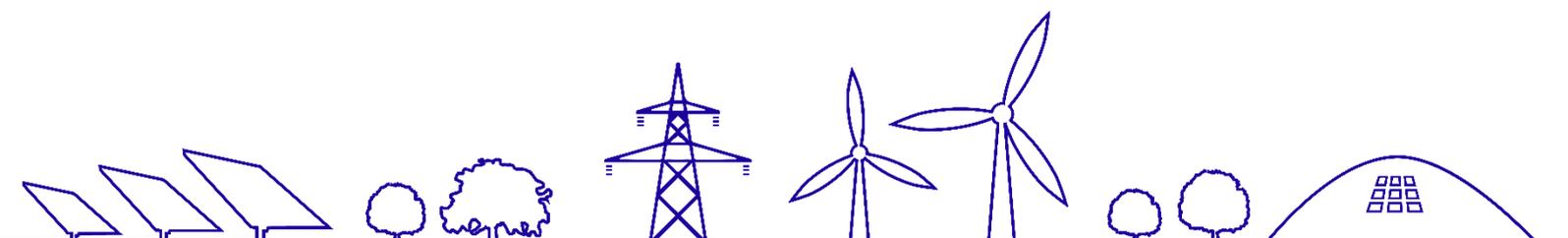




Kommunale Wärmeplanung der Stadt Kehl

Fachgutachten
Dezember 2023



Auftraggeberin:

Stadt Kehl
Rathausplatz 1
77694 Kehl



Erstellt durch:

badenovaNETZE GmbH
Tullastraße 61
79108 Freiburg



Projektteam:

Elisabeth Tröscher (Projektleiterin)
Simone Stöhr-Stojakovic
Adrian Gut
Johannes Drayß

In Zusammenarbeit mit:

Wärmegesellschaft Kehl GmbH & Co. KG
Rathausplatz 2
77694 Kehl



badenovaWÄRMEPLUS GmbH & Co. KG
Tullastraße 61
79108 Freiburg

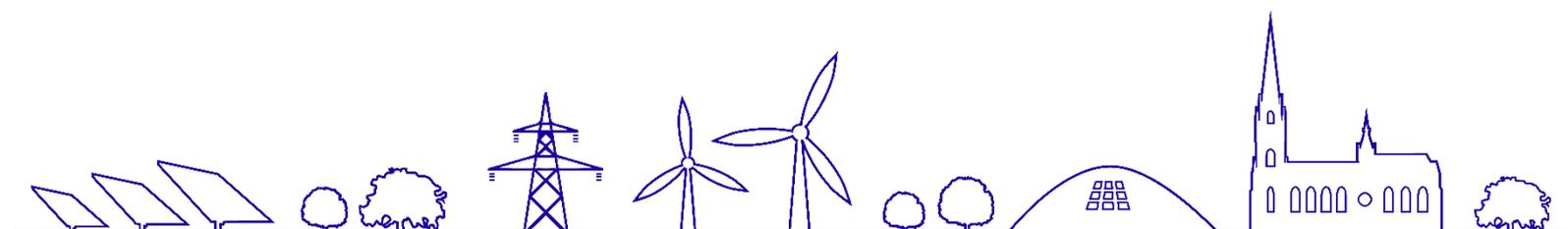


Smart Geomatics Informationssysteme GmbH
Ebertstraße 8
76137 Karlsruhe



Freiburg, Dezember 2023

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



Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
ZIELSETZUNG UND VORGEHEN DER KOMMUNALEN WÄRMEPLANUNG	1
1. BESTANDSANALYSE	3
1.1 STRUKTUR DER STADT KEHL	3
1.2 ERFASSUNG DES GEBÄUDEBESTANDS	5
1.3 AKTUELLE VERSORGUNGSSTRUKTUR	9
1.4 WÄRMEBEDARF DER GEBÄUDE	14
1.5 ENDENERGIEVERBRAUCH WÄRME	15
1.6 SEKTORENKOPPLUNG UND STROMBEDARFSDECKUNG	20
1.7 ERNEUERBARE GASE	21
1.8 KENNZAHLEN DER BESTANDSANALYSE	23
2. POTENZIALANALYSE	25
2.1 ENERGIEEINSPARUNG	25
2.2 STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ	26
2.3 ERNEUERBARE ENERGIEN FÜR DIE WÄRMEVERSORGUNG	30
2.4 ERNEUERBARE ENERGIEN FÜR DIE STROMERZEUGUNG	42
2.5 ERNEUERBARE GASE	46
2.6 ZUSAMMENFASSUNG DER POTENZIALE	49
3. ZIELSZENARIO KLIMANEUTRALER GEBÄUDEBESTAND 2040	53
3.1 BERECHNUNGSGRUNDLAGEN DES ZIELSZENARIOS	53
3.2 ZUKÜNFTIGER WÄRMEBEDARF 2030 UND 2040	55
3.3 DECKUNG DES ZUKÜNFTIGEN WÄRMEBEDARFS NACH ENERGIETRÄGERN	56
3.4 ENTWICKLUNG DER WÄRMEBEDINGTEN THG-EMISSIONEN IM ZIELSZENARIO	60
3.5 STROMBEDARFSDECKUNG IM ZIELSZENARIO	60
3.6 ZUKÜNFTIGE VERSORGUNGSSTRUKTUR 2030 UND 2040	62
3.7 TRANSFORMATION DES ERDGASNETZES	65
3.8 SENKEN FÜR RESTEMISSIONEN	67
3.9 KENNWERTE DES ZIELBILDS	70
4. KOMMUNALE WÄRMEWENDESTRATEGIE	74
4.1 KOMMUNALE HANDLUNGSFELDER FÜR DIE WÄRMEWENDE	75
4.2 MAßNAHMEN DES KOMMUNALEN WÄRMEPLANS 2023	79
5. AKTEURSBETEILIGUNG	91

5.1	AKTEURSANALYSE	91
5.2	BETEILIGUNGSKONZEPT	91
6.	FORTSCHREIBUNG UND AUSBLICK.....	94
6.1	FORTSCHREIBUNG DES KOMMUNALEN WÄRMEPLANS	94
6.2	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	94
7.	METHODIK.....	95
7.1	ENERGIE- UND THG-BILANZ	95
7.2	SOLARPOTENZIAL	98
7.3	ERDWÄRMESONDENPOTENZIALE	98
7.4	LUFT/WASSER-WÄRMEPUMPENPOTENZIALE	100
7.5	GRUNDWASSERPOTENZIALE	101
7.6	ZIELSZENARIO.....	102
8.	GLOSSAR	103
9.	LITERATURVERZEICHNIS	107
10.	ANHANG.....	110
10.1	STECKBRIEFE DER GEMARKUNGEN INKLUSIVE DER BESCHREIBUNG VON FERNWÄRME-EIGNUNGSGEBIETEN SOWIE FÜR DIE DEZENTRALE WÄRMEVERSORGUNG	110
10.2	GEBÄUDESTECKBRIEFE FÜR MUSTERSANIERUNGEN	169

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Übersicht des Projektablaufs und der Akteursbeteiligung des kommunalen Wärmeplans der Stadt Kehl	2
Abbildung 2 – Gliederung der Stadt Kehl und Ihrer Ortsteile (Hintergrundkarte: TopPlus-Web-Open/copyright)	4
Abbildung 3 – Anteil der Wohngebäude nach Baualter und WSchV in Kehl.....	6
Abbildung 4 – Vorwiegendes Baualter der Gebäude auf Baublockebene (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023).....	7
Abbildung 5 – Verteilung der Gebäudearten in Kehl	8
Abbildung 6 – Gebäudestruktur in Kehl (Quelle: Smart Geomatics GmbH, 2023).....	9
Abbildung 7 – Ausschnitt der Gasnetzinfrastruktur der Kernstadt Kehl (Quelle: badenovaNETZE GmbH, 2023).....	10
Abbildung 8 – Bestehende und geplante Wärmenetze der Wärmegesellschaft (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023).....	11
Abbildung 9 – Energieträgerverteilung der Heizanlagen und Fernwärmeanteil in Kehl.....	12
Abbildung 10 – Einbaujahr der Heizanlagen in Kehl nach Energieträger (Datengrundlage: Schornsteinfegerstatistik).....	13
Abbildung 11 – Durchschnittliches Heizungsalter auf Baublockebene	13
Abbildung 12 – Vorwiegender Energieträger der Heizanlagen auf Baublockebene (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023).....	14
Abbildung 13 – Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs nach Sektoren (2019)	16
Abbildung 14 – Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs nach Energieträgern (2019).....	16
Abbildung 15 – Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren nach Energieträgern (2019)	17
Abbildung 16 – Kommunale Liegenschaften der Stadt Kehl mit dem höchsten Wärmeverbrauch.....	18
Abbildung 17 – Wärmedichte der Kernstadt Kehl auf Baublockebene (Smart Geomatics GmbH).....	19
Abbildung 18 – THG-Bilanz des Wärmeverbrauchs nach Sektor und Energieträger.....	20
Abbildung 19 – Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK im Vergleich zum Stromverbrauch im Jahr 2019.....	21
Abbildung 20 – Einsparpotenziale durch energetische Sanierung der Wohngebäude am Beispiel der Kernstadt Kehl (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023).....	27
Abbildung 21 – Wärmebedarf der Wohngebäude sowie theoretisches Energieeinsparpotenzial	27
Abbildung 22 – Techniken der Oberflächennahen Geothermie und ihre Leistungsfähigkeit	32
Abbildung 23 – Beispielhafte geologische Profilabfolge im Innenstadtbereich von Kehl nach LGRB	33
Abbildung 24 – Maximales Wärme-Entzugspotenzial zur Deckung des Gebäudewärmebedarfs mit Erdwärmesonden je Flurfläche (Auszug)	34
Abbildung 25 – Durchlässigkeit der Grundwasser führenden Gesteine nach LGRB Baden-Württemberg	35
Abbildung 26 – Unterscheidung der zwei grundlegenden tiefengeothermischen Verfahren und Lage des Oberen Muschelkalks in Kehl-Sundheim (aus GeORG-Kartenviewer)	36
Abbildung 27 – Geologisch interpretiertes Nord-Süd-Profil durch den Oberrheingraben auf Höhe von Kehl (aus Geot-IS).....	37

Abbildung 28 – Stahlproduktion in den badischen Stahlwerken (BSW) (Calorie, 2023).....	40
Abbildung 29 – Karte des Wasserkraftwerks am Kulturwehr in Kehl (Smart Geomatics, 2023).....	42
Abbildung 30 – Bestehende Wasserkraftwerke auf der Gemarkung Kehl (Quelle: LUBW- Energieatlas, 2021)	43
Abbildung 31 – Lage der Windkraft-Potenzialflächen (Quelle: LUBW-Energieatlas, 2020).....	44
Abbildung 32 – Potenzialflächen für Freiflächen PV-Anlagen (Datenquellen: LUBW, Regionalverband Hochrhein, badenovaNETZE GmbH)	46
Abbildung 33 – Stromerzeugungspotenziale mit Photovoltaik in Kehl.....	46
Abbildung 34 – Versorgungssicherheit durch Schließung der Winterlücke (Powerloop, 2020)	47
Abbildung 35 – Industrieller Wärmebedarf nach Wirtschaftszweigen (Agentur für erneuerbare Energien, 2017).....	48
Abbildung 36 – Erneuerbare Strompotenziale in Kehl.....	49
Abbildung 37 – Erneuerbare Wärmepotenziale in Kehl.....	50
Abbildung 38 – Entwicklung des Energieverbrauchs für die Wärme nach Sektoren im Zielszenario	56
Abbildung 39 – Entwicklung des Energieträgermixes der zentralen Wärmeversorgung (Fernwärme) in Kehl im Zielszenario	57
Abbildung 40 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Energieträger im Zielszenario	58
Abbildung 41 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Erzeugungsart im Zielszenario	58
Abbildung 42 – Wärmeverbrauch nach Sektor und Energieträger im Jahr 2030.....	59
Abbildung 43 – Wärmeverbrauch nach Sektor und Energieträger im Jahr 2040.....	59
Abbildung 44 – Entwicklung der wärmebedingten THG-Emissionen im Zielszenario bis zum Jahr 2040	60
Abbildung 45 – Stromverbrauch im Zielszenario im Vergleich zum lokalen Stromerzeugungspotenzial	61
Abbildung 46 – Zentrale und dezentrale Eignungsgebiete der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Kehl (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023).....	62
Abbildung 47– Übersicht der Speicherkapazität und Ausspeicherdauer verschiedener Speichertechnologien (Sternner & Stadler, 2014)	63
Abbildung 48 – RHYn Interco Netzkarte (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023).....	67
Abbildung 49 – European Hydrogen Backbone 2040 (European Hydrogen Backbone, 2023)	67
Abbildung 50 – Aktuelle und zukünftige Energiezentralen (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)	76
Abbildung 51 – Zeitlicher Ausbauplan der Fernwärme (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)	77
Abbildung 52 – Eignungsgebiete Fernwärme und zeitlicher Ausbauplan (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl).....	84
Abbildung 53 – Standorte der Wärmereizeuger (Bestand und Neubau) (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl).....	85
Abbildung 54 – Eindrücke aus dem Verwaltungsworkshop (links) und dem Akteursworkshop (rechts).....	92
Abbildung 55 – Eindrücke zur Veranstaltung zur Bürgerbeteiligung	93

Abbildung 56 – Fernwärme-Eignungsgebiete der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Kehl (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023)	111
Abbildung 57 – Standorte der Wärmeerzeuger (Bestand und Neubau) (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl).....	112
Abbildung 58 – Eignungsgebiete für Fernwärme und zeitlicher Ausbauplan (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl).....	113

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Chronologie der Baualtersklassen nach der Deutschen Gebäudetypologie des Instituts für Wohnen und Umwelt GmbH (2005)	6
Tabelle 2 – Endenergieverbrauch für Wärme der Stadt Kehl nach Energieträger in Zahlen (2019)	17
Tabelle 3 – Begriffsabgrenzung erneuerbarer Gase (Angelehnt an VKU, (2017))	22
Tabelle 4 – Unterscheidung der Bezeichnungen für Wasserstoff nach Produktionsverfahren	22
Tabelle 5 – Wesentliche Kennzahlen der Bestandsanalyse.....	24
Tabelle 6 – Energetisches Potenzial einiger landwirtschaftlichen Reststoffe in der Stadt Kehl.....	31
Tabelle 7 – Potenzialwerte für die Anwendung der hydrothermalen Geothermie in Kehl-Sundheim	38
Tabelle 8 – Übersicht der nutzbaren Erzeugungspotenziale aus erneuerbaren Energien in Kehl	52
Tabelle 9 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2019	70
Tabelle 10 – Szenario Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2030	71
Tabelle 11 – Szenario Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2040	72
Tabelle 12 – Energieträgerverteilung der zentralen Wärmeversorgung über Wärmenetze	73
Tabelle 13 – THG-Emissionen und -Einsparungen durch Einspeisung erneuerbarer Energien (Datengrundlage: IFEU, (2022))	96
Tabelle 14 – Emissionsfaktoren für die Wärmeerzeugung 2019 (Quelle: IFEU, (2022))	97
Tabelle 15 – Bewertung der Datengüte der Energie- und THG-Bilanz nach Sektoren	97
Tabelle 16 – Vorgegebene Untergrundparameter	98
Tabelle 17 – Vorgegebene Sondenparameter	99
Tabelle 18 – Berechnete spezifische Wärmeentzugsleistungen und Temperaturwerte	99
Tabelle 19 – Vorgegebene Parameter zur Berechnung der Wärmebedarfsdeckung	100
Tabelle 20 – Vorgegebene Durchschnittswerte zur Berechnung der Sondenbelegungsdichte	100
Tabelle 21 – Abschätzung des Wärmeerzeugungspotenzial aus Grundwasser	102
Tabelle 22 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Strom nach Erzeugungsart für die Jahre 2030 und 2040 (Peters, et al., 2022).....	102
Tabelle 23 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Wärme nach Energieträger für die Jahre 2030 und 2040 (Peters, et al., 2022).....	102

Abkürzungsverzeichnis

BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
CCS.....	Carbon Capture and Storage
CO _{2e}	CO ₂ -Äquivalente
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
FFÖ-VO	Freiflächenöffnungsverordnung
GEG.....	Gebäudeenergiegesetz
GIS	Geographisches Informationssystem
GWP.....	Global Warming Potential
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH
ISONG-BW	Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg
ITG	Institut für technische Gebäudeausrüstung
IWU.....	Institut für Wohnen und Umwelt
JAZ	Jahresarbeitszahl
KEA-BW	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KWK.....	Kraft-Wärme-Kopplung
KWP	Kommunale Wärmeplanung
LQS EWS	Leitlinien Qualitätssicherung Erdwärmesonden
LUBW.....	Landesamt für Umwelt Baden-Württemberg
MWh.....	Megawattstunde
PtG.....	Power-to-Gas
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
THG.....	Treibhausgas
TWW.....	Trinkwarmwasser
WSchV	Wärmeschutzverordnung

Zielsetzung und Vorgehen der kommunalen Wärmeplanung

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

Das Land Baden-Württemberg hat im Jahr 2023 den notwendigen Maßnahmen im Wärmesektor mit einer Novellierung des Landes-Klimaschutzgesetzes Rechnung getragen und für alle großen Kreisstädte im Land eine verpflichtende kommunale Wärmeplanung (KWP) festgesetzt. Kreisstädte wie Kehl, sind seit der Verabschiedung des neuen Gesetzes verpflichtet, einen kommunalen Wärmeplan bis zum 31.12.2023 vorzulegen. Städte und Gemeinden, die keine Kreisstädte sind, können diesen, nach dem aktuellen Bundesgesetz, bis zum 30.06.2028 erstellen. Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist, dass die Kommunen eine Strategie für die Wärmeversorgung entwickeln, um einen klimaneutralen Gebäudebestand bis zum Jahr 2040 zu erreichen. Der kommunale Wärmeplan besteht aus den folgenden vier Arbeitspaketen, nach denen sich auch dieses Fachgutachten gliedert:

1. Bestandsanalyse

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

2. Potenzialanalyse

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

3. Zielszenario

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

4. Wärmewendestrategie mit Maßnahmenkatalog

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

Der kommunale Wärmeplan der Stadt Kehl wurde in enger Abstimmung mit der kommunalen Verwaltung seit Mitte 2022 erstellt und wurde unter Beteiligung der relevanten Akteure vor Ort erarbeitet. Dazu gehören neben der Verwaltung besonders die Energieversorger, die politischen Gremien, die Bürgerinnen und Bürger, Akteursgruppen sowie örtliche Industriebetriebe. Im Rahmen des Beteiligungsprozesses wurden unterschiedliche Informations- und Workshopveranstaltungen durchgeführt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Ablauf des kommunalen Wärmeplans und die Akteursbeteiligung, die in der Stadt Kehl durchgeführt wurde.

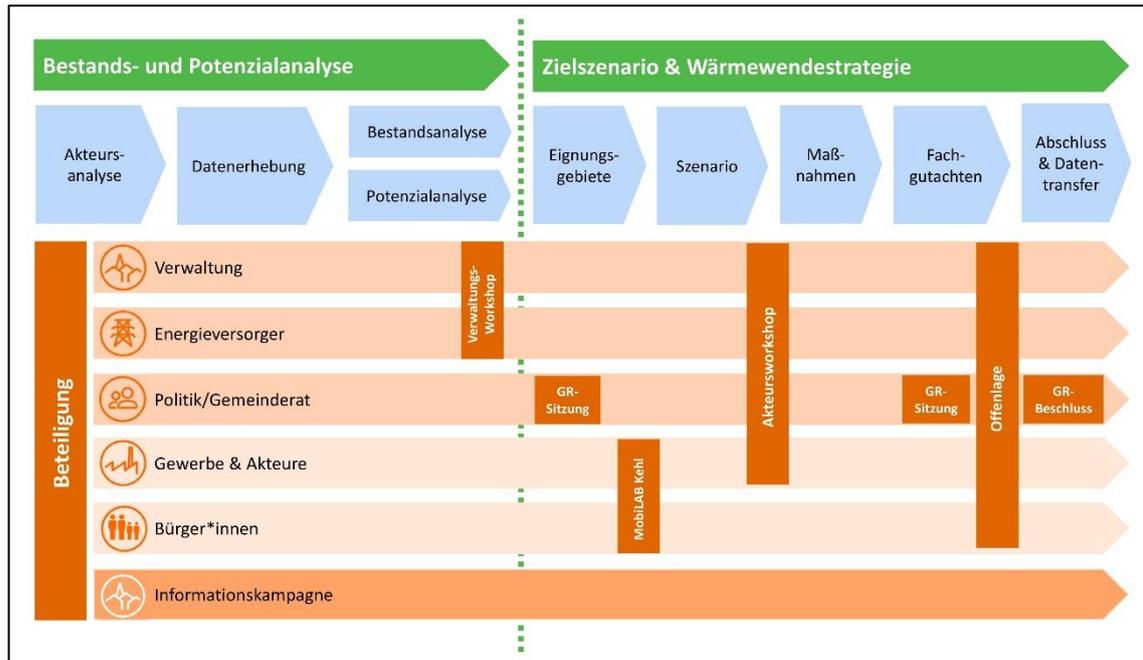


Abbildung 1 – Übersicht des Projektablaufs und der Akteursbeteiligung des kommunalen Wärmeplans der Stadt Kehl

Im Auftrag der Stadt Kehl stellt das folgende Gutachten die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung mit dem Stand Dezember 2023 dar.

Beim Wärmeplan sind die geografisch zugeordneten Daten des Wärmeverbrauchs (der sogenannte digitale Zwilling), der Potenziale und der perspektivischen Infrastruktur wichtige Ergebnisse. Diese werden der Stadt zur weiteren Bearbeitung übergeben, damit diese fortlaufend angepasst und bearbeitet werden können. Spätestens in sieben Jahren, bei der Fortschreibung des Wärmeplans der Stadt Kehl, werden diese Daten eine wichtige Grundlage für die Beurteilung des bisherigen Fortschritts sein und sie werden Grundlage für die Ausarbeitung neuer Maßnahmen zur Erreichung des Ziels eines klimaneutralen Gebäudebestands sein.

Der kommunale Wärmeplan richtet sich zunächst klar an das Wirkungsfeld der Kommune. Ziel ist es, Maßnahmen zu definieren, die von der Stadt direkt umgesetzt werden können. Gleichzeitig ist klar, dass der Zielzustand eines klimaneutralen Gebäudebestands für die Stadt Kehl nur durch ein Mitwirken auf verschiedenen politischen Ebenen und mit großen Anstrengungen der lokalen Akteure und der Bürgerinnen und Bürger der Stadt gelingen wird. In den kommenden Monaten und Jahren wird es für die Stadt Kehl zunächst wichtig sein, strategische und organisatorische Maßnahmen umzusetzen, um den Wärmeplan und dessen langfristige Ziele in der Verwaltung und in den politischen Gremien zu festigen.

1. Bestandsanalyse

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

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

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

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

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

1.1 Struktur der Stadt Kehl

Kehl ist eine Stadt im Westen Baden-Württembergs. Sie liegt in der Oberrheinebene im Ortenaukreis, etwa 15 km Luftlinie nordöstlich von der Stadt Offenburg. Die Stadt Lahr im Süden ist etwa 25 km entfernt. Nordöstlich liegt die Stadt Achern in 20 km Entfernung sowie die Stadt Baden-Baden in 35 km Entfernung. Kehl liegt direkt am Rhein und grenzt damit westlich an die Stadt Straßburg in Frankreich.

Die Gemarkungsfläche umfasst ca. 7.507 ha. Davon entfallen Stand 2019 ca. 1.059 ha auf Wald, und 3.897 ha auf Landwirtschaftsfläche. Die Höhe des Ortes wird mit ca. 139 m ü. NN angegeben. In Kehl leben 38.154 Menschen (Stand 2022), wobei die Bevölkerungsentwicklung einen kontinuierlichen Zuwachs aufzeigt. Heute besteht Kehl aus den in Abbildung 2 dargestellten Gemarkungen Kehl mit der Wohnsiedlung Sundheim, Auenheim, Bodersweier, Goldscheuer (mit Marlen und Kittersburg), Hohnhurst, Kork, Leutesheim, Neumühl, Odelshofen, Querbach und Zierolshofen.

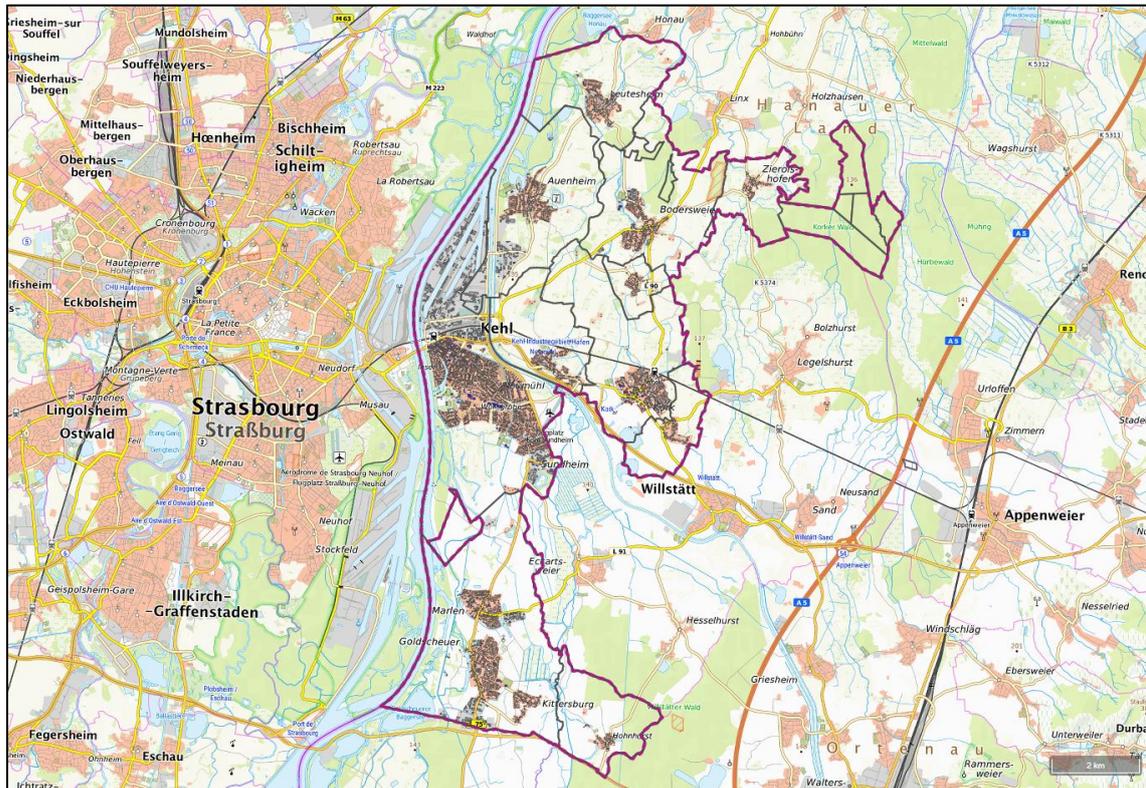


Abbildung 2 – Gliederung der Stadt Kehl und Ihrer Ortsteile (Hintergrundkarte: TopPlus-Web-Open/copyright)

Kehl ist ein attraktiver Wirtschaftsstandort in der Region, mit einer Vielzahl von Betrieben und fast 17.573 sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten (Stand 2019) in verschiedenen Branchen. Insgesamt gibt es über 3.000 angemeldete Gewerbeunternehmen und mehrere Gewerbegebiete in der Stadt. Das größte Gewerbegebiet ist der Rheinhafen, wo 110 Industrie-Unternehmen ansässig sind und das etwa 4.700 Arbeitsplätze bietet. Das Gewerbegebiet „Läger“ befindet sich nördlich der Kernstadt und südlich des Güterbahnhofs. Dort sind vor allem kleinere Unternehmen und der Einzelhandel angesiedelt. Auch in Auenheim, Goldscheuer, Sundheim, Bodersweier, Leutesheim, Kork, Marlen und Neumühl gibt es jeweils kleinere Gewerbegebiete. Die Stadt Kehl hat sich außerdem mit der Nachbarkommune Neuried zusammengeschlossen, um gemeinsam den interkommunalen Gewerbepark Basic zu entwickeln. Der Gewerbepark ist verkehrsgünstig gelegen und bietet Erweiterungsmöglichkeiten. Bisher haben sich hier 21 Firmen angesiedelt.

Es sind vor allem mittelständische Unternehmen, die den Standort Kehl prägen. Viele namhafte Firmen sorgen mit ihren Produkten und Dienstleistungen dafür, dass der Name der Stadt auf allen Kontinenten bekannt ist. Die Badischen Stahlwerke GmbH beweisen im Kehler Hafen er-

folgreich, dass man Stahl auch an einem der teuersten Produktionsstandorte der Welt erfolgreich produzieren und verkaufen kann. Die Firma Bürstner fertigt im Kehler Hafen Reisemobile für den heimischen und ausländischen Markt. Weitere große Player im 320 Hektar umfassenden trimodalen Rheinhafen sind die Firma Herrenknecht, der Hersteller von Tunnelvortriebsmaschinen, die Papierfabrik Koehler und RMA, die Kugelhähne für Pipelines in Kehl produziert und weltweit exportiert. Produkte von Weltruf werden aber nicht nur im Hafen, sondern auch in den Ortsteilen hergestellt. Ein Großteil des in Supermärkten und Restaurants in aller Welt verwendeten Scherbeneises wird mit Maschinen der Firma Maja aus Goldscheuer hergestellt; bei Übernachtungen in großen Hotels findet der Gast weltweit Kosmetikprodukte der Firma ADA aus Bodersweier.

Neben den Gewerbebetrieben spielt auch die Landwirtschaft eine Rolle in Kehl. Es gibt 32 größere landwirtschaftliche Betriebe mit einer Fläche von je > 50 ha. Dazu kommen weitere 50 Landwirtschaftsbetriebe unter 50 ha Größe. 25 Bauern betreiben ihren Hof laut Statistischem Landesamt Baden-Württemberg hauptberuflich, 25 im Nebenerwerb. Alle Unternehmen tragen zur Vielfalt der wirtschaftlichen Aktivitäten in der Stadt bei.

Kehl verfügt über eine ausgezeichnete Verkehrsanbindung sowohl über die naheliegende Autobahn A 5 als auch über die A 35 in Frankreich. Die Autobahn A 5 bietet eine schnelle Anbindung an die Metropolregionen bei Basel, Freiburg, Offenburg und Karlsruhe. Der Rheinhafen bietet eine zusätzliche, vor allem für die Wirtschaft relevante Verkehrsanbindung. Auch der Flughafen Straßburg liegt in direkter Nähe zu Kehl. Der Bahnhof mit Anbindung, über die Ortenau-S-Bahn, an die Fernverkehrsbahnhöfe Offenburg und Straßburg runden die sehr gute Verkehrsanbindung ab. Der regionale Verkehr zu den umliegenden Ortschaften erfolgt überwiegend über die Land- und Bundesstraßen L75, L98 und B 28.

1.2 Erfassung des Gebäudebestands

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

1.2.1 Baualtersklassen

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

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

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

In Abbildung 3 sind die Anzahl der Wohngebäude in der Stadt Kehl nach Baualter dargestellt. Demnach sind 82 % der vorhandenen Wohngebäude (Bestandsgebäude) vor Inkrafttreten der zweiten Wärmeschutzverordnung (WSchV) 1984 erbaut worden. Dies ist von besonderem Interesse, da Wärmedämmung damals eine untergeordnete Rolle spielte und das Einsparpotenzial durch Sanierungsmaßnahmen bei diesen Gebäuden besonders hoch ist.

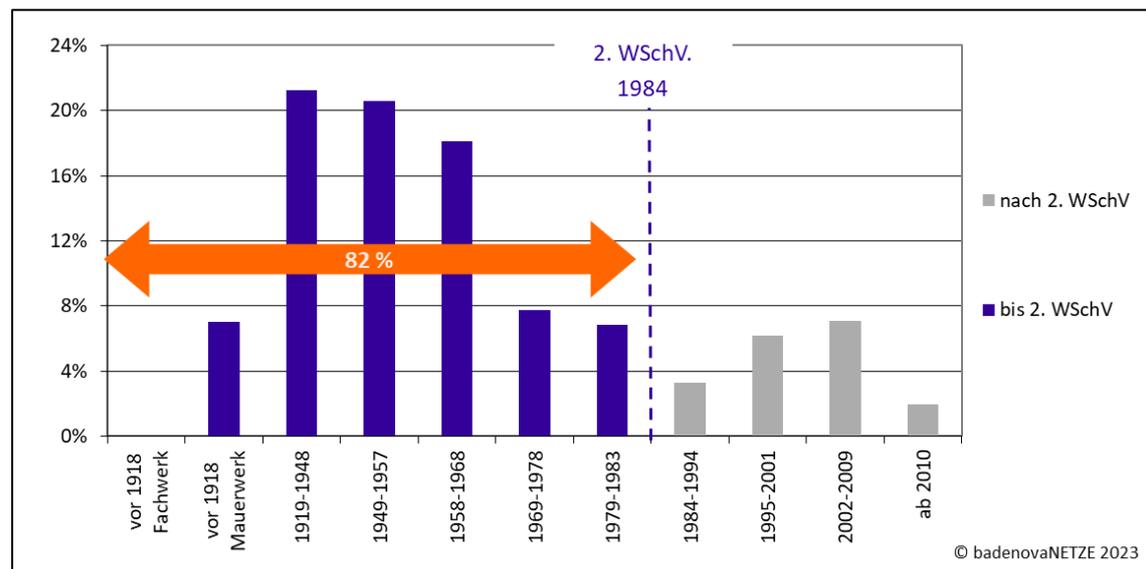


Abbildung 3 – Anteil der Wohngebäude nach Baualter und WSchV in Kehl

Abbildung 4 zeigt die räumliche Verteilung der Gebäude nach den Baualterklassen, bezogen auf Baublöcke.

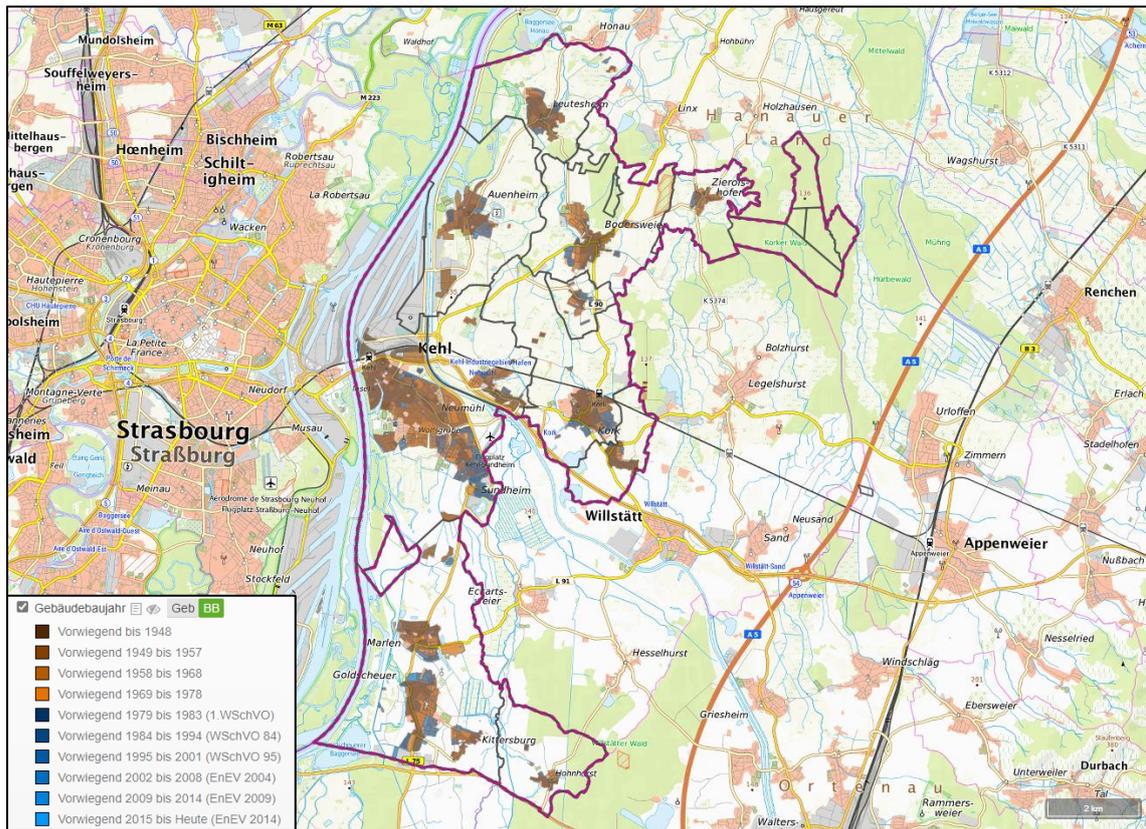


Abbildung 4 – Vorwiegendes Baualter der Gebäude auf Baublockebene (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023)

Aus der Einordnung der Gebäude in die Gebäudetypologie lassen sich Aussagen über die Siedlungsstruktur von Kehl treffen. Hierzu wurden alle Gebäude in Altersklassen und in Baublöcke eingeteilt. Dies erleichtert die schnelle Identifizierung von Gebieten ähnlicher Struktur für mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung. In Kehl befinden sich zahlreiche Gebäude, die noch vor oder zwischen den beiden Weltkriegen erbaut wurden. Deutlich wird außerdem, dass besonders in den 1950er und 1960er Jahren viele neue Wohngebiete erschlossen wurden. Immer wieder sind in der Stadt neue Gebäude hinzugekommen, sowohl in neu ausgewiesenen Wohngebieten als auch als Nachverdichtung, sodass heute oftmals eine gemischte Gebäudestruktur aufzufinden ist. Aufgrund der stetig steigenden Bevölkerungszahlen der Stadt wurden in den letzten beiden Jahrzehnten und werden auch aktuell neue Baugebiete ausgewiesen.

1.2.2 Gebäudetypen

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

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

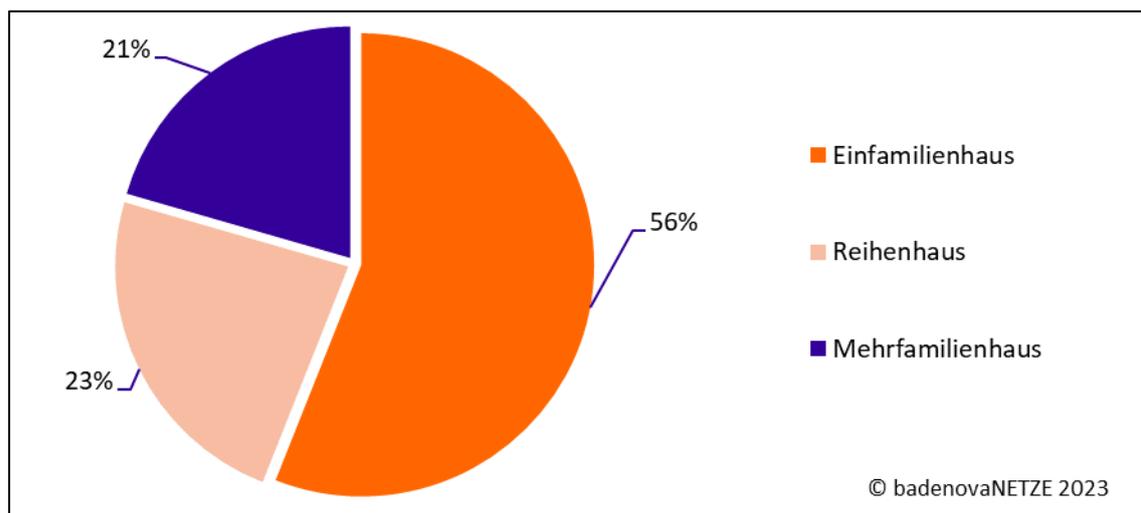


Abbildung 5 – Verteilung der Gebäudearten in Kehl

Charakteristisch für städtische Bereiche sind kleinere und größere Mehrfamilienhäuser, während in den ländlicheren Bereichen freistehende Einfamilienhäuser und Doppel- oder Reihenhäuser den größten Teil des Wohnbestandes ausmachen. Da Kehl sowohl urbane Bereiche im Ortskern als auch ländlichere Strukturen in den Ortsteilen aufweist, teilt sich die Siedlungsstruktur in 56 % Einfamilienhäuser, 23 % Reihenhäuser und Doppelhaushälften sowie 21 % Mehrfamilienhäuser auf (vgl. Abbildung 3). Die Einfamilienhäuser spielen bei der Erschließung der Einsparpotenziale eine wichtige Rolle. Zum einen verzeichnen sie im Durchschnitt den höchsten Energieverbrauch pro Einwohner, zum anderen werden Einfamilienhäuser meist vom Eigentümer selbst bewohnt. Der Nutzen von Sanierungsmaßnahmen wirkt sich hier direkt aus und erhöht die Bereitschaft des Eigentümers, Investitionen zur Energieeinsparung vorzunehmen.

Abbildung 6 zeigt die räumliche Verteilung der Gebäudetypen.

