserwärmenutzung bekannt.
- **Geothermie (Erdwärmesonden):** Für das Stadtgebiet wird aus den verfügbaren öffentlichen Quellen grundsätzlich eine gute Eignung für Erdwärmesonden bestätigt. Besonders geeignete Gebiete wurden bei den Eignungsgebieten als Gebiete für die Nutzung effizienter Wärmepumpen hervorgehoben (s. u.). Zur dezentralen Nutzung für einzelne Liegenschaften im Bestand stehen nach einer Studie der KEA BW etwa 20.450 MWh/a aus Erdwärmesonden in Verbindung mit Wärmepumpen zur Verfügung.

- **Geothermie (Erdwärmekollektoren):** Die Nutzung von Erdwärme aus oberflächennahen Kollektoren (Agrothermie, Erdkörbe o. ä.) in Verbindung mit Wärmepumpen ist grundsätzlich in Randlagen oder locker bebauten Baublöcken für einzelne Liegenschaften mit verringerten Wärmebedarfen möglich und wurde entsprechend im Anteil für dezentrale Wärmepumpen im Zielszenario berücksichtigt. Wenn größere Flächen in der Nähe von Heizzentralen gefunden werden können, eignet sich diese Form der oberflächennahen Geothermie prinzipiell auch für eine zentrale Wärmeversorgung über ein Wärmenetz.
- **Abwärme:** Aus den durchgeführten Befragungen ansässiger Unternehmen sowie der Analyse von Verbrauchsdaten, Branchen oder installierten Leistungen zur Wärmeerzeugung konnten keine für die Kommunale Wärmeplanung konkret nutzbaren Potentiale ermittelt werden. Die anfallende Abwärme wird bereits teilweise selbst genutzt oder fällt in so geringen Mengen an, dass die Nutzung voraussichtlich nicht wirtschaftlich darstellbar ist.

6 Szenarienbildung und Zielbild

6.1 Allgemeine Voraussetzungen und Annahmen

Das im KWP beschriebene Zielbild im Jahr 2040 geht zuerst von folgenden grundsätzlichen Annahmen und Voraussetzungen aus:

- Technische und wirtschaftliche Verfügbarkeit externer Ressourcen wie z. B. erneuerbare Gase (Biogas / Biomethan), Holz und klimaneutraler Strom für die Wärmeerzeugung
- Für private Einzelheizungen wird Wasserstoff bis 2040 nicht in den notwendigen Mengen technisch und wirtschaftlich zur Verfügung stehen. Die Nutzung bleibt auf Anwendungen im Verkehr, der Industrie oder in großen KWK-Anlagen für Wärmenetze beschränkt
- Die Prozesswärmeanteile im Wärmebedarf werden je nach Größe durch Strom oder Biogas / Biomethan ersetzt
- Eine angesichts der bestehenden Hemmnisse ehrgeizige Annahme zur Sanierungsrate im Bestand von 1,5 % pro Jahr auf ein Niveau der Förderstandards KfW-Effizienzhaus-55 oder -70 für Wohngebäuden und ähnlich ambitionierte Vorgaben für Nichtwohngebäude
- Transformation und Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes
- Konzeption und Umsetzung eines neuen Wärmenetzes mit klimaneutraler Wärmeerzeugung in Oberstadt und Prüfung weiterer möglicher Wärmenetze
- Im Wärmenetzsignungsgebiet des bestehenden Netzes wird aus den Baualtern der Heizungsanlagen sowie der Lage des bestehenden Netzes die erreichbare Deckungsrate für das Wärmenetz in den Jahren 2030 und 2040 abgeleitet und mit dem Betreiber abgestimmt.
- Erschließung von geeigneten Freiflächen für die Nutzung von Solarenergie zur Wärme- und Stromerzeugung
- Ausbau der Solarenergienutzung für Wärme und Strom auf Dächern mit langfristiger Ausschöpfung des vorhandenen Potenzials
- Effizientere Wärmepumpenlösungen (alle Quellen außer Außenluft) erreichen je nach Eignung des Baublocks und vorhandener lokaler Potenziale Deckungsraten zwischen 5 % und 30 % pro Baublock
- Moderater Anstieg der Nutzung von Holzheizungen in privaten Feuerstätten (Wohngebäude)
- Energiekonzepte für Neubaugebiete die eine klimaneutrale, d.h. zu 100 % regenerative, Versorgung realisieren

6.2 Entwicklung des Wärmebedarfs

Einsparung durch Effizienzsteigerung und Gebäudemodernisierung

Wie in der Potenzialanalyse dargestellt, wird für die Bildung der Szenarien 2030 und 2040 von Effizienzsteigerungen, insbesondere durch die Modernisierung der Wohn- und Nichtwohngebäude, ausgegangen.

Effizienzsteigerungen für industrielle oder gewerbliche Anwendungen können nicht ausreichend eingeschätzt werden, da diese Bedarfe ohnehin erheblichen Schwankungen nach Konjunktur und wirtschaftlichen Prioritäten der jeweiligen Branchen und Betrieben vor Ort unterliegen. Anzunehmen ist jedoch auch hier ein allgemeiner Einsparungsdruck aus wirtschaftlichen Gründen.

Mehrbedarf durch Neubauten

Für die angedachten Neubaugebiete wurden auf Basis vorliegender grober Angaben zu Nutzungen und Flächen sowie des Förderstandards der KfW „Effizienzhaus 55“ die für das Zielszenario anzunehmenden Wärmebedarfe geschätzt. Insgesamt würde sich der Wärmebedarf durch diese Neubauten um etwa 2.000 MWh/a erhöhen (ca. 4,3 % des heutigen Bedarfs).

Veränderung des Wärmebedarfs durch den Klimawandel

Aus den vorhandenen Quellen wird eine pauschale Senkung des Raumwärmeverbrauchs durch Effekte des Klimawandels um 5 % bis 2040 angenommen (vgl. Kapitel 2.6.1).

Tab. 6: Entwicklung des Gesamtwärmebedarfs

Zeitpunkt:	Ist-Zustand	2030	2040
Erzeugernutzwärmebedarf [MWh/a]	46.020	41.730	38.530

6.3 Entwicklung des Strombedarfs zur Wärmeerzeugung

Durch die Transformation vor allem der dezentralen Wärmeerzeugungsanlagen von Heizungsanlagen mit Verbrennung zu stromgeführten Heizungen wird der Strombedarf in der Zukunft im Wärmesektor ansteigen.

Um einen möglichst moderaten Anstieg erreichen zu können und damit die zusätzliche Belastung des Stromnetzes gering zu halten, sollten vor allem Anlagen mit hohem Wirkungsgrad zum Einsatz kommen. Bei Wärmepumpen bedeutet das eine Wärmequelle zu finden, die einen höheren Wirkungsgrad gewährleistet als mit der Quelle Außenluft.

Unter den in diesem Kapitel genannten Rahmenbedingungen wird der zusätzliche Strombedarf aus Wärmepumpen sich bis 2030 / 2040 wie folgt darstellen:

Tab. 7: Strombedarf für Wärmepumpen 2030 / 2040

Technologie	JAZ	Strombedarf 2030 [MWh/a]	Strombedarf 2040 [MWh/a]
Wärmepumpen (Außenluft)	2,5	3.425	5.695
Wärmepumpen (effizientere Quelle)	4,0	319	585
Summe:		3.744	6.280

6.4 Eignungsgebiete

Die mit der Kommune abgestimmten Eignungsgebiete für mögliche Wärmenetze sowie den Einsatz effizienter Wärmepumpentechnologien sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