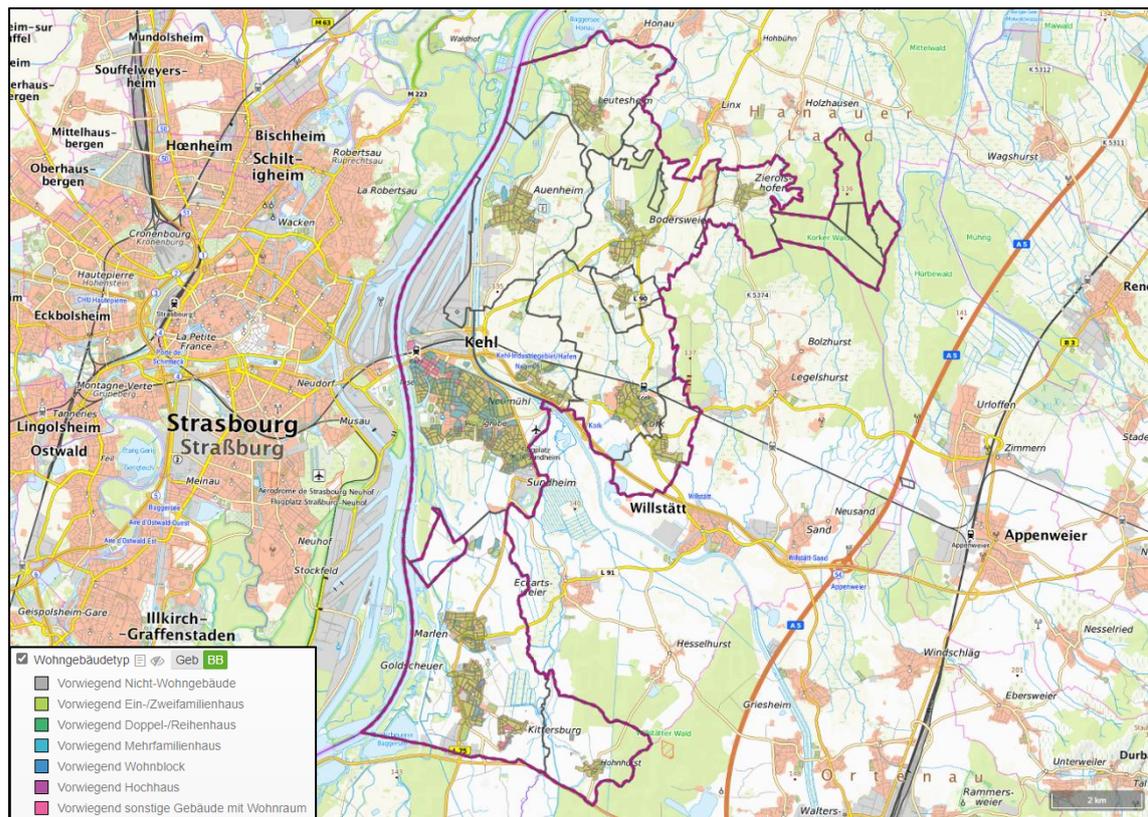


Abbildung 6 – Gebäudestruktur in Kehl (Quelle: Smart Geomatics GmbH, 2023)

1.3 Aktuelle Versorgungsstruktur

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

1.3.1 Gasinfrastruktur, Wärmenetze und Sektorkopplung

Das Gasnetz ist ein zentraler Bestandteil der lokalen Wärmeversorgungsinfrastruktur der Stadt Kehl. Erdgas hat neben Heizöl den höchsten Anteil aller Energieträger, die zur Wärmeerzeugung in der Stadt dienen. Die Gewerbe und Wohngebiete sind zu großen Teilen mit dem Erdgasnetz erschlossen. Abbildung 7 gibt einen Überblick über den aktuellen Ausbaustand der Gasnetzinfrastruktur.

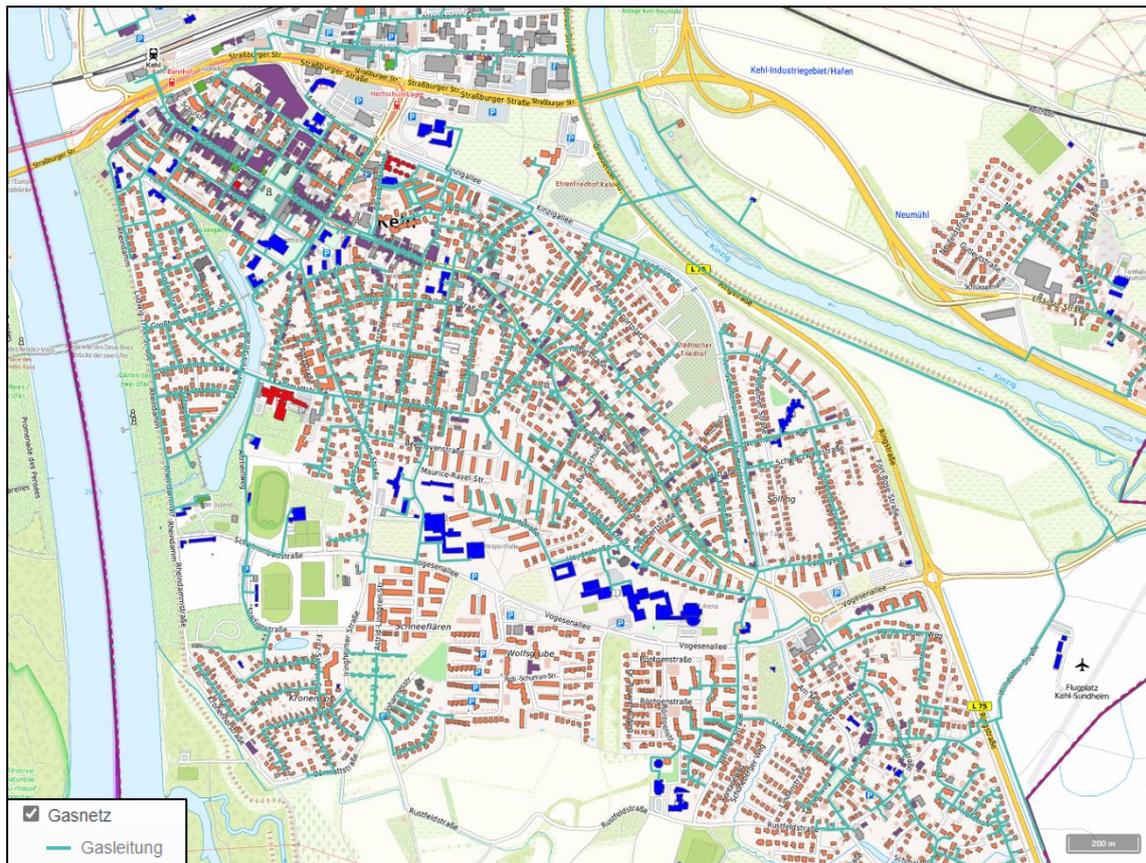


Abbildung 7 – Ausschnitt der Gasnetzinfrastruktur der Kernstadt Kehl (Quelle: badenovaNETZE GmbH, 2023)

Die Stadt Kehl kann als Vorreiter für Fernwärmeversorgung bezeichnet werden, denn große Teile der Kernstadt werden bereits durch Wärmenetze mit Wärme versorgt oder es liegen konkrete Ausbaupläne für Wärmenetze vor, die zeitnah umgesetzt werden sollen. Hierbei arbeitet die Stadt Kehl eng mit der Wärmegesellschaft GmbH & Co. KG zusammen. In Abbildung 8 sind die bestehenden sowie die geplanten Wärmenetze der Stadt Kehl dargestellt.

Im Kernstadtbereich liegt das Fernwärmenetz „Kreuzmatt“ der Wärmegesellschaft Kehl, welches u. a. das Klinikum Kehl, das Schulzentrum, Objekte der Städtischen Wohnbaugesellschaft sowie weitere private Gebäude mit Fernwärme versorgt. Im Wärmenetz wurden im Jahr 2020 ca. 11.000 MWh Wärme abgesetzt und über das Blockheizkraftwerk in der Richard-Wagner-Straße mit zusätzlichem Spitzenlast-Gaskessel versorgt. Ein umfassender Ausbau des Wärmenetzes im Stadtgebiet ist geplant (vgl. Abbildung 8).

Ein weiteres Wärmenetz befindet sich im Stadtteil Kork. Die Diakonie Kork versorgt hiermit ihre Betriebsgebäude. Die Wärmegesellschaft Kehl verpachtet die Heizanlage an die Diakonie Kork, die Betriebsführung der Heizanlage wird von badenovaWÄRMEPLUS GmbH & Co. KG geleistet. Das Wärmenetz im Stadtteil Kork versorgt die angeschlossenen Gebäude mit durchschnittlich etwa 8.000 MWh Wärme pro Jahr.

Für das Neubaugebiet Hühnerbünd II baut die Wärmegesellschaft Kehl momentan ein Wärmenetz auf, welches Wärme rein über Grundwasser-Wärmepumpen erzeugen wird. Das Wärmenetz soll zukünftig mehrere Bestandsgebäude der Stadt Kehl sowie ca. 30 Neubauten versorgen. Da die zu versorgenden Bestandsgebäude höhere Vorlauftemperaturen als die zukünftigen Neubauten benötigen, wird ein Hochtemperaturnetz mit einer Vorlauftemperatur von ca. 70 °C und ein Niedertemperaturnetz mit einer Vorlauftemperatur von ca. 45 °C aufgebaut.

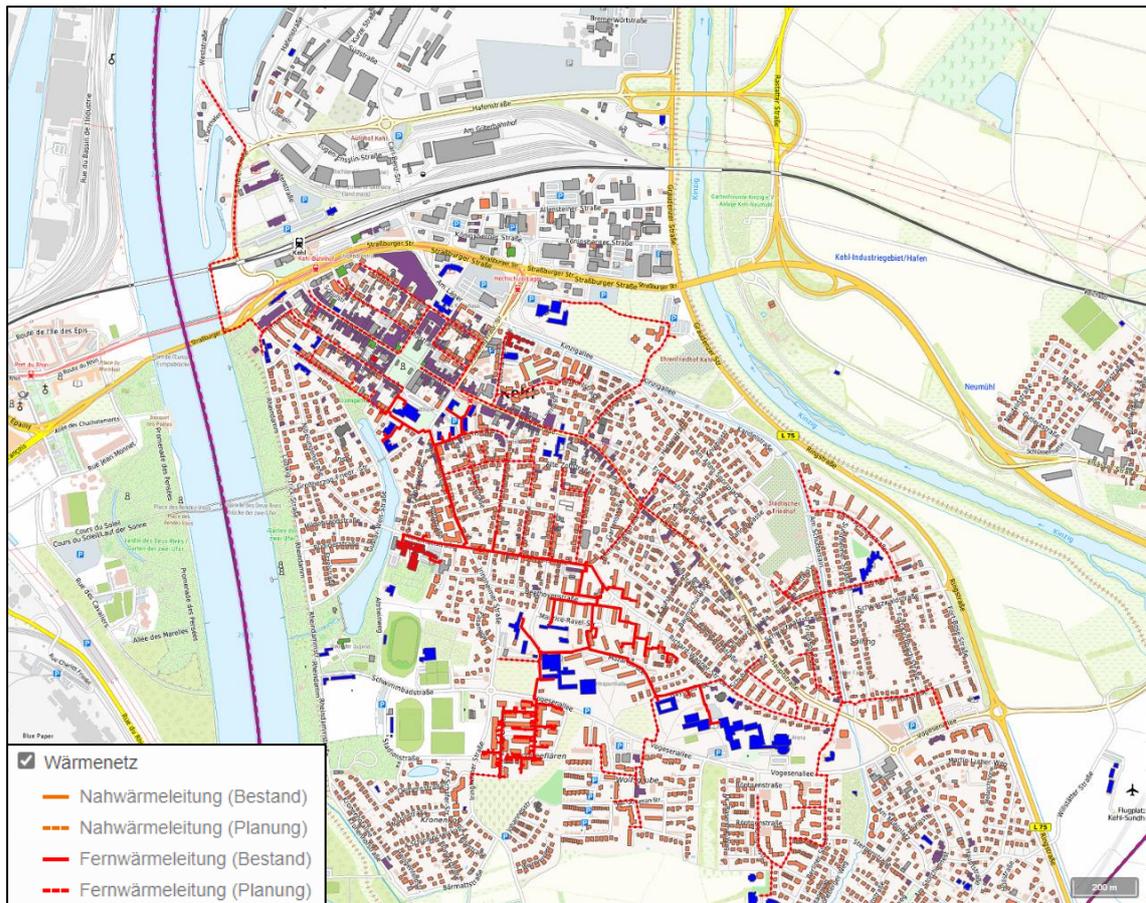


Abbildung 8 – Bestehende und geplante Wärmenetze der Wärmegesellschaft (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023)

1.3.2 Breitbandinfrastruktur

Der Ausbau der Breitbandinfrastruktur bietet Synergieeffekte mit einem potenziellen Ausbau der Fernwärmeinfrastruktur, da bei beiden der Tiefbau ein wesentlicher Kostenfaktor ist.

In einem ersten Ausbauschnitt wurden in der Stadt Kehl im Zeitraum von 2016 bis 2018 von der Deutschen Telekom bereits in der Kernstadt (mit Sundheim), im Gewerbegebiet Auenheim sowie in Kork und Neumühl insgesamt 13.500 Haushalte mit schnellem Internet versorgt. In Odelshofen, Bodersweier und Querbach konnten ca. 1.660 Haushalte angeschlossen werden, in Goldscheuer und Hohnhurst knapp 3.180. Seit 2020 folgen weitere Gebiete und die Modernisierung bestehender Anschlüsse mit höheren Bandbreiten. Für den Ausbau und die Modernisierung des Breitbandnetzes in Auenheim, Leutesheim und Zierolshofen, Teilen des Kehler Hafens und im interkommunalen Gewerbegebiet ba.sic. wurden Fördermittel bewilligt.

Bis zum Ende des Jahres 2025 versorgt die Deutsche Telekom in etwa die Hälfte aller Haushalte in Kehl mit Internet-Bandbreiten von bis zu einem Gigabit pro Sekunde. Die Modernisierungen der Breitband-Infrastruktur im Ausbaugebiet Kernstadt werden von der Telekom eigenfinanziert.

Für den Ausbau von Wärmenetzen gilt es stets, mögliche Synergieeffekte zu berücksichtigen und ggf. zeitliche Überschneidungen der Bauarbeiten zu nutzen, um Kosten beim Tiefbau zu sparen.

1.3.3 Erzeugungsanlagen

Wesentlicher Bestandteil der lokalen Wärmeinfrastruktur sind die vor Ort installierten Heizanlagen. Hierzu wurden Daten durch eine Abfrage bei den örtlichen Schornsteinfegern ermittelt und ausgewertet. Diese enthalten Angaben zur installierten Leistung, zu Energieträgern und Einbaujahr der Anlagen. Die Daten wurden ergänzt durch Angaben des Stromverteilnetzbetreibers zu Nachtspeicherheizanlagen und Wärmepumpen. Angaben zu Erdwärmesonden wurden über die Bohrdatenbank des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Freiburg i. Br. (2022) ermittelt.

Auf Grundlage der Heizanlagenstatistik der Schornsteinfeger wird ein Großteil der Heizanlagen in Kehl mit Heizöl (36 %) und Erdgas (29 %) betrieben. Holz wird in 20 % der Heizanlagen verwendet, wobei es sich hier in der Regel um Zusatzheizungen wie Kaminöfen, Kachelöfen und Schwedenöfen handelt. Weitere 9 % der Heizanlagen sind Nachtspeicherheizungen (vgl. Abbildung 9).

Nach der Bohrdatenbank des LGRBs sind für die Stadt Kehl mindestens 25 Erdwärmesondenanlagen mit insgesamt 70 Sonden registriert (2022). Kumulativ wurden für die Erdwärmesonden mindestens 5.097 m erbohrt. Darüber hinaus existieren mindestens 19 Grundwasserbrunnen im Stadtgebiet, mit denen Wasser/Wasser-Wärmepumpen betrieben werden.

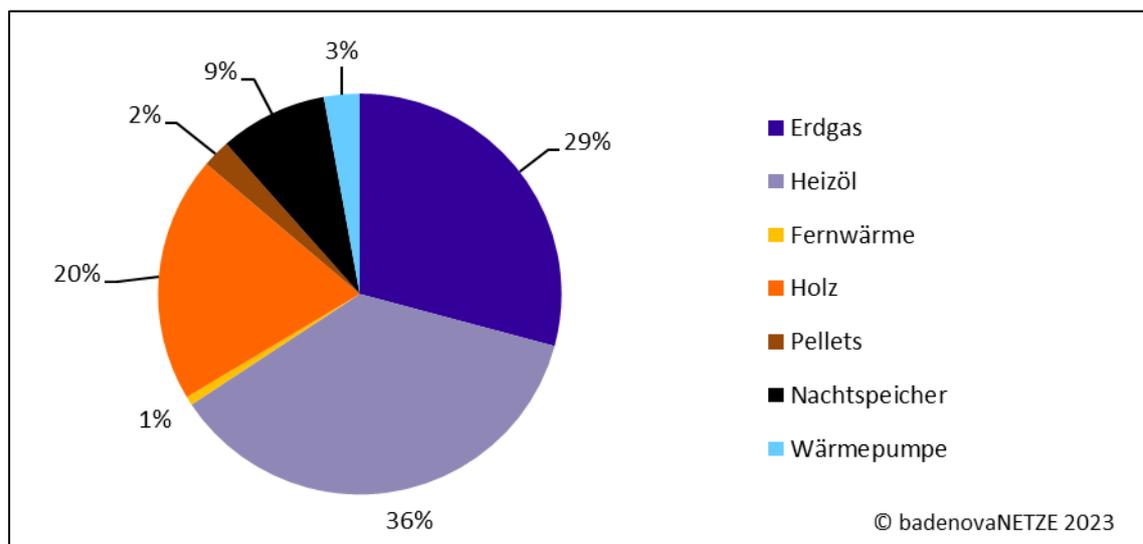


Abbildung 9 – Energieträgerverteilung der Heizanlagen und Fernwärmeanteil in Kehl

Die Auswertung des Einbaujahrs der Heizanlagen zeigt, dass etwa 50 % der Heizanlagen bereits älter als 20 Jahre sind (vgl. Abbildung 10).

Abbildung 11 stellt das vorwiegende Alter der installierten Heizanlagen auf Baublockebene räumlich dar.

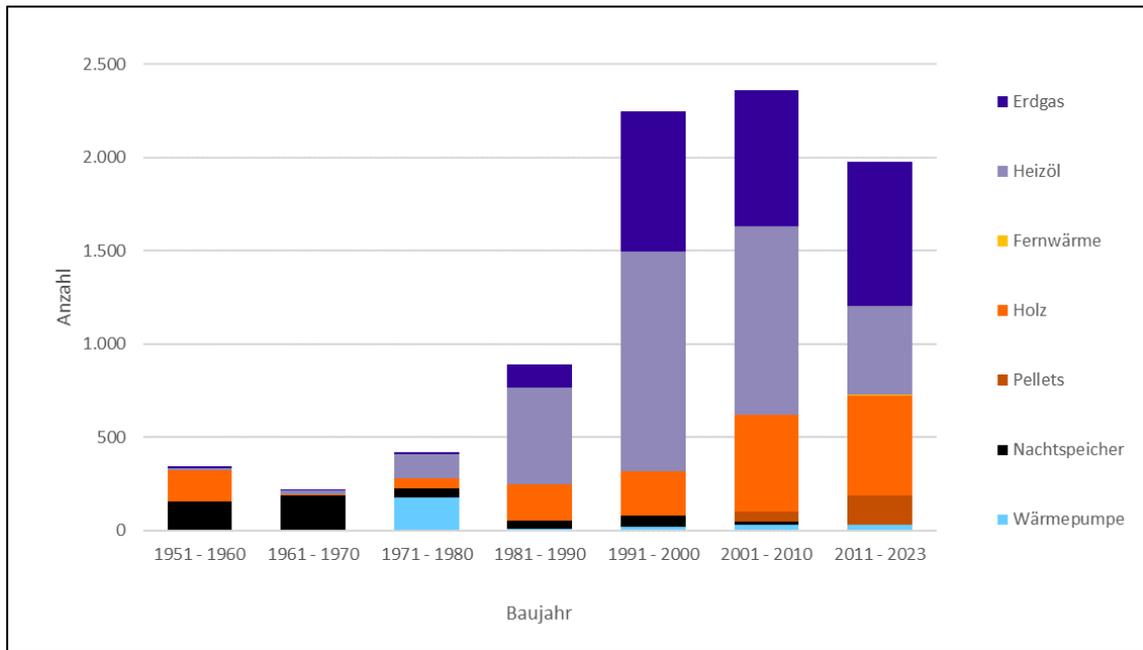


Abbildung 10 – Einbaujahr der Heizanlagen in Kehl nach Energieträger (Datengrundlage: Schornsteinfe-gerstatistik)

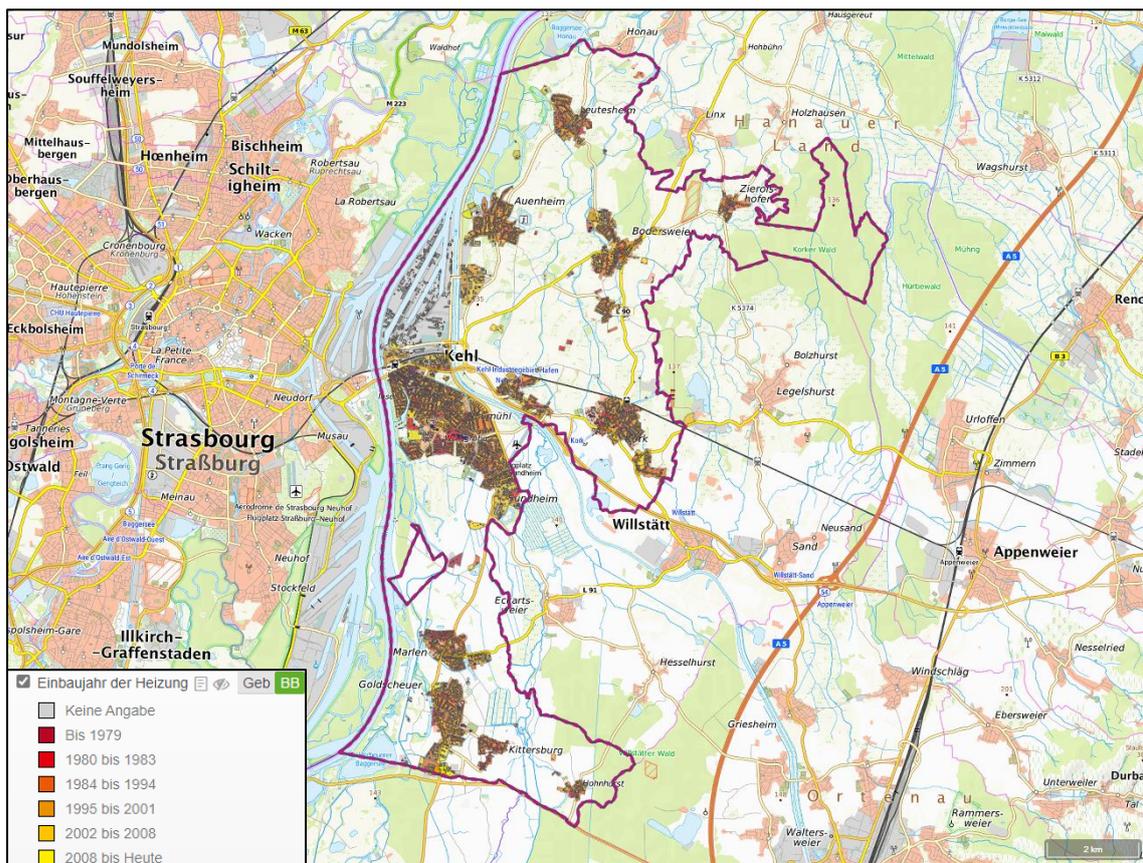


Abbildung 11 – Durchschnittliches Heizungsalter auf Baublockebene

Abbildung 12 veranschaulicht die vorwiegenden Energieträger der Zentralheizanlagen auf Baublockebene. Es wird sichtbar, dass die Energieversorgungsstruktur sehr heterogen ist. Die Kernstadt ist zwar größtenteils durch das Erdgasnetz erschlossen, es gibt aber dennoch vereinzelte Gebiete, die noch mit Heizöl versorgt werden. Auch die Versorgung mit Fernwärme ist sichtbar. In den Ortsteilen zeigt sich ebenfalls ein sehr heterogenes Bild, wobei der Anteil von heizölversorgten Anlagen noch höher ist als in der Kernstadt.

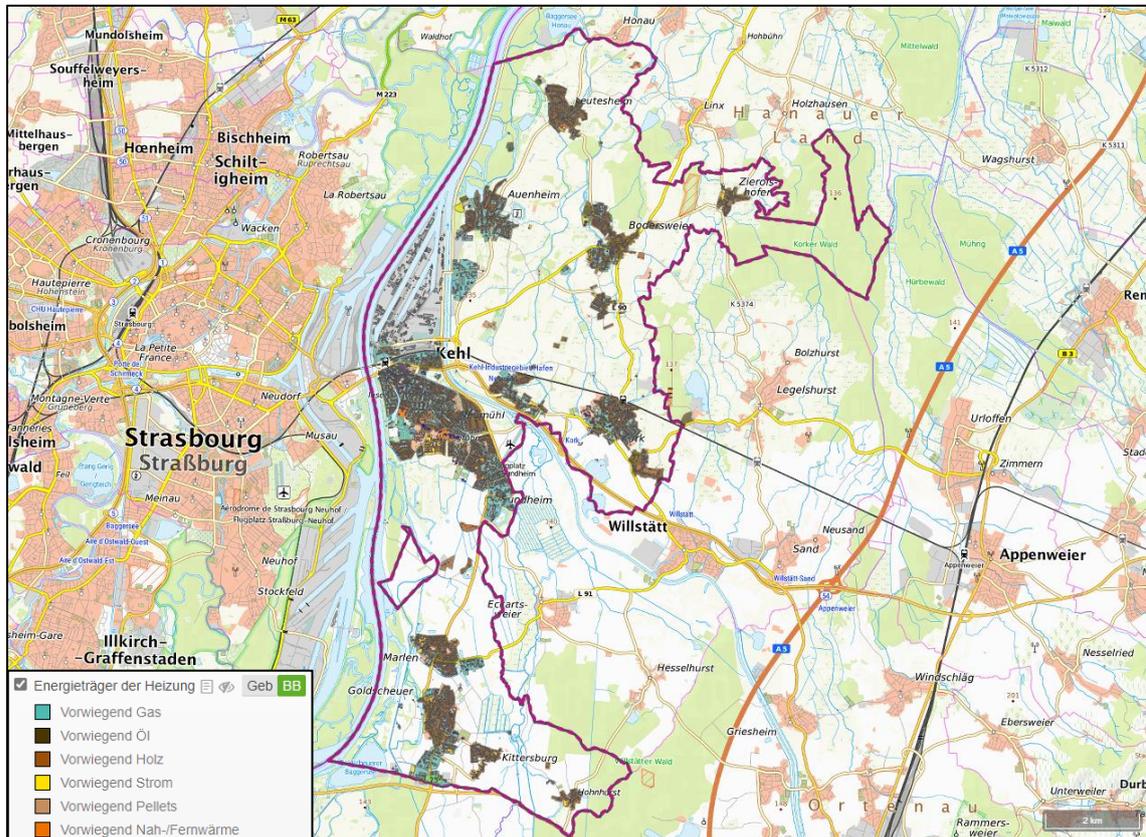


Abbildung 12 – Vorwiegender Energieträger der Heizanlagen auf Baublockebene (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023)

1.4 Wärmebedarf der Gebäude

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

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

1.5 Endenergieverbrauch Wärme

Während der Wärmebedarf aufzeigt, wie viel Energie die Gebäude für Raumwärme und Warmwasser benötigen, um ein konstantes Temperaturniveau zu erreichen, erfasst der Endenergieverbrauch die tatsächlich vor Ort eingesetzte Energiemenge. Damit können Faktoren wie die Wirkungsgrade der Heizanlagen, das Nutzerverhalten und der Energieverbrauch für die Prozesswärme im Gewerbe betrachtet werden. Der Endenergieverbrauch für Wärme (Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme) der Stadt Kehl, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren, wurde mit einer Energie- und THG-Bilanz für das Jahr 2019 mit dem für das Land Baden-Württemberg konzipierten Tool BICO2 BW (Version 2.10.1) ermittelt (IFEU (2022)).

1.5.1 Datenquellen Endenergieverbrauch Wärme

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

- Der Erdgasnetzbetreiber badenovaNETZE GmbH stellte die aktuellen Gasverbrauchsdaten zur Verfügung.
- Der Wärmenetzbetreiber Wärmegesellschaft Kehl GmbH & Co. KG stellte die Wärmeerzeugungs- und Verbrauchsmengen der jeweiligen Anlagen und des Wärmenetzes zur Verfügung.
- Die Stromnetzbetreiber Syna GmbH sowie das Überlandwerk Mittelbaden GmbH & Co. KG lieferten Daten zum Stromverbrauch der gesamten Stadt und zum Stromverbrauch für Nachtspeicherheizanlagen und Wärmepumpen.
- Für den nicht-netzgebundenen Verbrauch wurden aggregierte Daten des Landesamtes für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) zur Ermittlung des Energieverbrauchs kleiner und mittlerer Feuerungsanlagen herangezogen. Diese wurden ergänzt um Daten der örtlichen Schornsteinfeger, die Angaben zu Leistung und eingesetzten Energieträgern beinhalten.
- Der Bestand an Solarthermie wurde von der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) zur Verfügung gestellt. Die Daten beinhalten allerdings nur Anlagen, die durch das bundesweite Marktanreizprogramm gefördert wurden.
- Detaillierte Wärmeverbrauchsdaten der öffentlichen Liegenschaften der Kommune, des Landkreises und des Bundes wurden von den jeweiligen Verwaltungsebenen zur Verfügung gestellt.
- Das Tool BICO2 BW ergänzt und plausibilisiert die Daten, z.B. mit Auswertungen zu den verursacherbezogenen THG-Emissionen der Stadt Kehl vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg und anhand von Zahlen zu den sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten der Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie verarbeitendes Gewerbe der Bundesagentur für Arbeit.

1.5.2 Gesamtendenergieverbrauch Wärme

Nach dem Ergebnis der Energie- und THG-Bilanz betrug der Gesamtendenergieverbrauch für Wärme in Kehl ca. 1.473.100 MWh im Jahr 2019. Nach den Sektoren betrachtet, hatte der Wärmeverbrauch des verarbeitenden Gewerbes den mit Abstand höchsten Anteil am Wärmeverbrauch der Stadt. Hierbei sticht vor allem der hohe Anteil des Wärmebedarfs für Prozesswärme heraus. Gemeinsam mit der benötigten Raumwärme ergibt sich ein Anteil von etwa 75 % allein für das verarbeitende Gewerbe in Kehl. Auch der Anteil des sonstigen Gewerbes ist mit 9 % des Gesamtwärmeverbrauchs vergleichsweise hoch. Die privaten Haushalte haben einen Anteil von 15 %, die kommunalen Liegenschaften weniger als 1 % (vgl. Abbildung 13).

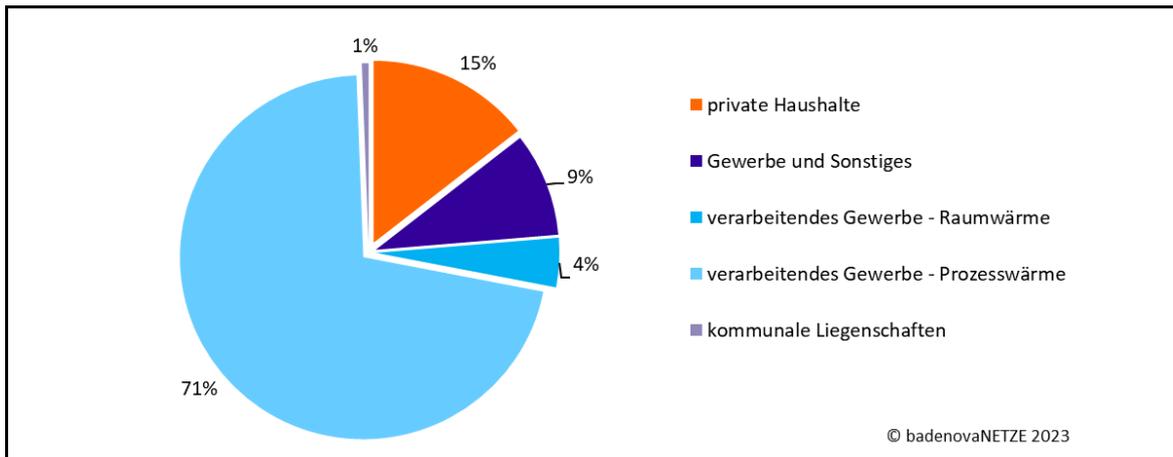


Abbildung 13 – Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs nach Sektoren (2019)

Nach den vorliegenden Informationen wurden zur Deckung des Wärmebedarfs im Jahr 2019 in Kehl etwa 64 % fossile Energieträger eingesetzt, darunter vorrangig Erdgas und Heizöl (vgl. Abbildung 14). Einen Anteil von etwa 1 % haben die sonstigen fossilen Energieträger, welche vorrangig der Fernwärmeerzeugung aus KWK-Wärme zuzuschreiben sind. Erneuerbare Energieträger decken insgesamt 36 % des Wärmeverbrauchs der Stadt. Diese beinhalten die erneuerbaren Energien Energieholz, Solarthermie und Umweltwärme sowie erneuerbare Energien in der Industrie. Die Aufteilung und eingesetzte Energiemengen sind in Abbildung 14 dargestellt.

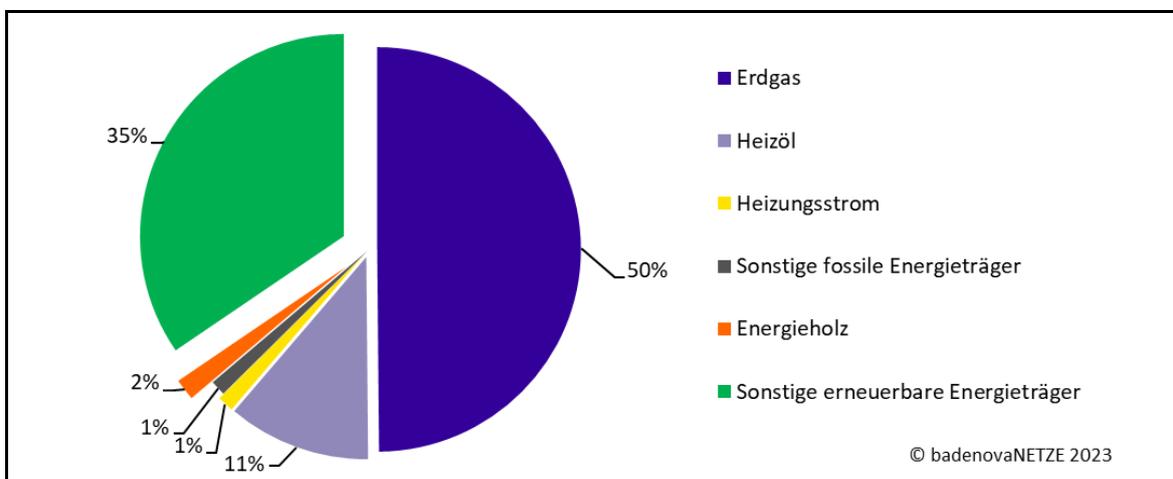


Abbildung 14 – Aufteilung des Gesamtwärmeverbrauchs nach Energieträgern (2019)

Energieträger	Wärmeverbrauch (MWh im Jahr 2019)	Anteil am Gesamt- wärmeverbrauch
Erdgas	734.408	50%
Heizöl	167.339	11%
Heizungsstrom	19.135	1%
Kohle	43	0%
KWK/Fernwärme	17.779	1%
Flüssiggas	0	0%
Sonstige fossile Energieträger	196	0%
Energieholz	25.227	2%
Solarthermie	5.634	0%
Umweltwärme	23.935	2%
Erneuerbare Energien in der Industrie	479.347	33%
Gesamt	1.473.063	

Tabelle 2 – Endenergieverbrauch für Wärme der Stadt Kehl nach Energieträger in Zahlen (2019)

Abbildung 15 zeigt nochmals detailliert die Aufteilung der Energieträger auf den Wärmeverbrauch der Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und kommunale Liegenschaften. Hierbei wurde der Wirtschaftssektor zum einen nach Gewerbe, Handel und Dienstleistung („Gewerbe und Sonstiges“) sowie zum anderen nach der Industrie („verarbeitendes Gewerbe“) aufgeteilt. Der Sektor verarbeitendes Gewerbe wurde zudem in Raum- und Prozesswärme unterteilt. Die Darstellung verdeutlicht den sehr hohen Anteil des verarbeitenden Gewerbes am Gesamtenergieverbrauch sowie den hohen Anteil der fossilen Energieträger zur Wärmebereitstellung.

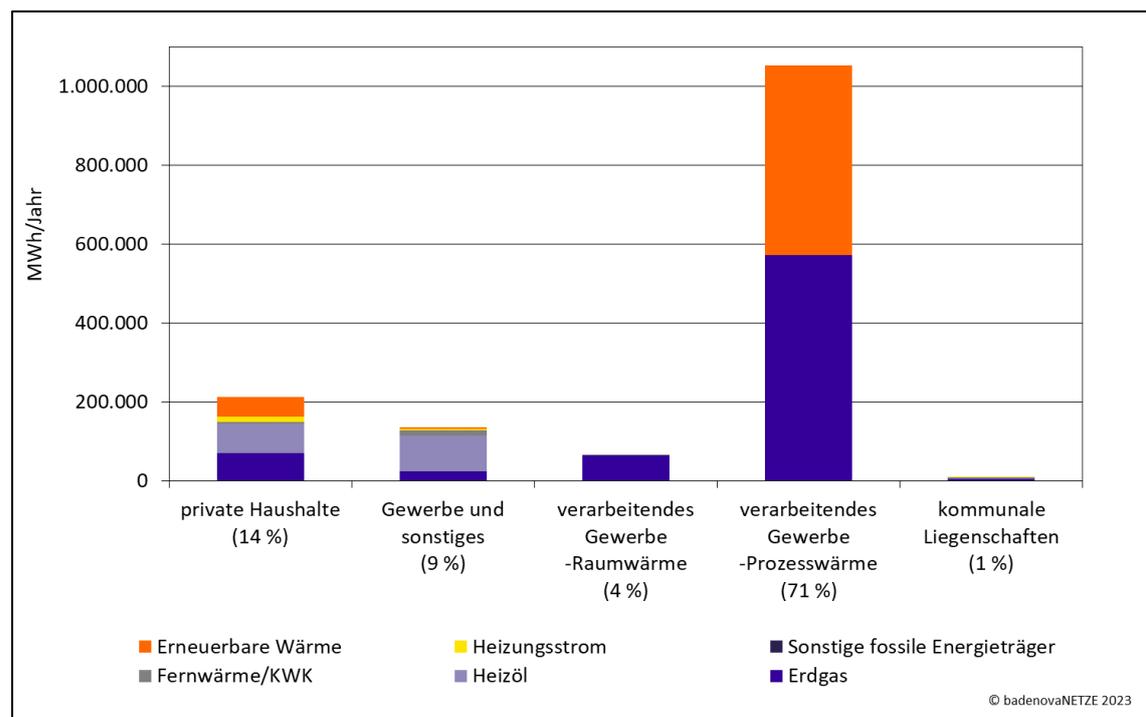


Abbildung 15 – Wärmeverbrauch der einzelnen Sektoren nach Energieträgern (2019)

1.5.3 Wärmeverbrauch der kommunalen Liegenschaften

Für die kommunalen Liegenschaften wurden im Jahr 2019 ca. 8.800 MWh Energie für die Wärmeversorgung benötigt. 5.040 MWh davon sind dem Erdgasverbrauch zuzuordnen. Mit Fernwärme werden bereits 2.398 MWh des Wärmebedarfs gedeckt. Heizöl trägt mit 576 MWh bei und Elektrowärme mit 583 MWh. Die übrigen ca. 200 MWh sind sonstigen fossilen Energieträgern zuzuschreiben. Eine Aufteilung der wichtigsten beheizten kommunalen Gebäude ist der Abbildung 16 zu entnehmen.

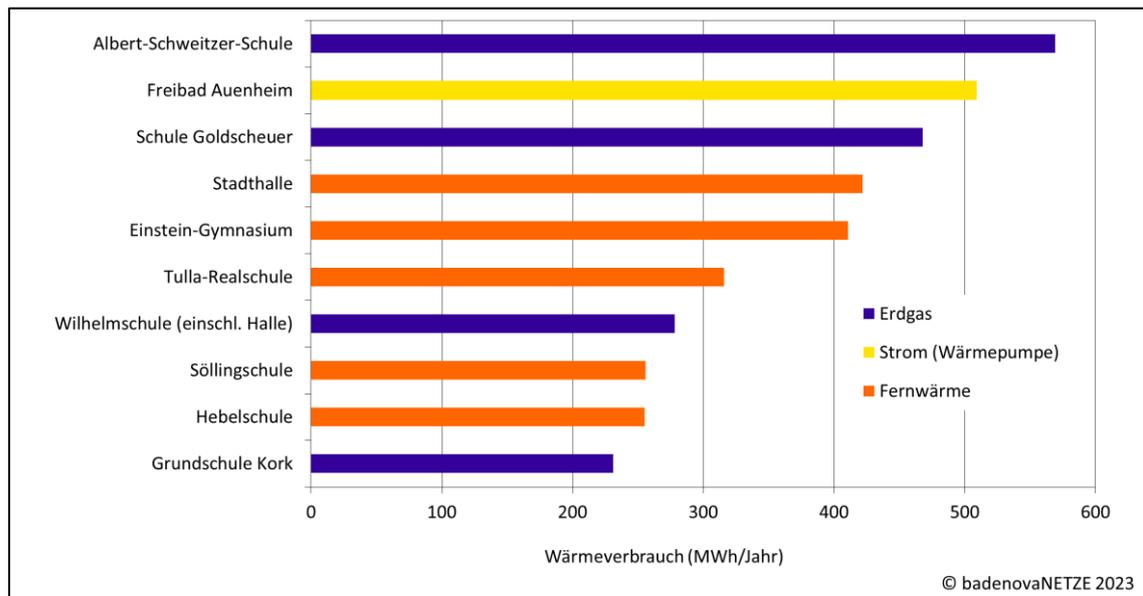


Abbildung 16 – Kommunale Liegenschaften der Stadt Kehl mit dem höchsten Wärmeverbrauch

1.5.4 Endenergieverbrauch für Prozesswärme/-kälte

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

In Kehl sind Unternehmen unterschiedlichster Branchen vertreten. Neben zahlreichen Gewerbebetrieben aus den Branchen Einzelhandel und Logistik sind bei relevanten Industrieunternehmen, welche einen sehr hohen Wärmebedarf aufweisen, vor allem die Stahlproduktion und die Papierherstellung zu nennen. Abwärmerelevante Produktionsunternehmen der Stadt Kehl wurden im Rahmen der Erstellung des kommunalen Wärmeplans von der Stadtverwaltung angeschrieben und um die Mitteilung der wichtigsten Daten zum Energieverbrauch und möglichen Abwärmepotenzialen befragt¹ (vgl. 2.3.6.1). Da nicht alle Betriebe Daten lieferten und eine Zuordnung des Wärmebedarfs auf die Prozesswärme bzw. -kälte mit den vorhandenen Daten nicht

¹ Angeschrieben = 30 Produktionsbetriebe. Rücklauf = 21 Betriebe

immer möglich war, wurde der Prozesswärmeverbrauch mithilfe einer statistischen Auswertung der Ergebnisse der Energiebilanz, ergänzt durch lokale Informationen einzelner Betriebe, berechnet². Demnach lag der Prozesswärmeverbrauch in der Stadt Kehl im Jahr 2019 bei ca. 1.051.300 MWh und machte somit 71 % des Gesamtwärmeverbrauchs der Stadt aus.

1.5.5 Räumliche Verteilung des Wärmeverbrauchs

Anhand der Gebäudeeigenschaften, der Heizanlagenstatistik und der Verbrauchsdaten der leitungsgebundenen Energieträger, konnte die räumliche Verteilung des Wärmeverbrauchs im GIS ermittelt werden. Abbildung 17 zeigt am Beispiel der Kernstadt Kehl den Wärmeverbrauch der Gebäude, aggregiert auf Baublockebene. Insgesamt ist erkennbar, dass die Wärmedichten sehr heterogen verteilt sind. Hohe Wärmedichten sind beispielsweise im südlichen Bereich der Kernstadt vorzufinden.

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

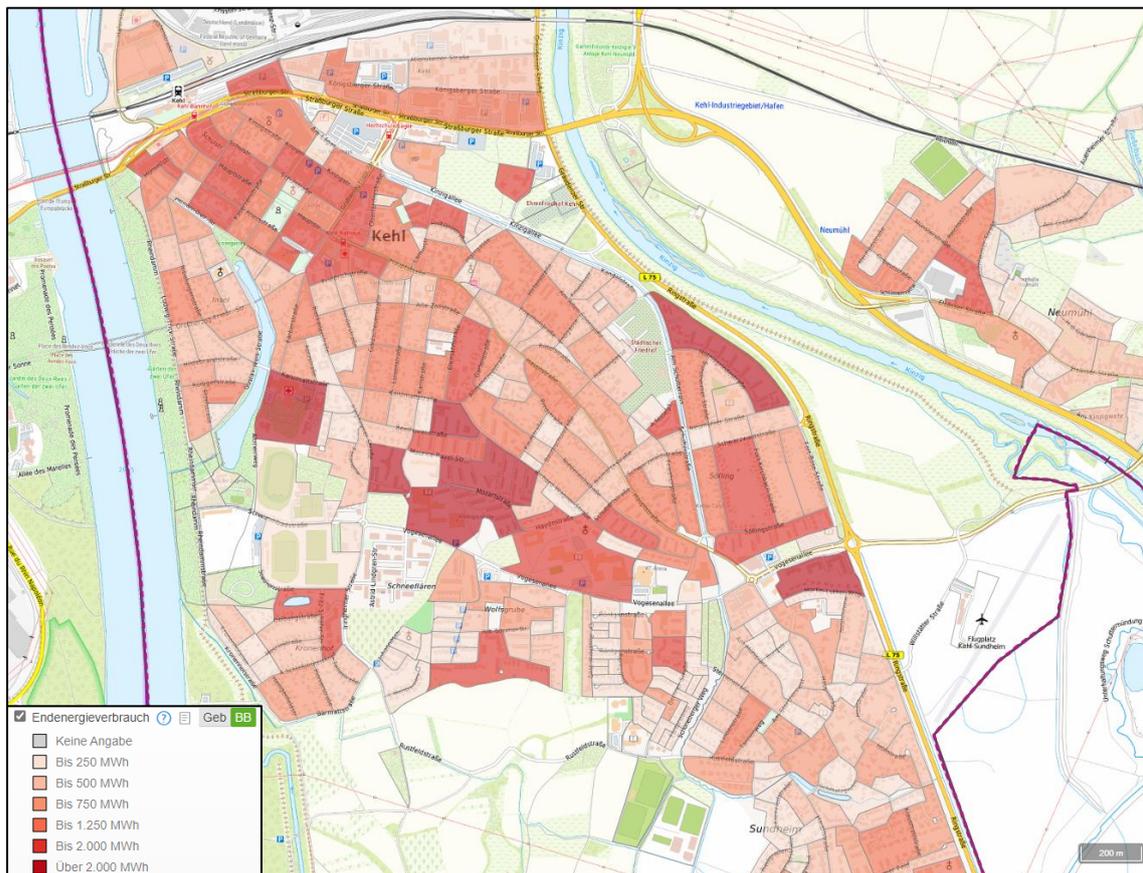


Abbildung 17 – Wärmedichte der Kernstadt Kehl auf Baublockebene (Smart Geomatics GmbH)

² Der Anteil der Prozesswärme und -kälte am Endenergieverbrauch der Industrie betrug in Deutschland im Jahr 2017 68,6 % (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2019)

1.5.6 Treibhausgasbilanz der Wärmeversorgung

Auf Basis der Verbrauchsmengen der jeweiligen Energieträger, berechnet das Bilanzierungstool BICO2 BW anhand der entsprechenden Emissionsfaktoren die THG-Emissionen des Wärmeverbrauchs. Die Deckung des Wärmeverbrauchs der Stadt Kehl führte demnach im Jahr 2019 zu THG-Emissionen in Höhe von ca. 262.350 t CO_{2e}. Der überwiegende Anteil ist den fossilen Energieträgern Erdgas (70 %) und weiteren fossilen Energieträgern wie Kohle, Flüssiggas und Heizöl (in Summe 24 %) zuzuordnen. Die kommunalen Liegenschaften waren mit ihrem Wärmeverbrauch für ca. 2.260 t CO_{2e} im Jahr 2019 verantwortlich. Abbildung 18 zeigt die Aufteilung der wärmebedingten THG-Emissionen nach Sektor und Energieträger.

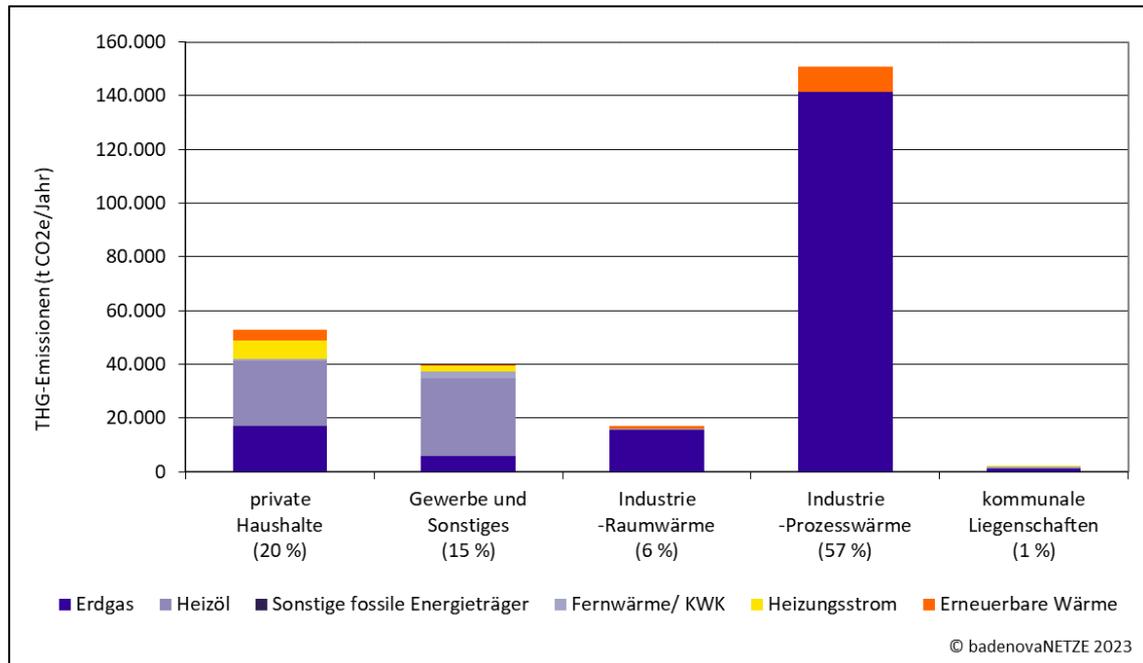


Abbildung 18 – THG-Bilanz des Wärmeverbrauchs nach Sektor und Energieträger

1.6 Sektorenkopplung und Strombedarfsdeckung

Bei der kommunalen Wärmeplanung liegt der Fokus auf eine möglichst klimaneutrale Wärmeversorgung. Dabei werden die zwei anderen großen Bereiche der Energiebilanz einer Stadt, Stromverbrauch und Mobilität, größtenteils ausgeblendet. Allerdings sind diese drei Bereiche nicht gänzlich voneinander zu trennen, denn die Bereiche Mobilität (durch die Verbreitung von Elektroantrieben) und Wärme (durch den Einsatz von Wärmepumpen) werden zunehmend durch Strom gedeckt. Vor diesem Hintergrund wurde auch die lokale Stromerzeugung und der lokale Stromverbrauch bei der Bestandsanalyse betrachtet.

Die von der Stadt Kehl erstellte Energie- und Treibhausgasbilanz enthielt Daten zu den erzeugten Strommengen aus erneuerbaren Energien für das Jahr 2019. Diese wurden ergänzt um die Stromerzeugungsmengen aus KWK-Anlagen. Folgende Strommengen wurden demnach in der Stadt Kehl im Jahr 2019 lokal erzeugt:

- Biomasse, Deponie-, Gruben-, Klärgas erzeugten insgesamt ca. 99.990 MWh Strom.
- Photovoltaik-Anlagen erzeugten ca. 24.350 MWh Strom.
- Wasserkraftanlagen erzeugten ca. 5.320 MWh Strom.
- KWK-Anlagen erzeugten ca. 14.210 MWh Strom.

Insgesamt wurden demnach im Jahr 2019 ca. 143.870 MWh (11 %) Strom mit Anlagen auf der Gemarkung Kehl erzeugt. Der Anteil an erneuerbaren Energien (EE) daran beträgt ca. 10 % des gesamten Stromverbrauchs der Stadt im Jahr 2019. Zum Vergleich: Im Jahr 2019 wurden in Baden-Württemberg 23 % des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien erzeugt. Damit liegt Kehl unter dem Durchschnitt, was jedoch damit zu begründen ist, dass der Wirtschaftssektor in Kehl einen enorm hohen und mit anderen Kommunen schwer vergleichbaren Stromverbrauch aufweist.

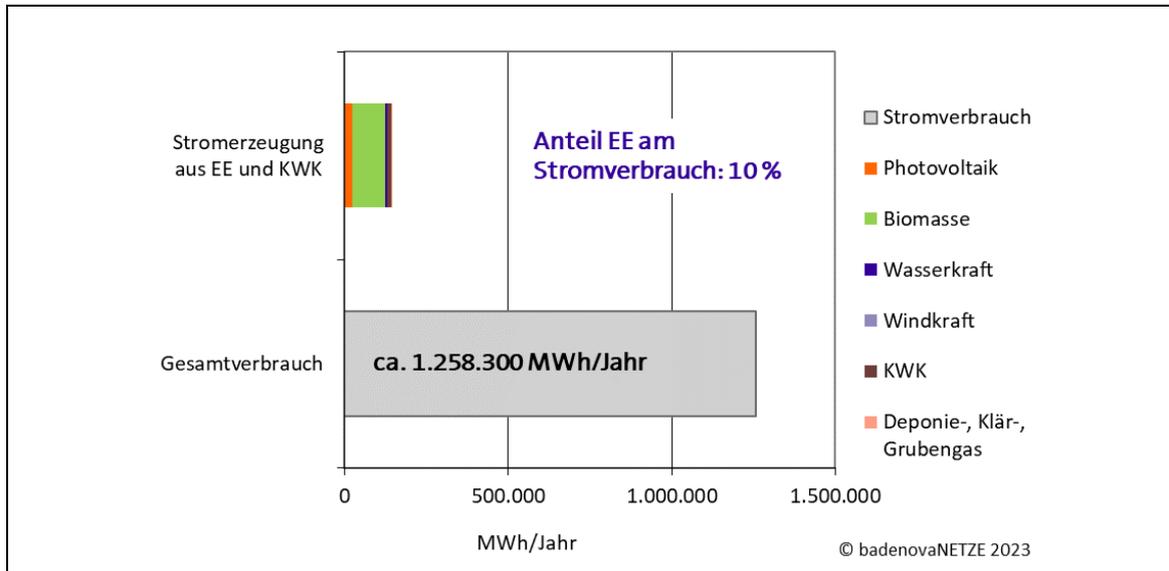


Abbildung 19 – Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK im Vergleich zum Stromverbrauch im Jahr 2019

1.7 Erneuerbare Gase

Im Zuge der Energiewende und dem damit verbundenen Zuwachs einer fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bedarf es neuer Möglichkeiten, diese Energie zu speichern. Zusätzlich wird durch den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen der Stromverbrauch im Winter deutlich steigen, während davon auszugehen ist, dass in den Sommermonaten Überschüsse an Strom aus Photovoltaikanlagen erzeugt werden. Um das Energieangebot mit der Nachfrage zu decken und dadurch Versorgungssicherheit zu gewährleisten, werden in Zukunft sowohl die kurzfristige als auch die saisonale Speicherung von Überkapazitäten notwendig sein (siehe auch Kapitel zu Energiespeicher 3.6.1).

Während Batteriespeicher kurzfristige Überkapazitäten decken können und in der Elektromobilität eingesetzt werden, können auch saisonale Speicher für die Wärmewende entscheidend sein. In diesem Zusammenhang sollen in Zukunft erneuerbare Gase eine zentrale Rolle spielen. Bei der Energie- bzw. Wärmewende werden vor allem drei erneuerbare Gase betrachtet: Wasserstoff, synthetisches Methan und Biomethan (Synonym Bioerdgas). Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Herstellungsverfahren, Aufbereitungsschritte und Einsatzmöglichkeiten dieser drei Gase.

Die Bestandsanalyse zeigt, dass erneuerbare Gase im Sinne der Tabelle 3 in Kehl noch keine Rolle spielen. Biogasanlagen erzeugen zwar heute schon Biogas sowie Kläranlagen Klärgas erzeugen, diese werden jedoch in der Regel, wenn vorhanden, direkt verwertet und nicht zu Bestandsnetzfähigem Biomethan aufbereitet.

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

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

Insbesondere bei Wasserstoff wird durch eine zusätzliche Bezeichnung die Herkunft bzw. Gewinnungsart gekennzeichnet (vgl. Tabelle 4). Momentan gilt Wasserstoff als einer der zentralen Hoffnungsträger der deutschen und europäischen Energiewende. Wasserstoff kann im Gegensatz zu Strom und Wärme sehr gut über einen langen Zeitraum gespeichert werden und weist eine relativ hohe Energiedichte auf. Wird Wasserstoff aus erneuerbarem Strom erzeugt, ist er zudem nahezu klimaneutral.

Bezeichnung	Definition/Gewinnung
Grauer Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewinnung aus fossilen Brennstoffen ▪ am häufigsten angewandtes Verfahren: Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff und CO₂ (Dampfreformierung)
Grüner Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung durch Elektrolyse von Wasser ▪ Deckung des elektrischen Energiebedarfs durch erneuerbaren Strom
Blauer Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> ▪ grauer Wasserstoff, dessen CO₂ bei der Entstehung abgeschieden und mittels Carbon Capture and Storage (CCS) gespeichert wird ▪ bilanziell THG-neutrale Wasserstoffproduktion
Türkiser Wasserstoff	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Herstellung durch thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) ▪ Weiteres Reaktionsprodukt ist fester Kohlenstoff ▪ Voraussetzungen für die THG-Neutralität des Verfahrens: <ul style="list-style-type: none"> ○ Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energiequellen ○ dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs

Tabelle 4 – Unterscheidung der Bezeichnungen für Wasserstoff nach Produktionsverfahren

Derzeit sind Energieüberschüsse aus den erneuerbaren Gasen nicht in dem Maße vorhanden, um eine Nutzung der Power-to-Gas-Technologie (PtG, vgl. Kapitel 2.5) in großem Stil wirtschaftlich und energetisch sinnvoll zu gestalten.

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

1.8 Kennzahlen der Bestandsanalyse

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

Beschreibung Kennwert	Wert	Einheit	Bezugsjahr	Datenquelle
Endenergieverbrauch für Wärme der Haushalte	5,81	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
THG-Emissionen für Wärmeverbrauch der Haushalte	1,44	t CO _{2e} /gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Endenergieverbrauch für Wärme der kommunalen Liegenschaften	0,24	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
THG-Emissionen für Wärme der kommunalen Liegenschaften	0,06	t CO _{2e} /gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Endenergiebedarf Wärme für Wohngebäude	0,12	MWh/m ² Wohnfläche	2019	Energie- und THG-Bilanz
Stromverbrauch zur Wärmeversorgung der Haushalte	0,52	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Endenergieverbrauch in GHD und Industrie	34,13	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
THG-Emissionen in GHD und Industrie	5,66	t CO _{2e} /gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Einsatz erneuerbarer Energien nach Energieträgern				
• Energieholz	0,69	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
• Solarthermie	0,15	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
• Umweltwärme	0,65	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
• Sonstige Erneuerbare (Industrie)	13,07	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien an lokaler Stromerzeugung	90,13	%	2019	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien an lokaler Wärmeerzeugung	36,26	%	2019	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien Strombedarf	10,30	%	2019	Energie- und THG-Bilanz
Anteil erneuerbarer Energien am Wärmebedarf	36,26	%	2019	Energie- und THG-Bilanz

Beschreibung Kennwert	Wert	Einheit	Bezugsjahr	Datenquelle
Nutzung synthetischer Brennstoffe (PtX)	-	MWh/gem. Person	2019	
Stromverbrauch für die Wärmebereitstellung	19.135	MWh	2019	Energie- und THG-Bilanz
Fläche solarthermischer Anlagen	0,20	m ² /gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Fläche PV-Anlagen	3,89	m ² /gem. Person	2019	³
Stromerzeugung KWK pro Kopf	0,39	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Wärmeerzeugung KWK pro Kopf	0,49	MWh/gem. Person	2019	Energie- und THG-Bilanz
Installierte Speicherkapazität Strom	843	kW	2021	Überlandwerk Mittelbaden
Installierte Speicherkapazität Wärme	k.A.			
Hausanschlüsse in Gasnetzen	3.021	Anzahl	2023	badenovaNETZE
Länge der Transport- und Verteilleitungen in Gasnetzen	178.922	m	2023	badenovaNETZE
Hausanschlüsse in Wärmenetzen	79	Anzahl	2023	Wärmegesellschaft Kehl
Länge der Transport- und Verteilleitungen in Wärmenetzen	6.889	m	2023	Wärmegesellschaft Kehl

Tabelle 5 – Wesentliche Kennzahlen der Bestandsanalyse

³ Berechnet anhand der Installierten Leistung für PV- Anlagen (Datenquellen: Stromnetzbetreiber Überlandwerk Mittelbaden) und Annahmen zu PV-Modulgröße und Leistung nach dem Energieatlas-BW.

2. Potenzialanalyse

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

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

2.1 Energieeinsparung

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

2.1.1 Senkung des Wärmebedarfs durch Nutzerverhalten

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

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

2.2 Steigerung der Energieeffizienz

2.2.1 Effizienz der Heizungssysteme

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

2.2.2 Monitoring und Optimierung der technischen Anlagen

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

2.2.3 Energetische Sanierung der Wohngebäude und Nichtwohngebäude

Die energetische Sanierung von Gebäuden bietet einen großen Hebel, um den Raumwärmebedarf der Gebäude zu senken. In der Stadt Kehl wurden 82 % des Wohngebäudebestands vor der zweiten Wärmeschutzverordnung 1984 erbaut, d.h. zu einer Zeit, als Energieeffizienz noch keine wesentliche Rolle spielte. Anhand der Klassifizierung der Gebäude in Gebäudetypen (Gebäudealtersklasse und Gebäudart) wurde das Potenzial durch die energetische Sanierung berechnet. Konkret heißt das, dass im digitalen Zwilling für jedes Gebäude das Einsparpotenzial berechnet wurde. Dabei wurden den einzelnen Bauteilen (Dach, Fenster, Außenwand und Keller) gängige Dämmmaßnahmen der jeweiligen Gebäudetypen hinterlegt und der Wärmebedarf nach einer Sanierung anhand üblicher Bauteilflächen des Gebäudetyps ermittelt. Abbildung 20 zeigt ausgehend vom Gebäudewärmebedarf die Einsparpotenziale durch energetische Sanierung am Beispiel der Kernstadt Kehl.

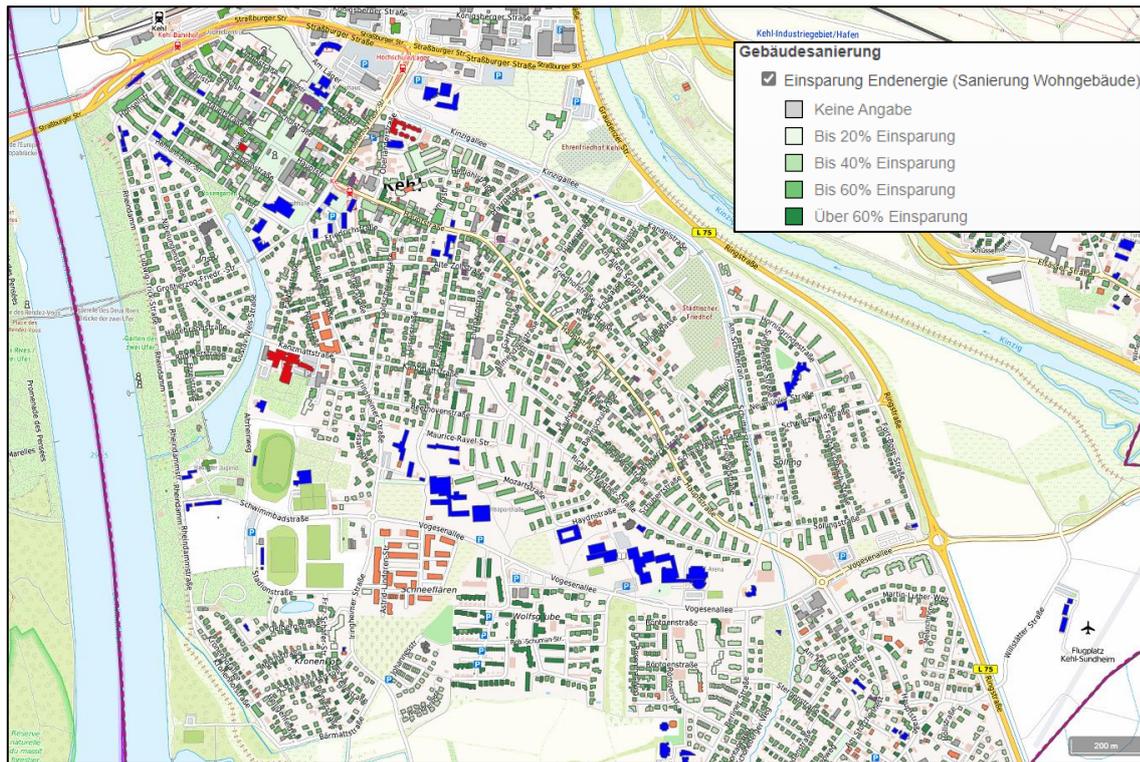


Abbildung 20 – Einsparpotenziale durch energetische Sanierung der Wohngebäude am Beispiel der Kernstadt Kehl (Quelle: Smart Geomatics GmbH 2023)

In Summe könnten 56 % des aktuellen Wärmebedarfs der Wohngebäude eingespart werden, wenn alle Wohngebäude auf den aktuellen Stand des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) modernisiert werden. In der folgenden Abbildung 21 sind sowohl der momentane Wärmeverbrauch der Wohngebäude (links) sowie das mögliche Einsparpotenzial (rechts) nochmals für die gesamte Stadt Kehl grafisch zusammengefasst. Durch die weitere Sanierung der Wohngebäude und der damit einhergehenden Energieeinsparung, könnte die Stadt Kehl die THG-Emissionen um 27.289 t CO_{2e} jährlich senken (10 % der wärmebedingten THG-Emissionen der Stadt im Jahr 2019).

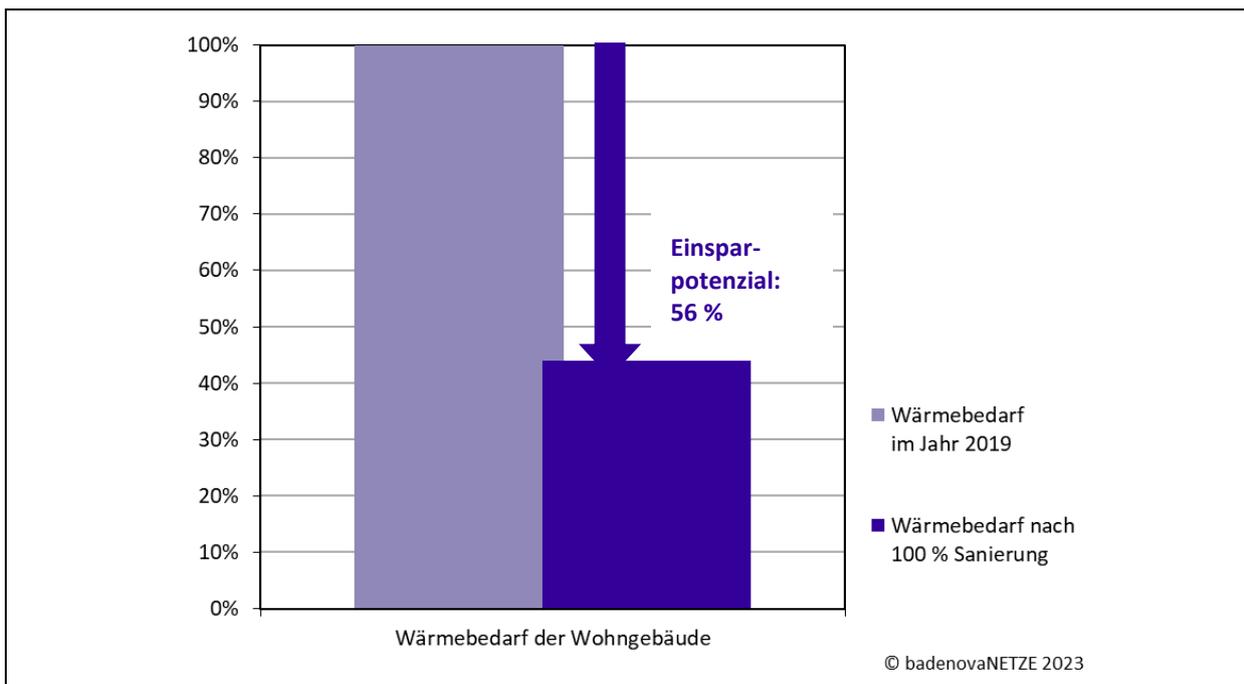


Abbildung 21 – Wärmebedarf der Wohngebäude sowie theoretisches Energieeinsparpotenzial

2.2.4 Gebäudesteckbriefe für Mustersanierungen

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

Die häufigsten Gebäudetypen der Wohngebäude in Kehl sind:

- 1) Einfamilienhaus Baualtersklasse B (Baujahr zw. 1860 – 1918)
- 2) Einfamilienhaus Baualtersklasse C (Baujahr zw. 1919 – 1948)
- 3) Einfamilienhaus Baualtersklasse D (Baujahr zw. 1949 – 1957)
- 4) Einfamilienhaus Baualtersklasse E (Baujahr zw. 1958 – 1968)
- 5) Einfamilienhaus Baualtersklasse F (Baujahr zw. 1969 – 1978)
- 6) Einfamilienhaus Baualtersklasse G (Baujahr zw. 1979 – 1983)
- 7) Einfamilienhaus Baualtersklasse I (Baujahr zw. 1995 – 2001)
- 8) Reihenhaushaus Baualtersklasse C (Baujahr zw. 1919 – 1948)
- 9) Reihenhaushaus Baualtersklasse D (Baujahr zw. 1949 – 1957)
- 10) Reihenhaushaus Baualtersklasse E (Baujahr zw. 1958 – 1968)
- 11) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse C (Baujahr zw. 1919 – 1948)
- 12) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse D (Baujahr zw. 1949 – 1957)
- 13) Mehrfamilienhaus Baualtersklasse E (Baujahr zw. 1958 – 1968)

Die oben genannten Wohngebäudetypen decken insgesamt ca. 5.900 Wohngebäude in der Stadt und damit ca. 76 % des Wohngebäudebestands in Kehl ab.

Um die Sanierungspotenziale am eigenen Gebäude für Gebäudeeigentümer greifbar und nutzbar zu machen, wurden für diese dreizehn Gebäudetypen der Stadt sogenannte Gebäudesteckbriefe erstellt (vgl. Kapitel 10.2). Die Gebäudesteckbriefe zeigen beispielhaft Mustersanierungen am jeweiligen Gebäudetyp auf und beschreiben somit die Potenziale zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle und zur Optimierung bzw. Umstellung der Wärmeversorgung konkret für den jeweiligen Gebäudetyp.

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

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

Die in den Gebäudesteckbriefen dargestellten Gebäude stellen Fallbeispiele dar, deren Eigenschaften exemplarisch für den jeweiligen Gebäudetyp sind. Die von der IWU erstellte Gebäudetypologie ermöglicht einige grundsätzliche Aussagen, die Vereinfachungen und exemplarische Betrachtungen voraussetzen, dabei jedoch die Bandbreite der Praxis nicht wiedergeben können. Viele Details der möglichen

Umsetzung von Energiesparmaßnahmen am konkreten Objekt lassen sich nur mit einem Experten vor Ort klären. Deshalb eignen sich die Gebäudesteckbriefe als erste Übersicht für Eigentümer und für den Einstieg in die Themen Energieeffizienz des Gebäudes und des Heizsystems, die im optimalen Fall von einer Energieberatung durch einen neutralen Energieeffizienzexperten vor Ort gefolgt werden.

Im Anhang 10.2 ist beispielhaft der Gebäudesteckbrief für ein Einfamilienhaus mit einem Baualter zwischen 1958 und 1968 (Baualterklasse E) abgebildet. Alle dreizehn im Rahmen des kommunalen Wärmeplans der Stadt Kehl erarbeiteten Gebäudesteckbriefe werden der Stadt Kehl digital zur Verfügung gestellt. So können diese auf der Homepage der Stadt veröffentlicht oder im Rahmen von Veranstaltungen und Sanierungskampagnen verwendet werden.

2.2.5 Raumwärme der kommunalen Liegenschaften

Die Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Kehl weist einen Wärmeverbrauch der kommunalen Liegenschaften von ca. 8.800 MWh/a aus. Unter Anwendung der Studie des Instituts für technische Gebäudeausrüstung Dresden zur Steigerung der Effizienz von Heizsystemen kann ein Einsparpotenzial von durchschnittlich 8-15 % (Rehmann, et al., 2022) angesetzt werden, so dass ohne Gebäudesanierungen der Verbrauch um mindestens 704 bis 1.320 MWh/a gesenkt werden kann.

Im Rahmen der Einführung des European Energy Award in der Stadt Kehl wurden auch Potenziale zur Energieeinsparung bei der Raumwärme der kommunalen Liegenschaften ermittelt.

2.2.6 Prozesswärme

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

Weitere Potenziale bietet die Wärmerückgewinnung. Bei der industriellen Wärmeerzeugung werden durchschnittlich 40 % der Abwärme an die Umgebung abgegeben. Die bisher ungenutzte Abwärme kann für das Heizen von Gebäuden, das Aufbereiten von Warmwasser oder zur Vorwärmung von Verbrennungs- und Trocknungsluft verwendet werden. Kann die Wärme nicht im Betrieb genutzt werden, kann sie zudem ausgekoppelt und über ein Wärmenetz weitere Gebäude beheizen (siehe auch Abschnitt 2.3.6).

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

Die Potenziale zur Senkung des Prozesswärmebedarfs lassen sich nur durch eine Untersuchung der bestehenden Anlagen und Prozesse der jeweiligen Betriebe genau beziffern. Eine solche Erhebung übersteigt den Rahmen des kommunalen Wärmeplans. Im Austausch mit den potenziell in Frage kommenden Unternehmen hat sich ergeben, dass Potenziale vorhanden sind, diese aber dem geplanten Unternehmenswachstum gegenüberstehen, sodass sich diese beiden Effekte, Effizienzsteigerung und Wachstum, ausgleichen.

2.3 Erneuerbare Energien für die Wärmeversorgung

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

2.3.1 Biomasse

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

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

Eine effektive Nutzung von Biomasse wird durch eine Kaskadennutzung erreicht. An der Spitze dieser Pyramide steht die Nutzung von Biomasse als Nahrungsmittel. In einer zweiten Nutzungsstufe wird eine stoffliche Nutzung der Biomasse, wie beispielsweise die Herstellung von Baustoffen oder Verpackungsmaterialien, überprüft. Erst im Anschluss ist eine energetische Nutzung sinnvoll. In dieser Studie wird daher der Schwerpunkt auf das Energiepotenzial von Reststoffen gelegt, die bisher keinem Verwertungspfad unterliegen oder durch einen kosteneffizienten und ökologischen Verwertungspfad ersetzt werden können. In den folgenden Abschnitten werden die in der Stadt Kehl lokal verfügbaren Potenziale zur Erzeugung von Biogas und zur energetischen Verwertung fester Biomasse (Energieholz) quantifiziert.

2.3.1.1 Biogassubstrat- und Energiepotenziale aus der Landwirtschaft

Die Ermittlung der Biogaspotenziale für die Stadt Kehl erfolgte mithilfe statistischer Kennzahlen sowie einer Befragung bei einigen Betrieben. Laut dem Statistischen Landesamt wurde im Jahr 2019 in der Stadt Kehl eine Fläche von 3.897 ha landwirtschaftlich genutzt (STALA (2022)). Bei der Bewirtschaftung dieser Flächen entstehen unterschiedliche Reststoffe, die sich für den Betrieb einer Biogasanlage eignen. Tabelle 6 gibt eine Übersicht dieser Reststoffe und deren energetischen Potenziale in der Stadt Kehl.

Die Nutzung von tierischen Exkrementen als Biogassubstrat ist ökologisch sinnvoll, denn die vergorene Gülle bzw. der ausgefaulte Festmist kann nach der Nutzung in einer Biogasanlage in Form von Biogasgülle als hochwertiger organischer Dünger auf das Feld ausgebracht werden. Die von dem statistischen Landesamt angegebenen Tierbestände in der Stadt Kehl ergeben ein energetisches Potenzial der tierischen Exkremente von ca. 1.356 MWh/Jahr.

Das Energiepotenzial der Ackerpflanzen verteilt sich in Kehl auf 25 Haupterwerbslandwirte und 45 Nebenerwerbslandwirte. Eine ökologische Bewertung der Nutzung dieser Biomasse ist abhängig von der Tatsache, ob diese Reststoffe als organischer Dünger oder zur Tierernährung genutzt werden. Im ersten genannten Fall stellt die Nutzung dieser Reststoffe in einer Biogasanlage eine Wertschöpfung dar, da am Ende des Biogasprozesses erneut ein hochwertiger Dünger entsteht. Bei Letzterem ist eine Falluntersuchung notwendig, ob die als Tierfutter genutzte Biomasse kostengünstig und unter ökologischen Gesichtspunkten äquivalent substituiert werden kann.

Reststoffquelle	Anbaufläche (ha) Quelle: STALA 2020	Energetisches Potenzial (MWh/Jahr)
Ackerpflanzen	2.805	23.768
Dauergrünlandflächen	885	4.100
Obstanbau	8	35

Tabelle 6 – Energetisches Potenzial einiger landwirtschaftlichen Reststoffe in der Stadt Kehl

2.3.1.2 Biogassubstrat- und Energiepotenziale aus organischen Abfällen

Eine energetische Nutzung von Rest- und Abfallstoffen ist aus ökologischer Sicht sehr attraktiv, da keine Konkurrenz zu Nahrungsmitteln besteht und es sich teilweise um Abfallstoffe handelt, die bisher entsorgt werden müssen. Die Hausmüllabfälle des Ortenaukreises werden seit den 90er Jahren in der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) auf dem Gelände der Kahlenberg Deponie energetisch verwertet. Durch den Zweckverband Abfallbehandlung Kahlenberg (ZAK), zu dem der Ortenaukreis und der Landkreis Emmendingen gehört, werden jährlich rund 102.000 Tonnen Hausmüll verarbeitet. Die organischen Bestandteile des Hausmülls erzeugen in der MBA mittels bakterieller Unterstützung Biogas. Daher gibt es in dem Bereich keine weiteren Potenziale für die Stadt Kehl.

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

2.3.1.3 Gesamterzeugungspotenzial Biogas

Ausgehend von den vor Ort erzeugten organischen Reststoffen, ergibt sich ein der landwirtschaftlichen Biogasproduktion hinzuaddiertes technisches Potenzial für die Stadt Kehl von 29.260 MWh/Jahr, was im Rahmen einer Stromerzeugung einem elektrischen Erzeugungspotenzial von ca. 11.100 MWh/Jahr und einer Leistung mit ca. 1.635 kW_{el} sowie einem Nettowärmepotenzial von ca. 9.500 MWh/Jahr bzw. 1.400 kW_{th} entsprechen würde⁴.

2.3.1.4 Energieholz

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

In der Stadt Kehl beläuft sich die Gemeindewaldfläche auf 1.121 ha. Das eingeschlagene Holz wird teilweise energetisch genutzt und als Hackschnitzel (370 fm/Jahr) und Brennholz (3.103 fm/Jahr) verwendet. Zusätzlich werden 2.036 fm/Jahr stofflich genutzt. Auf Grundlage der Informationen des zu-

⁴ Für die Berechnung des Erzeugungspotenzials für Wärme und Strom wurden folgenden Annahmen getroffen: Mit den verfügbaren Substratpotenzialen wird eine Anlage für 6.800 Volllaststunden ausgelegt. Elektrischer Wirkungsgrad von 38 %, thermischer Wirkungsgrad von 54 %. Dabei werden 40 % der erzeugten Wärme für den Eigenbedarf der Anlage benötigt.

ständigen Forstamtes kann festgestellt werden, dass die Waldfläche in Kehl bereits nachhaltig bewirtschaftet wird und der ungenutzte Zuwachs dem Wiederaufforstungsprogramm unterliegt. Zusätzliche energetische Potenziale sind daher nicht vorhanden.

2.3.2 Oberflächennahe Geothermie

Bei der Oberflächennahen Geothermie werden solche Erdwärmepotenziale betrachtet, die in bis zu 400 m Tiefe erschließbar sind. Sie wird ausschließlich zur Wärmeversorgung und nicht zur Stromerzeugung genutzt. Dabei wird die in oberflächennahen Erdschichten vorhandene niedrigtemperierte Wärme mit einer Sole aufgenommen und dann in einem Kühlmittelkreislauf mittels einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gehoben. Dieses ermöglicht in der Folge das Heizen eines Gebäudes. In Abbildung 22 sind die verschiedenen Techniken zur Beheizung oder Kühlung von Gebäuden mit Erdwärme dargestellt. Welches System seine Anwendung findet, hängt wesentlich vom Bedarf, von den Untergrundverhältnissen und von der zur Verfügung stehenden Fläche ab. Für gewerbliche Zwecke, größere Gebäude und Gebäudegruppen bieten sich Erdwärmesonden und Grundwasserbrunnen an. Einfamilienhäuser können vor allem die Erdwärmesonde oder auch Kollektorsysteme nutzen.

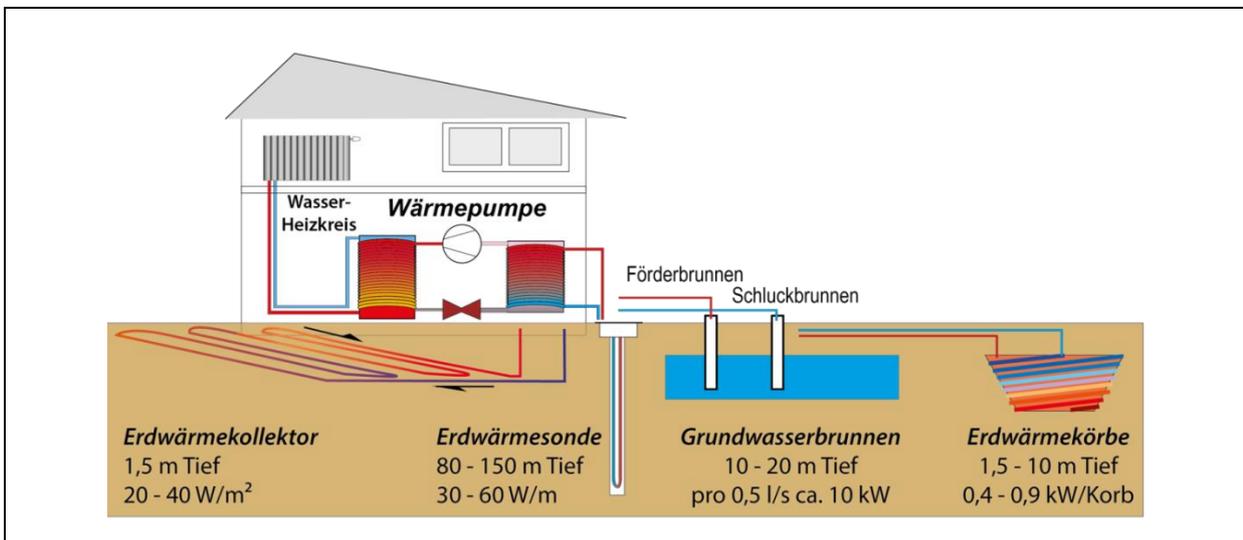


Abbildung 22 – Techniken der Oberflächennahen Geothermie und ihre Leistungsfähigkeit

Das nutzbare Potenzial der Oberflächennahen Geothermie kann wesentlich durch Wasserschutz-zonen oder durch Anhydrit führende Gesteinsschichten eingeschränkt werden, da in diesen Gebieten die Nutzung nur sehr bedingt, bis gar nicht möglich ist. Auf der Gemarkung Kehl ist weder das eine noch das andere gegeben. Erdwärme kann hier auf der gesamten Gemarkung sowohl mit Erdwärmesonden, mit Kollektoren als auch mit Grundwasser gehoben werden.