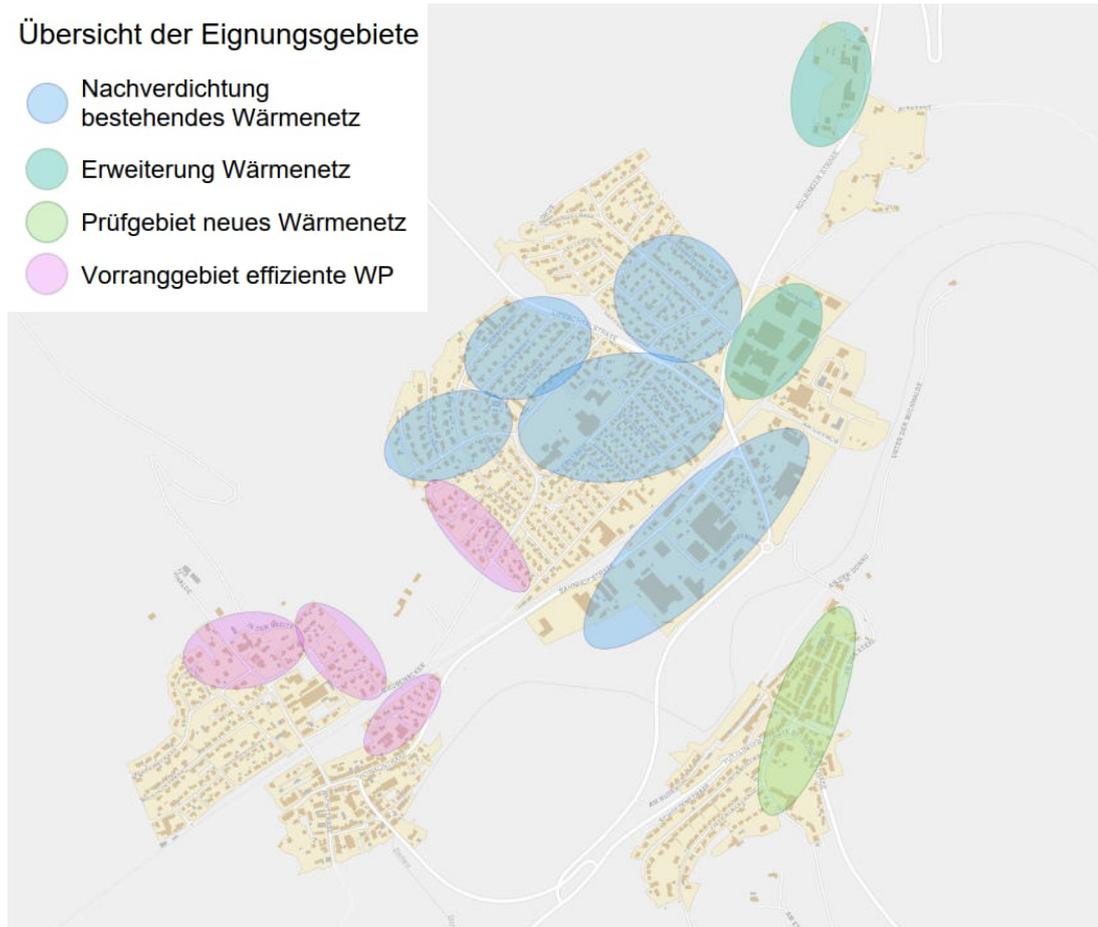


Abb. 40: Eignungsgebiete

Für diese Eignungsgebiete wurden, soweit dafür entsprechende Anhaltspunkte vorlagen, auch Ausbauszenarien und Zeithorizonte für die Entwicklung der jeweiligen Anteile der Wärmebedarfsdeckung durch die jeweiligen Wärmenetze gebildet und für die Szenarien bilanziert.

Bestehendes Wärmenetz in der Vorstadt

In den beiden Eignungsgebieten (Nachverdichtungsgebiet + Erweiterungsgebiet) des bestehenden Wärmenetzes könnten unter Berücksichtigung der Bedarfssenkung durch energetische Gebäudesanierung und des Einflusses der Klimaerwärmung rund 35,7 % (7.050 MWh/a) des dort vorliegenden Wärmebedarfs bis zum Jahr 2030 und rund 59,9 % (10.350 MWh/a) bis zum Jahr 2040 durch Nahwärme gedeckt werden.

Die Erweiterung des Netzes könnte zudem eine Grundlage schaffen, um das Netz zukünftig vollständig mit erneuerbaren Energien zu versorgen, wenn bei der Erweiterung das nördlich befindliche Sägewerk Maurer angeschlossen werden kann. Diese Option befindet sich zum Zeitpunkt der KWP-Erstellung in der Prüfung und wurde daher in die Maßnahmen mitaufgenommen.

Prüfgebiet neues Wärmenetz Oberstadt

Das Gebiet der Oberstadt eignet sich aufgrund seiner Wärmedichte grundsätzlich für eine zentrale Wärmeversorgung durch ein Wärmenetz. Außerdem stehen den Gebäuden wenige andere Alternativen für eine erneuerbare Wärmeversorgung zur Verfügung. Im Rahmen der Maßnahmen sollte diese Option näher untersucht werden, um die dort vorliegenden Herausforderungen und Möglichkeiten näher zu beleuchten.

Im Prüfgebiet für ein neues Netz in der Oberstadt könnten unter den angesetzten Rahmenbedingungen rund 60 % (2.900 MWh/a) bis zum Jahr 2040 gedeckt werden.

Neues Netz in Stetten

Für den Ortsteil Stetten wurde im Zielszenario keine zentrale Wärmeversorgung angesetzt. Durchaus realistisch sind jedoch kleinere Wärmeverbände einzelner Liegenschaften. Südlich der Bahnschienen finden sich einige kommunale Gebäude in unmittelbarer Nähe zueinander, bei denen sich eine gemeinsame Wärmeversorgung gegebenenfalls rechnen könnte. Diese Optionen sollten im Rahmen der Entwicklung der Kommunalen Gebäude in der Maßnahmenumsetzung untersucht werden.



Abb. 41: Wärmedichte Stetten – Liniendichte

Als ersten Hinweis auf eine eventuell wirtschaftlich darstellbare zentrale Wärmeversorgung kann die Wärmedichte in den Straßenzügen herangezogen werden. Nennenswert hohe Wärmedichten finden sich jedoch nur stark vereinzelt und unterbrochen von Streckenabschnitten mit geringerer Wärmedichte.

Ein größeres Hindernis könnten zudem die Bahnschienen darstellen, die den nördlichen vom südlichen Teil Stettens abtrennen. Die Querung der Bahnschienen stellt eine zusätzliche wirtschaftliche Herausforderung dar.

Ob eine für beide Seiten bezahlbare zentrale Wärmeversorgung in Stetten realisierbar wäre, müsste im Rahmen der Maßnahmenumsetzung näher untersucht werden.

Gesamtbetrachtung Wärmenetze

Für die ganze Stadt könnte unter diesen Annahmen eine Deckung des Wärmebedarfs bis 2040 von 34,4 % (13.250 MWh/a) durch Nahwärme erreicht werden.

Vorranggebiet effiziente WP

Die Gebiete nördlich sowie östlich von Stetten und westlich der Mühlheimer Vorstadt eignen sich aufgrund der dort vorhandenen Gebäude mit zumeist größeren umliegenden Grünflächen, des vorliegenden Geothermiepotenzials sowie des Potenzials zur Grundwasserwärmenutzung grundsätzlich für den Einsatz effizienterer Wärmepumpen. Der Einsatz effizienterer Wärmepumpen muss gegenüber dem Einsatz von Außenluftwärmepumpen immer im Einzelfall abgewogen werden. Nicht nur muss die Wärmequelle (Geothermie / Grundwasser etc.) im Einzelfall bestätigt werden, sondern auch die wirtschaftliche Darstellbarkeit einer Wärmeversorgung mit dieser Wärmepumpentechnologie muss im Einzelfall untersucht werden.

Die Eigentümerinnen und Eigentümer in diesen Gebieten sollten bei der Suche von Beratungsangeboten etc. unterstützt werden, um einen möglichst hohen Anteil effizienter Wärmepumpen in Mühlheim an der Donau zu erreichen.

Eignungsgebiete für dezentrale Versorgung

Gebiete außerhalb der für Wärmenetze als geeignet erkannten Baublöcke sind automatisch Eignungsgebiete für eine dezentrale Versorgung. Für diese Gebiete werden je nach lokalen Verhältnissen neben alternativen Systemen v. a. Wärmepumpen mit unterschiedlichen Quellen die bisherigen Feuerstätten verdrängen. Das kann sowohl für einzelne Liegenschaften (dezentrale Versorgung) als auch für kleinere Wärmeverbände („Wärmeinseln“), z. B. zwischen benachbarten Liegenschaften oder Gebäuden auf einer Liegenschaft, geschehen. Nicht alle Bestandsgebäude sind jedoch direkt geeignet mit Wärmepumpen versorgt zu werden. Teils werden vorbereitende Maßnahmen an Gebäuden notwendig sein um die Gebäude „**Wärmepumpen-ready**“ zu machen. Dazu gehören:

- Effizienzsteigerung im Gebäudebestand zur Absenkung der Vorlauftemperaturen in den Gebäuden auf ca. 55 °C (Modernisierung der Gebäudehülle, Optimierung der technischen Anlagen)
- Prüfung der Warmwasserbereitung mit Frischwasserstationen und ggf. lokaler Zusatzheizung für Gebäude in denen keine Zirkulation zur Vermeidung von Legionellen notwendig ist (i. d. R. kleinere Wohngebäude)

- Prüfung Installation einer lokalen Zusatzheizung („Booster-Wärmepumpe“, Elektro-Heizstab o.ä.) falls technisch und wirtschaftlich umsetzbare Effizienzmaßnahmen nicht ausreichend sind.
- Qualitätskontrolle für neu installierte Wärmepumpensysteme im Bestand (Monitoring der Jahresarbeitszahlen durch Eigentümer und Effizienzberatung durch Sachverständige)
- Eigene Stromerzeugung (v. a. PV-Anlagen) auf der Liegenschaft zur Nutzung des erzeugten Stroms für die Wärmepumpe, im Haushalt oder eigenen Elektro-Kfz-Ladestationen.

6.5 Zwischenstand 2030

Für die Modellierung des Zustands der Wärmenutzung und -erzeugung im Jahr 2030 wurden folgende Randbedingungen aufgestellt:

- Bedarfssenkung entsprechend der angenommenen Effizienzsteigerung im Bestand bis 2030
- Erfolgreiche Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes in der Vorstadt
- Erhöhung des Biomasseanteils im Wärmenetz der Vorstadt
- Erweiterung der Bebauung Mühlheims im Neubaugebiet Mühlenösch
- Beginnende Umstellung dezentraler Wärmeversorgungsanlagen auf erneuerbare Energien

Mit allen oben und in Kapitel 6.1 dargestellten Randbedingungen stellt sich die für 2030 prognostizierte Energiebilanz wie folgt dar:

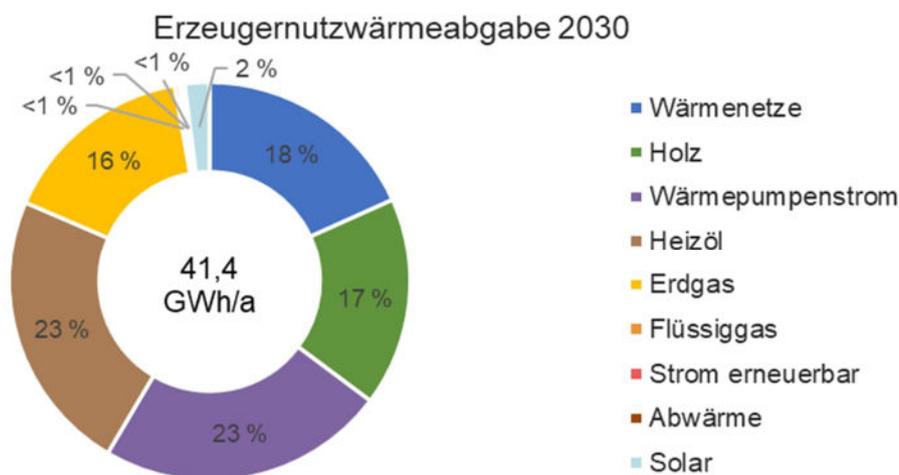


Abb. 42: Energieträgerverteilung für die Erzeugernutzwärme 2030

Zusammen mit den energieträgerabhängigen Verlusten für Erzeugung, Speicherung und ggf. Transport sowie dem Abzug der Umweltwärme aus den Wärmepumpen-

anteilen („WP-Strom“), ergibt sich die prognostizierte Bilanz für die Endenergie in 2030:

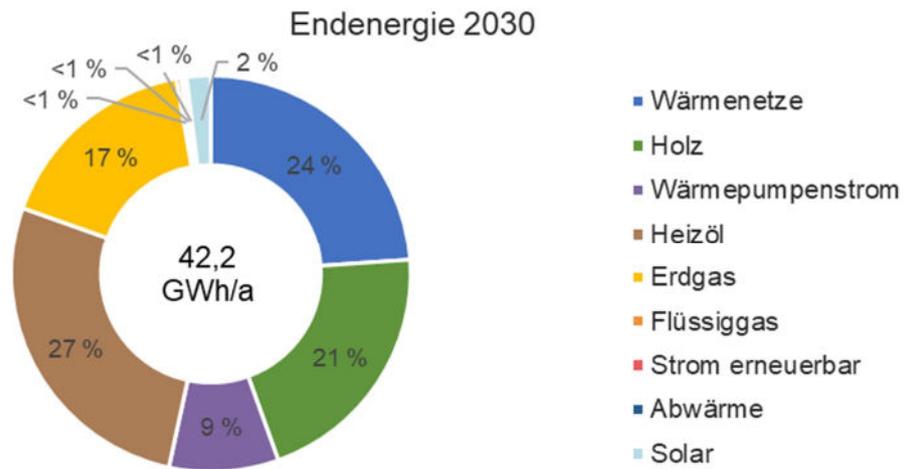


Abb. 43: Energieträgerverteilung für die Endenergie 2030

Mit der Endenergiebilanz und den pro Energieträger festgelegten THG-Emissionsfaktoren kann die Treibhausgasbilanz für 2030 wie folgt dargestellt werden:

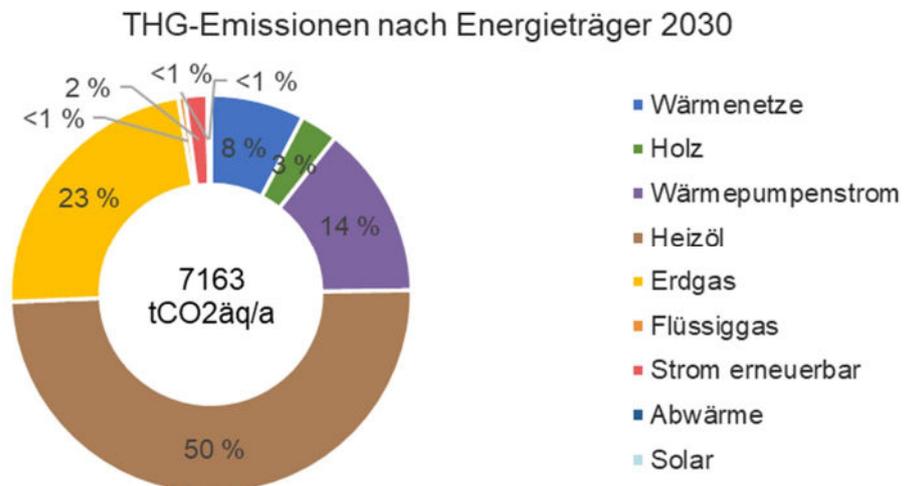


Abb. 44: Treibhausgasemissionen aus der Wärmenutzung 2030

6.6 Zielbild 2040

Für die Modellierung des Zielzustands der Wärmenutzung und -erzeugung im Jahr 2040 wurden in Ergänzung zu den für 2030 getroffenen Annahmen folgende Randbedingungen aufgestellt:

- Bedarfssenkung entsprechend der angenommenen Effizienzsteigerung im Bestand bis 2040
- Neubau Wärmenetz Oberstadt ausgehend von dem bestehenden Wärmeverbund der Festhalle
- Weitere Nachverdichtung des Wärmenetzes in der Vorstadt

Mit allen oben und in Kapitel 6.1 dargestellten Randbedingungen stellt sich die für 2040 prognostizierte Energiebilanz wie folgt dar:

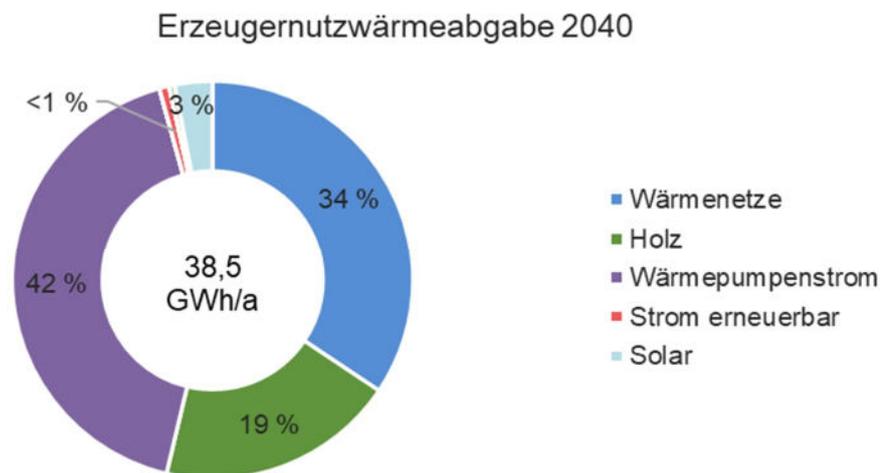


Abb. 45: Energieträgerverteilung für die Erzeugernutzwärme 2040

Zusammen mit den energieträgerabhängigen Verlusten für Erzeugung, Speicherung und ggf. Transport sowie dem Abzug der Umweltwärme aus den Wärmepumpenanteilen („WP-Strom“), ergibt sich die prognostizierte Bilanz für die Endenergie in 2040:

Die Verortung der Energieträgerverteilung in der Zielbilanz in den einzelnen Baublöcken wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