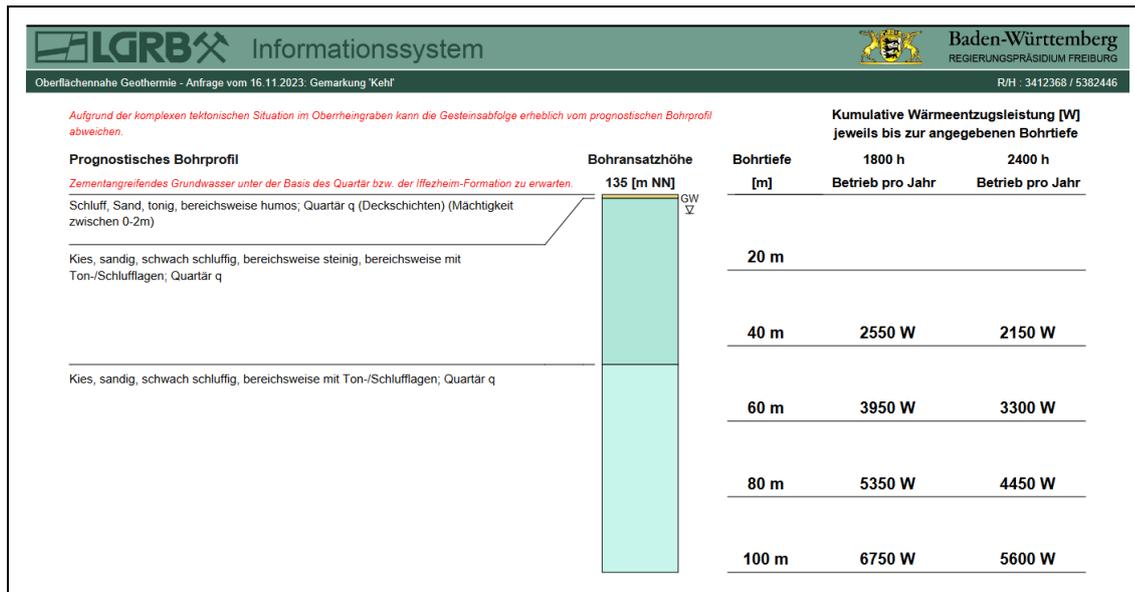


Abbildung 23 – Beispielhafte geologische Profilabfolge im Innenstadtbereich von Kehl nach LGRB

2.3.2.1 Erdwärmesonden

Geologisch betrachtet bietet der Untergrund von Kehl ausreichend Potenzial für die Anwendung von Erdwärmesonden. Die Wärmeleitfähigkeiten des oberflächennahen Untergrundes und die geologisch bedingten thermischen Entzugsleistungen von Sonden, so wie sie von dem Informationssystem für oberflächennahe Geothermie Baden-Württemberg (ISONG-BW) angegeben werden (Abbildung 23), liegen weitestgehend im sehr gut geeigneten Bereich.⁵ Im allgemeinen ist der Untergrund in Kehl für die Abteufung von Erdwärmesonden geeignet. Registriert sind momentan ca. 25 Anlagen mit zusammen 70 Erdwärmesonden bei einer mittleren Länge von 73 m und einer kumulierten Länge von 5.097 m. Diese Angaben sind als Mindestwerte zu betrachten, da insbesondere ältere Sonden nicht immer registriert sind.

Auf der Grundlage der thermischen Werte und der Daten zum Wärmebedarf der Bestandsgebäude konnten die Potenziale zur Nutzung von Erdwärmesonden ermittelt werden. Zunächst wurde das technische Potenzial für jedes Wohngebäude ermittelt. Dabei wird berechnet, wie viele Erdwärmesonden⁶ benötigt werden, um den Wärmebedarf des Gebäudes zu decken. Es wird sowohl mit dem aktuellen Wärmebedarf (2021), als auch mit dem Wärmebedarf nach energetischer Sanierung der Gebäudehülle für die Jahre 2030 und 2040 gerechnet. Dabei wird eine Sanierungsquote angenommen, die ab 2028 einen Wärmebedarfsanteil von 2 % pro Jahr einspart. Wichtige Kriterien sind zudem, ob ausreichend Platz auf dem Grundstück für die entsprechende Anzahl der Bohrungen vorhanden ist. Gebäude die mehr als vier Sonden benötigen, um den Wärmebedarf zu decken, werden bei der Betrachtung des wirtschaftlichen Potenzials ausgeschlossen. Die Potenzialberechnung gründet folglich auf dem berech-

⁵ Die Wärmeleitfähigkeiten des Bodens liegen im Bereich von < 0,8 bis 1,6 W/mK. Geologisch bedingte thermische Entzugsleistungen liegen im Bereich von 45 bis 65 W/m Sondenlänge bei 100 m Gesamtlänge. Für Potenzialberechnungen von Einzelsonden werden Werte bis maximal 50 W/m benötigt, für die von Erdwärmesondenfeldern maximal 30 W/m.

⁶ Es wurde mit einer technisch-ökonomisch optimalen Länge von 120 m gerechnet

neten Wärmeentzug mit bis zu vier Erdwärmesonden bei jeweils 120 m Sondenlänge. Die zugrundeliegenden Berechnungsformeln sind in (Miocic & Krecher, 2022) hinterlegt und berücksichtigen jedes Wohngebäude, unabhängig vom Alter des Gebäudes.

Das technische Potenzial zur Deckung des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude über Erdwärmesonden liegt in Kehl bei ca. 102.198 MWh/Jahr, was 39 % des Wärmebedarfs der Wohngebäude entspricht. Bis zum Jahr 2040 erhöht sich dieser Anteil aufgrund der Gebäudesanierung auf 40 % des dann erwarteten Wärmebedarfs. Abbildung 24 zeigt einen Ausschnitt des Wärmeentzugspotenzials für Erdwärmesonden je Flurfläche. Die Werte liegen überwiegend im Bereich zwischen 12.000 und 35.000 kWh/Flur. Die nicht-farbigten Flächen unterliegen unbestimmten Einschränkungen durch die Behörde. Eine geothermische Bedarfsdeckung konzentriert sich vor allem auf die Wohngebiete mit überwiegend Einfamilienbehausung. Im zentralen Stadtgebiet ist das Potenzial geringer, da das Alter und der hohe Wärme- bzw. Leistungsbedarf der Gebäude einer effizienten und wirtschaftlichen Anwendung im Wege stehen. In den eng bebauten Arealen sind dazu auch die Grundstücksflächen oft zu klein, um mehrere oder auch nur eine Erdwärmesonde abzuteufen.

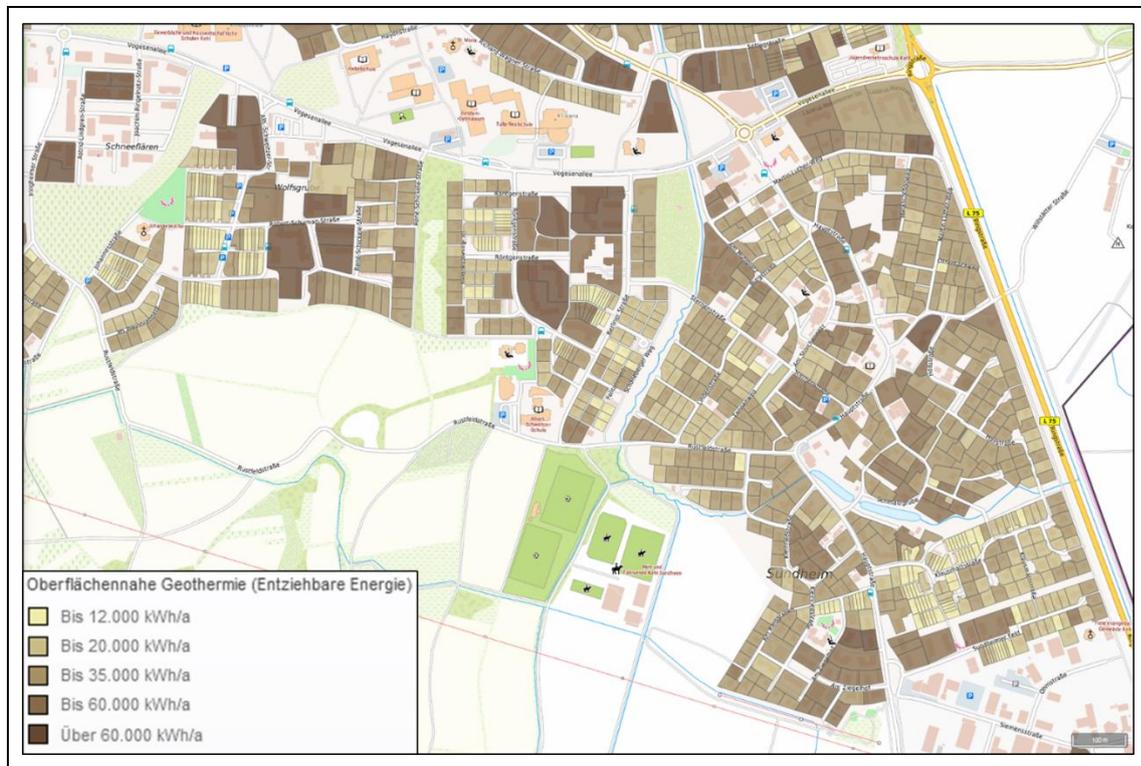


Abbildung 24 – Maximales Wärme-Entzugspotenzial zur Deckung des Gebäudewärmebedarfs mit Erdwärmesonden je Flurfläche (Auszug)

2.3.2.2 Grundwasser

Ein weiteres Potenzial bietet die Installation von Grundwasserbrunnen. Voraussetzung für die Nutzung von Grundwasserwärme ist zunächst, dass das Grundwasser in einer Tiefe von ca. 10 bis 20 m in ausreichenden Mengen förderbar ist. Die oberflächennahe Geologie ist auf der Gemarkung Kehl von sandigen Schottern des Quartärs in bis zu über 100 m Tiefe u. GOK geprägt. Die jüngeren Schotter, die so genannte Obere Ortenau-Formation, reicht bis in ca. 60 m Tiefe u. GOK und weist sehr hohe Grundwasser-Durchlässigkeitsbeiwerte von 5 bis 10×10^{-3} m/s auf. Am niedrigsten sind diese bei Kork mit ca. 1 bis 2×10^{-3} m/s (Abbildung 25). Die Untere Ortenau-Formation weist nur etwas geringere Durch-

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

Die Brunnenförderleistung wird über die Dupuit-Thiem-Formel für die Grundwasserabsenkung und mit Hilfe der Sichard-Formel für die Trichterweite berechnet. Es wird mit Durchlässigkeitsbeiwerten $k_F = 0,01$ und $0,001$ m/s gerechnet. Die erschlossene Mächtigkeit h_M des Grundwasserführenden Lockergesteins soll 12 m betragen (3 m Auflager bei 15 m Brunnentiefe). Die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf des Brunnenwassers soll im Fall W10/W35 maximal 4 K betragen und die maximale Grundwasserabsenkung wird bei 0,5 m festgelegt.

Für die Förderleistungen der Brunnen im Raum Kehl können unter diesen Bedingungen zwischen > 8 und 25 l/s angesetzt werden. Bei einem Brunnensystem lassen sich damit mit ausreichender Effizienz thermische Leistungen von mindestens 0,5 und bis 1 MW erzeugen, je nach zu erreichendem Leistungskoeffizienten der Wasser-Wasser-Wärmepumpe.

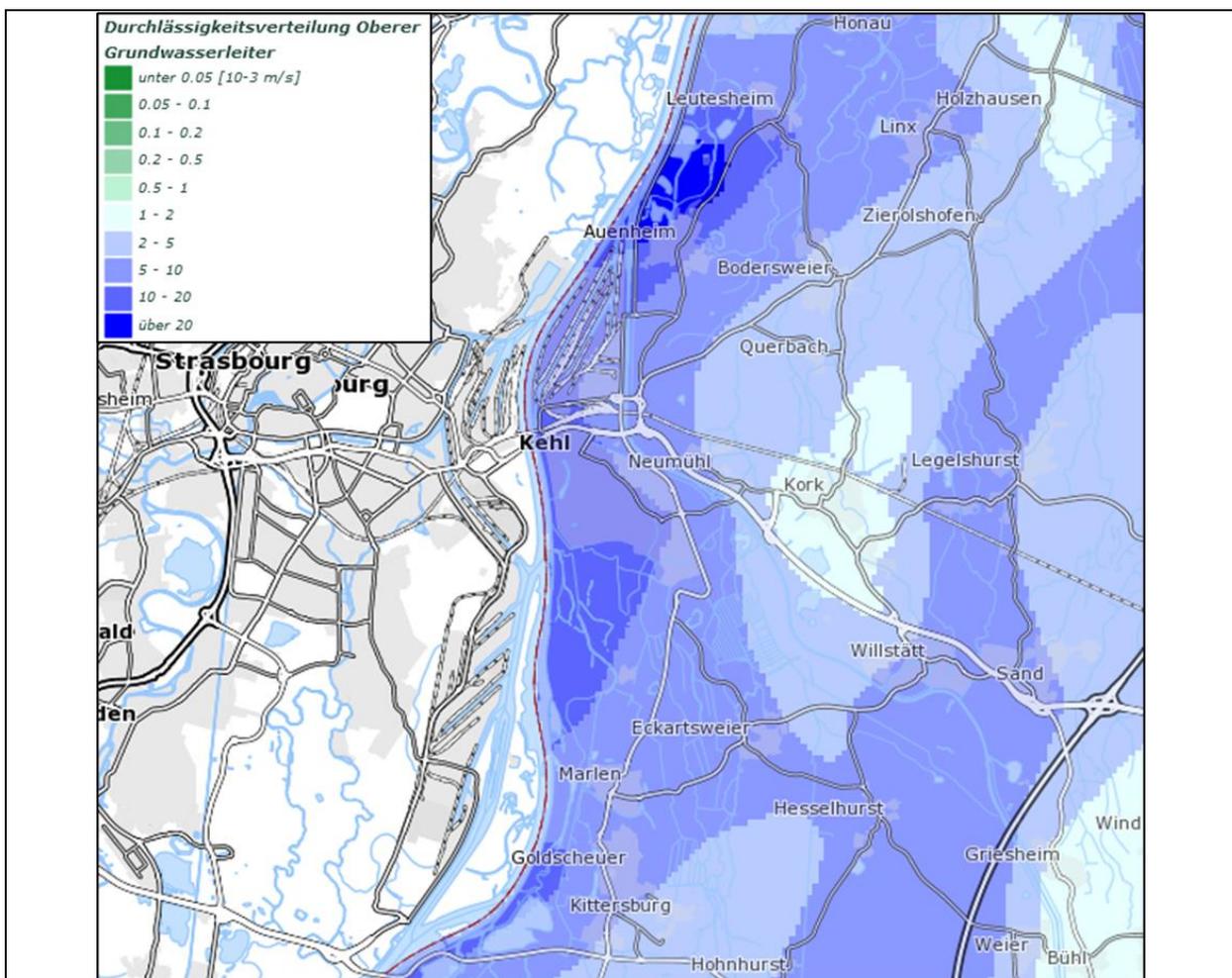


Abbildung 25 – Durchlässigkeit der Grundwasser führenden Gesteine nach LGRB Baden-Württemberg

Eine genaue Angabe des kumulierten Potenzials zur Wärmezeugung aus dem Grundwasser lässt sich für das gesamte Stadtgebiet nicht berechnen, ist aber insgesamt als sehr hoch einzustufen. Je mehr Grundwasserbrunnen zur Wärmeversorgung gegründet werden, desto mehr kommt es zu erheblichen Beeinflussungen für benachbarte Brunnen durch die Wiedereinleitung des abgekühlten Wassers in den Aquifer. Diese Einflüsse sowie die Grundwasserqualitäten selbst sind von Fachleuten und Brunnenbauern bei Bedarf zu begutachten.

2.3.2.3 Risiken der Oberflächennahen Geothermie

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

- Bohrtechnische Schwierigkeiten durch Karsthohlräume

Aufgrund der hierzu relevanten Tiefenlage des Tertiärgesteins von mehr als 150 m u. GOK. ist bei den anvisierten Sondertiefen von maximal 120 m nicht mit bohrtechnischen Schwierigkeiten zu rechnen.

- Sulfathaltige, aggressive Wässer

Aufgrund der hierzu relevanten Tiefenlage des Tertiärgesteins von mehr als 150 m u. GOK. und dem hohen Grundwasserfluss im Quartär ist bei den anvisierten Sondertiefen von maximal 120 m nicht mit aggressiven Wässern zu rechnen.

- Erdgasaustritt

Aufgrund der hierzu relevanten Tiefenlage des Tertiärgesteins von mehr als 150 m u. GOK. ist bei den anvisierten Sondertiefen von maximal 120 m ist kein Erdgasaustritt gegeben.

Insgesamt sind keine relevanten Bohrrisiken zu erwarten. In den weitaus meisten Fällen sind diese technisch handhabbar, falls sie doch auftreten sollten. Ein Abteufen von Bohrungen bis in das Tertiärgestein wird von der Behörde sehr restriktiv gehandhabt.

2.3.3 Tiefengeothermische Potenziale

Die Tiefengeothermie wird grob unterschieden in eine hydrothermale und in eine petrothermale Tiefengeothermie. Die Abbildung 26 stellt den Unterschied zwischen den beiden grundlegenden Verfahren dar. Bei der hydrothermalen Tiefengeothermie werden thermalwasserführende Gesteinshorizonte angebohrt und zur Wärmeversorgung genutzt. Mit der petrothermalen Geothermie wird ein natürliches Wärmereservoir in großer Tiefe durch hydraulische Stimulierverfahren erschlossen.

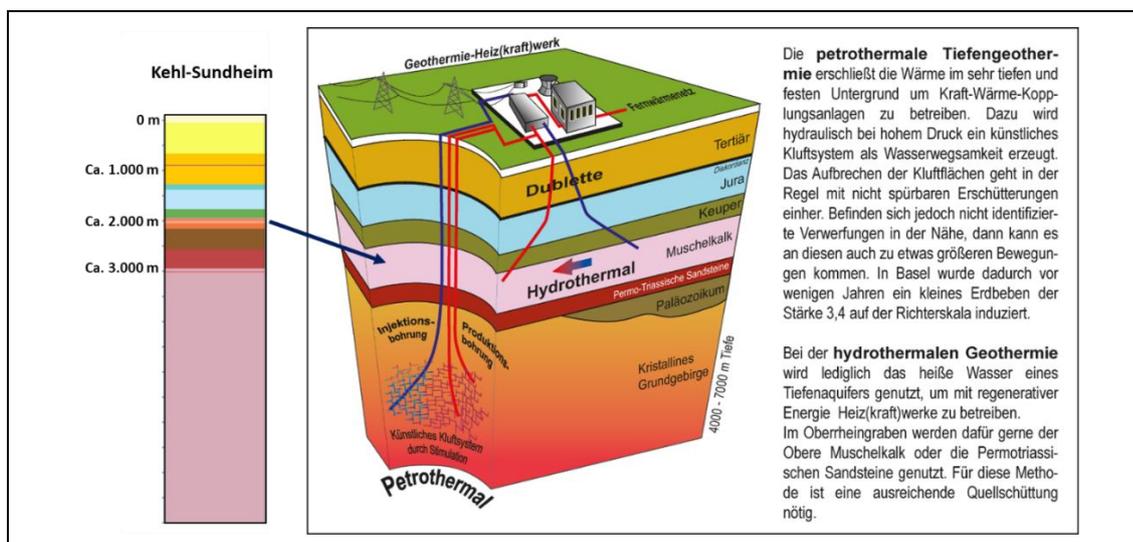


Abbildung 26 – Unterscheidung der zwei grundlegenden tiefengeothermischen Verfahren und Lage des Oberen Muschelkalks in Kehl-Sundheim (aus GeORG-Kartenviewer)

Im Interreg IV Projekt "GeORG" (Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben) wurden im Zeitraum von Oktober 2008 bis Dezember 2012 in einem länderübergreifenden Projekt mit Partnern aus der Schweiz, Frankreich und Deutschland Grundlageninformationen des Untergrundes im Oberrheingraben erarbeitet und der Fachwelt und Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Auf der Grundlage von bestehenden seismischen Profilen konnten wesentliche Erkenntnisse über den Untergrund des Potenzialgebietes gewonnen werden, die zwei statistischen Schnitten zusammengeführt wurden. In den Profilen liegen die relevanten Thermalwasserhorizonte in 1.600 bis 2.800 m u. GOK innerhalb einer ausgedehnten Grabenstruktur. Dabei handelt es sich um den Hauptrogenstein, dem Oberen Muschelkalk und die permotriassischen Sandsteine. Alle Tiefenlagen dieser Horizonte sind ausreichend zur Anwendung der tiefen Geothermie. Die in den entsprechenden Tiefen anzutreffenden Temperaturen konnten über das Informationssystem Tiefe Geothermie (Geot-IS, <https://www.geotis.de/geotisapp/geotis.php>) bezogen werden. Für die Berechnung von Maximal- und Minimalwerten der Wärmegewinnung wurden die Fehlergrenzen dieser Temperaturangaben benutzt, außerdem Thermalwasserdichtewerte sowie weitere relevante Angaben aus (Stober & Bucher, 2012). In der folgenden Tabelle 7 sind die Berechnungsergebnisse am Standort Kehl-Sundheim hinsichtlich der potenziell generierbaren Wärmemengen und thermischen Kapazitäten zusammengefasst. Am Standort Goldscheuer liegen etwas höhere Potenziale vor, allerdings keine ausreichende Abnehmerstruktur.

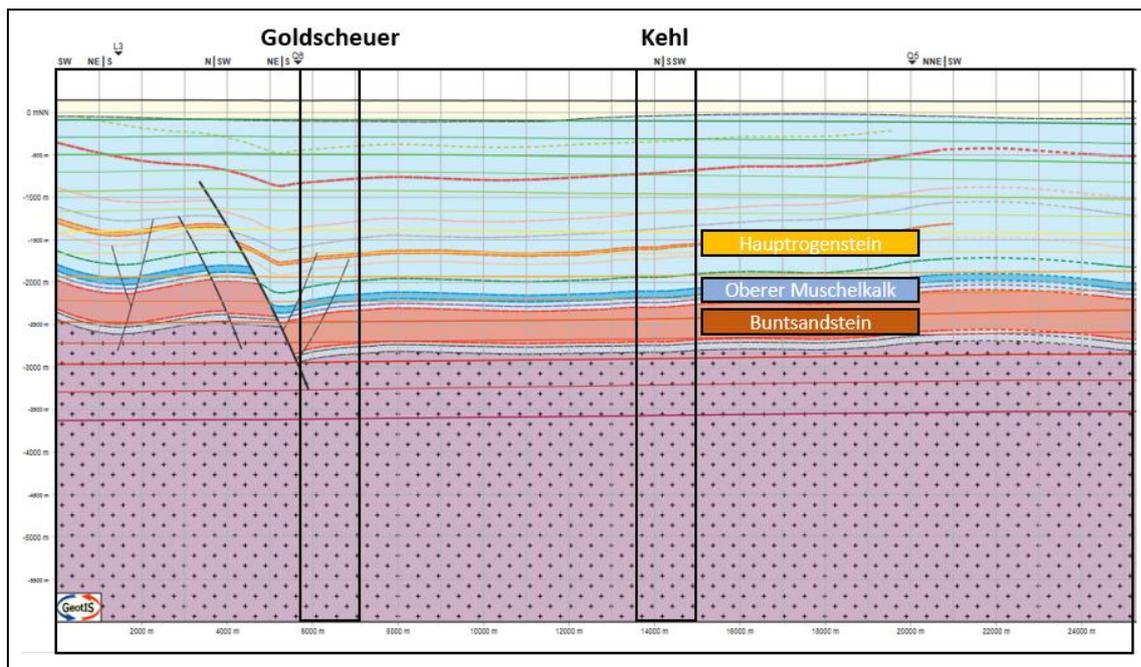


Abbildung 27 – Geologisch interpretiertes Nord-Süd-Profil durch den Oberrheingraben auf Höhe von Kehl (aus Geot-IS)

In der Tabelle 7 sind die berechneten Potenzialwerte in MWh und in MW für verschiedene Thermalwasserhorizonte und geothermische Temperaturgradienten eingetragen. Als Mindest-Potenziale gelten die bei einem normalen thermischen Gradienten von 3°C je 100 m Tiefe berechneten Werte, die ebenfalls angegeben sind. Alle Daten stellen Szenariowerte dar, die unter der Annahme von bestimmten Thermalwasser-Fördermengen und anlagenspezifischen Werten zu erreichen sind. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung können die Mittelwerte der Berechnungen als Potenziale herangezogen werden, die in Tabelle 7 gelb markiert sind.

Wärmemengenlieferung MWh/a	Kehl-Sundheim			Standardgradient 3°C/100 m
	MIN	MITTEL	MAX	
Hauptrogenstein	28.965	36.076	43.187	11.788
Oberer Muschelkalk	39.069	66.775	94.480	32.174
Buntsandstein	23.041	43.516	63.992	18.945

Wärmeleistung MW	Kehl-Sundheim			Standardgradient 3°C/100 m
	MIN	MITTEL	MAX	
Hauptrogenstein	4,3	5,3	6,4	1,7
Oberer Muschelkalk	5,8	9,9	14,0	4,8
Buntsandstein	3,4	6,4	9,5	2,8

Tabelle 7 – Potenzialwerte für die Anwendung der hydrothermalen Geothermie in Kehl-Sundheim

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

Notwendig wären dafür tieferreichende Bohrungen in bis zu 2.500 m Tiefe. Insbesondere in den dicht bebauten Siedlungsbereichen der Stadt Kehl könnten die Gebäude durch etwas größere induzierte Mikrobeben, die nicht immer zu vermeiden sind, Schaden nehmen. Insgesamt ist daher die hydrothermale Geothermie vorzuziehen.

2.3.4 Umweltwärme

Neben der Nutzung von Geothermie als Wärmequelle kann auch die enthaltene Wärmeenergie der Umgebungsluft genutzt werden. Sogenannte Luft-Wasser-Wärmepumpen entziehen der Umgebungsluft Wärme und geben sie auf einem höheren Temperaturniveau an das Heizsystem ab. Je niedriger der Temperaturhub zwischen Quelle und Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeiten Luft-Wasser-Wärmepumpen. Im Vergleich zu Erdwärmepumpen, die das ganze Jahr über eine gleichbleibende Wärmequelle verfügen, sind Luft-Wasser-Wärmepumpen weniger effizient, aber in den Anschaffungskosten günstiger. Zudem sind die baulichen Voraussetzungen geringer und dadurch die Installation nahezu in jedem Gebäude möglich. Diese Technologie kann nicht nur in energetisch effizienten Neubauten, sondern auch im Bestand eingesetzt werden. Ein ökologischer und ökonomischer Betrieb wird bei dieser Technologie durch möglichst niedrige Heizsystemtemperaturen bestimmt. Dabei müssen nicht unbedingt Flächenheizsysteme eingesetzt werden, sondern oftmals reichen die vorhandenen, überdimensionierten Heizkörper bereits aus. Eine energetische Sanierung der Gebäudehülle unterstützt den effizienten Einsatz einer Wärmepumpe.

Eine Einschränkung bzw. ein Ausschlusskriterium der Luft-Wasser-Wärmepumpe ist der Lärmschutz. Für benachbarte Grundstücke müssen die Grenzwerte der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) für die jeweiligen Gebiete eingehalten werden. Bezogen auf die Stadt Kehl wird die Wärmepumpe, insbesondere der Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen, vor allem im privaten Bereich eine entscheidende Rolle bei der Umstellung von fossil betriebenen Heizanlagen auf erneuerbare Energien spielen. Die Eignung der einzelnen Gebäude muss gesondert betrachtet werden. Das auf Basis eines Wärmepumpenkatasters der badenovaNETZE GmbH berechnete Potenzial für Luft/Wasser-Wärmepumpen beträgt ca. 54.560 MWh/a bezogen auf den heutigen Gebäudewärmebedarf. Das entspricht einer potenziellen Abdeckung des Wohngebäude-Wärmeverbrauchs von ca. 21 %. Bis ins Jahr 2040 kann dieser Anteil durch die Gebäudesanierung auf ca. 97.750 MWh/a gesteigert werden, was

dann einen Deckungsanteil von bis zu 48 % bedeuten könnte. Dabei werden nur Wärmepumpen berücksichtigt, die bei der Wärmeversorgung der bis zum Jahr 2040 teilsanierten Gebäude eine Jahresarbeitszahl von dann mindestens 2,8 erreichen. Damit wird die Bedeutung der Gebäudesanierung nochmals hervorgehoben.

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von Umweltwärme sind Oberflächengewässer wie Flüsse und Seen. Hier könnte in Zukunft der Rhein als Wärmequelle für eine Großwärmepumpe in Betracht gezogen werden. Beispielsweise leistet die Flusswärme des Rheins einen Beitrag zum Energieträgermix der Fernwärmenetze in der Stadt Mannheim. Am Standort Kehl wäre das Genehmigungsverfahren aufwendiger, da an der deutsch-französischen Grenzstrecke verschärfte gesetzliche Regelungen zu beachten sind. Ebenfalls zu prüfen gilt, ob sich auch die Kinzig als Wärmequelle anbieten würde.

2.3.5 Solarthermie

Die Stadt Kehl hat aufgrund ihrer Lage in Süddeutschland eine günstige Solareinstrahlung, welche für die Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden kann. Laut Globalstrahlungsatlas der LUBW liegt hier der jährliche Energieertrag, bezogen auf eine horizontale Fläche, bei 1.111 kWh/m² und damit über dem bundesdeutschen Durchschnitt (LUBW, (2023)). Im Jahr 2019 wurden in Kehl ca. 0,5 % des Wärmeverbrauchs der Stadt durch Solarthermieanlagen gedeckt.

Bei der Ermittlung der Potenziale zur Erzeugung von Wärme aus Solarenergie stehen Dachflächenpotenziale im Vordergrund, da bei der Erschließung dieser Potenziale kein zusätzlicher Flächenverbrauch bzw. keine Versiegelung von Flächen erforderlich ist. Zudem kann die erzeugte Wärme direkt im Gebäude genutzt werden. Solche Anlagen sind bereits etabliert und Richtwerte für das Erzeugungspotenzial und die Wirtschaftlichkeit verfügbar, so dass sich das Potenzial auch zuverlässig ermitteln lässt.

2.3.5.1 Wärmeerzeugungspotenziale auf bestehende Dachflächen

Die Solarstrahlung auf Dachflächen kann sowohl zur Erzeugung von Wärme (Solarthermie) als auch von Strom (Photovoltaik) genutzt werden. Bei der Berechnung des solarenergetischen Potenzials der LUBW wird davon ausgegangen, dass das zur Verfügung stehende Dachflächenpotenzial vollständig zur Erzeugung von Strom durch PV-Module genutzt wird. Um die Potenziale zur Erzeugung von Wärme zu berücksichtigen, wurde in dieser Studie davon ausgegangen, dass das Dachflächenpotenzial nicht vollständig mit PV-Modulen belegt wird, sondern zusätzlich Wärme durch Solarthermie erzeugt wird. Etwa 60 % des Warmwasserbedarfs eines Wohngebäudes kann in der Regel durch Solarthermieanlagen erzeugt werden. Zur Berechnung des wirtschaftlichen Potenzials zur Wärmeerzeugung mit Solarthermie auf Dachflächen, wurde anhand dieser Kennzahl berechnet. Für die Berechnung der Potenziale zur Stromerzeugung auf Dachflächen (siehe Abschnitt 2.4.3) wurden dementsprechend die Potenzialflächen für die Wärmeerzeugung vom Gesamtpotenzial abgezogen.

Die Potenziale zur anteiligen Deckung des Energiebedarfs zur Warmwasserbereitstellung durch Solarthermie belaufen sich zusätzlich zu den Bestandsanlagen (5.634 MWh) auf 13.655 MWh und damit auf insgesamt rund 1 % des Wärmeverbrauchs der Stadt Kehl. Durch die Ausschöpfung des Potenzials und der erhöhten Erzeugung von Solarwärme könnten, im Vergleich zum mittleren Emissionsfaktor des Wärmeverbrauchs, insgesamt 2.091 t CO_{2e} /Jahr vermieden werden.

2.3.5.2 Wärmeerzeugungspotenziale auf Freiflächen

Wärme aus Solarenergie auf Freiflächen wird in der Regel nur dort eingesetzt, wenn in der direkten Umgebung auch eine Wärmeabnahme oder die Einspeisung in ein Wärmenetz möglich ist. Beim Ausbau von zentraler Wärmeversorgung sollten in Zukunft solche Anlagen als eine potenzielle Wärmequelle in Betracht gezogen werden, da sie einen Beitrag zur klimaneutralen und erneuerbaren Versorgung darstellen. Um die Versiegelung neuer Flächen zu vermeiden, können auch bereits versiegelte Flächen, wie Parkplätze als Potenziale betrachtet werden. Ein wirtschaftliches Potenzial lässt sich erst

abschätzen, wenn genauere Angaben zu den einzelnen Wärmenetzen und der zur Verfügung stehenden Flächen bekannt sind. Letztere sollten – im Gegensatz zu Photovoltaik-Freiflächen - in der direkten Nachbarschaft zur Wärmesenke errichtet werden. Daraus resultieren deutlich größere Einschränkungen für die Freiflächen-Solarthermie als für die Stromerzeugung auf Photovoltaik-Freiflächen.

2.3.6 Abwärmepotenziale

2.3.6.1 Abwärmepotenziale im Gewerbe

Das Abwärmepotenzial der Badischen Stahlwerke (BSW) ist durch das grenzüberschreitende Wärmeprojekt „Calorie Kehl – Straßburg“ weitestgehend bekannt. Die BSW betreibt zwei Elektrolichtbogenöfen, in denen der Schrott mit elektrischer Energie zu Flüssigstahl aufgeschmolzen wird. Dabei fallen beträchtliche Abwärmemengen in Form von bis zu 1.300 °C heißen Abgasen an. Bislang entweicht die Abwärme über die wassergekühlten Abgasstrecken und die Wasserrückkühlung in den Kühltürmen ungenutzt in die Atmosphäre. Durchschnittlich wird für beide Öfen ein Wärmestrom von 20 MW abgeführt. Auf Basis der Produktionsdaten des Stahlwerks ergibt sich daraus eine verfügbare Abwärmemenge von insgesamt 135.000 MWh pro Jahr. Etwa 70.000 MWh sollen in einer ersten Ausbaustufe unter dem Rhein hindurch nach Straßburg fließen. Über das bestehende Fernwärmenetz der Europametropole sollen damit rund 7.000 Haushalte beheizt werden. Die Abwärme soll nach Fertigstellung der Maßnahme im Jahr 2027 als 150 Grad heißes Wasser durch eine viereinhalb Kilometer lange Wärmeleitung fließen. Ein kleinerer Teil der Abwärme wird in den kommenden Jahren zudem in Kehl zur Verfügung stehen. Für die übrige Abwärme im Sommer wurden bislang keine weiteren Abnehmer gefunden. Das Abwärmepotenzial könnte in Zukunft auf 180.000 MWh pro Jahr angehoben werden. Neben den beiden Elektrolichtbogenöfen als Hauptabwärmequellen, könnten weitere Abwärmequellen, z. B. Stoßöfen, in denen gegossenen Knüppel für die weitere Verarbeitung wieder erhitzt werden, in Zukunft erschlossen werden.



Abbildung 28 – Stahlproduktion in den badischen Stahlwerken (BSW) (Calorie, 2023)

Zudem wurden im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung 30 weitere Betriebe in Kehl, die ein relevantes Abwärmepotenzial aufweisen könnten, angeschrieben und befragt. In einem weiteren Schritt wurden die Betriebe telefonisch hinsichtlich spezifischer Fragestellungen bezüglich der Produktionsprozesse bzw. der Abwärmepotenziale interviewt. Daraus ergab sich, dass ein relevantes Wärmepotenzial nur vereinzelt zu erwarten ist. Allerdings ist bisher nicht bekannt, inwiefern die Wärme zur Hauptbedarfszeit während der Heizperiode tatsächlich zur Verfügung steht. Um diesbezüglich sichere Aussagen machen zu können, wäre eine weitergehende Analyse zur Bemessung der innerbetrieblichen Optimierungspotenziale und der exakten Abwärmebeträge notwendig.

Bei allen anderen Unternehmen hat sich kein bedeutendes Abwärmepotenzial aus Prozessen ergeben. Dabei spielten neben den energetischen Gegebenheiten auch betriebswirtschaftliche Gründe eine Rolle.

Im Rahmen der Eignungsgebiete für die zentrale Wärmeversorgung und bei der Umsetzung der Maßnahmen des kommunalen Wärmeplans sollte geprüft werden, ob die anfallende Abwärme der Betriebe technisch-wirtschaftlich für ein Wärmenetz zu erschließen ist.

2.3.6.2 Abwärmepotenziale aus dem Abwasser

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

Um Wärme oder Kälte aus dem Abwasserkanal gewinnen zu können gibt es verschiedene Systeme. Die gängigsten sind Kanalwärmetauscher, die direkt im Kanal installiert werden und Bypasswärmetauscher.

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

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

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

Die Abwasserinfrastruktur in Kehl ist hauptsächlich in Querschnitten DN 250 ausgebildet. Lediglich die Mischwasser- und die Regenwasserkanalisation hat größere Dimensionen, aber keinen konstanten Abfluss und keine konstante Temperatur aufgrund der Vermischung von Schmutz- und Regenwasser und der schwankenden Luft- und RW-Temperaturen.

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

In der Kläranlage in Kehl schwanken, aufgrund der Behandlung von reinem Schmutz- zusammen mit Mischwasser, die Ablaufmengen (behandelte Abwasserdurchflussmenge von ca. 3,5 Mio m³ bis 4,5 Mio m³), sowie die Temperaturen im Jahresverlauf. Eine wirtschaftliche Nutzung des Potenzials ist somit nicht möglich.

2.4 Erneuerbare Energien für die Stromerzeugung

Da Wärmepumpen in der Zukunft eine große Rolle bei der Wärmewende spielen sollen, wurden für den kommunalen Wärmeplan auch erneuerbare Potenziale für die Stromerzeugung betrachtet, die den zusätzlichen Stromverbrauch lokal decken könnten. Die Potenziale zur Stromerzeugung aus Biogas wurden bereits im Abschnitt 2.3.1 erläutert. Im folgenden Abschnitt werden die Potenziale zur Stromerzeugung aus Wasserkraft, Windkraft und mit Photovoltaikanlagen auf Dachflächen, Freiflächen und Baggerseen dargestellt.

2.4.1 Wasserkraft

Der aktuelle Stand der Stromerzeugung aus Wasserkraft, sowie deren Potenziale, wurden auf Basis von Daten aus dem Energieatlas BW (LUBW (2020)), die aus einer Erhebung im Jahr 2016 stammen, entnommen. Diese Informationen wurden ergänzt und aktualisiert durch Informationen der beiden Stromnetzbetreiber Überlandwerk Mittelbaden GmbH & Co.KG und syna GmbH, die für das Jahr 2019 eine aktive Wasserkraftanlage mit insgesamt 1.400 kW elektrischer Leistung am Standort „Kulturwehr“ am Rhein verzeichnet. Diese Anlage ist in der Abbildung 29 blau verortet.



Abbildung 29 – Karte des Wasserkraftwerks am Kulturwehr in Kehl (Smart Geomatics, 2023)

Weiterhin verzeichnet der Energieatlas des LUBW für Kehl fünf Mühlen, von denen zwei aktiv sind. Die installierte Leistung der beiden Mühlen beträgt jeweils ca. 20 kW. Insgesamt erzeugen die drei Wasserkraftbauwerke rund 5.000 MWh Strom.

Laut Energieatlas der LUBW ist innerhalb der Gemarkung von Kehl kein weiteres Wasserkraftpotenzial vorhanden, auch wenn es dort alte Mühlenbauwerke gibt. Abbildung 30 gibt eine Übersicht, über die Standorte der Mühlenbauwerke und der Wasserkraftanlage am Rhein.

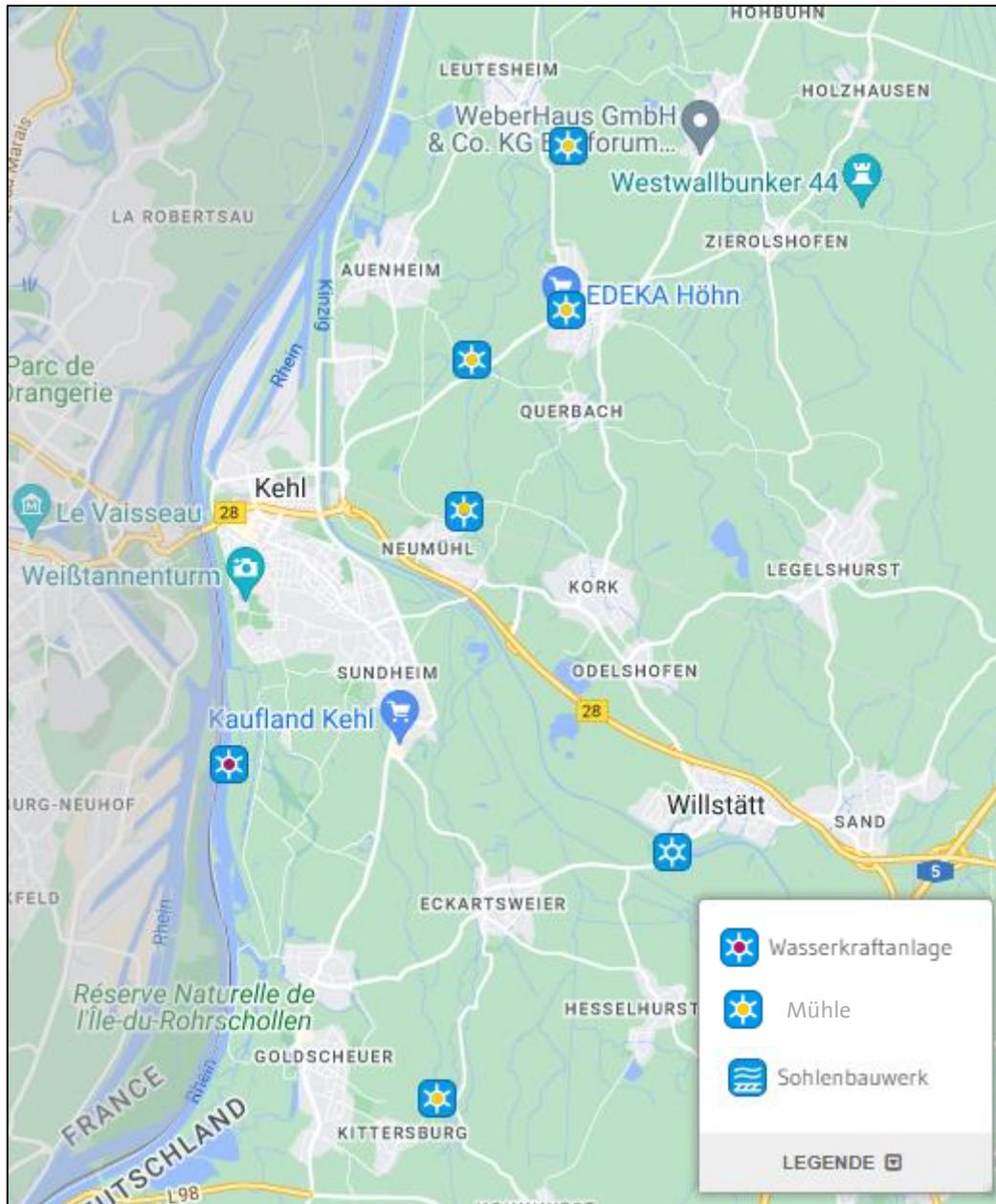


Abbildung 30 – Bestehende Wasserkraftwerke auf der Gemarkung Kehl (Quelle: LUBW-Energieatlas, 2021)

Mindestens seit dem Mittelalter prägen Wassermühlen die Landschaft an Fluss- und Bachläufen in Kehl. Dazu gehören Getreidemühlen, Sägemühlen, Hammermühlen und Ölmühlen. Mittlerweile stehen die meisten Mühlenräder still, nur die Auenheimer und die Neumühler Mühlen werden laut LUBW-Energieatlas noch betrieben.

2.4.2 Windkraft

Bei der Erfassung von Windkraftpotenzialen wurde der Energieatlas des LUBWs herangezogen, der als erste Planungsgrundlage für die Suche nach wirtschaftlichen Standorten dient (LUBW (2020)). Bei der Auswertung potenzieller Standorte werden neben der Windgeschwindigkeit, auch immissionsschutzrechtliche Themen wie Schall und Schattenwurf, Naturschutz- und Raumordnungsbelange berücksichtigt. Aus diesem Grund wurden folgende Flächen der Stadt als Potenzialgebiet ausgeschlossen:

- Flächen, die < 1000 m von geschlossenen Ortschaften entfernt sind
- Flächen, die < 500 m von Einzelgebäuden entfernt sind
- Flächen, die < 100 m von Autobahnen entfernt sind
- Flächen, die < 50 m von Hochspannungsleitungen oder Landstraßen entfernt sind
- Wasserschutzgebiete der Zonen I & II
- Auenflächen der Kategorie 1

Als wirtschaftlich interessant für die Entwicklung von Windkraftanlagen gelten in der Regel Standorte mit hohen mittleren Windleistungsdichten. Für die Bewertung der technisch-wirtschaftlichen Potenzialgebiete wurde der Windatlas Baden-Württemberg (LUBW (2020)) herangezogen und bei der Windhöffigkeit ein Grenzwert von mindestens 215 W/m^2 in 160 m Höhe vorausgesetzt.

Der Energieatlas weist mehrere geeignete und bedingt geeignete Windpotenzialflächen nördlich der B 28 auf der Kehler Gemarkung aus (vgl. Abbildung 31). Der Windatlas berechnet auf Grundlage von Modellen eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit. Eine genaue Aussage ist daher schlussendlich nur anhand von Langzeitmessungen vor Ort möglich.

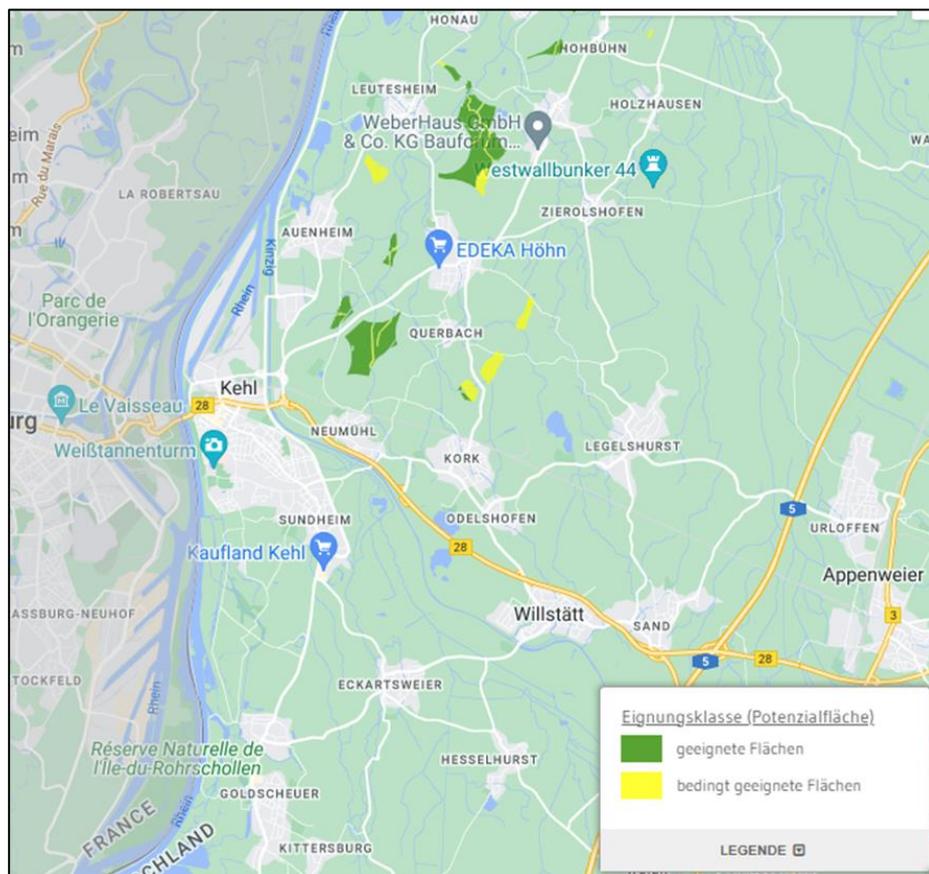


Abbildung 31 – Lage der Windkraft-Potenzialflächen (Quelle: LUBW-Energieatlas, 2020)

2.4.3 Photovoltaik

Für die Ermittlung der Potenziale zur Stromerzeugung wurde auf den Energieatlas Baden-Württemberg der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg zurückgegriffen (LUBW (2023)); vgl. Abschnitt 7.2). Dabei wird zwischen folgenden drei Potenzialflächen unterschieden:

- **Stromerzeugungspotenzial auf bestehenden Dachflächen:** Das Dachflächenpotenzial für die Stromerzeugung mit Photovoltaik wurde, wie auch das Solarthermiefpotenzial, anhand des Dachflächenkatasters der LUBW ermittelt. Durch die Ausschöpfung des Dachflächenpotenzials in Kehl können nach diesen Berechnungen jährlich insgesamt 194.592 MWh Strom mit PV-Anlagen erzeugt werden. Dies entspricht 15 % des Stromverbrauchs im Jahr 2019 und 371 % des Stromverbrauchs der privaten Haushalte im Jahr 2019. Die Abbildung 33 zeigt das Stromerzeugungspotenzial mit Photovoltaik auf Dachflächen und im Verhältnis zum Gesamtstromverbrauch der Stadt Kehl im Jahr 2019.
- **Stromerzeugungspotenziale auf Freiflächen:** Der Energieatlas Baden-Württemberg listet, zusätzlich zum PV-Potenzial auf Dächern, Angaben zum Potenzial für PV-Anlagen auf Freiflächen auf (LUBW (2020)), die für PV-Nutzung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und der Freiflächenöffnungsverordnung (FFÖ-VO) förderberechtigt im Sinne der Einspeisevergütung sind. In Abstimmung mit dem Regionalverband Südlicher Oberrhein wurden Flächen, die durch Restriktionen aus dem Regionalplan für PV-Anlagen nicht genehmigungsfähig wären, abgezogen. Daraus ergeben sich für Kehl mehrere Flächenabschnitte entlang der Bahnlinie für die Errichtung von PV-Freiflächenanlagen mit einer Fläche von insgesamt 62,5 ha (vgl. Abbildung 32). Würden 60 % der geeigneten Freiflächen für PV-Anlagen genutzt werden, könnten damit 4 % des Gesamtstromverbrauchs im Jahr 2019, also ca. 45.000 MWh/Jahr Strom erzeugt werden. Dies entspricht 86 % des Stromverbrauchs der privaten Haushalte in Kehl.
- **Stromerzeugungspotenziale auf Seen:** Der Energieatlas Baden-Württemberg enthält außerdem Angaben zum Potenzial für PV-Anlagen auf Seen (LUBW (2020)), die für PV-Nutzung nach dem EEG geeignet sind. In Kehl weist der LUBW ein Potenzial auf dem Korker Baggersee aus. Demnach wären an diesem Standort weitere 14,7 ha für PV-Anlagen nutzbar, was ein zusätzliches Stromerzeugungspotenzial von ca. 8.750 MWh/Jahr mit sich bringt. Damit könnte ein weiteres Prozent des Gesamtstrombedarfs der Stadt Kehl gedeckt werden und 17 % des Stromverbrauchs der privaten Haushalte in Kehl.

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

Bei Ausschöpfung des Dachpotenzials und einer Freiflächen-Belegung von 60% ergibt sich bis 2040 ein Stromerzeugungspotenzial von insgesamt ca. 248.342 MWh/a. Auf Grund des hohen Industriestromverbrauchs lassen sich hierdurch jedoch lediglich ca. 20 % des Stromverbrauchs der Stadt Kehl decken.

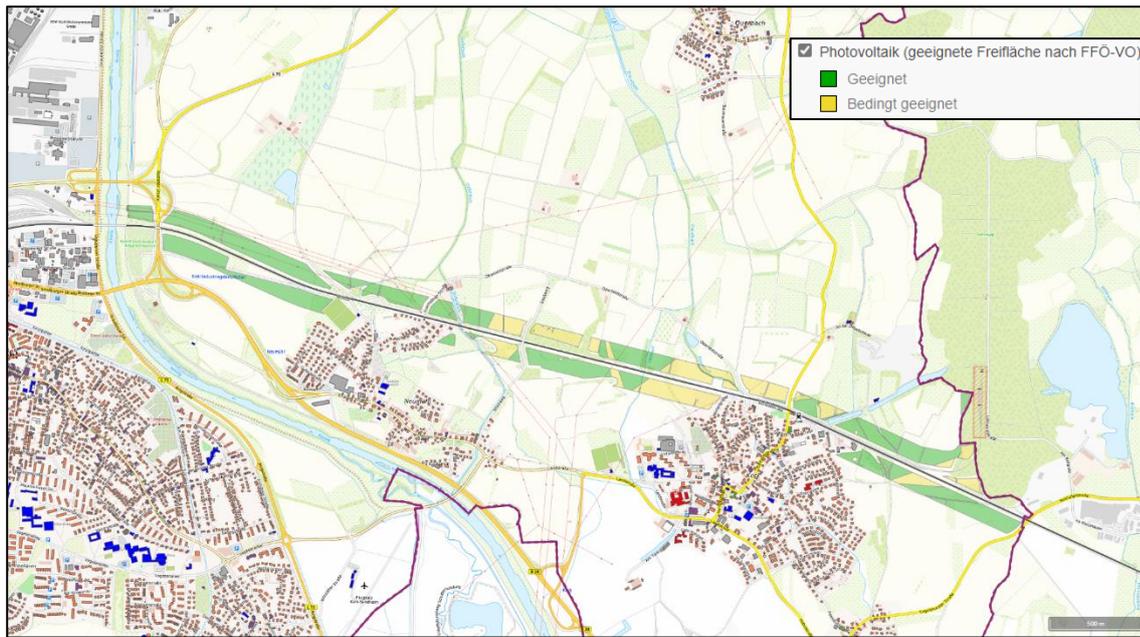


Abbildung 32 – Potenzialflächen für Freiflächen PV-Anlagen (Datenquellen: LUBW, Regionalverband Hochrhein, badenovaNETZE GmbH)

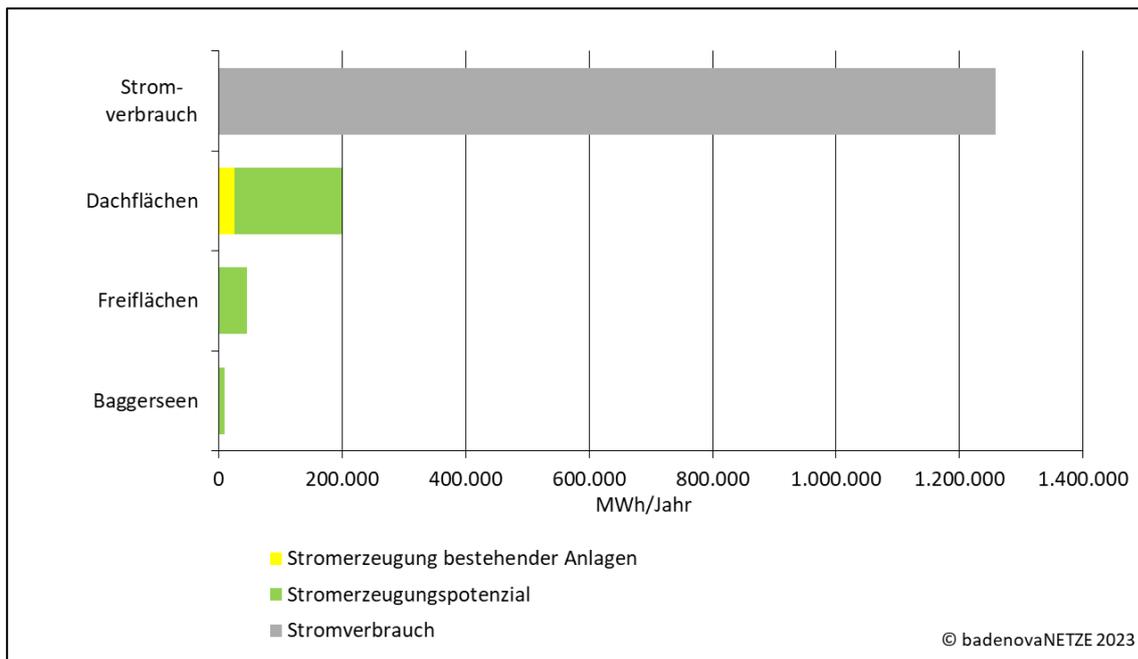


Abbildung 33 – Stromerzeugungspotenziale mit Photovoltaik in Kehl

2.5 Erneuerbare Gase

Der Power-to-Gas Technologie (PtG) wird eine entscheidende Rolle bei der Energiewende beigemessen. In Zeiten hoher Einspeisemengen von Wind- und Solarenergie bei gleichzeitig niedrigem Bedarf, kann es zu einem Überangebot an Strom kommen. Durch den Ausbau erneuerbarer Energien und die

Abschaltung konventioneller Grundlastkraftwerke (Kern- und Kohlekraftwerke) wird dieses Missverhältnis noch größer werden. PtG-Anlagen machen die überschüssige Energie durch die Umwandlung von elektrischer in chemische Energie speicherbar.

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

Außerdem ist die Speicherfähigkeit von Wasserstoff von zentraler Bedeutung für den Ausgleich der Stromnetzlast. An sonnigen und windigen Tagen kann Überschussstrom per Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert werden. Dieser Wasserstoff kann dann wiederum an Tagen, in denen Strommangel herrscht, wieder in Strom umgewandelt und in das Stromnetz eingespeist werden (Abbildung 34). Zudem lässt sich Wasserstoff auch in das bestehende Gasnetz integrieren.

Die Verfügbarkeit von erneuerbaren Gasen könnte vor allem für den Industriezweig in Kehl essenziell sein. Einzelne Prozessschritte benötigen Wärme auf hohen Temperaturniveaus. Um diese hohen Temperaturniveaus zu erreichen, bedarf es molekülbasierter Energieträger, da hier der Elektrifizierung technische Grenzen gesetzt sind.

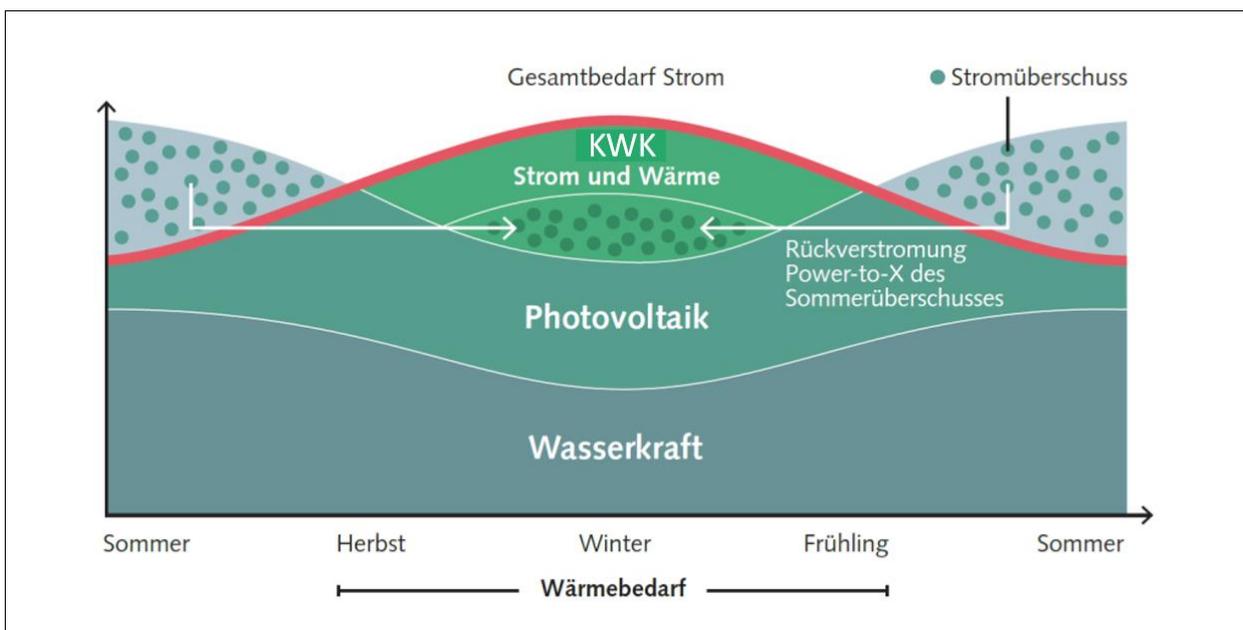


Abbildung 34 – Versorgungssicherheit durch Schließung der Winterlücke (Powerloop, 2020)

2.5.1 Zukünftige Verfügbarkeit von synthetischen Gasen

Wasserstoff und synthetisches Methan sind ebenso vielseitig einsetzbar wie Erdgas. Auch andere Vorteile wie die Speicherbarkeit und die vorhandene Erdgasverteilinfrastruktur können durch den Einsatz dieser Gase genutzt werden. Synthetische-Gase werden jedoch voraussichtlich auch langfristig im Zeithorizont bis 2050 ein knappes Gut bleiben, da auch erneuerbarer Strom nur in begrenzten Mengen zur PtG-Erzeugung zur Verfügung steht bzw. stehen wird.

Der Vergleich zwischen der notwendigen Elektrolyseleistung für einen vollständigen Erdgasersatz in Deutschland durch Wasserstoff und die bis 2030 vorgesehenen Elektrolyseleistung, die mit staatlicher Förderung in Deutschland bzw. in der Europäische Union (EU) aufgebaut werden soll, macht deutlich,

dass mittelfristig nicht mit einer deutlichen Dekarbonisierung im Gasbereich durch Wasserstoff zu rechnen ist, auch wenn bis 2030 der Gasabsatz u.a. durch Effizienzmaßnahmen sinkt. Auch die langfristigen Perspektiven sind von hoher Unsicherheit geprägt.

2.5.2 Zukünftige Rolle von erneuerbaren Gasen

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

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

Die jeweiligen Prozesse und die damit verbundenen Temperaturanforderungen unterscheiden sich stark von Branche zu Branche. Abbildung 35 zeigt typische Temperaturanforderungen verschiedener Wirtschaftszweige.

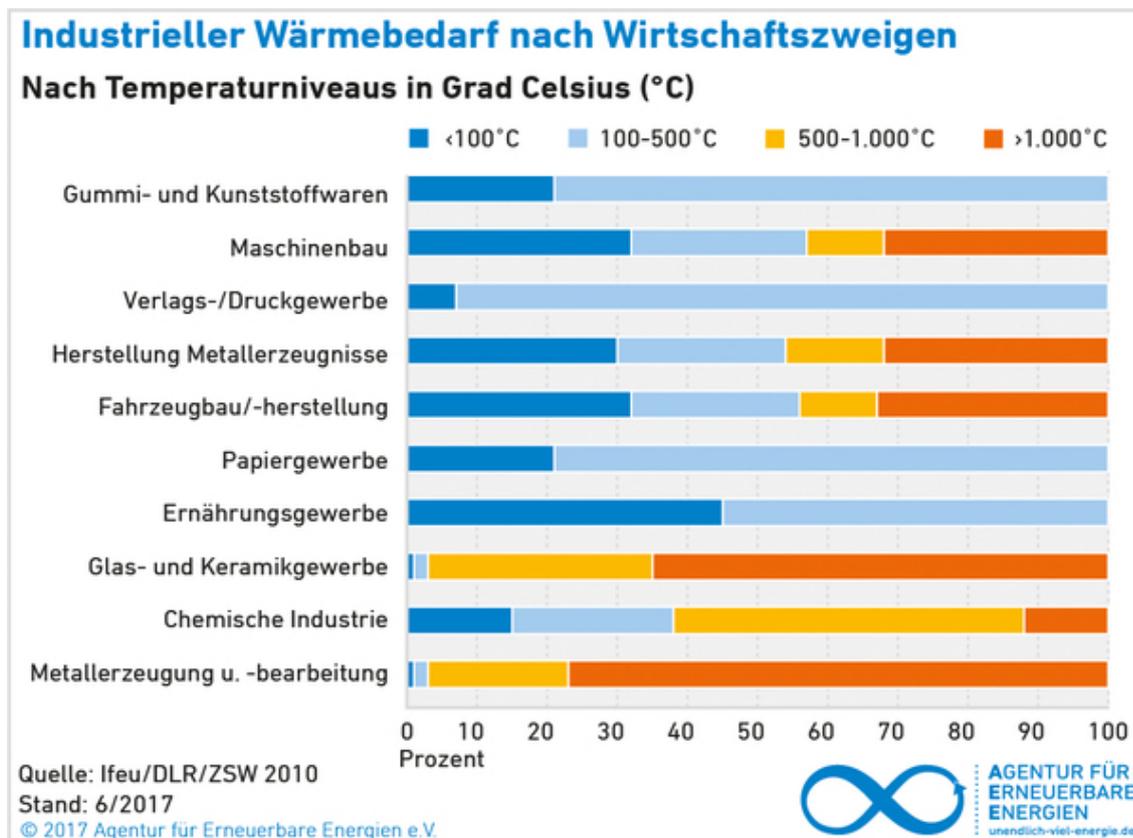


Abbildung 35 – Industrieller Wärmebedarf nach Wirtschaftszweigen (Agentur für erneuerbare Energien, 2017)

2.6 Zusammenfassung der Potenziale

Die Potenzialanalyse zeigt, in welchen Bereichen die Stadt Kehl über Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Energieeinsparung und zur Erzeugung von Wärme und Strom aus erneuerbaren Energien verfügt.

Die Potenziale für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen sowie die Potenziale für erneuerbare Wärme sind in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt. Daraus lässt sich ableiten, dass die Potenziale im Strombereich theoretisch ausreichend sind, um den heutigen Strombedarf im Sektor private Haushalte in Kehl erneuerbar zu decken. Durch den hohen Anteil des Wirtschaftssektors am Stromverbrauch, ist es nicht möglich den Gesamtstromverbrauch der Stadt mit lokalen erneuerbaren Energien zu decken.

Auf der anderen Seite sind die in der Grafik zur Wärmeerzeugung dargestellten Potenziale nicht ausreichend, um die aktuell benötigte Wärmemenge bereitzustellen. Das bedeutet, dass der Wärmebedarf der Stadt deutlich gesenkt werden muss, um das Ziel der klimaneutralen Wärmeversorgung zu gewährleisten. Zum anderen müssen weitere Potenziale herangezogen werden, die in dieser Grafik bisher nicht auftauchen. Ein wesentlicher Schlüssel bei der Umstellung der Wärmeversorgung ist zum einen die Nutzung der Abwärme aus der Industrie und könnte auch die thermische Nutzung des Grundwassers und des Rheinwassers mittels einer Großwärmepumpe sein. Diese Technologie bietet große Potenziale, da sie enorme Mengen an Wärmeenergie bereitstellen kann, die per Wärmenetz in die Haushalte überführt werden kann. Für energieintensive Unternehmen können grüne Gase zukünftig eine Alternative zu fossilen Energieträgern darstellen.

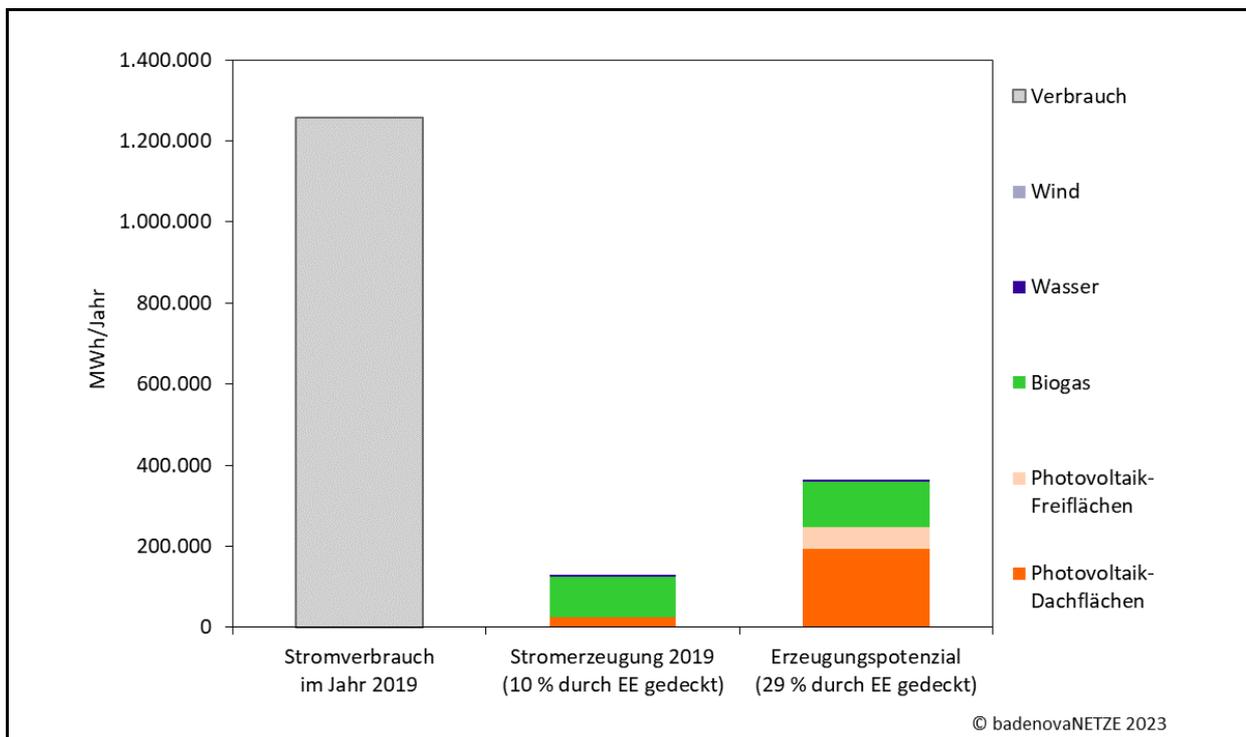


Abbildung 36 – Erneuerbare Strompotenziale in Kehl

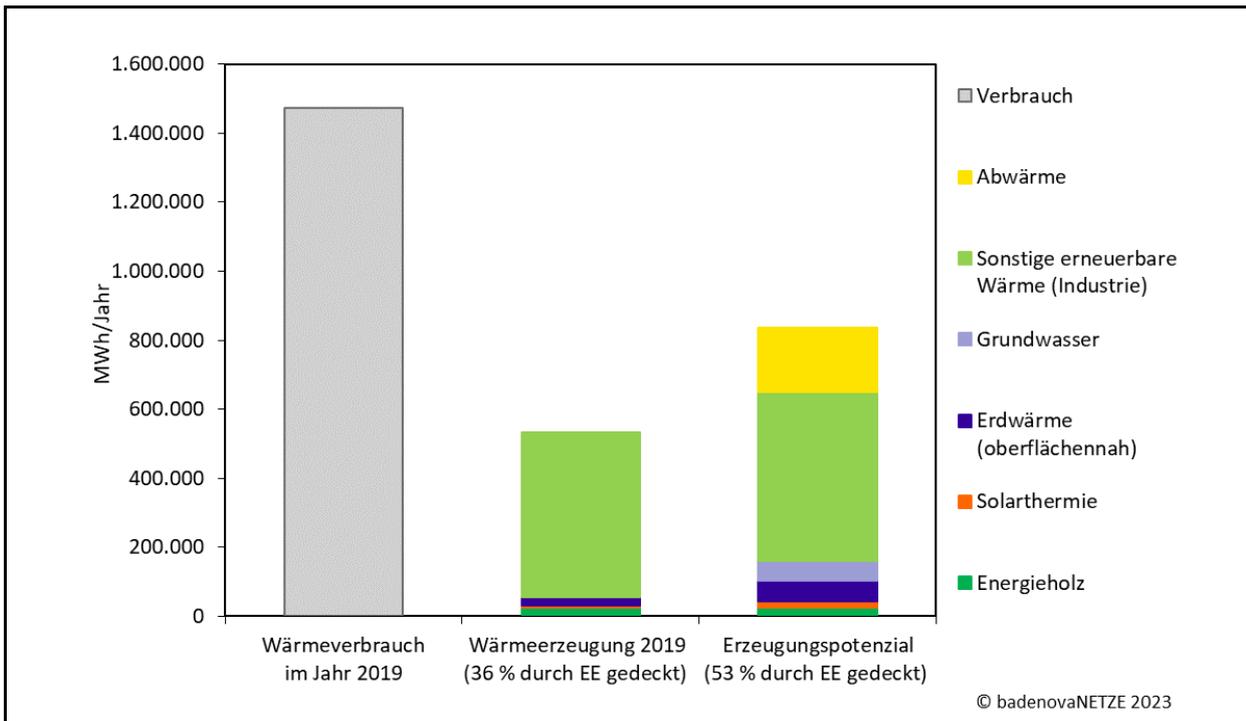


Abbildung 37 – Erneuerbare Wärmepotenziale in Kehl

In der folgenden Tabelle 8 sind die Potenziale der Stadt Kehl zur Erzeugung von Wärme und Strom aus erneuerbaren Energien übersichtlich zusammengefasst.

Energiequelle		Anwendungsbereich	Erzeugungspotenzial
Biomasse	Biogas	Stromerzeugung Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	29.260 MWh
	Energieholz	Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	Lokale Potenziale werden bereits ausgeschöpft. Kein zusätzliches Potenzial.
Oberflächennahe Erdwärme	Erdwärmesonden	Dezentrale Wärmeversorgung (nicht kumulierbar mit Umweltwärme!)	2019: 102.198 MWh/a (39 %) 2030: 101.699 MWh/a (44 %) 2040: 81.708 MWh/a (40 %)
	Grundwasserbrunnen	Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	ca. 647 MWh/a bis 1.997 MWh/a je Brunnen bei Fördermengen zwischen 8 und 25 l/s und bei einer Grundwasserabsenkung von 0,15 bis 0,5 m. Weitere technische Annahme: COP = 3,75 für Bestandsgebäude.
Tiefengeothermie	Hydrothermale Geothermie	Zentrale Wärmeversorgung	66.775 MWh/a 9,9 MW
	Petrothermale Geothermie	Zentrale Wärmeversorgung bei gleichzeitiger Stromerzeugung	k.A.
Solarthermie	Solarthermie auf Dachflächen	Zentrale/ dezentrale Wärmeversorgung	13.655 MWh
	Solarthermie auf Freiflächen	Zentrale Wärmeversorgung	Konkret erst bei der Planung eines Wärmenetzes bezifferbar.
Umweltwärme	Luft	Zentrale/dezentrale Wärmeversorgung	2019: 54.560 MWh/a (21 %) 2030: 109.471 MWh/a (47 %) 2040: 97.750 MWh/a (48 %)

Energiequelle		Anwendungsbereich	Erzeugungspotenzial
Abwärme	Gewerbe	Zentrale Wärmeversorgung	180.000 MWh
	Abwasser	Zentrale Wärmeversorgung	Prüfung der Machbarkeit zur Nutzung in den Kanalabschnitten in der Kernstadt. Kein konstanter Abfluss und keine konstante Temperatur aufgrund der Vermischung von Schmutz- und Regenwasser und der schwankenden Luft- und RW-Temperaturen.
Windkraft	Wind	Stromerzeugung	LUBW weist geeignete und bedingt geeignete Flächen auf der Gemarkung Kehl aus. Diesen müssten durch eine Langzeitmessung geprüft werden.
Wasserkraft	Fließgewässer	Stromerzeugung	Kein weiteres Potenzial vorhanden.
Photovoltaik	Dachflächen	Stromerzeugung	194.592 MWh
	Freiflächen	Stromerzeugung	45.000 MWh
	Parkplatzflächen	Stromerzeugung	-
	Baggerseen	Stromerzeugung	8.750 MWh

Tabelle 8 – Übersicht der nutzbaren Erzeugungspotenziale aus erneuerbaren Energien in Kehl

3. Zielszenario Klimaneutraler Gebäudebestand 2040

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

Das Zielszenario ist hier nicht als Prognose, sondern als ein möglicher Entwicklungspfad zu verstehen, der notwendig ist, um bis zum Jahr 2040 weitgehende Treibhausgasneutralität im Gebäudebestand zu erreichen. Es fließen die klimapolitischen Zielsetzungen des Landes und der Stadt Kehl ein, mit welchen dieser Status erreicht werden soll. Es wird angenommen, dass die lokalen Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz, zur Energieeinsparung und zum Einsatz von erneuerbaren Energien weitestgehend und so sinnvoll wie möglich bis zum Jahr 2040 ausgeschöpft werden.

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

Wichtiger Bestandteil des Zielszenarios ist auch die räumliche Beschreibung der zukünftigen Wärmeinfrastruktur der Stadt Kehl. Hierzu wurde auf Basis der umfangreichen Datenauswertungen die gesamte Stadt in Eignungsgebiete für zentrale und dezentrale Wärmeversorgung eingeteilt. Diese zeigen in welchen Bereichen der Stadt perspektivisch eine Wärmenetzinfrastruktur und in welchen Bereichen dezentrale Einzelheizungen aus- und aufgebaut werden sollen.

Zudem wird im Folgenden die bevorstehende Transformation des bestehenden Erdgasnetzes und das Thema erneuerbare Gase erläutert sowie auf das Thema der THG-Kompensation eingegangen.

3.1 Berechnungsgrundlagen des Zielszenarios

Das Zielszenario baut auf die Energie- und THG-Bilanz aus der Bestandsanalyse auf. Deshalb liegt auch hier der Fokus auf den energiebedingten Treibhausgasemissionen. Die Ergebnisse des Zielbilds sind ebenfalls in die Sektoren private Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistung, verarbeitendes Gewerbe und kommunale Liegenschaften aufgeteilt. Außerdem werden der Energieverbrauch und die THG-Emissionen nach den eingesetzten Energieträgern ausgewiesen. Das Basisjahr ist das Jahr 2019. Das Zieljahr ist analog zum Ziel der Klimaneutralität in Baden-Württemberg das Jahr 2040 mit dem Zwischenziel 2030.

Höchste Priorität bei der Erstellung des Zielbilds hatte die Einbindung und Verwendung lokaler Daten aus Kehl. Bei der Entwicklung und der Deckung des Wärmebedarfs nach Energieträger wurden die Ergebnisse der Potenzialanalyse eingesetzt. Zudem wurden die bisher vorhandenen Planungen zum Bau bzw. Erweiterung von Wärmenetzen der Wärmegesellschaft Kehl in die Szenarienberechnung eingebunden. Die lokalen Daten wurden ergänzt durch Werte aus der Studie *Baden-Württemberg Klimaneutral 2040* (Nitsch & Magosch, 2021). Diese Studie wurde ausgewählt, da sie

- eine weitreichende und zugängliche Datenbasis enthält,
- sämtliche Energieträger betrachtet,
- das Ziel der Klimaneutralität für 2040 aufweist,
- spezifisch auf das Land Baden-Württemberg ausgerichtet ist und
- eine hohe Aktualität aufweist.

3.1.1 Definition der Klimaneutralität

Das Europäische Parlament gibt folgende Definition der Klimaneutralität:

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

Bei der Entwicklung des Zielbilds wird davon ausgegangen, dass die Reduktion der THG-Emissionen zur Erreichung der Klimaneutralität oberste Priorität hat. Da eine Reduktion auf null nicht realistisch ist, da auch erneuerbare Energieträger in naher Zukunft einen geringen THG-Emissionsfaktor aufweisen, müssten zur Erreichung einer Klimaneutralität Restemissionen kompensiert werden. Konkret heißt das, dass sie an einer anderen Stelle einer Kohlenstoffsinke zugeführt werden müssten.

3.1.2 Berechnungsgrundlagen zur Entwicklung des Wärmebedarfs

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

- Der Wärmebedarf der Bestandsgebäude sinkt durch die energetische Sanierung der Gebäudehüllen. Der zukünftige Wärmebedarf der Wohngebäude im Bestand wurde anhand der in der Potenzialanalyse ermittelten Sanierungspotenziale für Wohngebäude berechnet. Dabei wurde eine jährliche Sanierungsrate von 2 % angesetzt. Konkret heißt das, dass jährlich 2 % der möglichen Einsparungen durch Sanierungsmaßnahmen erreicht werden.
- Die Bevölkerungsentwicklung in Kehl wurde anhand vorhandener Prognosen aus dem Stadtentwicklungskonzept Kehl einbezogen. Demnach wächst die Stadt Kehl bis zum Jahr 2035 um 6,5 %. Damit werden in Zukunft die beheizten Gebäudeflächen in der Stadt ebenfalls wachsen. Konkrete Neubauprojekte wurden berücksichtigt. Da die energetischen Anforderungen für Neubauten bereits recht hoch sind, machen diese Neubauten, im Vergleich zum Bestand, einen geringen Anteil des zukünftigen Wärmebedarfs aus.
- Der Wärmebedarf für die Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie sinkt bis zum Jahr 2040 aufgrund energetischer Sanierung der Gebäude und durch Effizienzmaßnahmen, die zu einer Reduktion des Energieeinsatzes für Prozesswärme führen (Nitsch & Magosch, 2021).
- Im Sinne einer Vorbildfunktion wurde für die kommunalen Liegenschaften ein Zielwert von 50 % Senkung des aktuellen Wärmebedarfs der städtischen Gebäude bis 2040 angesetzt.

3.1.3 Berechnungsgrundlagen zur Deckung des Wärmebedarfs

- Im Zielszenario werden im Jahr 2040 keine fossilen Brennstoffe mehr verwendet. Dies entspricht einem möglichst klimaneutralen Zustand und ist auch eine der Grundannahmen in der Studie *Baden-Württemberg Klimaneutral 2040* (Nitsch & Magosch, 2021).
- Der Einsatz von Energieholz entwickelt sich gemäß dem Trend aus der Studie *Baden-Württemberg Klimaneutral 2040* (Nitsch & Magosch, 2021).
- Der Einsatz von Solarthermie im Jahr 2040 basiert auf der Ausschöpfung des berechneten theoretischen Dachflächenpotenzials aus der Potenzialanalyse. 90 % des Solarthermiepotenzials auf Dachflächen werden im Jahr 2040 den privaten Haushalten zugeteilt, 10 % dem Sektor Gewerbe.

- Entsprechend aktuellen Planungen zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur nach Kehl (vgl. Abschnitt 3.7) wird angenommen, dass Wasserstoff bis zum Jahr 2040 vor Ort verfügbar sein wird. Wasserstoff wird ausschließlich im Sektor verarbeitendes Gewerbe zur Deckung des Prozesswärmebedarfs und in Fernwärmenetzen eingesetzt. Wasserstoff ersetzt hierbei Heizöl und Erdgas.
- In den Eignungsgebieten für dezentrale Wärmeversorgung werden Wärmepumpen (Luft-Luft und Luft-Wasser) in Zukunft einen Großteil des Wärmebedarfs decken.
- Gebiete mit Eignung für zentrale Wärmeversorgung werden zukünftig größtenteils über Wärmenetze (Fernwärme) versorgt. Für jedes Eignungsgebiet wurde ein zukünftiger Anschlussgrad von 66 % der Wohngebäude angenommen.
- Im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistung wird u.a. aufgrund der Lage der Eignungsgebiete angenommen, dass die Hälfte des Gesamtwärmebedarfs der Betriebe über Fernwärme gedeckt wird. Im Industriesektor wird der Einsatz von Fernwärme für die Raumwärme marginal bleiben.
- Die kommunalen Liegenschaften werden im Jahr 2040 zum größten Teil durch Fernwärme versorgt, da ein hoher Anschlussgrad dieser Liegenschaften an die städtischen Wärmenetze angenommen wird.