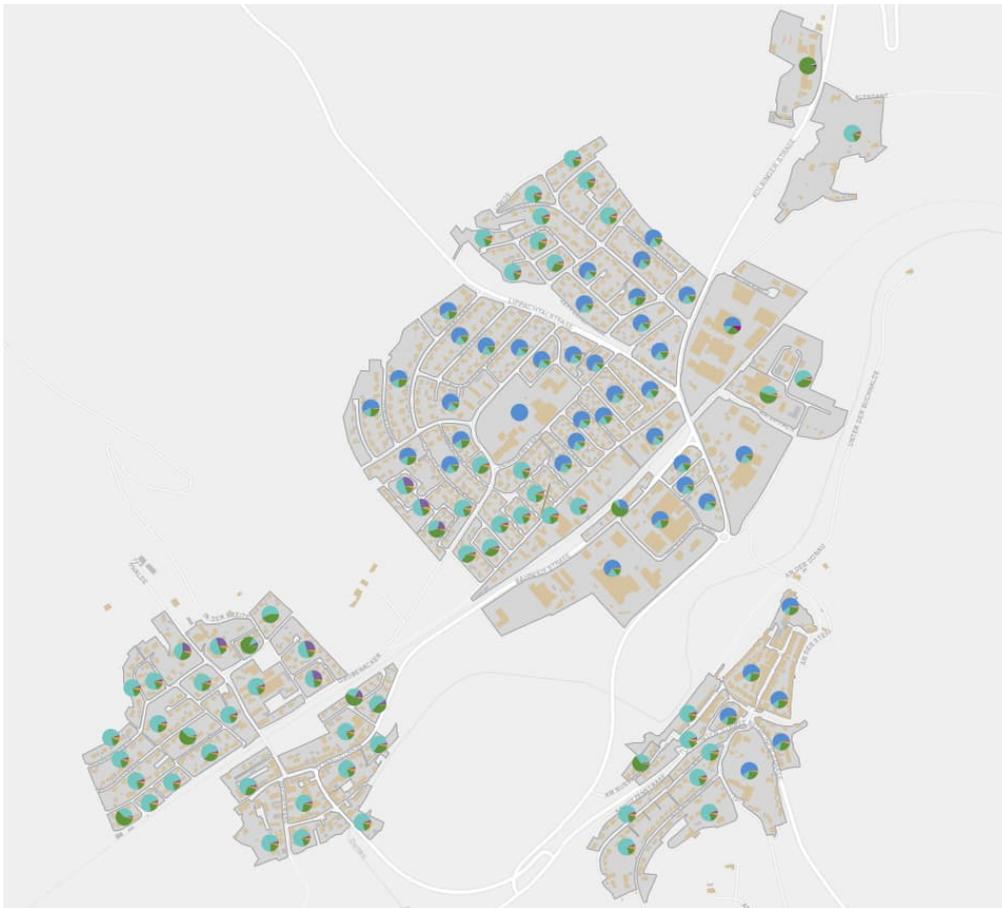


Abb. 46: Energieträgermix im Zielzustand nach Baublöcken

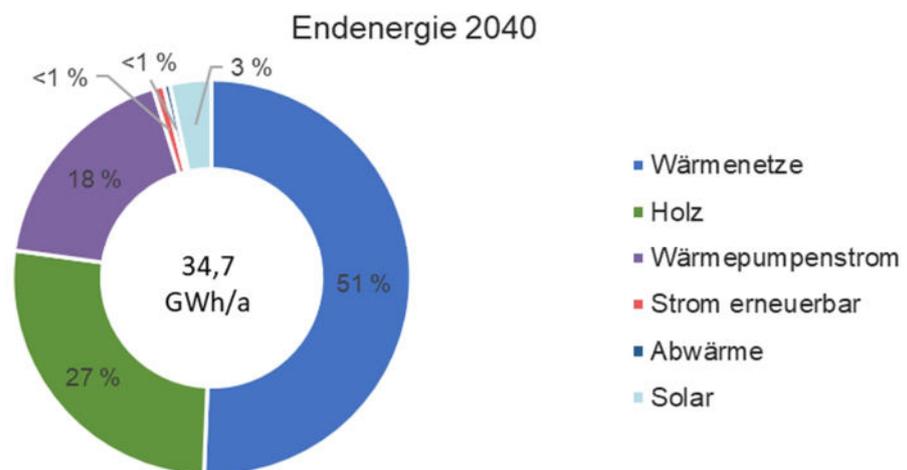


Abb. 47: Energieträgerverteilung für die Endenergie 2040

Mit der Endenergiebilanz und den pro Energieträger festgelegten THG-Emissionsfaktoren kann die Treibhausgasbilanz für 2040 wie folgt dargestellt werden:

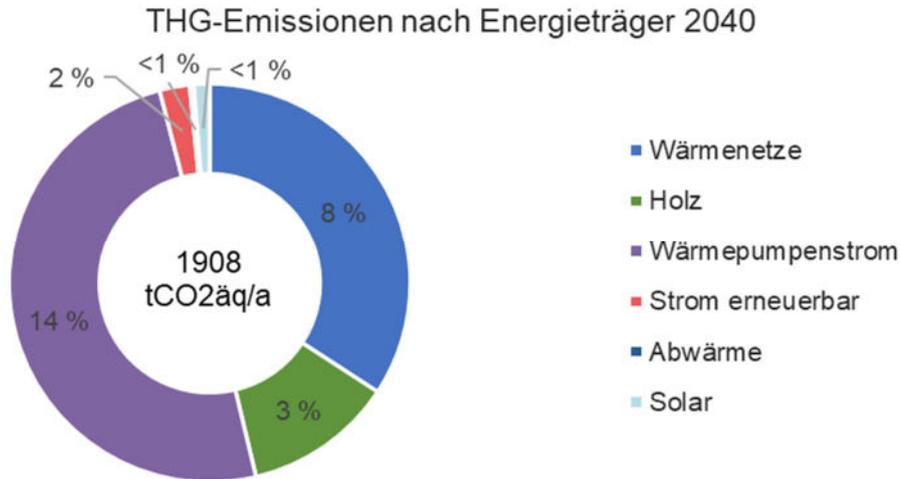


Abb. 48: Treibhausgasemissionen aus der Wärmenutzung 2040

6.7 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Richtung Klimaneutralität wird durch zwei wesentliche Bausteine erreicht:

1. Einsparung von Energie und effiziente Nutzung für den verbleibenden Bedarf
2. Umstellung auf 100 % erneuerbare Energiequellen

Zusätzlich zu den lokalen Maßnahmen hängt die Entwicklung der THG-Emissionen in großem Maße von externen Faktoren ab. Dazu gehört die Umstellung der bundesweiten Stromerzeugung auf erneuerbare Energien und die Möglichkeiten des Netzbetreibers genauso, wie die gesetzlichen Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten.

Auch nach der Umstellung der Wärmeerzeugung und -nutzung mit den im Kommunalen Wärmeplan beschriebenen Maßnahmen verbleiben THG-Emissionen aus der Wärmeerzeugung. Diese sind wesentlich geringer als im Ist-Zustand, können jedoch nur noch durch geeignete Kompensationsmaßnahmen bilanziell auf Null gebracht werden. Für diese Kompensationsmaßnahmen und die Möglichkeit der Anrechnung für die Stadt fehlen jedoch derzeit die übergeordneten rechtlichen Rahmenbedingungen.

Insgesamt ergibt sich eine **Reduktion der Treibhausgasemissionen von 38 % bis 2030 und 83,4 % bis 2040.**

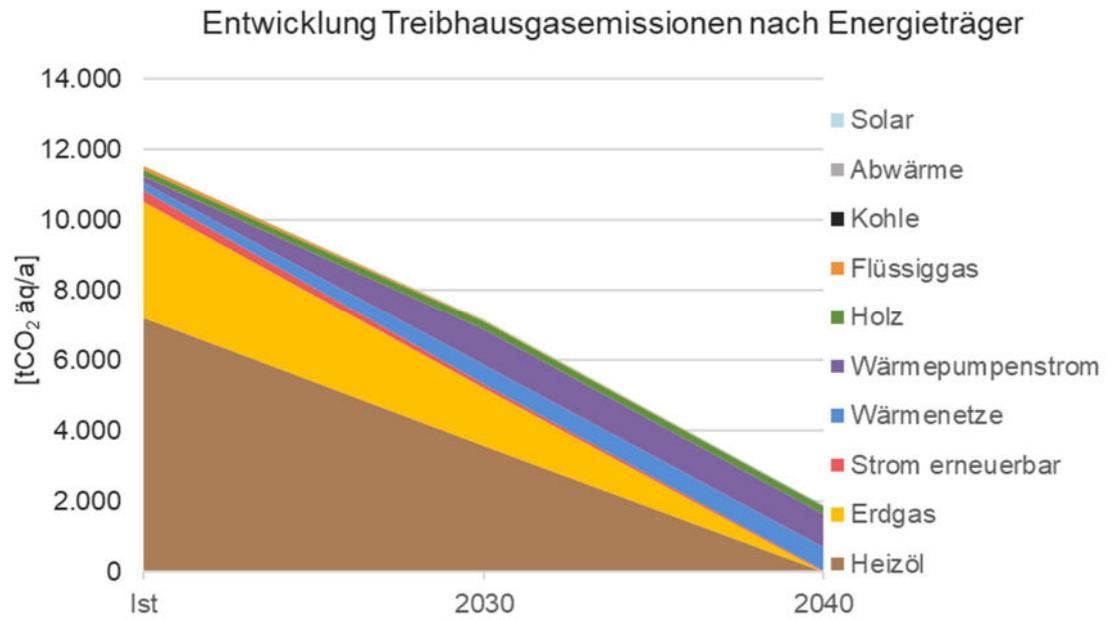


Abb. 49: prognostizierter Verlauf der THG-Emissionen bis 2040

7 Wärmewendestrategie

Die Wärmewendestrategie besteht aus den folgenden vier zentralen Elementen, die in den nachfolgenden Kapiteln ausgeführt und erläutert werden.

1. **Maßnahmenkatalog** – Im Maßnahmenkatalog werden die mit der Kommune und wesentlichen Akteuren abgestimmten und priorisierten Maßnahmen gegliedert nach Handlungsfeldern aufgelistet und beschrieben. Dabei wurden nach den Vorgaben des KlimaG BW mindestens fünf zentrale Maßnahmen mit hoher Priorität benannt und beschreiben, welche in den nächsten fünf Jahre angegangen werden sollen.
2. **Monitoring und Controlling** – Die Umsetzung der Maßnahmen im Sinne der Wärmewendestrategie sollte von einem stetigen Monitoring und Controlling zur Erfolgskontrolle begleitet werden.
3. **Verstetigung und Fortschreibung** – Der Kommunale Wärmeplan bildet den Auftakt zum Prozess der der Wärmewende, welcher eine langfristige Vernetzung von Akteuren innerhalb und außerhalb der Kommune, zur Koordination der laufenden Umsetzung bedingt.
4. **Umsetzung begleitende Akteursbeteiligung** – Die laufende Einbindung der Öffentlichkeit sowie weiterer relevanter Akteure ist zentraler Bestandteil für den Erfolg und die Akzeptanz der Wärmewende.

Allgemein unterliegt die Umsetzung der Wärmewendestrategie und der Ergebnisse des kommunalen Wärmeplans vielen äußeren Einflüssen, die die Kommune nicht oder nur in geringem Maße beeinflussen kann. Dazu gehören die Entwicklung der Energiepreise, die Kostenentwicklung für Investitionen und die Verfügbarkeit von Ressourcen zur Umsetzung baulicher Maßnahmen. Weitere maßgebliche Randbedingungen wie der rechtliche Rahmen und die Förderkulisse werden durch das Land und den Bund festgelegt. Diese äußeren Einflüsse sind zusammen mit den Einflüssen, die direkt durch die Kommune beeinflusst werden können, maßgeblich für den Erfolg und die Zeitliche Entwicklung der Wärmewende.