3.1.4 Berechnung der Treibhausgasemissionen

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

3.2 Zukünftiger Wärmebedarf 2030 und 2040

Emissionen lassen sich zunächst am effektivsten durch eine Senkung des Energiebedarfs reduzieren. Dies gelingt zunächst durch Wärmeenergieeinsparung und die Erhöhung der Energieeffizienz. Bei den Gebäuden liegen die größten Potenziale bei der energetischen Sanierung der Gebäudehülle. Bei der Entwicklung des Zielszenarios der Stadt Kehl wurde deshalb eine Senkung des Wärmebedarfs bis 2040 angenommen.

Durch umfangreiche Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand und durch Effizienz- und Einsparmaßnahmen im Wirtschaftssektor sinkt der Gesamtwärmebedarf im Zielszenario bis zum Jahr 2040 um 26 % gegenüber dem Jahr 2019. Der Wärmebedarf der Wohngebäude sinkt durch die energetische Gebäudesanierung, erhöht sich aber durch den Zubau neuer Gebäude, so dass bis 2040 eine Einsparung von ca. 19 % erwartet wird. Im Sektor verarbeitendes Gewerbe sinkt der Wärmebedarf bis zum Jahr 2040 um 26 %. Bei den kommunalen Liegenschaften liegt die Einsparung entsprechend des Zielwerts bei 50 % bis im Jahr 2040.

Abbildung 38 zeigt die Entwicklung des Wärmeverbrauchs in Kehl aufgeteilt nach den Sektoren private Haushalte, Gewerbe und Sonstiges, dem Industriesektor (Prozesswärme und Raumwärme) sowie kommunale Liegenschaften.

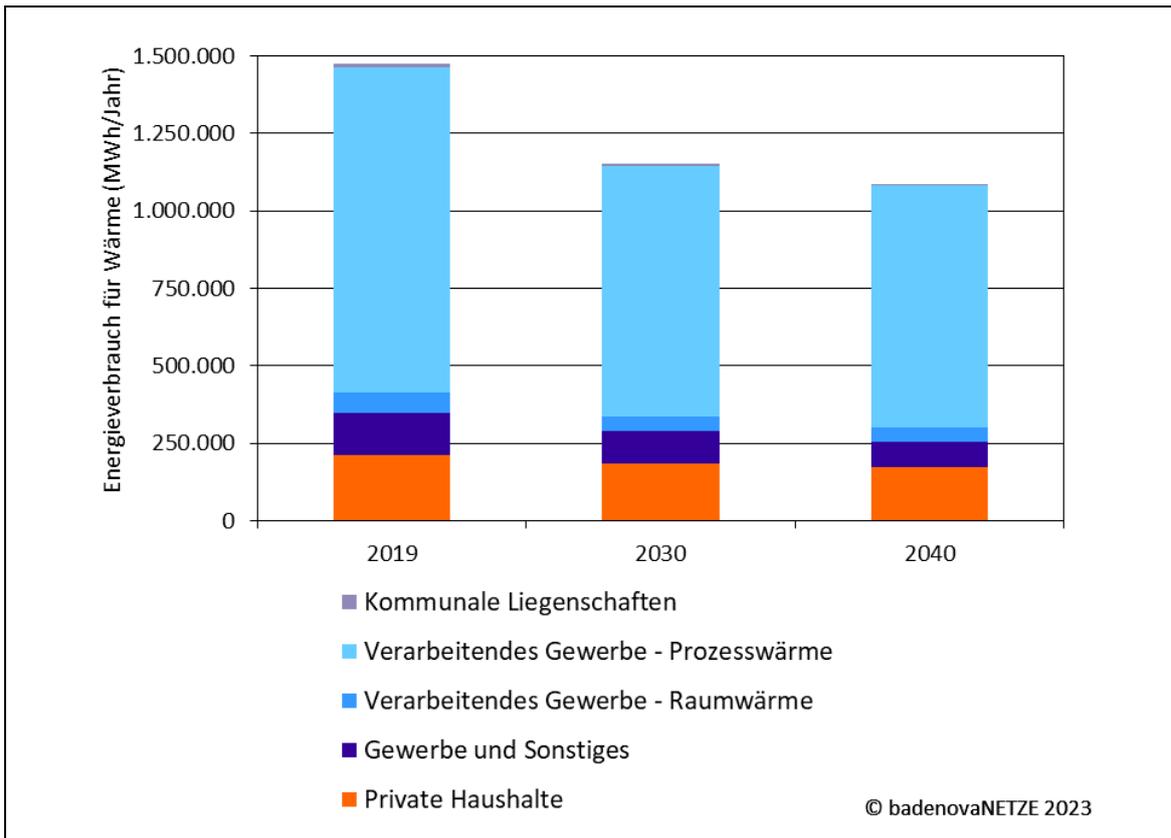


Abbildung 38 – Entwicklung des Energieverbrauchs für die Wärme nach Sektoren im Zielszenario

3.3 Deckung des zukünftigen Wärmebedarfs nach Energieträgern

Nach der Darstellung des zukünftigen Wärmeverbrauchs aller Sektoren wurden die zur Deckung benötigten Energiemengen nach Energieträgern ermittelt. Wesentliche Grundlage waren hierbei die lokalen Potenziale zur erneuerbaren Wärmeerzeugung. Um auch die räumliche Verteilung dieser Potenziale zu berücksichtigen, wurden die Eignungsgebiete für zentrale und dezentrale Wärmeversorgung für die Aufteilung der Wärmemengen auf die Energieträger herangezogen (siehe Kapitel 3.6). Die hier angenommenen Ausbauszenarien der Fernwärmeversorgung sowie Konzepte der Wärmegesellschaft Kehl zum Ausbau der Fernwärme wurden berücksichtigt.

Um den klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, werden im Zielszenario ab dem Jahr 2040 keine fossilen Energieträger mehr zum Einsatz kommen und vollständig durch erneuerbare Energieträger ersetzt. In den Gebieten für dezentrale Wärmeversorgung werden primär Wärmepumpen genutzt, während die zentrale Wärmeversorgung im Jahr 2040 durch einen Energiemix aus verschiedenen Energieträgern sichergestellt wird.

Hierfür wird angenommen, dass die Einbindung von Abwärme aus Industrieprozessen in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Wärmebedarfsdeckung in Kehl spielen wird. Industrielle Abwärme macht demnach mit etwa der Hälfte einen großen Teil des Energiemixes in Wärmenetzen aus. Zudem wird davon ausgegangen, dass neben Grundwasser-Wärmepumpen und Großwärmepumpen an Fließgewässern perspektivisch auch Wasserstoff in Wärmenetzen eingesetzt wird. Der Energiemix wird ergänzt durch Solarthermie-Anlagen auf Freiflächen, Biomethan aus Biogasanlagen und Energieholz (vgl. Abbildung 39). Abbildung 39 zeigt, wie sich die Zusammensetzung der Energieträger in Kehl für eine zentrale Wärmeversorgung entwickeln kann. Während heute in bestehenden städtischen Wärmenetzen ausschließlich Erdgas eingesetzt wird, werden

sowohl die bestehenden als auch die perspektivischen Wärmenetze in Zukunft mit erneuerbaren Energieträgern und Abwärme gespeist werden. Neben dem Energieträgermix verändert sich auch die Menge: Der Anteil der Wärme, der mittels einer zentralen Wärmeversorgung bereitgestellt wird, steigt von 1 % im Jahr 2019 auf 10 % im Jahr 2040.

Es wird in Zukunft ein vielfältiger Mix an Wärmeerzeugern mit unterschiedlichen Energieträgern notwendig sein, um Klimaneutralität bis im Jahr 2040 zu erreichen. Bei dem hier dargestellten Zielszenario handelt es sich um einen möglichen Pfad dieses Ziel zu erreichen. Sollte dieses Szenario nicht umsetzbar sein, können einzelne Energieträger durch andere erneuerbare Energieträger ersetzt werden oder in veränderten Anteilen genutzt werden. So könnte zum Beispiel die hydrothermale Tiefengeothermie zur Wärmeerzeugung ebenfalls eine tragende Rolle bei der zentralen Wärmeversorgung in Kehl spielen. Diese ist trotz eines bedeutenden technischen Potenzials (vgl. Kapitel 2.3.3) aufgrund politischer Hintergründe im Zielszenario nicht berücksichtigt.

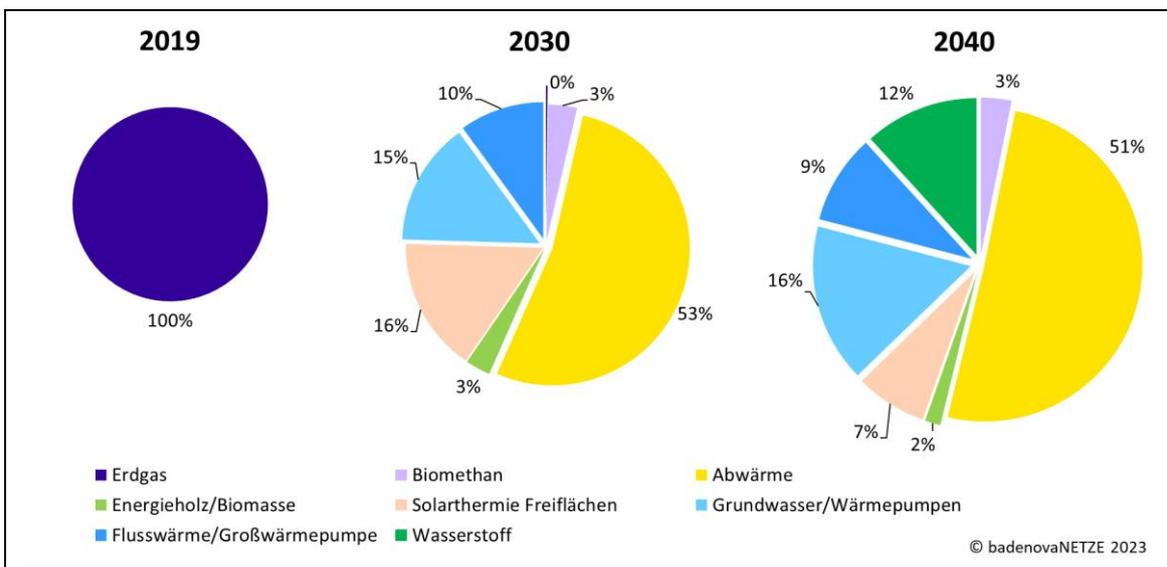


Abbildung 39 – Entwicklung des Energieträgermixes der zentralen Wärmeversorgung (Fernwärme) in Kehl im Zielszenario

Abbildung 40 zeigt die Entwicklung des gesamten Wärmeverbrauchs der Stadt Kehl detailliert nach Energieträger. Neben der Senkung des Wärmeverbrauchs wird deutlich, dass die Wärmeversorgung in Zukunft dekarbonisiert wird. Hierzu werden unterschiedliche lokale erneuerbare Energieträger eingesetzt, während die Anteile der fossilen Energieträger, z.B. Erdgas und Heizöl, im Verlauf sinken.

Im Jahr 2040 liegt laut des Zielszenarios der gesamte Fernwärmeverbrauch bei ca. 108.700 MWh/Jahr. Der Einsatz von Energieholz wird in Privathaushalten und Gewerbetrieben bis zum Zieljahr steigen, während er in der Industrie etwa gleichbleibt (Sonstige Erneuerbare). Im Jahr 2040 werden in Kehl ca. 160.000 MWh Umweltwärme benötigt, die primär in Wohngebäuden zum Einsatz kommt und dezentrale, fossile Energieerzeuger ersetzen wird. Auf Grundlage des Wärmepumpenkatasters ist dieses Potenzial bis 2040 gegeben. Außerdem wird der benötigte Wasserstoffbedarf im Wärmebereich auf ca. 217.000 MWh/Jahr geschätzt. Dieser muss entweder von außerhalb importiert oder vor Ort mit Überschussstrom hergestellt werden.

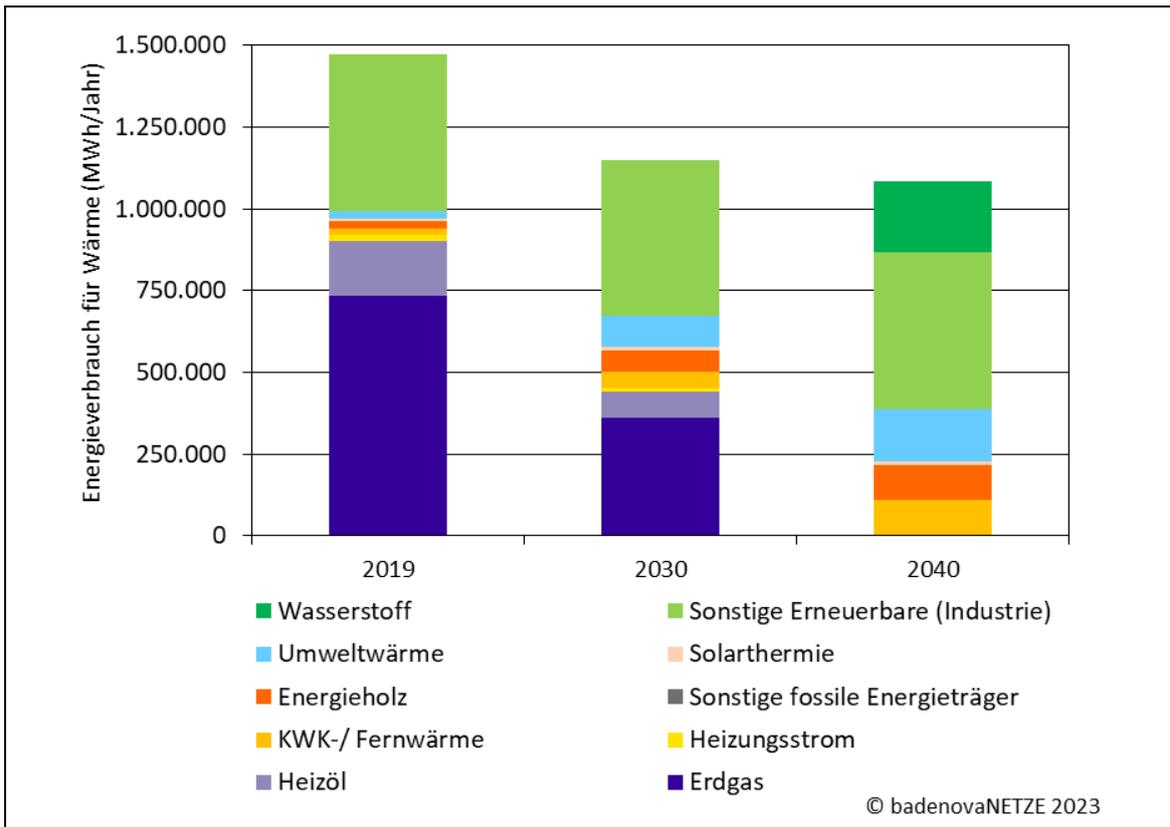


Abbildung 40 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Energieträger im Zielszenario

Abbildung 41 fasst die Energieträger für einen besseren Überblick zusammen und zeigt die Entwicklung des Wärmeverbrauchs im Zielszenario nach Erzeugungsart. Hierbei wird zwischen fossiler und erneuerbarer Wärmeversorgung mit Einzelheizungen (dezentrale Wärmeversorgung) sowie der Wärmeversorgung aus Wärmenetzen (zentrale Wärmeversorgung) unterschieden.

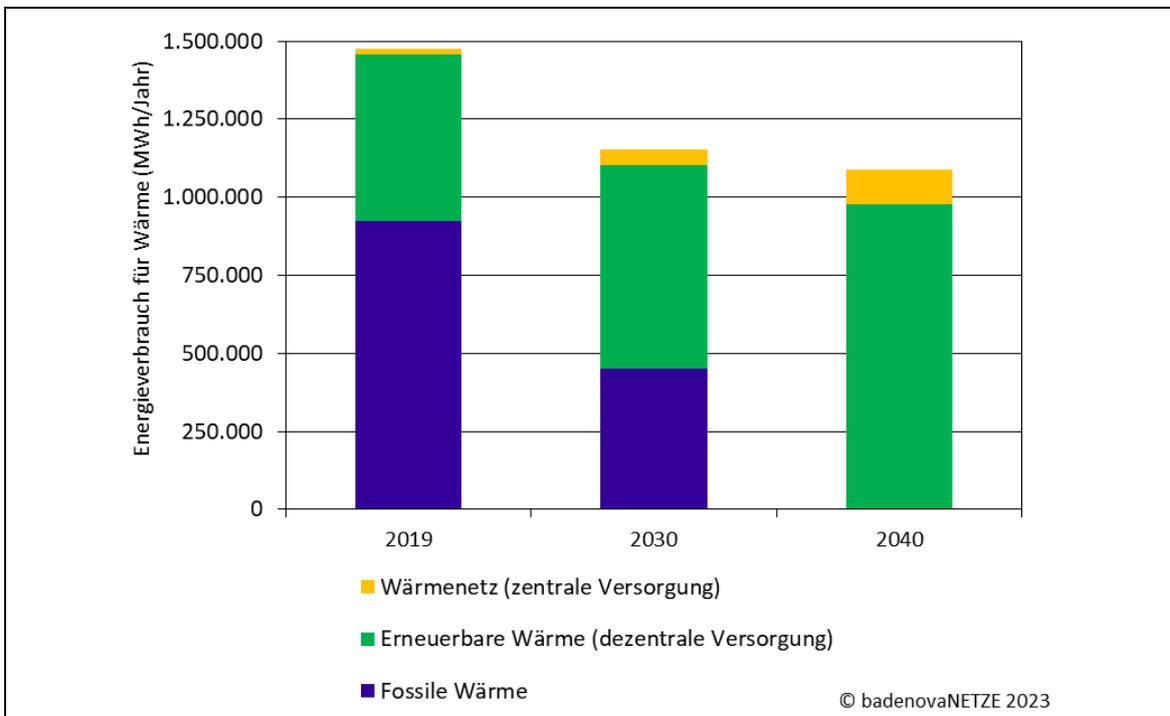


Abbildung 41 – Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme nach Erzeugungsart im Zielszenario

Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen detailliert die Entwicklung des Wärmeverbrauchs nach Sektoren und Energieträger, zunächst für das Jahr 2030 und in Folge für das Jahr 2040.

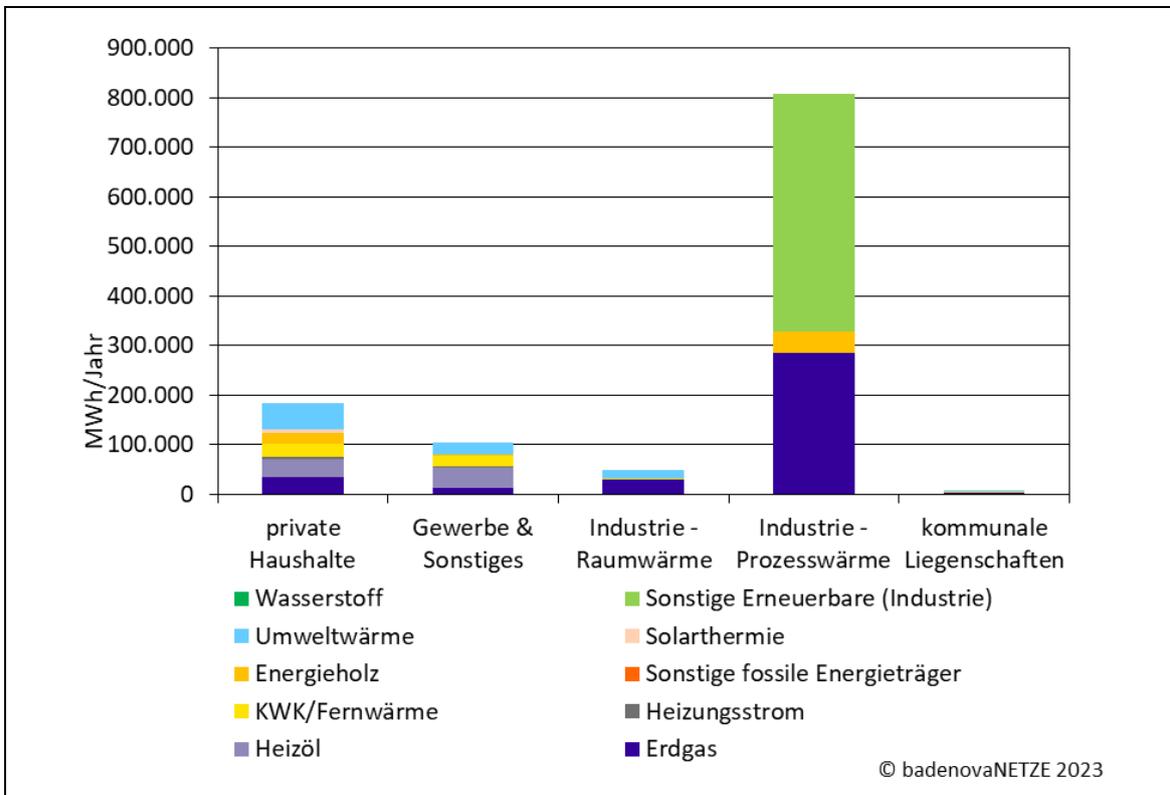


Abbildung 42 – Wärmeverbrauch nach Sektor und Energieträger im Jahr 2030

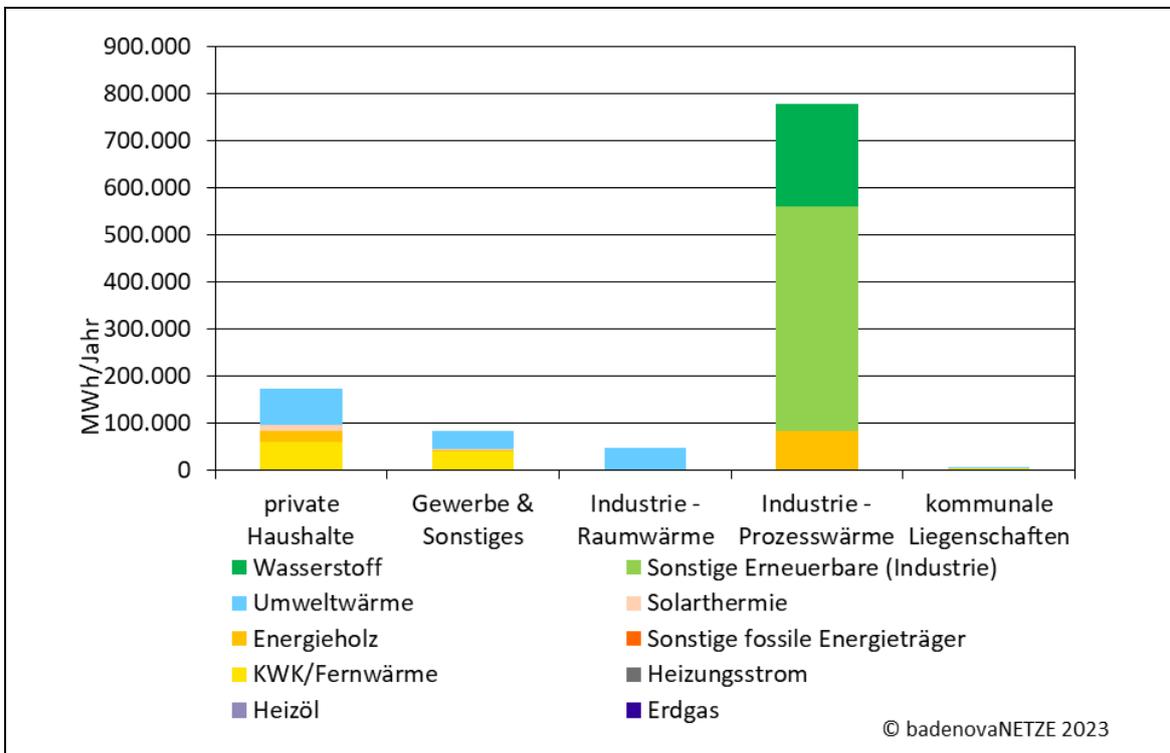


Abbildung 43 – Wärmeverbrauch nach Sektor und Energieträger im Jahr 2040

3.4 Entwicklung der wärmebedingten THG-Emissionen im Zielszenario

Anhand der Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger wurden die THG-Emissionen für die Wärmeerzeugung im Zielbild ermittelt. Demnach verursacht die Wärmeversorgung der Stadt Kehl im Jahr 2040 THG-Emissionen von insgesamt ca. 26.650 t CO_{2e} (wärmebedingte THG-Emissionen im Jahr 2019: ca. 262.350 t CO_{2e}). Das bedeutet, dass im Vergleich zum Jahr 2019 die Emissionen in der Stadt Kehl um insgesamt 90 % sinken müssen bzw. um jährlich etwa 11.200 t CO_{2e} gesenkt werden müssen, um das Ziel einer klimaneutralen Wärmeversorgung bis zum Jahr 2040 zu erreichen.

Die Abbildung 44 stellt, analog zur Entwicklung der Energieträger (vgl. Abbildung 40), die szenarische Entwicklung der wärmebedingten THG-Emissionen, differenziert nach Energieträger, bis 2040 dar. Es wird deutlich, dass die Reduktion und der Ersatz fossiler Energieträger durch lokale erneuerbare Energien zu einer Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Kehl führen können.

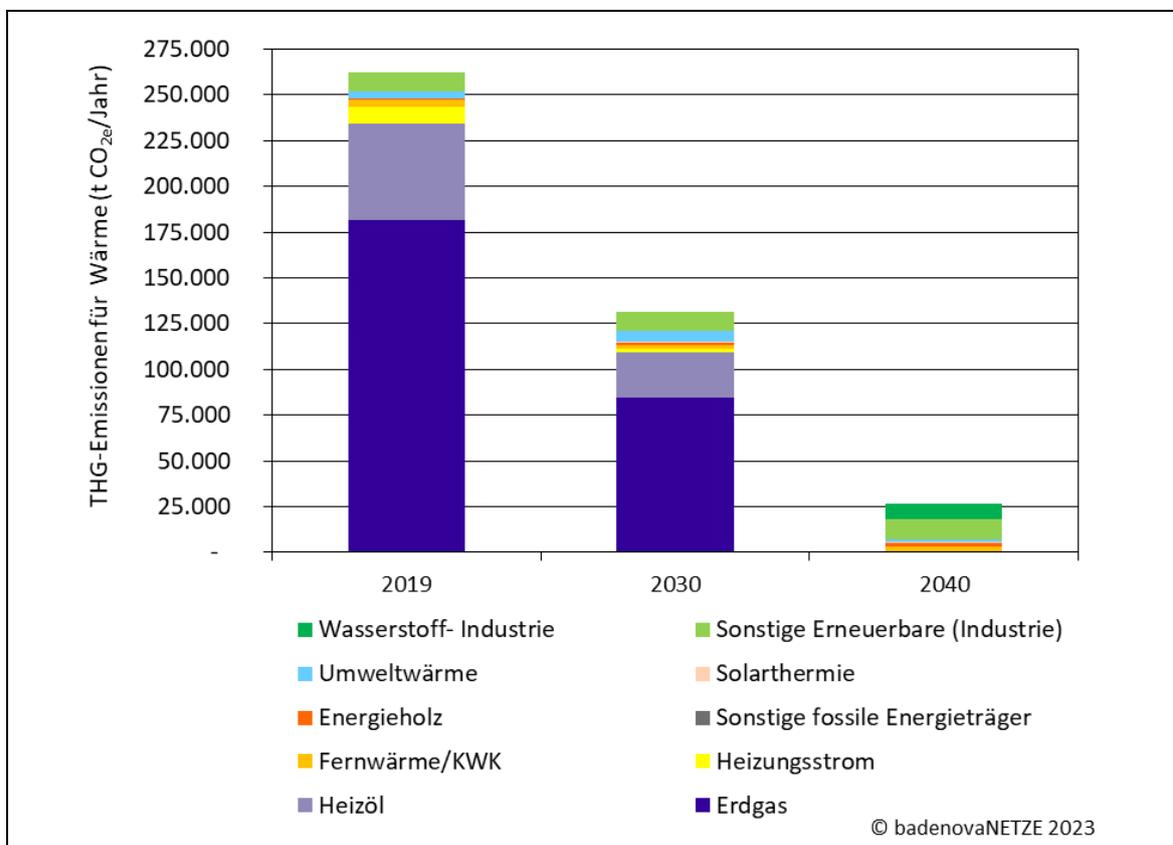


Abbildung 44 – Entwicklung der wärmebedingten THG-Emissionen im Zielszenario bis zum Jahr 2040

3.5 Strombedarfsdeckung im Zielszenario

Das Zielszenario zeigt, dass der Strombedarf für die Wärmeerzeugung (Elektrowärme) durch den zukünftigen Einsatz von Wärmepumpen von ca. 19.100 MWh im Jahr 2019 (Stromheizungen und Wärmepumpen) auf rund 63.300 MWh im Jahr 2040 steigen wird. Da Nachtspeicherheizungen

im Jahr 2040 keine Rolle mehr spielen werden, ist dieser Stromverbrauch rein den Wärmepumpen zuzuordnen. Der Strombedarf für Wärmepumpen könnte im Jahr 2040 zu etwa 85 % durch Freiflächen-PV-Anlagen in Kehl gedeckt werden.

In der Summe steigt der Strombedarf bis 2040 von etwa 1.250.000 MWh/Jahr auf ca. 1.400.000 MWh/Jahr an. Treiber dieser Entwicklung sind die Elektromobilität und der Stromverbrauch der Wärmepumpen. Zu beachten ist, dass im Stromverbrauch auch Stromverbräuche für Industrieprozesse enthalten sind. Auf Grund der sehr spezifischen Industrieprozesse und aus methodischen Gründen wurden diese Verbräuche nicht dem Wärmebedarf zugeordnet (vgl. Kapitel 2.3.6).

Der Stromverbrauch der privaten Haushalte berücksichtigt den Bevölkerungszuwachs als auch den allgemein leichten Rückgang des Stromverbrauchs im privaten Sektor (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021). Insgesamt sinkt der Stromverbrauch im privaten Sektor somit nur marginal von ca. 38.300 MWh auf ca. 37.600 MWh. Der Stromverbrauch für den Sektor Wirtschaft wird in diesem Szenario auf Grund der unvorhersehbaren Einflussfaktoren bei ca. 1.130.000 MWh über die Jahre stabil gehalten. Der Stromverbrauch kann durch Effizienzsteigerungen sinken, gleichzeitig aber durch Wirtschaftswachstum ansteigen.

Auf Grund des hohen Industriestromverbrauchs in Kehl wird der Strombedarf der Stadt lediglich zu ca. 20 % durch Eigenstromerzeugung aus lokalen erneuerbaren Energien (Photovoltaik, Biomasse und Wasserkraft) zu decken sein (vgl. Kapitel 2.4.3). Für den Industriesektor müssen deshalb besondere Anstrengungen unternommen und individuelle Maßnahmen getroffen werden.

Betrachtet man lediglich den Stromverbrauch der privaten Haushalte, der öffentlichen Liegenschaften, der Wärmepumpen (Elektrowärme) und der Elektromobilität in Kehl, könnte dieser Stromverbrauch bis zum Jahr 2040 theoretisch zu 198 % mit lokalen erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Abbildung 45 fasst dies zusammen und stellt den gesamten Stromverbrauch im Zielszenario der potenziellen lokalen Stromerzeugung gegenüber.

Der THG-Emissionsfaktor wird bis zum Jahr 2040 durch die erhöhte Einspeisung von erneuerbarem Strom stark sinken.

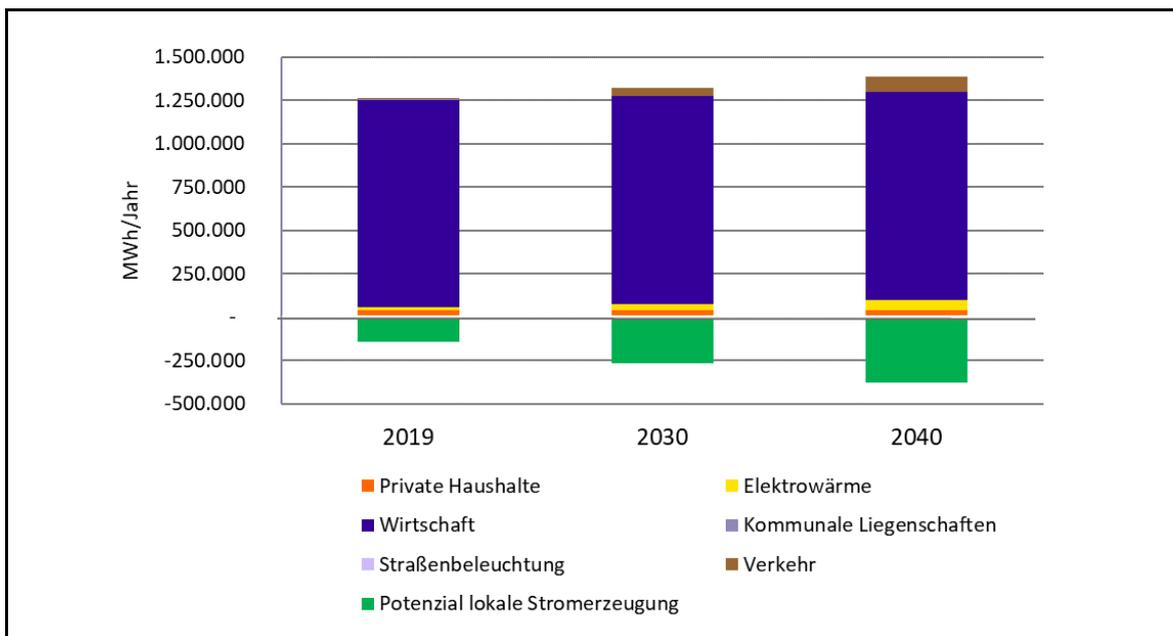


Abbildung 45 – Stromverbrauch im Zielszenario im Vergleich zum lokalen Stromerzeugungspotenzial

3.6 Zukünftige Versorgungsstruktur 2030 und 2040

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

- Hohe Wärmedichte auf Straßenzugsebene
- Passender Sanierungszyklus der Heizanlagen
- Passende Energieträgerverteilung (z.B. wenige Wärmepumpen)
- Lokale Abwärmepotenziale
- Lokale Potenziale erneuerbarer Energien
- Großverbraucher als Ankerkunden
- Siedlungs- und Besitzstrukturen (z.B. viele öffentliche Gebäude)
- Potenzielle Heizzentralenstandorte

Bei der Eignungsgebietsfestlegung wurden alle Gebiete, die sich außerhalb von zentralen Eignungsgebieten befanden, den Gebieten für eine zukünftig dezentrale Versorgung zugewiesen. Die Eignungsgebiete wurden intensiv mit der Stadtverwaltung und der Wärmegesellschaft Kehl diskutiert und im Rahmen der Akteursbeteiligung auch Bürgern und Akteuren vorgestellt.

Die Eignungsgebiete für eine zentrale und dezentrale Wärmeversorgung sind in Abbildung 46 dargestellt. Im Anhang sind zudem Steckbriefe der Ortsteile zu finden, in denen der energetische Ist-Zustand beschrieben wird und die Umsetzungspotenziale in den dezentralen und zentralen Eignungsgebieten erläutert werden.

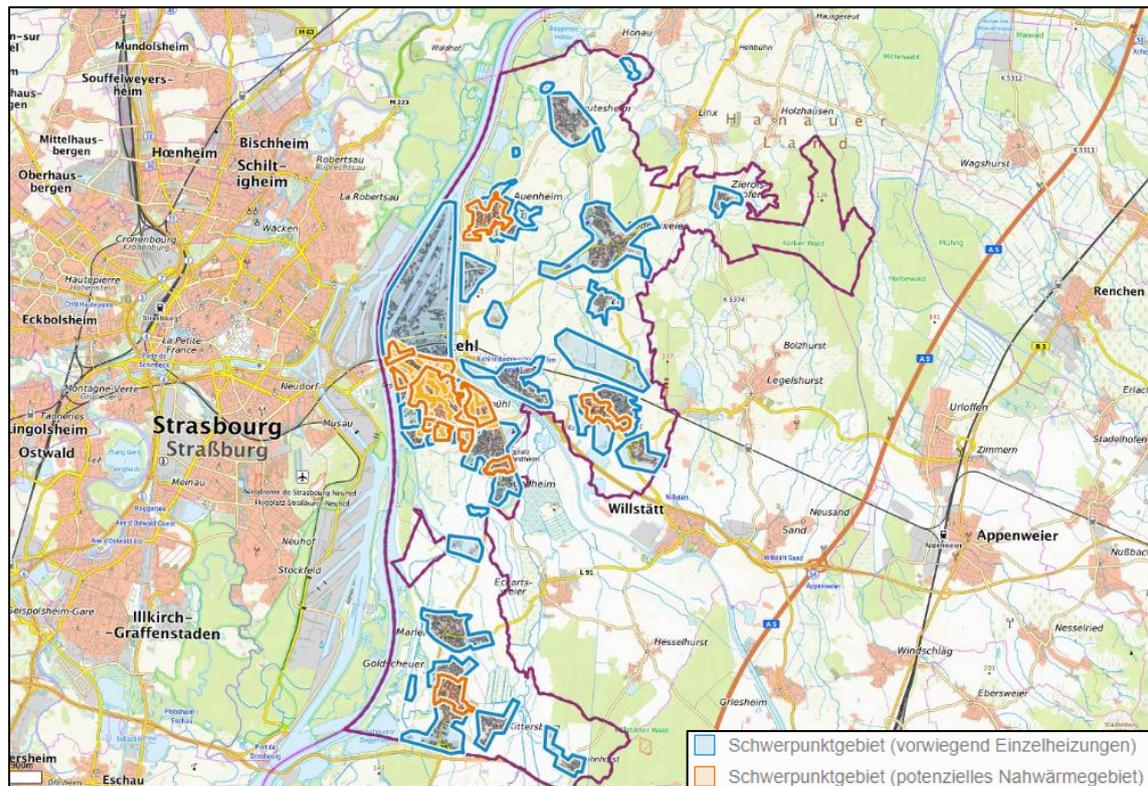


Abbildung 46 – Zentrale und dezentrale Eignungsgebiete der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Kehl (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023)

3.6.1 Energiespeicher

Die Entwicklung des zukünftigen Energieverbrauchs wird im Zielszenario bilanziell über den Zeitraum von einem Jahr berechnet und dargestellt. Saisonale und tagesbedingte Schwankungen, wie beispielsweise der erhöhte Wärmebedarf im Winter und der daraus resultierende höhere Strombedarf durch Wärmepumpe oder die höheren Stromerträge, welche PV-Anlagen im Sommer erzeugen, werden zunächst nicht berücksichtigt. Allerdings stellen solche Schwankungen des Verbrauchs und der Verfügbarkeit durchaus große Hürden für das Gelingen der Wärmewende dar. Diese Hürden müssen bei der zukünftigen Umsetzung von Maßnahmen in Kehl durchaus berücksichtigt werden. In den folgenden Abschnitten werden deshalb solche Speicher, die in Kehl zur Umsetzung der Wärmewende und zum Erreichen des Zielbilds eingesetzt werden könnten, erläutert und deren Einsatzbereiche geschildert. Welche Technologie bei einer Maßnahme eingesetzt wird, muss anhand wirtschaftlicher und technischer Kriterien im Einzelfall bewertet werden. In der Abbildung 47 werden verschiedene Speichertechnologien nach ihrer Speicherkapazität und der Dauer der Speicherung dargestellt. Zusätzlich sind oben Beispiele für die entsprechenden Kapazitäten genannt. Bei hohen Kapazitäten (großen Energiemengen), wie sie zum Beispiel eine Großstadt benötigt, müssten erneuerbare Gase (rot: Power-to-Gas) zum Einsatz kommen. Die zukünftige Rolle dieser Gase wird in Abschnitt 3.7 erläutert. Für die Wärmewende in Kehl werden vor allem kleine bis große Wärmespeicher (orange), sowie auf Grund der Sektorenkopplung, Stromspeicher entscheidend sein.

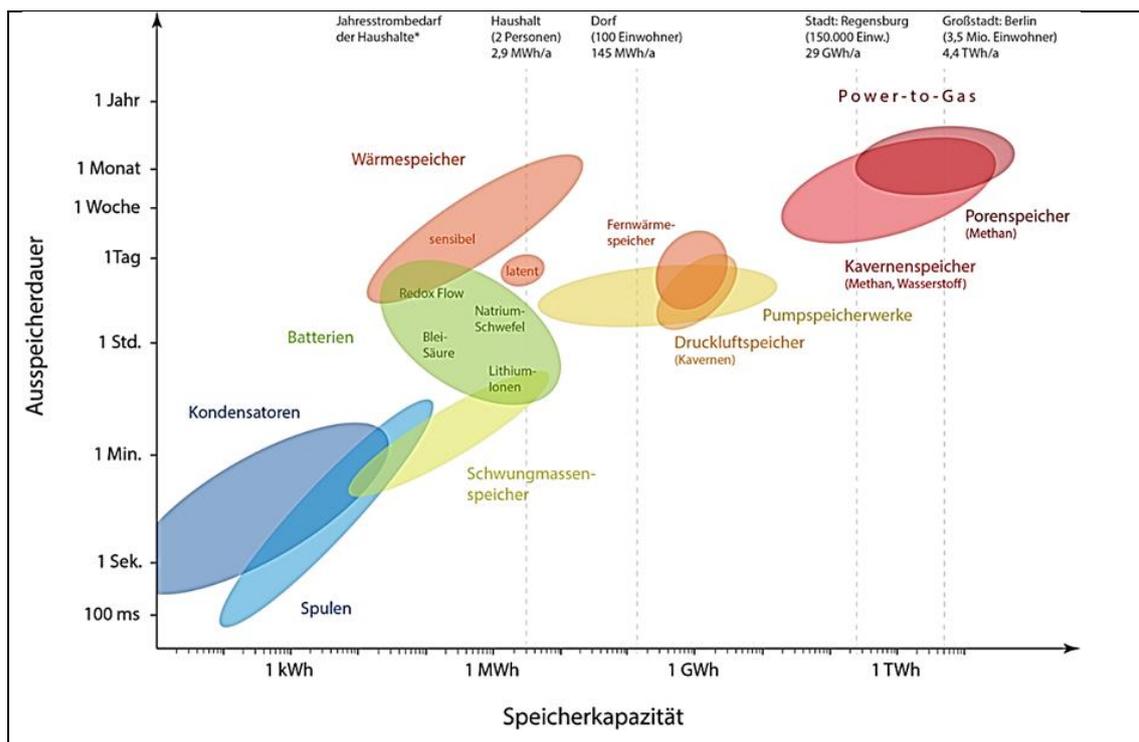


Abbildung 47– Übersicht der Speicherkapazität und Ausspeicherdauer verschiedener Speichertechnologien (Sterner & Stadler, 2014)

3.6.1.1 Thermische Energiespeicher (Wärmespeicher)

Die thermischen Energiespeicher können in verschiedene Speicherkonzepte unterteilt werden. Bei sensiblen Speichern erfolgt die Wärmespeicherung durch Temperaturveränderung des Speichermediums. Latente Speicher hingegen nutzen zur Wärmespeicherung hauptsächlich den

Phasenwechsel von fest zu flüssig. Bei thermochemischen Wärmespeichern erfolgt die Wärmespeicherung in Form einer reversiblen thermo-chemischen Reaktion (dena, (2023)).

- **Heißwasser-Speicher**
Beim Heißwasser-Speicher (Pufferspeicher) befindet sich das Wasser in einem isolierten Behälter, der je nach Anwendungsfall von kleinen Speichern mit wenigen Kubikmetern in Gebäuden bis hin zu Großwasserspeichern für die saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen eingesetzt werden kann.
- **Kies-Wasser-Speicher**
Bei einem Kies-Wasser-Speicher dient ein Gemisch aus Kies und Wasser als Speichermedium. Kies-Wasser-Speicher werden bisher überwiegend als Langzeitwärmespeicher oder Zwischenspeicher für solare Nahwärmenetze bzw. Gebäudekomplexe eingesetzt.
- **Eisspeicher**
Der Eisspeicher besteht in der Regel aus einer Betonzisterne, die komplett unter der Erdoberfläche vergraben und nicht isoliert wird. Der erste Wärmetauscher entzieht dem Wasser seine Wärmeenergie, wodurch die Temperatur mit jedem Durchlauf sinkt und das Wasser mit der Zeit gefriert. Der Regenerationswärmetauscher führt der Zisterne hingegen Wärme zu, die er beispielsweise über eine Erdsonde oder durch eine Solarthermie-Anlage bezieht. Eisspeicher dienen sowohl als Wärmequelle als auch als saisonale Wärmespeicher. Es existieren technische Lösungen für kleine Gebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser) und größere Gebäude sowie für die Einbindung in ein kaltes Nahwärmenetz.
- **Sorptionsspeicher**
Die Wärmespeicherung erfolgt durch chemisch reversible Reaktionen oder den Sorptionsprozess (Ab- und Adsorptionsprozess) und zeichnet sich besonders durch eine hohe Energiedichte aus.

3.6.1.2 Stromspeicher

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

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

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

3.7 Transformation des Erdgasnetzes

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

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

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

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

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

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

- Szenario 3: Geordneter Rückzug des Erdgasnetzes

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

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

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

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

Die Rahmenbedingungen, die die Transformation des Erdgasnetzes formen werden, liegen zum größten Teil weder in der Hand der Stadt noch in der Hand der Erdgasnetzbetreiber. Um geeignete Maßnahmen mit Blick auf die Transformation des Erdgasnetzes zu erarbeiten und an die sich noch in Entwicklung befindenden und sich wandelnden Rahmenbedingungen zu adaptieren, wird in den kommenden Jahren ein regelmäßiger Austausch zwischen der Stadt Kehl und dem Netzbetreiber notwendig sein. Zusätzlich müssen die Entwicklungen im Erdgasnetz frühzeitig mit den Bürgerinnen und Bürgern und den Betrieben der Stadt abgestimmt und kommuniziert werden, damit diese die Perspektiven zur Energieversorgung über das Erdgasnetz bei Investitionsentscheidungen berücksichtigen können bzw. unter Umständen auch rechtzeitig mit Alternativen planen können.

3.7.1 Wasserstoffanbindung für Kehl

In der Region Kehl befindet sich aktuell ein hohes Erdgasabnahmeaufkommen, hauptsächlich begründet durch dort angesiedelte Industrie- und Gewerbeunternehmen. Dieses Erdgasabnahmeaufkommen entspricht zu gewissen Anteilen einem Wasserstoff-Abnahmepotenzial. Aufgrund dieses hohen Wasserstoffabnahmepotenzials plant badenovaNETZE die Anbindung von Kehl an das Wasserstoffnetz ab 2035.

Im Rahmen des Projekts RHYn Interco wird eine Verbindung zum European Hydrogen Backbone über eine Rheinquerung bei Fessenheim (Frankreich) im Jahr 2028 hergestellt (vgl. Abbildung 49). Über diese Anbindung an den Backbone bekommt der südliche Oberrhein Zugang zu unterschiedlichen Erzeugungsschwerpunkten von grünem Wasserstoff im europäischen Ausland. Im Anschluss an die Rheinquerung werden über umgestellte Erdgasleitungen sowie neu zu errichtende Wasserstoffleitungen zunächst Freiburg und ab dem Jahr 2035 Kehl angeschlossen. Für den Anschluss der Stadt Kehl wird nach aktuellem Planungsstand eine 18 km lange Neubauleitung ab der Übernahmestation bei Weier neu gebaut. Eine Umstellung bestehender Leitungen ist im Gebiet um Kehl nicht möglich, da das aktuelle Erdgasnetz einige umliegende und vorgelagerte Kommunen versorgt, die so ihren Zugang zu Erdgas verlieren würden. Mehrere potenzielle Wasserstoff-Großabnehmer aus Kehl haben bereits ihr Interesse an einer leitungsgebundenen Wasserstoffabnahme bekundet.

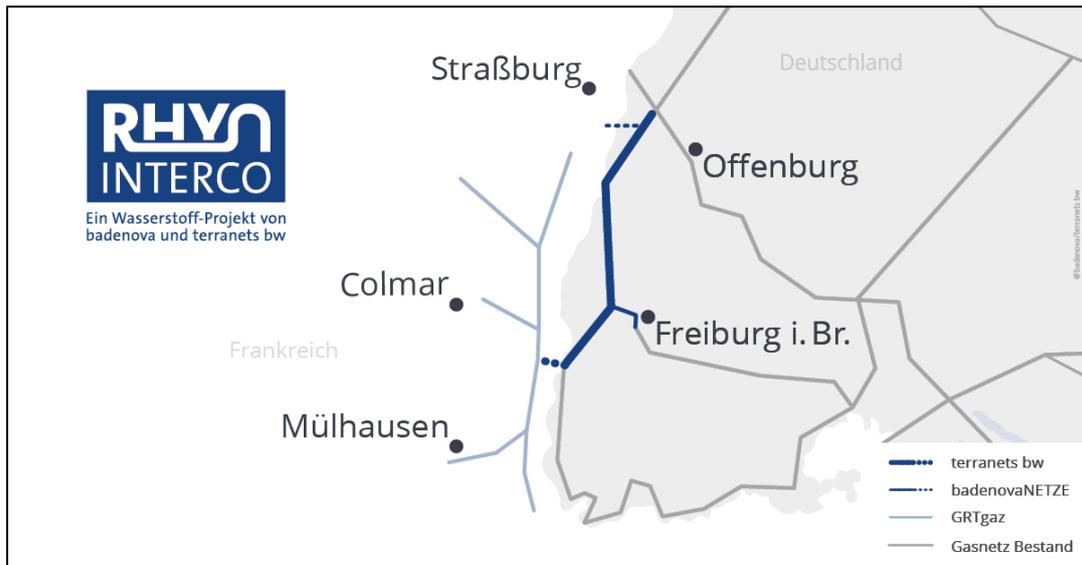


Abbildung 48 – RHYn Interco Netzkarte (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023)

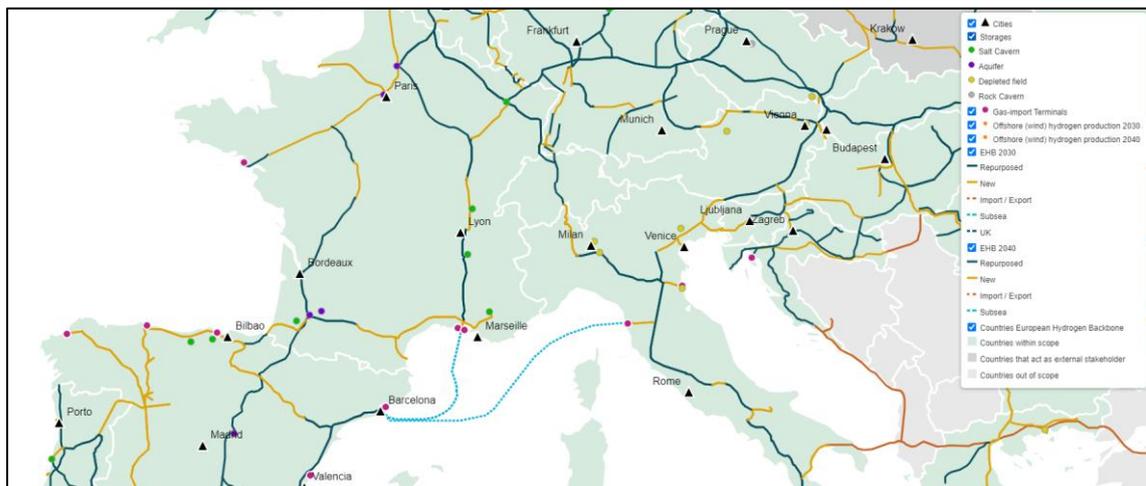


Abbildung 49 – European Hydrogen Backbone 2040 (European Hydrogen Backbone, 2023)

3.8 Senken für Restemissionen

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

Es gibt bereits verschiedene Ansätze zur Treibhausgaskompensation. Ein häufig angewandter Ansatz besteht darin, in Projekte zu investieren, die zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beitragen. Dazu gehören beispielsweise erneuerbare Energien, Energieeffizienzprojekte

oder Aufforstungs- und Waldschutzprojekte. Diese Projekte tragen dazu bei, den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern oder CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen.

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

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

- Technische Lösungen:
 - » **Carbon Capture and Storage:** CO₂ wird aus Industrieprozessen oder Kraftwerksabgasen abgeschieden und anschließend unterirdisch gespeichert, um zu verhindern, dass es in die Atmosphäre gelangt. Das CO₂ wird in geologischen Formationen wie tiefen Salzwasserreservoirs oder leeren Öl- und Gasfeldern gespeichert.
 - » **Carbon Capture and Utilization:** CO₂ wird abgeschieden und anschließend für industrielle Prozesse oder die Herstellung von Produkten verwendet. Beispiele hierfür sind die Verwendung von CO₂ als Rohstoff in der chemischen Industrie, die Produktion von künstlichen Kraftstoffen oder die Mineralisierung von CO₂ zu festen Karbonaten.
 - » **Direct Air Capture:** CO₂ wird direkt aus der Umgebungsluft gefiltert und anschließend entweder gespeichert oder als Treibstoff oder in chemische Prozesse weiterverwendet.
 - » **Bioenergie mit CO₂-Abscheidung und -Speicherung:** Biomasse oder Energiepflanzen werden angebaut und verbrannt, wobei das entstehende CO₂ abgeschieden und gespeichert wird. Dadurch wird nicht nur CO₂ aus der Atmosphäre entfernt, sondern auch erneuerbare Energie erzeugt.

- » **Enhanced Weathering:** Diese Methode nutzt natürliche chemische Reaktionen, um CO₂ zu binden. Dabei werden beispielsweise bestimmte Gesteine zertrümmert und auf Ackerland verteilt, wo sie mit CO₂ reagieren und stabilen Kohlenstoff erzeugen.

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

An der CO₂-Kompensation und an CCS gibt es auch Kritik. Beispielsweise wird von Kritikern unterstellt, dass dadurch notwendige Maßnahmen verzögert oder verlagert werden und somit der Klimaschutz vor Ort nicht effektiv genug vorangebracht wird. Zudem gibt es auch Kritik an der Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Maßnahmen, da der eingesetzte Euro pro Tonne CO₂ teilweise deutlich effizienter in Klimaschutzmaßnahmen vor Ort investiert werden können. Auch der Vorwurf des Greenwashings steht vermehrt im Raum.

3.9 Kennwerte des Zielbilds

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

Energieträger	private Haushalte	Gewerbe & Sonstiges	Industrie - Raumwärme	Industrie - Prozesswärme	kommunale Liegenschaften	Einheit
Erdgas	69.608	24.231	63.553	571.976	5.040	MWh
Heizöl	75.999	90.764	0	0	576	MWh
Heizungsstrom	14.201	4.351	0	0	583	MWh
Fernwärme/KWK	2.657	12.025	719	0	2.398	MWh
Sonstige fossile Energieträger	30	13	0	0	196	MWh
Energieholz	22.586	2.640	0	0	0	MWh
Solarthermie	5.070	563	0	0	0	MWh
Umweltwärme	22.739	1.197	0	0	0	MWh
Sonstige Erneuerbare (Industrie)	0	0	0	479.347	0	MWh
Wasserstoff	0	0	-	-	-	MWh
Summe	212.890	135.784	64.272	1.051.323	8.794	MWh

Tabelle 9 – Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2019

Energieträger	private Haushalte	Gewerbe & Sonstiges	Industrie - Raumwärme	Industrie - Prozesswärme	kommunale Liegenschaften	Einheit
Erdgas	33.147	11.539	30.263	284.649	2.400	MWh
Heizöl	36.190	43.221	0	0	274	MWh
Heizungsstrom	6.762	2.072	0	0	278	MWh
Fernwärme/KWK	25.059	20.475	1.652	0	3.026	MWh
Sonstige fossile Energieträger	14	6	0	0	0	MWh
Energieholz	21.558	2.520	0	43.270	0	MWh
Solarthermie	8.852	984	0	0	115	MWh
Umweltwärme	51.149	24.079	17.436	0	304	MWh
Sonstige Erneuerbare (Industrie)	0	0	0	479.347	0	MWh
Wasserstoff	0	0	-	-	-	MWh
Summe	182.731	104.895	49.352	807.266	6.397	MWh

Tabelle 10 – Szenario Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2030

Energieträger	private Haushalte	Gewerbe & Sonstiges	Industrie - Raumwärme	Industrie - Prozesswärme	kommunale Liegenschaften	Einheit
Erdgas	0	0	0	0	0	MWh
Heizöl	0	0	0	0	0	MWh
Heizungsstrom	0	0	0	0	0	MWh
Fernwärme/KWK	61.370	41.186	2.500	0	3.597	MWh
Sonstige fossile Energieträger	0	0	0	0	0	MWh
Energieholz	21.558	2.520	0	82.606	0	MWh
Solarthermie	12.290	1.366	0	0	220	MWh
Umweltwärme	76.976	37.300	45.130	0	580	MWh
Sonstige Erneuerbare (Industrie)	0	0	0	479.347	0	MWh
Wasserstoff	0	0	-	217.152	-	MWh
Summe	172.194	82.371	47.630	779.105	4.397	MWh

Tabelle 11 – Szenario Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung, aufgeteilt nach Energieträgern und Sektoren für das Jahr 2040

Energieträger	2019	2030	2040	Einheit
Erdgas	17.799	97	-	MWh
Biomethan	-	1.704	3.408	MWh
Abwärme	-	26.614	55.000	MWh
Holz/Biomasse	-	1.476	1.744	MWh
Solarthermie Freiflächen	-	8.000	8.000	MWh
Grundwasser/Wärmepumpen	-	7.320	17.765	MWh
Flusswärme/Großwärmepumpe	-	5.000	10.000	MWh
Wasserstoff	-	-	12.735	MWh
Summe	17.799	50.211	108.652	MWh

Tabelle 12 – Energieträgerverteilung der zentralen Wärmeversorgung über Wärmenetze

4. Kommunale Wärmewendestrategie

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

Die wichtigsten Ziele der Wärmewendestrategie sind:

- **Energieverbrauch senken**

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

- **Dekarbonisierung der Wärmeversorgung**

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

- **Dekarbonisierung der Stromversorgung**

Das Gelingen der Wärmewende, mit Blick auf die Wichtigkeit der strombetriebenen Wärmepumpe, ist dadurch direkt an die Dekarbonisierung der Stromversorgung gekoppelt. In Kehl müssen dazu die vorhandenen PV-Potenziale ausgebaut werden. Die identifizierten Potenziale reichen für eine klimaneutrale Stromversorgung der privaten Haushalte aus. Für den Industriesektor müssen besondere Anstrengungen unternommen und individuelle Maßnahmen getroffen werden. Um die Fluktuation der erneuerbaren

Energiequellen und die Winterlücke auszugleichen, werden Energiespeicher in Form von Stromspeichern und in Zukunft PtG-Anlagen benötigt.

4.1 Kommunale Handlungsfelder für die Wärmewende

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

4.1.1 Strategie, Organisation und Verankerung in der Verwaltung

Der kommunale Wärmeplan wurde in Abstimmung mit der Stadt Kehl erstellt, so dass das Thema und die Inhalte bereits in den bestehenden Strukturen integriert und die Zuständigkeiten innerhalb der Verwaltung geordnet sind. Durch regelmäßiges Monitoring soll in Zukunft über den Fortschritt und evtl. auftretende Hemmnisse beraten werden. Zudem können neue Maßnahmen aufgenommen werden. Nach und nach soll der Wärmeplan als wichtiges Tool in den Planungsalltag in der Stadtplanung, beim Tiefbau, bei der Entwicklung von Neubaugebieten und bei den städtischen Liegenschaften integriert werden.

Darüber hinaus sollte auch der Stadtrat die Maßnahmen und die Strategie des kommunalen Wärmeplans mittragen und bei relevanten Entscheidungen entsprechend abwägen.

4.1.2 Klimaneutrale Wärmeversorgung der Liegenschaften

Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung der Liegenschaften ist es erforderlich, die bestehenden Gebäude zu sanieren bzw. zu modernisieren. Hierbei gilt es für die Kommune einen Plan zu entwickeln, um frühzeitig geeignete Maßnahmen abzuleiten und die dafür notwendigen Finanzmittel für die zukünftigen Investitionsmaßnahmen in Ihrem Haushalt berücksichtigen zu können. Sinnvolle Maßnahmen werden beispielsweise in Zusammenarbeit mit Energieberatern in Form von Sanierungskonzepten für Nichtwohngebäude ausgearbeitet. Eventuell mögliche Förderprogramme können seitens des Energieberaters im Zuge der Beratung dargestellt und vor der Realisierung der Maßnahme beantragt werden. Darüber hinaus sind auch Einspar- und Effizienzmaßnahmen ein zusätzlicher Schritt, um den Energieverbrauch der Liegenschaften zu senken. Entsprechende Maßnahmen sind in Kapitel 2.1 und 2.2 beschrieben. Die Reduktion der Energieverbräuche durch Effizienzsteigerung und Modernisierung der Gebäude ist der Grundstein für eine erfolgreiche Umstellung zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien.

4.1.3 Ausbau der zentralen Wärmeversorgung

Der Ausbau der zentralen Wärmeversorgung ist ein essenzieller Bestandteil der Wärmewendestrategie der Stadt Kehl. Mithilfe von geförderten Machbarkeitsstudien und Quartierskonzepten werden Wärmeabsatzprognosen, Trassenverläufe und Erzeugerstrukturen mit Hinsicht auf der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit untersucht und gegenübergestellt. Auf dieser Basis können Wärmenetze entwickelt werden und in die Umsetzung kommen. Die Stadt Kehl und die Wärmegesellschaft Kehl haben bereits Machbarkeitsstudien für das Neubaugebiet Kehl Hühnerbünd II sowie für das Stadtgebiet erstellt. Mithilfe der Ergebnisse der Studien wird nun das neue Wärmenetz in Kehl - Neumühl aufgebaut bzw. das bestehende Wärmenetz Kreuzmatt massiv erweitert und transformiert mit erneuerbaren Energieträgern.

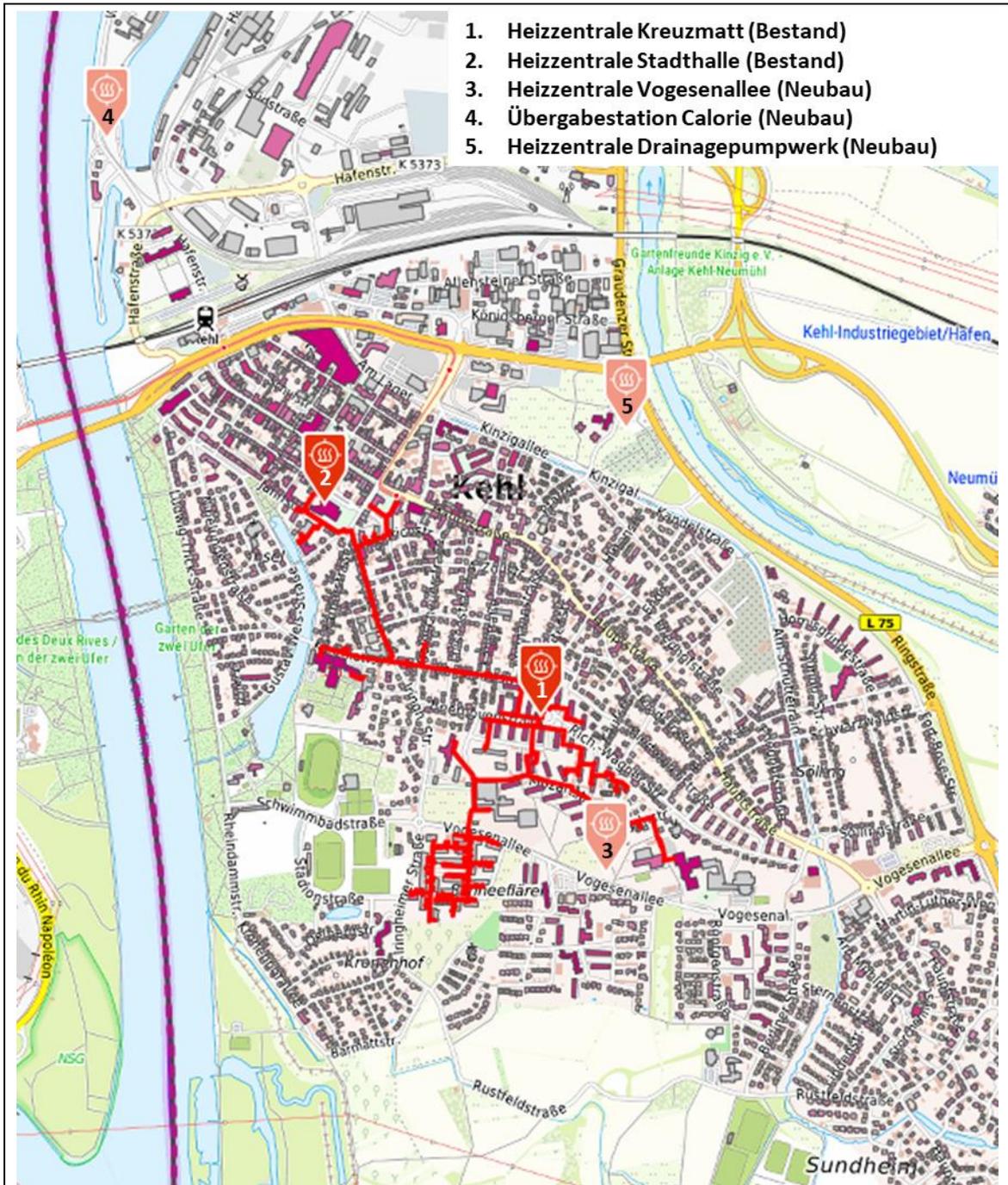


Abbildung 50 – Aktuelle und zukünftige Energiezentralen (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)

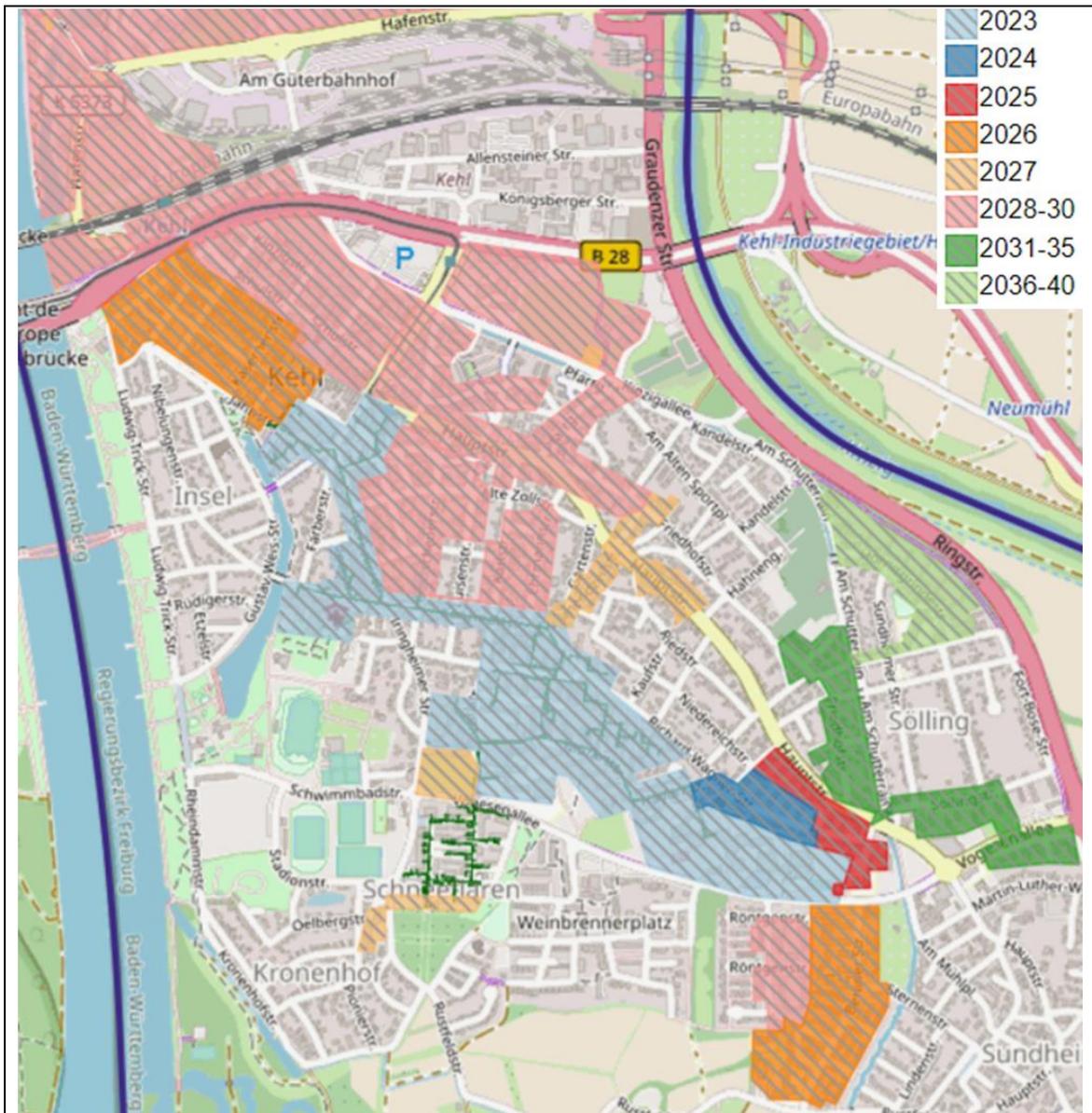


Abbildung 51 – Zeitlicher Ausbauplan der Fernwärme (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)

4.1.4 Ausbau erneuerbarer Energien

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

Dazu müssen zunächst die wärmeseitig vorhandenen Potenziale erschlossen werden. Über Wärmepumpen kann Umweltwärme aus Luft, Grundwasser und Erdreich zur dezentralen Gebäudebeheizung nutzbar gemacht werden. Des Weiteren sollten Grundwasserpotenziale erkundet werden, die sich im westlichen Stadtgebiet in ca. 10 bis 15 m Tiefe befinden. Grundwasserwärme kann im westlichen Stadtgebiet von Kehl einen wichtigen Beitrag zur klimaneutralen Wärmeversorgung über zentrale Wärmenetze leisten. Zudem sollten professionelle Analysen für die Erschließung von weiteren Abwärmquellen in der Industrie durchgeführt werden. Die Stadt kann darauf durch Kommunikation mit den relevanten Unternehmen einwirken.

Zur Deckung des zusätzlichen Stromverbrauchs durch Wärmepumpen müssen auch stromseitig vorhandene Potenziale im Rahmen einer klimaneutralen Wärmeversorgung erschlossen werden. Die Betrachtung der Potenzialgebiete für PV-Freiflächen in Kehl ergibt ein Standortpotenzial von mindestens 62,5 ha. Die Stadt kann hierbei die Voraussetzungen für den Ausbau auf Freiflächenabschnitten wie entlang der Bahnlinie schaffen und deren Umsetzung koordinieren. Zudem sollten Parkplatzflächen auf deren PV-Überdachungspotenzial untersucht werden.

4.1.5 Kommunikation und Information

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Maßnahmen des kommunalen Wärmeplans 2023

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

1. Aufbau von handlungsfähigen Strukturen in der Verwaltung zur Umsetzung der Wärmewende in der Stadt
2. Erstellung von Sanierungsfahrplänen für die öffentlichen Liegenschaften
3. Definition und Beschluss der städtebaulichen Vorgaben
4. Mittelfristplan für den Ausbau der zentralen Wärmeversorgung
5. Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zur Wärmewende in der Stadt
6. Bereitstellung von Mitteln für Förderprogramme
7. Eigenkapitalstärkung der Wärmegesellschaft Kehl
8. Etablierung einer Wärmerunde der Stadt Kehl mit der Calorie und weiteren lokalen Akteuren

Hiervon wurden fünf Maßnahmen von der Stadtverwaltung als „Top-Maßnahmen“ priorisiert. Die Umsetzung dieser fünf Maßnahmen muss nach Landesgesetz in den ersten fünf Jahren angegangen werden.

Top-Maßnahmen der Stadt Kehl:

1. Aufbau von handlungsfähigen Strukturen in der Verwaltung zur Umsetzung der Wärmewende in der Stadt
2. Erstellung von Sanierungsfahrplänen für die öffentlichen Liegenschaften
3. Definition und Beschluss der städtebaulichen Vorgaben
4. Mittelfristplan für den Ausbau der zentralen Wärmeversorgung
5. Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zur Wärmewende in der Stadt

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

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

4.2.1 Top - Maßnahme: Aufbau von handlungsfähigen Strukturen in der Verwaltung zur Umsetzung der Wärmewende in der Stadt

Innerhalb der Stadtverwaltung wird es bei der Umsetzung der Wärmewende zu einer erheblichen Aufgabenlast kommen, der mit einer sinnvollen Strukturierung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten zu begegnen ist. Organisationsaufgaben, Koordinierung, Informationsanforderung und Transparenz werden hohe Arbeitskraft-Ressourcen benötigen, die effizient und effektiv zu verteilen sind.

Die Stadtverwaltung ist daher gefordert, sich frühzeitig Gedanken hinsichtlich der internen Organisation zu machen, einerseits um Lastspitzen für einzelne Mitarbeiter zu vermeiden, andererseits um den Arbeitsprozess reibungslos zu gestalten (z.B. Ansprechpartner für diverse Aufgaben zu bestimmen). Mit der Maßnahme gilt es, rechtzeitig ein entsprechendes Controlling aufzubauen.

Gleiches betrifft die Betreiber der Wärmeversorgungsnetze, im speziellen die Wärmegegesellschaft Kehl. Der künftige Ausbau der Wärmenetze ist neben einem hohen finanziellen Aufwand vor allem auch mit einem hohen personellen Aufwand verbunden. Für die Planung und Umsetzung der Wärmenetze gilt es entsprechende Kapazitäten einzuplanen und entsprechende Ansprechpartner zu definieren. Eine gute und regelmäßige Abstimmung zwischen Wärmegegesellschaft und Stadtverwaltung ist für den erfolgreichen Ausbau der Wärmenetze und damit der Umsetzung der Wärmewende essenziell (vgl. auch Maßnahme 4).

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Wärmenetzbetreiber
Zeithorizont	Ab sofort, kontinuierlich
CO₂-Einsparung	k.A.
Kosten	k.A.
Energieeinsparung	k.A.
Zielwert	Ausbau der Wärmenetze im Zeitplan (vgl. Maßnahme 4).

4.2.2 Top - Maßnahme: Erstellung von Sanierungsfahrplänen für die öffentlichen Liegenschaften

Die Stadtverwaltung nimmt eine Vorreiterrolle und Vorbildfunktion im Bereich Klimaschutz und Nachhaltigkeit ein. Um das Ziel einer klimaneutralen Verwaltung erreichen zu können, müssen die städtischen Liegenschaften möglichst schnell auf einen hohen Sanierungsstand gebracht werden.

Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle (Fassadendämmung, Fenster, Dach oder Dachgeschoß und Kellerdecke oder Bodenplatte) kann der Energieverbrauch durch Effizienzmaßnahmen am Heizsystem und durch moderne Gebäudetechnik reduziert werden.

Für eine strukturierte Vorgehensweise wäre es sinnvoll zunächst einen Prioritätenplan zu erstellen. Die Erstellung von Sanierungsfahrplänen bzw. Sanierungskonzepten für die städtischen Liegenschaften könnte hierbei ein grundlegender Baustein sein, um Sanierungsmaßnahmen und deren Umsetzung für einzelne Gebäude planen zu können. Bei der Priorisierung gilt es verschiedene Faktoren abzuwägen, bspw.:

- Bestehender oder absehbarer, dringender Handlungsbedarf
- Synergieeffekte: Bereits geplante Maßnahmen am Gebäude oder Projekte im Quartier
- Energieeffizienzklasse: Gebäude mit einem besonders hohen spezifischen Wärmeverbrauch
- Wirksamkeit: Gebäude mit einem besonders hohen absoluten Wärmeverbrauch
- Vorhandene Potenziale zur Nutzung lokaler erneuerbarer Energien

Die Umsetzung der Maßnahmen sollte zudem durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit begleitet werden, um auch die Vorbildfunktion dieser Maßnahmen zum Tragen zu bringen.

Die Stadt kann zudem bei eigenen Neubauten über Bauweise und Wärmeversorgung entscheiden. Mit einem Beschluss kann die Stadt den Bau klimaneutraler Gebäude (z.B. auf den EU-Standard „Nullemissionsgebäude“) und den Einsatz erneuerbaren Energien bei Ihren eigenen Neubauten festsetzen (vgl. auch Maßnahme 3).

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Gebäudemanagement
Zeithorizont	ab sofort, kontinuierlich
CO₂-Einsparung	2.400 t/Jahr durch Ausschöpfung des Sanierungspotenzials
Kosten	Die Förderhöhe eines Sanierungskonzepts beträgt 80 % des förderfähigen Beratungshonorars, das Beratungshonorar darf max. 8.400 Euro netto betragen. Die genaue Höhe hängt von der Nettogrundfläche des betreffenden Gebäudes ab.
Energieeinsparung	Ca. 4.400 MWh Wärmeverbrauch/ Jahr
Zielwert	Für die kommunalen Liegenschaften werden kontinuierlich Sanierungsfahrpläne erstellt. Die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen aus den Sanierungsfahrplänen werden zeitnah umgesetzt.

4.2.3 Top - Maßnahme: Definition und Beschluss der städtebaulichen Vorgaben

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

- **Energiekonzepte für Neubaugebiete:** Mit einem Energiekonzept für Neubaugebiete werden verschiedene Wärmeversorgungsvarianten auf ihre Klimateffizienz und Wirtschaftlichkeit geprüft und gegenübergestellt, so dass eine optimale Lösung gewählt bzw. umgesetzt werden kann. Dabei werden die lokalen Gegebenheiten eines Baugebiets berücksichtigt und bspw. die an dem Standort verfügbaren erneuerbaren Energieträger untersucht. Zudem können Varianten, wie der Aufbau von neuen Wärmenetzen, der Anschluss an bestehende Netze, Inselösungen (Zusammenschluss weniger Gebäude, z.B. zusammenhängender Reihenhäuser) und Einzellösungen näher betrachtet werden.
- **Festsetzungen in Bebauungsplänen:** Über den Bebauungsplan kann die Stadt diverse klimaschützende Festsetzungen umsetzen, bspw.: „Bauweise, Gebäudehöhe, Firstrichtung, Dachform und Dachneigung zur Optimierung der Nutzungsmöglichkeiten passiver Solarenergienutzung oder auch die Festsetzung von Versorgungsflächen, -anlagen und -leitungen mit dem Ziel einer Wärme- oder Nah-/Fernwärmeversorgung auf der Basis regenerativer Energieträger oder mit deren Unterstützung“ (Barth, et al., 2021).
- **Vorgaben für Neubauten:** Über städtebauliche oder privatrechtliche Verträge können Vorschriften für Neubauten festgelegt werden, bspw. der Einsatz von erneuerbaren Energien oder der Anschluss an einem Wärmenetz. Zur Umsetzung privatrechtliche Vorgaben muss die Stadt zunächst die Grundstücke erwerben, während städtebauliche Verträge in der Regel nur dort umgesetzt werden, wo ein Bauträger das Baugebiet realisiert (Barth, et al., 2021).
- **Auswahl der Neubau- bzw. Entwicklungsgebieten:** Bereits bei der Auswahl der zu entwickelnden Gebieten kann auf die perspektivische Wärmeversorgung geachtet werden, bspw. die Verfügbarkeit von erneuerbaren Wärmequellen (Barth, et al., 2021).

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

Verantwortliche Akteure	Stadtplanung
Zeithorizont	Ab sofort, kontinuierlich
CO₂-Einsparung	k.A.
Energieeinsparung	k.A.
Kosten	k.A.
Zielwert	Beschluss: Bei neuen Baugebieten wird die klimaneutrale Wärmeversorgung von der Stadtverwaltung berücksichtigt.
Folgemaßnahmen	Energiekonzepte für Neubaugebiete werden eingefordert, erstellt oder direkt beauftragt. Bebauungspläne werden auf klimaeffiziente Gebäude und Quartiere optimiert.

4.2.4 Top – Maßnahme: Mittelfristplan für den Ausbau der zentralen Wärmeversorgung

Die Stadt Kehl hat sich das ambitionierte Ziel gesetzt, den (Aus-)Bau von Wärmenetzen in den Fernwärme-Eignungsgebieten bis zum Jahr 2040 umzusetzen bzw. zu planen und zu beginnen. Ein verlässlicher Zeitplan ist für die Umsetzung essenziell und muss erarbeitet und kontinuierlich aktualisiert werden. Es müssen entsprechende Meilensteine zur Zielerreichung gesetzt werden. In der folgenden Abbildung ist ein möglicher Umsetzungszeitplan für die Wärmenetzprojekte dargestellt:

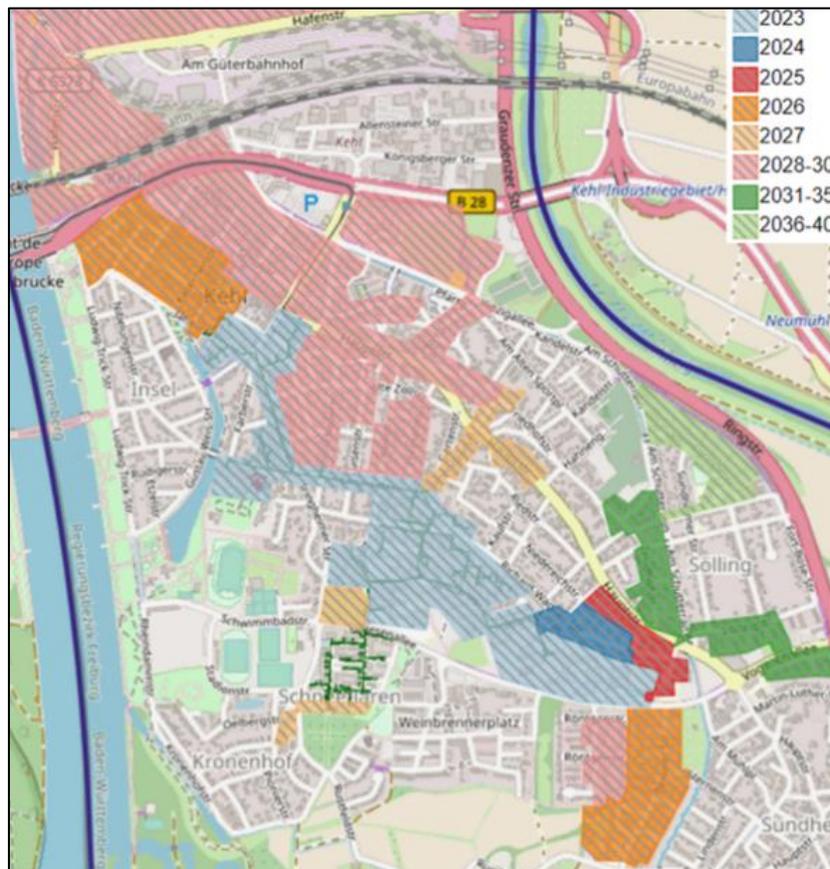


Abbildung 52 – Eignungsgebiete Fernwärme und zeitlicher Ausbauplan (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)

Die Herausforderung für den Betrieb des Wärmenetzes besteht vor allem darin, geeignete erneuerbare Energieträger für die Energiebereitstellung zu identifizieren und zu nutzen. Hierbei spielt die Nutzung der Abwärme aus industriellen Prozessen eine wichtige Rolle (vgl. Kapitel 3.3, Energieträgermix der zentralen Wärmeversorgung im Jahr 2040). Hierfür ist geplant, mehrere Wärmeerzeugungs-Standorte über einen Wärmeverbund miteinander zu verbinden.