8 Maßnahmenkatalog

Die Konzeption einer klimaneutralen Wärmeversorgung im Kontext der übergeordneten politischen Vorgabe zur Erreichung der Klimaneutralität im Jahr 2040 beruht auf drei strategischen Zielen:

5. Ehrgeizige Einsparungen und Steigerung der Effizienz in der Wärmenutzung
6. Umstellung der Wärmeerzeugungsanlagen auf erneuerbare Energiequellen
7. Aufbau, Verdichtung und Erweiterung von Wärmenetzen

Dazu wurden, gegliedert nach Handlungsfeldern, mit der Kommune und wesentlichen Akteuren Maßnahmen abgestimmt und priorisiert. Nach dem KlimaG BW sollen für die Kommune durch den Wärmeplan mindestens fünf kurzfristig zu beginnende Maßnahmen mit höherer Priorität benannt werden. Diese sind:

1. Aufbau und Etablierung eines kommunalen Klimaschutzmanagements
2. Erstellung einer CO₂-Bilanz für Mühlheim an der Donau.
3. Entwicklung und Umsetzung einer Freiflächen-Photovoltaik-Anlage nördlich des Stadtteils Stetten.
4. Initiierung und Begleitung von Prozessen zur Entwicklung bestehender bzw. dem Aufbau neuer Wärmenetze
5. Themenbezogene Bürgerveranstaltungen zur Information der Bürgerinnen und Bürger über Ergebnisse des KWP und zur beratenden Begleitung bei der Umsetzung.
6. Untersuchungen zu Energieeffizienz und erneuerbaren Energien in kommunalen Gebäuden im Rahmen der Fokusberatung Klimaschutz
7. Initiierung und Begleitung von Beratungsangeboten für Besitzerinnen und Besitzer privater Wohngebäude zur Steigerung der Energieeffizienz.
8. Initiierung und Begleitung von Beratungsangeboten für Besitzerinnen und Besitzer privater Wohngebäude zur Transformation dezentraler Heizsysteme und zur Nutzung erneuerbarer Energien.
9. Moderation des Prozesses der Nachverdichtung sowie der Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes in der Vorstadt.
10. Moderation des Prozesses zur Untersuchung / Überprüfung der Machbarkeit eines neuen potenziellen Wärmenetzes in der Oberstadt

Die dargestellten prioritären Maßnahmen werden im nachfolgenden Maßnahmenkatalog erläutert und durch weitere Maßnahmen ergänzt.

8.1 Übergeordnete / administrative Maßnahmen

Maßnahmen höchster Priorität

Übergeordnet 1	Aufbau und Etablierung eines kommunalen Klimaschutzmanagements
	<p>Ziel ist es die Akteure, Interessensgruppen und die Bevölkerung in die Wärmewende einzubeziehen und sie durch Beratung, Förderung und Organisation bei der Maßnahmenumsetzung zu unterstützen. Dabei sollen durch aktives Vorgehen und Sensibilisierung Hemmnisse verringert und Vorbehalte gegen ehrgeizige Sanierung, Wärmenetze, Windparks etc. abgebaut werden.</p> <p>Diese Aufgaben sollten in der Gemeinde in einer Zentralen Stelle zusammenlaufen. Die Aufgaben und Ziele dieses Klimaschutzmanagements sind die Realisierung von Maßnahmen der kommunalen Wärmeplanung und -transformation voranzutreiben, die Entwicklung des Wärmesektors einem Monitoring zu unterziehen und die kommunale Wärmeplanung strategisch und konzeptionell fortzuführen.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • GVV – Gemeindeverwaltungsverband Donau Heuberg
	<p>Beginn / Zeitraum: Ab sofort und fortlaufend</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benennung einer Klimaschutzmanagerin / eines Klimaschutzmanagers – ist bereits erfolgt • Bekanntmachung mit Website, Name und Kontaktdaten, ggfs. Terminen etc. für Kontaktzeiten – ist bereits erfolgt • Verankerung der Stelle innerhalb der kommunalen Verwaltung mit Zuständigkeiten und klarer Aufgabenbeschreibung • Stärkere Vernetzung mit Klimaschutzmanagement-Stellen in anderen Kommunen sowie mit der Klimaschutz- und Energieagentur Schwarzwald-Baar-Heuberg

Erstellung einer CO ₂ -Bilanz	
Übergeordnet 2	<p>Die laufenden Aktivitäten im Klimaschutz sowie in der Wärmewende müssen einem Monitoring unterzogen werden, um deren Wirksamkeit erfassen zu können und bei Bedarf frühzeitig Anpassungen vornehmen zu können.</p> <p>Ausgang eines Monitorings sind regelmäßig zu erfassende Daten, wie zum Beispiel die jährliche CO₂-Bilanz.</p> <p>Ziel ist somit eine Erstellung der CO₂-Bilanz für Mühlheim an der Donau. Die Erstellung findet bereits statt und soll Ende 2024 abgeschlossen sein.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Klimaschutzmanagement
	<p>Beginn / Zeitraum: Findet bereits statt, bis Ende 2024</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erstellung der CO₂-Bilanz • Vorbereitung zur Einbindung der Ergebnisse in ein fortlaufendes Monitoring

Entwicklung und Umsetzung einer Freiflächen-Photovoltaik-Anlage	
Übergeordnet 3	<p>Die bereits geplante Freiflächen-Photovoltaik-Anlage nördlich des Stadtteils Stetten wird einen entscheidenden Beitrag zur Klimaneutralität Mühlheims an der Donau leisten.</p> <p>Im zukünftigen Energiesystem wird Strom eine immer größere Rolle spielen. Die lokale Erzeugung erneuerbaren Stroms ist somit eine Grundvoraussetzung für das Gelingen der Energiewende in Deutschland.</p> <p>Mühlheim an der Donau nimmt sich mit der geplanten Freiflächenphotovoltaikanlage der Herausforderung an und setzt somit bereits heute einen wichtigen Baustein für die Energiewende in der Stadt um.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Projektentwickler
	<p>Beginn / Zeitraum: Das Projekt befindet sich bereits im Bebauungsplanverfahren</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Begleitung der Planung bis zur Fertigstellung

Übergeordnet 4	Begleitung der Prozesse zur Entwicklung bestehender / neuer Wärmenetze
	<p>Das Ziel ist die Initiierung und Begleitung / Moderation von Prozessen zur Entwicklung des bestehenden Wärmenetzes sowie ggfs. zum Aufbau eines neuen Wärmenetzes.</p> <p>Durch Information der potenziellen Anschlussnehmerinnen und Anschlussnehmer soll der Prozess frühzeitig integrativ organisiert und strukturiert werden, um den Hemmnissen bei dem Anschluss an ein Wärmenetz entgegenzuwirken und Befangenheiten zu verringern.</p> <p>Dadurch wird den Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümern zudem Planungssicherheit für ihre Wärmeversorgung gegeben.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Betreiber des bestehenden Wärmenetzes • Betreiber potenzieller neuer Wärmenetze • WEG und Hausverwaltungen sowie Einzel-Anschlussnehmer:innen • Ggfs. externe Berater
	<p>Beginn / Zeitraum: Ab sofort und fortlaufend</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kontaktaufnahme mit dem Betreiber des bestehenden Netzes und proaktive Begleitung des Prozesses • Vermittlung von Beratungsangeboten zu z. B. Rechtsfragen, technischer Planung oder wirtschaftlicher Realisierung • Administrative Unterstützung für die Anschlüsse oder Zusammenschlüsse mehrerer Gebäude

Weitere Maßnahmen

- Festlegung einer / eines kommunalen Ansprechpartnerin / Ansprechpartners für die Umsetzung der Wärmeplanung. Die Festlegung ist bereits erfolgt (Frau Feger).
 - Die zentrale Ansprechpartnerin wird von Seiten der Stadt für die Begleitung der weiteren Planung und Umsetzung der Wärmeplanung tätig sein.
 - Bei ihr läuft die übergeordnete Organisation der Akteursbeteiligung sowie der Maßnahmenumsetzung zusammen.
 - Ziel der Festlegung einer zentralen Ansprechperson ist es, den Bürgerinnen und Bürgern eine niederschwellige Kontakt- und Beteiligungsmöglichkeit zu geben und sie dadurch zur Teilnahme am Prozess der Wärmeplanung zu motivieren.

8.2 Beteiligung Öffentlichkeit und Akteure

Maßnahmen höchster Priorität

Beteiligung 1	Themenbezogene Bürgerveranstaltung
	<p>Die Information der Bürgerinnen und Bürger über Ergebnisse des KWP und zur beratenden Begleitung bei der Umsetzung. Ziel ist es die Akteure, Interessensgruppen und die Bevölkerung frühzeitig und laufend in den Prozess der Wärmewende einzubeziehen. Durch aktives Vorgehen und Sensibilisierung sollen Hemmnisse verringert und Vorbehalte gegen ehrgeizige Sanierung, Wärmenetze, Windparks etc. abgebaut werden. Die Zielgruppe soll dabei über den Stand und die weiteren Schritte der Kommunalen Wärmeplanung informiert werden.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Klimaschutzmanagement • Ggfs. externe Berater (themenbezogen)
	<p>Beginn / Zeitraum: Ab sofort und fortlaufend</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation und Durchführung von Veranstaltungen zur Information der Bürgerinnen und Bürger • Ggfs. Hinzuziehung von externen Beratern wie z. B. der Klimaschutz- und Energieagentur des Landkreises

Weitere Maßnahmen

- Die mediale Präsenz der Aktivitäten der Stadt im Bereich Klimaschutz ausbauen, um die Öffentlichkeit zu informieren und einen barrierefreien Zugang zu Informationen zu ermöglichen.
 - Ziel ist es die Öffentlichkeit sowie weitere relevante Akteure laufend über den Stand und den Prozess der Wärmeplanung und im Allgemeinen der Energiewende in Mühlheim zu informieren.

8.3 Energieeinsparung / Effizienzsteigerung in Gebäuden

Maßnahmen höchster Priorität

Energieeffizienz und erneuerbare Energie in kommunalen Gebäuden	
Energieeffizienz 1	<p>Im Rahmen der Fokusberatung Klimaschutz werden bereits die kommunalen Gebäude Mühlheims auf ihre Energieeffizienz untersucht. Diese Maßnahme sollte fortgeführt werden, um frühzeitig Handlungsbedarf in den Gebäuden zu erkennen und strukturiert angehen zu können.</p> <p>Das Ziel ist es, die Energieeffizienz der Gebäude zu erhöhen und sie auf die Transformation hin zu einer erneuerbaren Energieversorgung vorzubereiten. Allgemein soll dadurch das „reaktive Handeln“ (Handeln bei Bedarf, z. B. wenn eine Heizung kaputt gegangen ist), zu einem „proaktiven Handeln“ werden. Und damit zu einem vorausschauenden frühzeitigen Handeln oder der gezielten Vorbereitung auf eine Handlung, sobald diese nötig ist. Dies schafft Planungssicherheit und gibt frühzeitig Auskunft über anstehende Investitionen.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Klimaschutzmanagement
	<p>Beginn / Zeitraum:</p> <p>Findet bereits statt, fortlaufend</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Schwachstellen / des Handlungsbedarfes in kommunalen Gebäuden • Konzeption und Umsetzung von Energiesparmaßnahmen • Vorbildhafte Energienutzung durch Erhöhung der Effizienz • Ausbau der erneuerbaren Energien, z. B. durch PV-Anlagen

Beratung zur Steigerung der Energieeffizienz von Wohngebäuden	
Energieeffizienz 2	<p>Initiierung und Begleitung von Beratungsangeboten für Besitzerinnen und Besitzer privater Wohngebäude zur Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude. Das Ziel ist die Erhöhung der Sanierungsrate durch Bedarfssenkung im Bestand der Wohngebäude. Dies sollte auch und insbesondere geschehen, um die Gebäude in den unterschiedlichen Eignungsgebieten auf die Versorgung durch Wärmepumpen oder Wärmenetze vorzubereiten, falls nötig.</p> <p>Die Stichworte: „Wärmepumpen-ready“ oder „Niedertemperatur-ready“ beschreiben das Ziel solcher Einsparungen: durch vorbereitende Maßnahmen soll das Gebäude auf die Versorgung mit einer Wärmepumpe oder einem Wärmenetz vorbereitet werden. Dafür sind teilweise Energieeinsparmaßnahmen nötig, um z. B. die Vorlauftemperatur der Heizung reduzieren zu können.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Klimaschutzmanagement • Klimaschutz- und Energieagentur des Landkreises • Ggfs. weitere externe Berater
	<p>Beginn / Zeitraum:</p> <p>Ab sofort, zunächst bis zur nächsten KWP-Aktualisierung (2030)</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation und Durchführung von Veranstaltungen zur Information von Eigentümerinnen und Eigentümern sowie WEG und Hausverwaltungen • Recherche und Inanspruchnahme geeigneter Angebote der Klimaschutz- und Energieagentur des Landkreises

Weitere Maßnahmen

- Vermittlung von Beratungen für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie, Vermittlung von Informationen / Angeboten zur Abwärmee-nutzung, Kraft-Wärme-Kopplung, Effizienzsteigerungen etc.

8.4 Transformation in Eignungsgebieten für dezentrale Versorgung

Maßnahmen höchster Priorität

Beratung zur Transformation der Wärmeerzeugung in Wohngebäuden	
Transformation 1	<p>Initiierung und Begleitung von Beratungsangeboten für Besitzerinnen und Besitzer privater Wohngebäude zur Transformation ihrer Heizungssysteme in Eignungsgebieten für dezentrale Versorgung und zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien. Dazu gehört die Information über mögliche Energiesysteme ebenso, wie die Begleitung und ggfs. Erleichterung von Planungs- und Genehmigungsprozessen für die Energiesysteme (z. B. Erdwärmesonden).</p> <p>Das Ziel ist die Unterstützung der Eigentümerinnen und Eigentümer sowie der Abbau von Hemmnissen und die Unterstützung bei der Betrachtung der technischen sowie wirtschaftlichen Machbarkeit.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Klimaschutzmanagement • Externe Berater
	<p>Beginn / Zeitraum:</p> <p>Ab sofort, zunächst bis zur nächsten KWP-Aktualisierung (2030)</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recherche von Beratungsangeboten in der Region zur Machbarkeit und Umsetzung der erneuerbaren Wärmeversorgung in Wohngebäuden • Hinzuziehung von externen Beratern / Experten für die einzelnen Technologien • Organisation von Veranstaltungen oder eigenen Beratungsangeboten zur Information der Bürgerinnen und Bürger in Mühlheim an der Donau.

8.5 Wärmenetze: Neubau, Ausbau, Transformation

Maßnahmen höchster Priorität

Moderation der Entwicklung des bestehenden Wärmenetzes	
Wärmenetz 1	<p>Moderation des Prozesses der Nachverdichtung sowie der Erweiterung des bestehenden Wärmenetzes in der Vorstadt. Speziell für den Prozess der Erweiterung sind bereits mehrere Akteure aktiv miteinbezogen worden (siehe auch „Weitere Erläuterung“). Diese Dynamik sollte aufrechterhalten werden und auch auf die Nachverdichtung im bestehenden Netzgebiet ausgeweitet werden. Ziel ist ein von der Stadt begleiteter laufender Prozess, der die Entwicklung und Nachverdichtung des Netzes vorantreibt. Die Stadt kann hierbei eine verbindende Schlüsselrolle einnehmen, um dem Prozess den Weg zu ebnet und Hemmnisse und Bedenken bei potenziellen Anschlussnehmerinnen und Anschlussnehmern abzubauen.</p>
	<p>Akteure / Initiatoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Wärmenetzbetreiber Badenova-Wärmeplus • Potenzielle Anschlussnehmer:innen, WEG, Hausverwaltungen
	<p>Beginn / Zeitraum: Findet bereits statt, fortlaufend</p>
	<p>Durchführung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regelmäßiger Kontakt mit der Wärmeplus als Betreiber des Wärmenetzes • Aktive Moderation / Begleitung des Prozesses • Vermittlung von Kontakten und Beratungsangeboten zu Rechtsfragen, technischer Planung und wirtschaftlicher Realisierbarkeit

Weitere Erläuterung:

Bereits während der Erstellung des Kommunalen Wärmeplans gab es Gespräche mit dem Betreiber eines lokalen Sägewerkes, welcher als potenzieller Wärmelieferant fungieren könnte. Sowie mit einem lokalen Unternehmen, welches an einer Wärmeabnahme interessiert ist. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung des KWP waren beide Gespräche noch nicht abgeschlossen und bedürfen der weiteren Planung.

Das Wärmenetz hat sowohl im Sektor GHDI als auch in den bereits angeschlossenen Wohngebieten ein Nachverdichtungspotenzial. Diese eventuell zusätzlich benötigte Wärme muss genauso wie die derzeit bereits benötigte Wärme in Zukunft erneuerbar produziert werden. Der Anschluss des Sägewerkes bietet dafür ein großes Potenzial und wäre bereits ein sehr großer Schritt in Richtung klimaneutraler Wärmeerzeugung. Der gesamte Transformationsprozess wird jedoch noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Er wird vom Betreiber des Netzes, der Badenova-Wärmeplus vorangetrieben.

Moderation der Prüfung der Machbarkeit neuer Wärmenetze

Moderation des Prozesses zur Untersuchung / Überprüfung der Machbarkeit eines neuen potenziellen Wärmenetzes in der Oberstadt sowie des Prozesses zur Überprüfung der generellen Sinnhaftigkeit eines neuen Wärmenetzes im Ortsteil Stetten.

Das Gebiet der Oberstadt eignet sich aufgrund seiner Wärmedichte grundsätzlich für eine zentrale Wärmeversorgung. Außerdem stehen den Gebäuden wenige andere Alternativen für eine erneuerbare Wärmeversorgung zur Verfügung.

Allerdings gibt es in dem alten Bestandsgebiet mit den teils denkmalgeschützten Gebäuden auch Herausforderungen, die für eine wirtschaftliche und für beide Seiten bezahlbare zentrale Wärmeversorgung gemeistert werden müssen. Diese Herausforderungen machen eine weitere Überprüfung der Gegebenheiten und Potenziale vor Ort erforderlich.

Dazu ist die Überprüfung der Machbarkeit einer zentralen Wärmeversorgung zum Beispiel im Rahmen einer Machbarkeitsstudie nach Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) Modul 1 sinnvoll.

Diese soll Auskunft über die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit eines Wärmenetzes geben. Mit dieser Überprüfung sollen die Grundlagen geschaffen werden, eine Entscheidung zur weiteren Planung des Wärmenetzes treffen zu können.

Für den Ortsteil Stetten ist eine Vorstudie zur Sinnhaftigkeit einer zentralen Wärmeversorgung durch ein Wärmenetz sinnvoll. Diese würde Auskunft darüber geben, ob im Nachgang an die Vorstudie eine Machbarkeitsstudie nach BEW durchgeführt werden sollte.

Akteure / Initiatoren:	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Verwaltung • Wärmenetzbetreiber / Contractor • Externe Planungsbüros • Potenzielle Anschlussnehmer:innen, WEG, Hausverwaltungen
------------------------	--

Beginn / Zeitraum:	Start voraussichtlich ab 2025, bis 2027
--------------------	---

Durchführung	<ul style="list-style-type: none"> • Beauftragung eines Planungsbüros mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie für die Oberstadt • Beauftragung eines Planungsbüros mit der Erstellung einer Vorstudie für ein Wärmenetz in Stetten. • Aktive Begleitung der beiden Prozesse von Seiten der Stadt
--------------	---

9 Monitoring und Controlling

Ein wesentliches Instrument des Monitorings und Controllings für die Umsetzung der Maßnahmen der Kommunalen Wärmeplanung ist die regelmäßige Erstellung einer Energie- und Treibhausgasbilanz. An dieser sind die zusammengefassten Effekte der fortlaufenden Umsetzung ablesbar (Top-Down). Gleichzeitig können für liegenschafts- oder quartiersbezogene Maßnahmen genauere und spezifische Daten erhoben und Effekte lokal dokumentiert werden (Bottom-Up).

Für das kontinuierliche Monitoring der angestrebten Transformation der Wärmenutzung können voraussichtlich nicht die gleichen Datenquellen genutzt werden, die für die Erstellung der kommunalen Wärmepfung zur Verfügung standen. Zum einen fehlen dafür die gesetzlichen Grundlagen für die Datenerhebung, zum anderen wäre der Bearbeitungsaufwand beim derzeitigen Stand der Systematisierung in Baden-Württemberg unverhältnismäßig hoch. Im weiteren Verlauf der Wärmewende und den bereits eingeleiteten Prozessen auf Landesebene ist zu hoffen, dass sich diese Situation in den nächsten Jahren zu mehr Vereinheitlichung und leichter Zugänglichkeit geeigneter Datenquellen verbessert.

Vorgehensweise für das Monitoring und Controlling:

Die Kommune kann, ggf. in Zusammenarbeit und mit Unterstützung externer Akteure, regelmäßig folgende aggregierte Daten auswerten:

- Liefermengen an Erdgas für Heizungen sowie Strom für Wärmepumpen und Nachtspeicherheizungen aus den Aufstellungen des Netzbetreibers die über das Portal für Kommunen zugänglich sind. Damit lassen sich sowohl die Anzahl der jeweiligen Abnehmer als auch die Verbräuche ermitteln und aggregiert auswerten.
- Gemeinsam mit der Badenova-Wärmeplus als Wärmenetzbetreiber kann die Entwicklung der Anschlusszahlen in den jeweiligen Gebieten ermittelt werden.
- Durchgeführte Beratungen zu Modernisierungen im Sektor der privaten Wohngebäude (insbesondere Sanierungsfahrpläne) und ggfs. daraus folgende Umsetzungen.

Zusätzlich können folgende öffentliche Datenquellen zur Ermittlung geeigneter Kennzahlen verwendet werden:

- Abfrage von stromerzeugenden Anlagen über das Marktstammdatenregister² (MaStR) der Bundesnetzagentur mit folgenden Angaben:
 - Jahr der Inbetriebnahme
 - Leistung
 - Art der Anlage (PV-Anlage, Stromspeicher, Blockheizkraftwerk etc.)

² [MaStR \(marktstammdatenregister.de\)](http://marktstammdatenregister.de)

- Pro Kehrbezirk aggregierte Statistiken zu Feuerstellen des Landesinnungsverbandes der Schornsteinfeger Baden-Württemberg (z. B. Anzahl von Feuerstätten mit Erdgas und Heizöl). Üblicherweise sind diese Daten dort persönlich abzufragen. Es besteht keine gesetzliche Grundlage oder ein formalisiertes Verfahren dafür. Wegen der Aggregation der Daten sollten jedoch keine datenschutzrechtlichen Bedenken bestehen, allerdings decken sich die Grenzen der Kehrbezirke nicht unbedingt mit den Gemeindegrenzen, sodass eine gewisse Unschärfe entsteht. Auf diesem Weg können jedoch trotzdem Einschätzungen zum Rückgang fossiler Feuerstätten gewonnen werden.

In der Umsetzung der Wärmeplanung ist das Monitoring und Controlling der Maßnahmen Teil eines PDCA-Cyklus (Planung-Durchführung-Controlling-Anpassung):

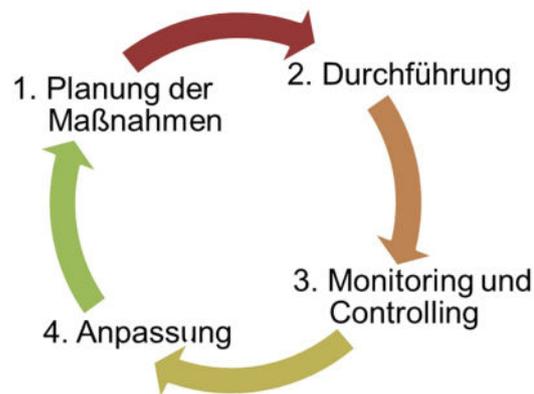


Abb. 50: PDCA-Zyklus der Umsetzung, „rollierende Planung“

Über die Kennzahlen oder auch die direkte Einschätzung durch Akteure und Betroffene sollen die Maßnahmen und Annahmen des KWP laufend angepasst werden.

In regelmäßigen Abständen soll der gesamte Wärmeplan aktualisiert bzw. fortgeschrieben werden (Kapitel 10).

10 Verstetigung und Fortschreibung

Ein wichtiger Aspekt für eine erfolgreiche Umsetzung des KWP ist die langfristige Vernetzung von Akteuren zur Koordination der laufenden Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung als gemeinsame strategische Planungsgrundlage. Dafür müssen geeignete Gremien, Verantwortlichkeiten und Beteiligungsformate entwickelt und abgestimmt werden.

Kleinere Kommunen ohne die notwendigen personellen Ressourcen, können die mit den vorgeschlagenen Maßnahmen verbundenen Prozesse in großen Teilen eher anstoßen, begleiten und moderieren als selbstständig aktiv tätig zu werden. Trotzdem müssen vorhandene Zuständigkeiten in Sachen Klimaschutz ggf. so weit gestärkt werden, um für die Bürgerschaft sowie Industrie- und Gewerbetreibende eine beständige lokale Anlaufstelle für Anregungen und Fragen zur Energie- und Wärmewende anbieten zu können. Darüber hinaus stehen externe Angebote und Dienstleistungen, z. B. der Klimaschutz- und Energieagentur des Landkreises, zur Verfügung, die für die Kommune genutzt werden sollten.

Die zur Betreuung und Verstetigung der Wärmewende in den einzelnen Kommunen notwendigen Kapazitäten können ggf. auch interkommunal organisiert und gebündelt werden.

Die laufende Anpassung der Maßnahmen und deren Umsetzung ergibt sich aus dem Monitoring und Controlling (vgl. Kapitel 8.1). Für die Fortschreibung des Wärmeplans nach den Fristen des KlimaG BW bzw. WPG ab 2028 bzw. 2030 kann durch die Kommunen vor allem die Zugänglichkeit von eigenen Datengrundlagen verbessert werden. Insgesamt sind jedoch die bis dahin vorliegenden Rahmenbedingungen, Gesetzes- und Datengrundlagen abzuwarten. Das WPG sieht für die Fortschreibung eine Vorab-Prüfung vor, die Maßnahmen oder Gebietsfestlegungen ohne Notwendigkeit einer Aktualisierung erkennen und ausschließen soll. Ohne ein eigenes GIS, gerade in den kleineren Kommunen, in das die Kommunale Wärmeplanung in geeigneter Weise integriert worden wäre, ist eine Fortschreibung ohne Neuerstellung aus heutiger Sicht unwahrscheinlich. Bis dahin könnten jedoch überregionale GIS-Plattformen, z. B. auf Landkreis- oder sogar Landesebene, eine leichtere Zugänglichkeit von Datengrundlagen und Auswertungen bieten, die auch eine Fortschreibung erleichtern würden.

11 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [BMWI-09/2019] Geothermie-Forschung: Oben Acker, unten Kollektor; Doppelacker GmbH im Auftrag des BmWi, Energiewende direkt Ausgabe 09/2019, abgerufen am 25.05.2023 auf <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2019/09/Meldung/news2.html>
- [GDI DE GW] Geodatenportal Deutschland mit Kartenmaterial zur Ergiebigkeit von Grundwasservorkommen: https://www.geoportal.de/map.html?map=tk_01-grundwasservorkommen (abgerufen 18.3.2024)
- [Hausl 2018] Stephan Philipp Hausl. Auswirkungen des Klimawandels auf regionale Energiesysteme. Modellierung und Optimierung regionaler Energiesysteme unter Berücksichtigung klimatischer und räumlicher Aspekte. Dissertation TU München 2018.
- [ISONG] Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG). Online-Kartenmaterial des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LRGB). <https://isong.lgrb-bw.de/> abgerufen am 04.01.2022
- [KEA EWS 2022] Landesweite Ermittlung des Erdwärmesonden-Potenzials für die kommunale Wärmeplanung in Baden-Württemberg, 12/2022; KEA-BW, Universität Groningen, Hochschule Biberach
- [KEA TK 2022] Kommunale Wärmeplanung, Einführung in den Technik-katalog und Tabellen; KEA BW, Version 1.0, Stuttgart 3/2022: https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Waermewende/Wissensportal/Kommunale-Waermeplanung-Einfuehrung-in-den-Technikkatalog-Version-1-barrierefrei.pdf (abgerufen 3/2023)
- [KlimaG BW 2023] Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg. Landtag von Baden-Württemberg. Drucksache 17/4015. Februar 2023
- [KWP LF 2020] Handlungsleitfaden Kommunale Wärmeplanung; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Stuttgart 12/2020: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/publikation/did/handlungsleitfaden-kommunale-waermeplanung> (abgerufen 3/2023)
- [LUBW DF 2022] Solarpotenzial auf Dachflächen; LUBW: <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen/solarpotenzial-auf-dachflachen> (abgerufen 2/2022)
- [LUBW FF Solar] Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg – Kartendienst; Freiflächen mit solarer Eignung

- [LUBW WA 2019] Windatlas Baden-Württemberg; LUBW:
<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/erneuerbare-energien/karten> (abgerufen 04/2023)
- [MaStr 2024] Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur mit dort registrierten stromerzeugenden Anlagen und Stromspeichern, abgerufen 05/2024
- [terranets BW] Umstellungspfade zur Netztransformation von Terranets BW GmbH, abgerufen 05/2024 auf <https://www.terranets-bw.de/unsere-netze/wasserstoff>
- [VDI 3807-2] Energieverbrauchswerte für Gebäude. Blatt 2. Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte. Hrsg. Verein deutscher Ingenieure Berlin: Beuth, 2014-11.

12 ANHANG

12.1 Bezeichnungen für Energie und Wärme

Im Rahmen des KWP werden folgende Begriffe für Energie und Wärme verwendet:

Primärenergie: Energieform, die noch keinem Umwandlungs- oder Transformationsprozess unterzogen wurde (Erdgas, Erdöl, Kohle, Uran, Solarstrahlung, Wind...)

Endenergie: Energie, die an das Gebäude übergeben und i. d. R. über Zähler oder Messeinrichtungen abgerechnet wird (Erdgas, Heizöl, Holzpellets, Fernwärme, Strom...)

Erzeugernutzwärme: Wärme, die nach dem Wärmeerzeuger oder der Übergabestation im Gebäude nutzbar ist. Der Quotient aus Erzeugernutzwärme und Endenergie entspricht dem Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers.

Nutzwärme: Wärme, die für einen Nutzen aufgewendet wird, z. B. für die Raumheizung, warmes Wasser oder für Prozesse. Die Differenz zwischen Erzeugernutzwärme und Nutzwärme entspricht den Wärmeverlusten für Speicherung und Verteilung.

In Abb. 51 sind die Bilanzgrenzen und die Bezeichnungen im Energiefluss von der Primärenergie bis zur Nutzwärme im Gebäude dargestellt.

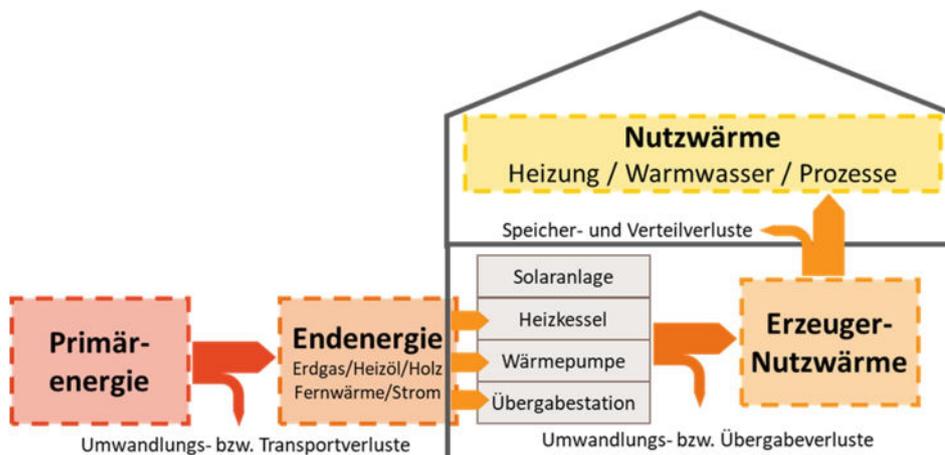


Abb. 51: Bilanzgrenzen und Bezeichnungen im Energiefluss bis zur Nutzwärme im Gebäude. Bei Wärme wird zusätzlich zwischen Verbrauchs- und Bedarfswerten unterschieden.

Verbrauchswerte sind Energiemengen, die über einen definierten Zeitraum gemessen und gegebenenfalls einer Witterungskorrektur unterzogen wurden.

Bedarfswerte sind Energiemengen, die z. B. anhand von Kennwerten oder mit einem bestimmten Berechnungsverfahren berechnet werden.

12.2 Anhang Karten

Übersicht

- a. Übersicht Baublöcke und Gebäude in Mühlheim, ALKIS-Daten-Stand 2021
- b. Energieträgermix – Energieträgerverteilung nach Deckungsanteil pro Baublock
- c. Blockweise Wärme absolut Gesamt – absoluter Wärmebedarf (Erzeugernutzwärmeabgabe) nach Baublock
- d. Blockweiser Gesamtwärmebedarf spezifisch – spezifischer Wärmebedarf (Erzeugernutzwärmeabgabe) nach Baublock
- e. Blockweise Wärmedichte absolut Gesamt – Wärmedichte des Gesamtwärmebedarfs (Erzeugernutzwärmeabgabe) bezogen auf die Baublockfläche
- f. Wärmedichtelinien – Wärmedichte bezogen auf die Länge des anliegenden Straßenstücks
- g. Solares Wärmezeugungspotenzial – Potenziell durch Solaranlagen lieferbare Wärmemenge pro Baublock
- h. Effizienz Geothermienutzung mit Erdwärmesonden – Darstellung der Effizienz von Erdwärmesonden nach KEA BW anhand des Verhältnisses von potenziellem Ertrag zu Wärmebedarf pro Baublock
- i. Eignungsgebiete KWP Mühlheim an der Donau

12.3 THG-Faktoren nach KEA-Technikkatalog

Emissionsfaktoren CO ₂	Einheit	Emissionsfaktoren Strom- und Wärmeerzeugung						Anmerkungen	Referenzen
		2019	2020	2021	2030	2040	2050		
Wärme	t/MWh Endenergie							A,B,G	
Heizöl		0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	F	1
Erdgas		0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	0,233	F	1
Braunkohle		0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	0,473	F	1
Steinkohle		0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	0,431	F	1
Abfall		0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121	F	2
Holz		0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	F	1
Biogas		0,090	0,090	0,090	0,086	0,083	0,081	F	2
Synthetisches Methan		0,041	0,041	0,041	0,038	0,034	0,031	C,F	3
Synthetisches Methanol		0,048	0,048	0,048	0,045	0,043	0,041	C,F	3
Abwärme		0,040	0,040	0,040	0,038	0,037	0,036	D,F,J	4
Strom	t/MWh Endenergie							A,B,G,I	
Wasserkraft		0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	F	1
Windkraft		0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,008	F	1
Fotovoltaik		0,040	0,040	0,040	0,036	0,033	0,030	F	1
Geothermie		0,089	0,089	0,089	0,080	0,076	0,071	F	1
Festbrennstoffe, Holz		0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	F	1
Flüssige Biomasse		0,116	0,116	0,116	0,116	0,113	0,110	F	5
Biogas		0,097	0,097	0,097	0,092	0,090	0,087	F	5
Klärgas/Deponiegas		0,051	0,051	0,051	0,048	0,047	0,046	F	5
Wasserstoff				0,050	0,047	0,040	0,040	F,K	9,10
Strom-Mix-D (ifeu)		0,478						H	6
Strom-Mix-D (IINAS Szenario)					0,270	0,151	0,032		7,8
Ergänzung ebök	t/MWh Endenergie							Anmerkungen	Referenzen
Solare Wärme		0,025			0,023	0,021		Verbesserungen über Zeit analog zu Verbesserungen PV	BISKO, ifeu, 11/2019

Anmerkungen der [KEA] aus KEA-Technikkatalog

- A Inklusive Äquivalente und Vorketten.
- B Ist-Stand 2020 und 2021 vorläufig.
- C Eigene Berechnungen basierend auf den in Referenz (3) genannten Wirkungsgraden und einem Strom-Mix mit 0,024 t/MWh.

- D Bei Betrachtung der Abwärme aus Gas-KWK sollen Emissionen anhand der Emissionsfaktoren für Erdgas und der Größenklasse der BHKW ausgerechnet werden.
- F Entwicklungsfaktoren 2030 und 2040/2050 wurden durch die KEA-BW geschätzt, Werte für das Jahr 2040 entsprechend interpoliert.
- G Faktoren gelten für mittlere Anlagengrößen.
- H Für die Jahre 2020/2021 liegen keine aktuellen Werte für den Strom-Mix Deutschland nach der ausgewählten Methodik (siehe Referenz 6) vor. Für den Ist-Zustand ist das letzte Bezugsjahr, 2019, zu wählen.
- I Hier keine gesonderte Angabe für Emissionsfaktoren für Abfallprodukte.
- J "Die Ermittlung der Emissionen von Abwärme aus Gas-KWK ist bevorzugt nach dem Carnot-Prinzip vorzunehmen.
- K Annahme: Herkunft des synthetischen Wasserstoffs ist "grün", aus überschüssigen EE Strom.

Referenzen der [KEA] aus KEA-Technikkatalog

- 1 IINAS, 2019: GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.9, 2019.
- 2 ifeu et al., 2018: BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem. In: Umweltbundesamt Texte 115/2019.
- 3 "Deutsche Energieagentur (dena), 2018: Heutige Einsatzgebiete für Power Fuels, Factsheets zur Anwendung von klimafreundlich erzeugten synthetischen Energieträgern, 2018."
- 4 Gebäudeenergiegesetz (GEG), Anlage 9, Umrechnung in Treibhausgasemissionen.
- 5 "Umweltbundesamt, 2017: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2016, 2017."
- 6 ifeu, 2019: Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland Kurzfassung, 2019.
- 7 IINAS, 2021: GEMIS: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 5.0, IINAS, 2021.
- 8 Fritsche und Greß, 2020: Kurzstudie: Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050. Bericht für die HEA - Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V.
- 9 "Adolf et al.: Wasserstoff - Energie der Zukunft?, Wuppertal Institut, In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 67 (2017), 11, S. 74-77."
- 10 Bukold, Huneke, Claußner, 2020: Grün oder blau? Wege in die Wasserstoff-Wirtschaft 2020 bis 2040, Greenpeace Energy, 2020.