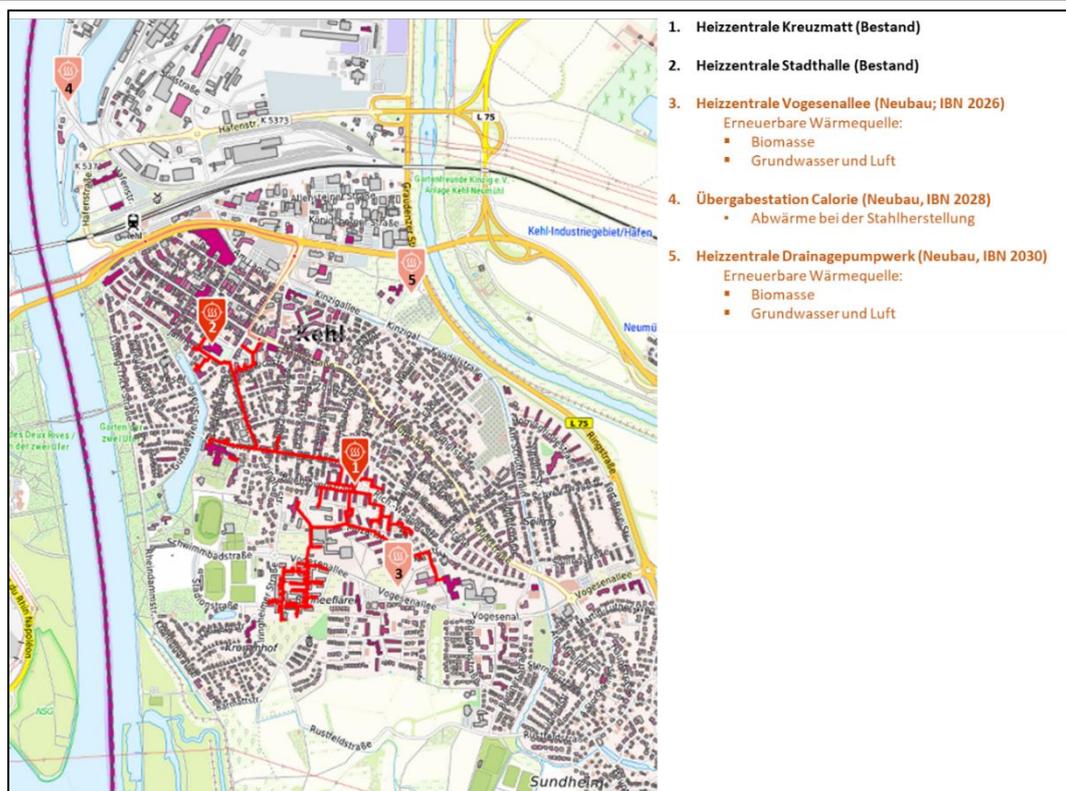


Abbildung 53 – Standorte der Wärmeerzeuger (Bestand und Neubau) (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)

Innerhalb der Verwaltung wird es zu einer erheblichen Aufgabenlast kommen, der mit einer sinnvollen Strukturierung der Aufgaben und Verantwortlichkeiten zu begegnen ist. Organisationsaufgaben, Koordinierung, Informationseinholung und Transparenz werden bei dem vorgenommenen Zeitplan ausreichend Arbeitskraft-Ressourcen benötigen, die effizient und effektiv zu verteilen sind (vgl. Maßnahme 1).

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Wärmenetzbetreiber, Wohnbaugesellschaften, Hauseigentümer, Industrie (Abwärmennutzung)
Zeithorizont	2024-2040
CO₂-Einsparung	12.000 t pro Jahr im Jahr 2040
Kosten	k.A.
Energieeinsparung	k.A.
Zielwert	Die zentralen Eignungsgebiete werden vorrangig mit Fernwärme versorgt

4.2.5 Top – Maßnahme: Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zur Wärmewende in der Stadt

Die Wärmewende für die Gesamtstadt Kehl voranzutreiben, ist eine Herausforderung. Denn auch wenn die Wärmewende flächendeckend geplant und umgesetzt werden muss, sind es am Ende die Bürgerinnen und Bürger und weitere Akteure wie Industrie und Gewerbe sowie die Wohnungswirtschaft, deren individuelle Situation Berücksichtigung finden muss, um Akzeptanz für die Wärmewende zu erlangen.

Denn sowohl die technischen als auch die politischen Rahmenbedingungen z.B. für Sanierungen, einen Heizanlagentausch oder den Anschluss an ein Fernwärmenetz und die damit zusammenhängenden Vorschriften oder Fördermöglichkeiten, sind komplex.

Es bedarf deshalb zunächst der Beratung und Information der Privathaushalte, um frühzeitig ein Bewusstsein und Wissen über die für die Wärmewende relevanten Prozesse zu schaffen.

Der kommunale Wärmeplan der badenovaNETZE GmbH beinhaltet eine Anzahl an sorgfältig ausgearbeiteten Gebäudesteckbriefen, über welche die Bürger eine erste wichtige Orientierung zu den technischen Möglichkeiten, den Einsparpotenzialen und zu den Kosten der Maßnahmen erhalten. Diese Steckbriefe können in Informationsveranstaltungen an die interessierten Bürger verteilt werden. Dazu wurden Gebäudesteckbriefe für die häufigsten Gebäudetypen und Altersklassen ausgewählt. Wichtig ist die Präsenz in jedem Ortsteil, um einen möglichst niederschweligen Zugang zu Beratung und Information zu ermöglichen. Um weitere Bevölkerungsgruppen passgenau anzusprechen, empfiehlt es sich auch hier ein Online-Angebot aufzubauen (vgl. Kapitel 2.2.4 und 10.2).

Die Wohnungswirtschaft kann ebenfalls einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Wärmewende in der Stadt Kehl leisten, da durch sie potenziell geeignete Gebäude mit hohen Wärmeverbräuchen verwaltet werden, die den wirtschaftlichen und nachhaltigen Betrieb von Wärmenetzen häufig erst möglich machen. Diese Gebäude stellen einen Schlüsselfaktor für die Umsetzung der zentralen Wärmeversorgung und somit der Wärmewende der Stadt Kehl dar.

Hierzu bedarf es der Beratung und Information der Wohnungswirtschaft. Es gilt sowohl die technischen als auch die politischen Rahmenbedingungen z.B. für Sanierungen, einen Heizanlagentausch oder den Anschluss an ein Fernwärmenetz und die damit zusammenhängenden Vorschriften oder Fördermöglichkeiten zu verdeutlichen.

Industrie und Gewerbe können einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Wärmewende in der Stadt Kehl leisten, da sie durch ihre hohen Wärmeverbräuche meist für eine zentrale Wärmeversorgung geeignet sind und so den wirtschaftlichen und nachhaltigen Betrieb von Wärmenetzen möglich machen können. Sie stellen daher ebenfalls einen Schlüsselfaktor für die Umsetzung der Wärmewende der Stadt Kehl dar.

Hierzu bedarf es der Beratung und Information der Industrie- und Gewerbebetriebe. Es gilt sowohl die technischen als auch die politischen Rahmenbedingungen z.B. für Sanierungen, einen Heizanlagentausch oder den Anschluss an ein Fernwärmenetz und die damit zusammenhängenden Vorschriften oder Fördermöglichkeiten zu verdeutlichen.

Wichtig ist, Informationsveranstaltungen so zu organisieren, dass alle kleinen als auch großen Betriebe die Möglichkeit haben teilzunehmen. Dies kann z.B. durch Online-Formate oder verschiedene Terminalalternativen erreicht werden. Es kann zudem an bisherige Kampagnen der Stadt angeknüpft werden.

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Wärmenetzbetreiber, Presse
Zeithorizont	Ab 2024
CO₂-Einsparung	Indirekte CO ₂ -Einsparung
Kosten	k.A.
Energieeinsparung	Indirekte Energieeinsparung
Zielwert	Die Bewohner der Stadt Kehl werden über die Wärmewende informiert und gleichzeitig sensibilisiert und dazu befähigt, notwendige Schritte zur Energieeinsparung und Gebäudesanierung einzuleiten

4.2.6 Bereitstellung von Mitteln für Förderprogramme

Der nach den Einspar- und Effizienzmaßnahmen verbleibende Wärmebedarf muss möglichst treibhausgasarm gedeckt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen neben dem Ausbau und der Anpassung der Energieinfrastruktur (Strom- und Gasnetz) die lokalen Potenziale aus erneuerbaren Energien erschlossen und genutzt werden. Um den Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stadt Kehl voranzutreiben und private Hausbesitzer bei der Energiewende zu unterstützen, kann die Stadt Kehl diese finanziell unterstützen und so einen Anreiz schaffen.

Zu den bestehenden Förderprogrammen für erneuerbare Energien, kann die Stadt Kehl für die Installation einer PV – Anlage oder eines Balkonmoduls Fördermittel für Ihre Bürgerinnen und Bürger bereitstellen. Gerade mit Balkonmodulen können auch Mieterinnen und Mieter die dezentrale, erneuerbare Energieproduktion unterstützen.

Neben kommunalen Fördermöglichkeiten sollten die Bürger auch durch gezielte Beratungsangebote, bspw. im Rathaus, auf Fördermöglichkeiten aufmerksam gemacht werden. Hier sollten kontinuierlich sämtliche die den privaten Sektor betreffenden Förderoptionen und deren Bedingungen zusammengetragen und mitgeteilt werden. Die Stadt könnte dazu auch die Homepage, oder eine separate Broschüre verwenden.

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung
Zeithorizont	Ab sofort
CO₂-Einsparung	k.A.
Kosten	k.A.
Endenergieeinsparung	k.A.
Zielwert	Der Ausbau von Dach PV-Anlagen und Balkonkraftwerken nimmt zu, das PV-Potenzial wird weiter ausgeschöpft.

4.2.7 Eigenkapitalstärkung der Wärmegesellschaft Kehl

Die Stadt Kehl hat sich das ambitionierte Ziel gesetzt, den (Aus-)Bau von Wärmenetzen in den Fernwärme-Eignungsgebieten bis zum Jahr 2040 umzusetzen bzw. zu planen und zu beginnen. Hierfür benötigt es nicht nur den Aufbau personeller Kapazitäten. Um die geplanten Netzerweiterungen umsetzen zu können, benötigt es zudem eine Eigenkapitalstärkung der Wärmegesellschaft, damit diese handlungsfähig ist. Die Netzausbaupläne bringen eine hohe Investition mit sich, die sich erst über einen langfristigen Zeithorizont amortisieren werden.

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Wärmegesellschaft, Gemeinderat
Zeithorizont	Ab 2024
CO₂-Einsparung 2040	k.A.
Kosten	k.A.
Endenergieeinsparung 2040	k.A.
Zielwert	Die Wärmegesellschaft Kehl ist handlungsfähig und kann zeitnah die ersten Netzerweiterungen umsetzen.

4.2.8 Etablierung einer Wärmerunde der Stadt Kehl mit der Calorie und weiteren lokalen Akteuren

Ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Umsetzung der Maßnahmen des kommunalen Wärmeplans ist der Aufbau handlungsfähiger Strukturen sowie das Controlling und die Prozessbegleitung der priorisierten Maßnahmen. Darüber hinaus können wesentliche Akteure, wie z.B. Vertreter des Gemeinderats, die Wärmegesellschaft Kehl, die Energieversorgungsunternehmen, die Wohnbaugesellschaften, die Kehler Hafenverwaltung oder Vertreter der großen Industriebetriebe, zusammen mit Vertretern der Stadtverwaltung und der Calorie, eine Kontroll- und Lenkungsfunktion hinsichtlich der kommunalen Wärmeplanungsaktivitäten einnehmen. Um den Austausch untereinander zu fördern, könnte eine sogenannte Wärmerunde oder ein Wärmebeirat etabliert werden. Auf diese Weise berichtet der Wärmebeirat dem Gemeinderat über den aktuellen Stand und gibt Empfehlungen an diesen weiter, welche Aktivitäten in Zukunft angegangen werden sollen. Der Wärmebeirat begleitet die Maßnahmenumsetzung aus dem kommunalen Wärmeplan und garantiert eine Vernetzung in Gewerbe und Industrie und mit der Calorie Kehl - Strasbourg. Wesentliche Aufgabe des Wärmebeirats ist die Unterstützung der Stadtverwaltung bei der Realisierung der definierten Maßnahmen. Um eine kontinuierliche Begleitung und Überwachung des Umsetzungsprozesses zu garantieren, könnten in diesem Zusammenhang halbjährlich Sitzungen des Wärmebeirats stattfinden. Diese regelmäßigen Veranstaltungen können von einem externen Experten moderiert und fachlich begleitet werden.

Verantwortliche Akteure	Stadtverwaltung, Wärmegesellschaft
Zeithorizont	Ab 2024
CO₂-Einsparung	k.A.
Kosten	k.A.
Energieeinsparung	k.A.
Zielwert	Die wesentlichen Akteure sind regelmäßig im Austausch und es findet eine rege Informationsweitergabe untereinander statt.

5. Akteursbeteiligung

Der Erarbeitung des kommunalen Wärmeplans der Stadt Kehl hat unter Beteiligung lokaler Akteure und Stakeholder stattgefunden. Hierzu haben verschiedene Informationsformate, Workshops und Veranstaltungen stattgefunden, die im Folgenden beschrieben werden.

5.1 Akteursanalyse

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

Folgende Akteure wurden in Kehl identifiziert:

- > Stadtverwaltung
- > Energieversorger
- > Wärmegesellschaft
- > Wärmenetzbetreiber
- > Gemeinderatsgremium
- > Bürgerschaft
- > Industriebetriebe
- > Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
- > Wohnungsbaugenossenschaften

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

5.2 Beteiligungskonzept

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

5.2.1 Regelmäßige Abstimmungen mit Stadtverwaltung und Wärmegesellschaft Kehl

Im Rahmen des Projektmanagements wurden regelmäßige Abstimmungstermine zwischen dem Projektteam der badenovaNETZE und dem Klimaschutzmanagement durchgeführt. Je nach Sachstand und Themen wurden dabei weitere Beteiligte der Verwaltung der Stadt Kehl und der Wärmegesellschaft Kehl hinzugezogen oder gesondert eingebunden.

5.2.2 Verwaltungs- und Akteursworkshop

Ein Verwaltungsworkshop fand am 11. Juli 2023 statt. In diesem wurde dem Kernteam, bestehend aus Vertretern der Stadtverwaltung und der Wärmegesellschaft Kehl, die Ergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse vorgestellt und im Anschluss im Rahmen eines interaktiven Workshops über potenzielle Eignungsgebiete für zentrale und dezentrale Wärmeversorgung diskutiert. Die Ergebnisse des Workshops wurden im Nachgang in die Erarbeitung der Schwerpunktgebiete der Stadt Kehl einbezogen.

Im Rahmen eines Akteursworkshops am 10. Oktober 2023 wurden unterschiedliche Akteursgruppen über den Sachstand der kommunalen Wärmeplanung informiert und in die Erarbeitung

eingebunden. Mit Vertretern der großen Industrieunternehmen, Fraktionsvorsitzenden des Gemeinderates, lokalen Wohnbauunternehmen und Vertretern der Stadtverwaltung wurde intensiv an den Maßnahmen für die Stadt Kehl gearbeitet und das lokale Wissen hierzu gesammelt. Zentrales Ziel des Workshops war das Sammeln und Erarbeiten von möglichen Maßnahmen mit den relevanten Akteuren zur Umsetzung der Wärmewende in Kehl.

Als wesentliches Ergebnis des Workshops wurden für die Stadt Kehl acht Maßnahmen definiert (vgl. Kapitel 4.2). Diese sind:

1. Aufbau von handlungsfähigen Strukturen in der Verwaltung zur Umsetzung der Wärmewende in der Stadt
2. Sanierungsfahrpläne für die öffentlichen Liegenschaften
3. Definition und Beschluss von baulichen Vorgaben
4. Mittelfristplan für den Ausbau der zentralen Wärmeversorgung
5. Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit zur Wärmewende in der Stadt
6. Bereitstellung von Mitteln für Förderprogramme
7. Eigenkapitalstärkung der Wärmegesellschaft Kehl
8. Etablierung einer Wärmerunde der Stadt Kehl mit der Calorie und weiteren lokalen Akteuren

Diese Maßnahmen wurden im Nachgang in Zusammenarbeit mit der Stadtverwaltung priorisiert und detailliert ausgearbeitet.

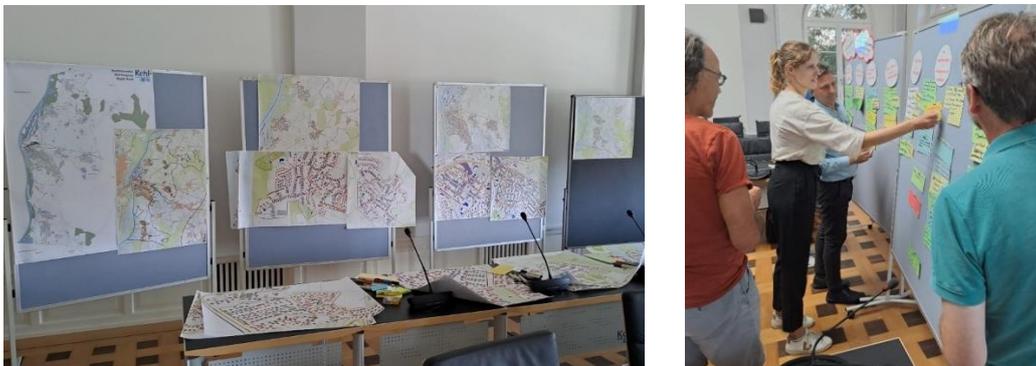


Abbildung 54 – Eindrücke aus dem Verwaltungsworkshop (links) und dem Akteursworkshop (rechts)

5.2.3 Gemeinderatssitzungen

In der öffentlichen Sitzung des Gemeinderates am 19. Juli 2023 konnte das Projektteam der badenovaNETZE GmbH den Sachstand der kommunalen Wärmeplanung darlegen, Zwischenergebnisse aus der Bestands- und Potenzialanalyse präsentieren und dem Gemeinderat das weitere Vorgehen erläutern.

Am 22. November 2023 stellte das Projektteam die Ergebnisse aus der Szenarienerstellung, der Eignungsgebietsdefinition und der Wärmewendestrategie in einer öffentlichen Gemeinderatssitzung vor.

5.2.4 Bürgerbeteiligung

Ein wichtiger Teil der kommunalen Wärmeplanung ist neben der Beteiligung relevanter Stakeholder besonders die Einbindung der Bürgerschaft. Am 20. und 21. September 2023 gastierte

das MobiLAB in der Kehler Innenstadt. Das Projektteam der badenovaNETZE war vor Ort und gab den Bürgern Einblicke in die Zwischenergebnisse der Bestands- und Potenzialanalyse und bot zudem die Möglichkeit Fragen zum kommunalen Wärmeplan zu stellen sowie Input zu möglichen Maßnahmen für die Wärmewende in der Stadt Kehl zu geben.



Abbildung 55 – Eindrücke zur Veranstaltung zur Bürgerbeteiligung

5.2.5 Offenlage

Nach der Vorstellung der Ergebnisse im Gemeinderat am 22. November 2023 wurde im nächsten Schritt das Fachgutachten für die Öffentlichkeit für zwei Wochen offengelegt. Dies erfolgte über die Homepage der Stadt Kehl und als Auslage im technischen Rathaus.

6. Fortschreibung und Ausblick

6.1 Fortschreibung des kommunalen Wärmeplans

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

Folgende Bausteine könnten bei der Fortschreibung umgesetzt werden:

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

6.2 Zusammenfassung und Ausblick

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

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

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

7. Methodik

7.1 Energie- und THG-Bilanz

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

Anmerkungen zur angewandten Methodik:

- Die Energie- und THG-Bilanz wurde mit dem Tool BICO2 BW erstellt (Version 2.10.1). Dieses Tool wurde vom IFEU im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft als Standardverfahren für Baden-Württemberg erstellt. Somit kann die Bilanz regelmäßig fortgeschrieben werden, um die Wirksamkeit der Klimaschutzmaßnahmen in den kommenden Jahren zu überprüfen.
- In der THG-Bilanz wurden sowohl die direkten als auch die indirekten Emissionen berücksichtigt. Direkte Emissionen entstehen vor Ort bei der Nutzung der Energie (z.B. beim Verbrennen von Öl in der Heizung), während die indirekten Emissionen bereits vor der Nutzung entstehen (z.B. durch Abbau und Transport von Ressourcen oder den Bau und die Wartung von Anlagen).
- Für den Stromverbrauch basieren alle Aussagen auf der Endenergie, also der Energie, die vor Ort im Wohnhaus eingesetzt wird bzw. über den Hausanschluss geliefert wird.
- Für den Wärmeverbrauch werden Endenergie und Nutzenergie unterschieden. Endenergie ist die Menge Öl, Gas, Holz etc., mit der die Heizung „betankt“ wird. Nutzenergie stellt dagegen die Energie dar, die unabhängig vom Energieträger vom Wärmeverbraucher genutzt werden kann. Die Nutzenergie ist also gleich der Endenergie abzüglich der Übertragungs- und Umwandlungsverluste. Hierbei spielt beispielsweise der Wirkungsgrad der Heizanlage eine entscheidende Rolle. Die Berechnungen zum Wärmebedarf und zum Sanierungspotenzial basieren auf der Nutzenergie. Berechnungen zum Wärmeverbrauch stellen den Endenergieverbrauch dar.
- Bei der Energiebilanz für die Bereiche Strom, Wärme und Verkehr wurde das Territorialprinzip angewendet. Es werden also nur die Energiepotenziale auf kommunalem Gebiet und die Energieverbräuche und THG-Emissionen berücksichtigt, die durch den Verbrauch innerhalb der Gemarkungsgrenzen ihre Ursache haben. Verursachen z.B. die Bürgerinnen und Bürger der Stadt durch Fahrten in die nächste Stadt oder Stadt Emissionen, sind diese in der Bilanz nicht enthalten, wenn sie über die Gemarkungsgrenzen hinausgehen.

7.1.1 THG-Bilanzierung des Stromverbrauchs

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

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

der Bilanzierung wurde deshalb der Emissionsfaktor des deutschen Strommix verwendet, der im Jahr 2019 0,478 t CO_{2e}/MWh beträgt (IFEU, (2022)).

7.1.2 Stromeinspeisung

Da die Nutzung erneuerbarer Energien bei der Stromerzeugung gegenüber der Erzeugung aus fossilen Brennstoffen erhebliche THG-Einsparungen mit sich bringt, wurde für die THG-Bilanz ein kommunaler Strommix berechnet, bei dem der eingespeiste Strom berücksichtigt wurde. Konkret bedeutet das, dass die THG-Einsparungen der Stadt durch die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien von der THG-Bilanz abgezogen wurden. So wird der Beitrag dieser Anlagen zum Klimaschutz in der THG-Bilanz der Stadt berücksichtigt. Die THG-Emissionsfaktoren der einzelnen erneuerbaren Energiequellen, die in den hier vorliegenden Berechnungen angesetzt wurden, sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Erzeugungsart	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh)	THG-Einsparung (t CO _{2e} /MWh) gegenüber dem deutschen Strommix
Photovoltaik	0,040	0,438
Wasserkraft	0,003	0,475
Biomasse	0,025	0,453
Klärgas/Deponiegas	0,051	0,427

Tabelle 13 – THG-Emissionen und -Einsparungen durch Einspeisung erneuerbarer Energien (Datengrundlage: IFEU, (2022))

7.1.3 Energie und THG-Bilanzierung des Wärmeverbrauchs

Zur Berechnung der THG-Bilanz des Wärmeverbrauchs wurden Daten des Erdgasnetzbetreibers badenovaNETZE GmbH für Erdgas verwendet. Zusätzlich wurden Daten des LUBWs zum Energieverbrauch kleiner und mittlerer Heizanlagen im Jahr 2019 sowie zu Anlagen nach der 11. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) für die Auswertung des Wärmeverbrauchs herangezogen.

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

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

Die für die Berechnung der THG-Bilanz angewendeten Emissionsfaktoren der unterschiedlichen Wärmeenergieträger können der Tabelle 14 entnommen werden. Die Faktoren stellt das Bilanzierungstool BICO2 BW (IFEU (2022)).

Energieträger	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh)
Erdgas	0,247
Heizöl	0,318
Braunkohle	0,411
Fernwärme	0,208 (Regionaler Faktor: berechnet anhand der Erzeugungsanlagen in Kehl)
Flüssiggas	0,267
Energieholz	0,022
Solarthermie	0,025
Umweltwärme	0,149

Tabelle 14 – Emissionsfaktoren für die Wärmeerzeugung 2019 (Quelle: IFEU, (2022))

7.1.4 Datengüte der Energie- und THG-Bilanz

Eine THG-Bilanz kann nach unterschiedlichen Methoden und mit unterschiedlicher Datentiefe erstellt werden, abhängig vom Zweck der Bilanzierung und der Datenverfügbarkeit. Um die Aussagekraft einer Energie- und THG-Bilanz zu bewerten, wird deshalb im Bilanzierungstool BICO2 BW eine Datengüte ermittelt (IFEU, (2022)).

Die Datengüte zeigt die Datenqualität, auf welcher die erstellte Bilanz basiert. Ziel ist es, eine hohe Datengüte zu erreichen, um fundierte Aussagen und daraus wirksame Handlungsempfehlungen treffen zu können. Für jede Eingabe in das BICO2 BW-Tool werden die Datenquelle und die daraus resultierende Datengüte bewertet. Die Datengüte des Verbrauchs pro Energieträger wird anhand des jeweiligen prozentualen Anteils am Gesamtverbrauch gewichtet, wodurch schließlich eine Gesamtdatengüte für die Sektoren und für die Gesamtbilanz ermittelt wird.

Die beste zu erreichende Datengüte beträgt 100 % und liegt dann vor, wenn alle angegebenen Daten „aus erster Hand“ sind, also lokale Primärdaten darstellen, z.B. Energieversorgungsdaten für leitungsgebundene Energieträger. Die Datengüte verringert sich, wenn gewisse Werte auf Basis von Hochrechnungen ermittelt werden oder rein statistische Angaben verwendet werden. Je mehr regionale (statt lokale) Kennwerte verwendet werden, desto niedriger ist die Datengüte (IFEU (2012)).

Die Datengüte, der für der Stadt Kehl erstellten Energie- und THG-Bilanz für das Jahr 2019, liegt bei 91 %, womit die Ergebnisse gut belastbar sind. Tabelle 15 zeigt den jeweiligen Anteil und die Datengüte der Sektoren.

Sektor	Anteil	Datengüte	Belastbarkeit
Private Haushalte	9 %	71 %	Belastbar
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	7 %	72 %	Belastbar
Verarbeitendes Gewerbe	78 %	100 %	Gut belastbar
Kommunale Liegenschaften	1 %	100 %	Gut belastbar
Verkehr	6 %	52 %	Relativ belastbar
Gesamt	100 %	91 %	Gut belastbar

Tabelle 15 – Bewertung der Datengüte der Energie- und THG-Bilanz nach Sektoren

7.2 Solarpotenzial

Das Solarpotenzial für Dachflächen wurde durch das LUBW im Energieatlas Baden-Württemberg ermittelt, welcher öffentlich im Internet zur Verfügung steht (LUBW (2020)).

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

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

Der Energieatlas Baden-Württemberg listet, zusätzlich zum PV-Potenzial auf Dächern, Angaben zum Potenzial für PV-Anlagen auf Freiflächen auf (LUBW (2020)), die theoretisch für PV-Nutzung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz und der Freiflächenöffnungsverordnung geeignet sind. Im Vergleich mit Angaben des Regionalverbands Südlicher Oberrhein wurden Flächen, die durch Restriktionen aus dem Regionalplan für PV-Anlagen nicht genehmigungsfähig wären, abgezogen. Das Potenzial wird auf Basis eines Erfahrungswertes für Freiflächenanlagen berechnet. Dieser Faktor liegt bei 1,5 MW/ha und wird mit 1.000 Volllaststunden/a multipliziert. Letztere bemessen sich durch die ungefähre Globaleinstrahlung in Süddeutschland.

7.3 Erdwärmesondenpotenziale

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

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

Tabelle 16 – Vorgegebene Untergrundparameter

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

Das Geothermiepotezial wurde mit standardmäßigen Erdwärmesonden bei einem gängigen Bohrlochwiderstand R_b berechnet. Zur Potenzialberechnung wird eine Sondenlänge von 120 m zu Grunde gelegt. Alle Sondenabstände sind so gewählt, dass eine behördliche Genehmigung nach Bergrecht möglichst vermieden wird, wenn der Abstand zur Grundstücksgrenze jeweils die Hälfte dieser Werte beträgt. In der GIS-Anwendung wird dieser Abstand berücksichtigt. Alle vorgegebenen Sondenparameter sind in folgender Tabelle 17 gelistet.

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

Tabelle 17 – Vorgegebene Sondenparameter

Tabelle 18 gibt die Ergebnisse der Kalkulation wieder. Technisch nach VDI 4640 und behördlich nach den Leitlinien Qualitätssicherung für Erdwärmesonden (LQS EWS) (Ministerium für Umwelt, 2018) geforderte Temperaturwerte wurden eingehalten. Dabei liegt den Werten der eingeschwungene Zustand zwischen Sondenaktivität und Untergrundreaktion zugrunde, was zu einer konservativen Betrachtung führt.

Zur Berechnung der potenziellen Wärmebedarfsabdeckung wurden die in Tabelle 19 genannten Werte genutzt. Der Jahreszeitabhängige Leistungskoeffizient der Wärmepumpe muss mindestens einen Wert von 3,375 aufweisen, um eine Förderberechtigung nach BAFA zu erhalten.

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

Tabelle 18 – Berechnete spezifische Wärmeentzugsleistungen und Temperaturwerte

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

Tabelle 19 – Vorgegebene Parameter zur Berechnung der Wärmebedarfsdeckung

Um die Flächenverfügbarkeit zum Einrichten der Erdwärmesonde(n) zu berechnen, müssen pauschale Seitenverhältnisse der Flurfläche und der Gebäudegrundfläche angenommen werden. Dadurch können sowohl eine nicht nutzbare Gebäudeperipherie (Garage, Garageneinfahrt, Leitungen, Schuppen, Bäume etc.) als auch der nötige Abstand zwischen Sonden und Flurgrenze berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 20).

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

Tabelle 20 – Vorgegebene Durchschnittswerte zur Berechnung der Sondenbelegungsichte

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

7.4 Luft/Wasser-Wärmepumpenpotenziale

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

- I. Gebäudewärmebedarf auf Basis von Daten der Deutschen Gebäudetypologie (IWU)
- II. Gebäudeheizlast ohne Trinkwarmwasser(TWW)-Bedarf zur Bemessung der Wärmepumpenleistung bei Bestandsgebäuden (bei Neubauten ab 2010 mit TWW-Bedarf berechnet)
- III. Schallemissionsberechnungen in Bezug auf Kennwerte ausgewählter und markttypischer Anlagen, Gebäudeabstand und kommunaler Flächennutzung sowie deren Abgleich mit den Immissionsgrenzwerten der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm)
- IV. Bemessung der elektrischen Anschlussleistung im Auslegungsfall anhand von Kennwerten ausgewählter und markttypischer Wärmepumpen (COP inkl. E-Stabeinsatz)

- V. Zugrundelegung von Jahresarbeitszahlen (JAZ) anhand empirischer Daten aus öffentlich zugänglichen Studien (Günther, D. et al., 2020) und aus Herstellerangaben
- VI. Strombedarfsberechnung auf Basis des Gebäudewärmebedarfs und der Zugrunde gelegten JAZ (in Abhängigkeit vom Gebäudealter; inkl. TWW-Bedarf)
- VII. Wärmepotenzialbetrachtung anhand der erreichten JAZ mit Betrag 2,9 im Jahr 2030 bei einer steigenden Gebäudesanierungsquote von bis zu 2 % ab 2028. Bei Wohngebäuden, die eine WP-Leistung von maximal 12,5 kW benötigen, soll die Eignung bereits bei JAZ 2,8 erreicht werden, was einem derzeitigen fossilen Primärenergiebedarf von 64 % der erzeugten kWh Wärme entspricht.

7.5 Grundwasserpotenziale

Folgende Annahmen wurden für die Berechnung des Grundwasserpotenzials angesetzt:

- Die Schüttungsmenge liegt bei ca. 8 bis 25 l/s.
- Die jahreszeitlich differenzierte Leistungszahl der Wärmepumpe wird für die Wärmeversorgung von Bestandsgebäuden mit mindestens 3,75 angesetzt.
- die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf des Brunnenwassers soll im Fall W10/W35 maximal 4 K betragen.

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

- Es wird mit Durchlässigkeitsbeiwerten von $k_F = 0,001$ und $0,01$ m/s gerechnet.
- Die Grundwasserabsenkung bei Entnahme variiert zwischen $s = 0,15$ und $0,5$ m je nach Schüttungsmenge.
- Die erschlossene Mächtigkeit (hM) des Grundwasserführenden Lockergesteins soll 12 m betragen, die Trichterweiten variieren zwischen 45 bis 47 m.
- Die Berechnungen der Brunnenleistung erfolgen nach Sichard (Trichterweite) und Duperit-Thiem (Grundwasserabsenkung), wobei ersterer aus dem k_F -Wert und der fixierten Grundwasserabsenkung errechnet wird, um dann die Förderleistung des Brunnens zu ermitteln.

Die nachfolgende Tabelle 21 fasst das daraus ermittelte Potenzial für je einen einzelnen Brunnen übersichtlich zusammen.

Grundwasser Potenziale	Wert	Einheit
Einzelner Brunnen		
Tiefe (m)	12	m
Fördermenge maximal	0,025	m^3/s
Temperatur	10	°C
Delta	4	K
Potenzial je Brunnen	419	kW
1 Brunnen		
Gesamtwärmeleistung bei COP 3,75	0,571	MW

Gesamtwärme bei 3.500 h/a	1.997	MWh/a
---------------------------	-------	-------

Tabelle 21 – Abschätzung des Wärmeerzeugungspotenzial aus Grundwasser

7.6 Zielszenario

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

Erzeugungsart	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh)	
	2030	2040
Strommix Deutschland ⁷	0,270	0,032
Photovoltaik	0,036	0,030
Wasserkraft	0,003	0,003
Biogas	0,092	0,087
Klärgas	0,048	0,046

Tabelle 22 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Strom nach Erzeugungsart für die Jahre 2030 und 2040 (Peters, et al., 2022)

Energieträger	THG-Emissionen (t CO _{2e} /MWh) im Jahr	
	2030	2040
Erdgas	0,233	0,233
Heizöl	0,311	0,311
Fernwärme ⁸	0,043	0,029
Energieholz	0,022	0,022
Solarthermie	0,025	0,025
Abwärme	0,038	0,036
Geothermie	0,078	0,071
Wasserstoff	0,044	0,040
Umweltwärme ⁹	0,066	0,010

Tabelle 23 – Angenommene THG-Emissionsfaktoren für Wärme nach Energieträger für die Jahre 2030 und 2040 (Peters, et al., 2022)

⁷ Eigene Berechnung basierend auf dem Technikkatalog für die kommunale Wärmeplanung in Baden-Württemberg von der KEA-BW (Peters, et al., 2022). Die Zielwerte für das Jahr 2040 sind im Technikkatalog noch als Wert für das Jahr 2050 notiert. Die Werte für das Jahr 2030 wurden als Mittelwert des Ist-Wertes und des Zielwertes berechnet.

⁸ Eigene Berechnung anhand des Energieträgermixes für die zentrale Wärmeversorgung in Kehl

⁹ Eigene Berechnung anhand der Entwicklung des Emissionsfaktors für den deutschen Strommix

8. Glossar

Abwärme	Die bei einem wärmetechnischen Prozess entstehende, aber bei diesem nicht genutzte Wärme bezeichnet man als Abwärme. Sie ist ein Nebenprodukt eines Herstellungsprozesses.
Batterie	Ein Erzeuger, in dem elektrochemische Energie kleiner Elemente in elektrische Energie umgewandelt wird, so dass ein elektrisches Gerät auch ohne Netzanschluss betrieben werden kann.
Biomethan	Biomethan (auch Bioerdgas genannt) ist ein auf Erdgasqualität aufbereitetes Gasmisch, welches aus Biogas gewonnen wird. Es entsteht durch die Aufbereitung von Rohbiogas mittels CO ₂ -Abscheidung und Reinigung. Das so aufbereitete Biomethan kann dann ins Erdgasnetz eingespeist werden.
Blockheizkraftwerk	Ein Blockheizkraftwerk ist eine Anlage zur Gewinnung elektrischer Energie und Wärme. Ein Verbrennungsmotor treibt einen Generator an wodurch Energie erzeugt wird. Die dabei entstehende Wärme erhitzt Wasser, dies kann wiederrum genutzt werden.
Brennstoffzelle	Ein technisches Gerät, das aus Wasserstoff und (dem in der Luft enthaltenen) Sauerstoff Wasser erzeugt, wobei bei diesem Prozess nutzbare elektrische Energie in Form von Strom erzeugt.
CO₂-neutral	Es sagt aus, dass die Verwendung eines Brennstoffs oder auch eine menschliche Aktivität keinen Einfluss auf die Kohlendioxid-Konzentration der Atmosphäre hat und insofern nicht klimaschädlich ist.
Dezentrale Energieversorgung	Privathaushalte versorgen sich selbstständig mit Strom. Zum Beispiel durch eine Photovoltaikanlage.
Eigenverbrauch	Der Eigenverbrauch ist der Anteil, der in einer eigenen Anlage erzeugten elektrischen Energie, die selbst verbraucht wird.
Emission	Ist der Ausstoß von gasförmigen Stoffen, welche Luft, Boden und Wasser verunreinigen.
Energieholz	Altholz oder jegliches andere Holz welches zu Hackschnitzeln oder Holzpellets verarbeitet werden, um diese wiederrum in Heizungsanlagen in Energie umzuwandeln.
Endenergie	Endenergie ist die Energie, die vor Ort z.B. im Wohnhaus eingesetzt wird. Im Fall von Strom ist dies die Menge Strom, die über den Hausanschluss an einen Haushalt geliefert wird. Im Fall von Wärme ist es die Menge an Öl, Gas, Holz, etc., mit der die Heizung „betankt“ wird. Die Endenergie unterscheidet sich von der Nutzenergie (s.u.).
Energieverbrauch	Unter Energieverbrauch versteht man meistens den Verbrauch von Energieträgern wie den Brenn- und Kraftstoffen Benzin, Heizöl und Erdgas, also von materiellen Substanzen, oft aber auch von elektrischer Energie, im letzteren Fall also von einer durchaus abstrakten (nicht direkt sinnlich erfassbaren) Größe.
Erdwärmesonde	Dies ist eine Sonde, welche zur Gewinnung von Erdwärme in den Boden eingelassen wird, um oberflächennahe Geothermie zu nutzen.

Erneuerbare-Energien-Gesetz	Das deutsche Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) soll den Ausbau von Energieversorgungsanlagen vorantreiben, die aus sich erneuernden (regenerativen) Quellen gespeist werden. Grundgedanke ist, dass den Betreibern der zu fördernden Anlagen über einen bestimmten Zeitraum ein im EEG festgelegter Vergütungssatz für den eingespeisten Strom gewährt wird. Dieser orientiert sich an den Erzeugungskosten der jeweiligen Erzeugungsart, um so einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen zu ermöglichen.
European Hydrogen Backbone	Die Initiative European Hydrogen Backbone (EHB) besteht aus einer Gruppe von 33 Energieinfrastrukturbetreibern, welche die gemeinsame Vision eines klimaneutralen Europas haben, das durch erneuerbare Energien und CO ₂ -armen Wasserstoff ermöglicht wird.
Fernwärme	Zentral erzeugte Wärme, die über ein Leitungsnetz zu den jeweiligen Gebäuden/Abnehmern gebracht wird.
Festmeter	Abkürzung für Festmeter. Ein Festmeter ist ein Raummaß für Festholz und entspricht 1 m ³ fester Holzmasse.
Fossile Energie	Sind Braunkohle, Steinkohle, Erdöl usw.
Gebäude-Energie-Gesetz	Das Gebäude-Energie-Gesetz (GEG) führt die Energieeinsparverordnung, das Energieeinspargesetz sowie das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz zusammen und hat den möglichst sparsamen Einsatz von Energie in Gebäuden sowie die steigende Nutzung der erneuerbaren Energien zum Ziel.
Gebäudetypologie	Bei dieser Typologie wird der Wohngebäudebestand nach Baualter und Gebäudeart in Klassen eingeteilt, so dass Analysen über Energieeinsparpotenziale eines größeren Gebäudebestands möglich sind.
Geothermische Energie	Die direkte oder indirekte Nutzung von Wärme aus dem Erdreich (Erdwärme) wird als Geothermie bezeichnet. Es handelt sich um eine Form erneuerbarer (regenerativer) Energie, die insbesondere in Form von Niedertemperaturwärme bereits heute verbreitet genutzt wird.
Heizwärmebedarf	Beziffert die Menge an Heizwärme, die ein Gebäude über einen bestimmten Zeitraum benötigt
Kilowatt	Ein Kilowatt (kW) entspricht 1.000 Watt. Dies ist die Einheit der Leistung, mit der unter anderem die Leistungsfähigkeit von Photovoltaikanlagen gemessen wird.
Kilowattstunde	Der Verbrauch elektrischer Energie wird in Kilowattstunden angegeben (Leistung über eine Zeitspanne hinweg). Eine Kilowattstunde entspricht der Nutzung von 1.000 Watt über einen Zeitraum von einer Stunde. Für eine Stunde bügeln wird etwa 1 kWh Strom benötigt.
Kohlendioxid	Kohlendioxid (CO ₂) ist ein Gas, welches bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Kraft- und Brennstoffe entsteht. In der Regel wird nahezu der gesamte Kohlenstoffgehalt von Brennstoffen und Kraftstoffen bei der Verbrennung in Kohlendioxid umgesetzt; allenfalls kleine Anteile werden zu Ruß oder zum sehr giftigen Kohlenmonoxid
Kraft-Wärme-Kopplung	Dies ist die gleichzeitige Gewinnung von elektrischer und thermischer Energie in einem Kraftwerk. Die thermische Energie ist dabei ein Nebenprodukt bei der Herstellung von elektrischer Energie.

Megawattstunde	Megawattstunde. Eine MWh entspricht 1.000 kWh (s.o.)
Nahwärme	Wenn Wärme von einem zentralen Wärmeerzeuger zu Verbrauchern transportiert wird, die Entfernungen aber relativ klein sind (meist unter 1 km, kürzer als bei Fernwärme), spricht man von Nahwärme. (Rechtlich handelt es sich aber auch hier um Fernwärme.)
Nutzenergie	Nutzenergie stellt die Energie dar, die unabhängig vom Energieträger vom Wärmeverbraucher genutzt werden kann. Die Nutzenergie ist also gleich der Endenergie (s.o.) abzüglich der Übertragungs- und Umwandlungsverluste. Hierbei spielt bspw. der Wirkungsgrad der Heizanlage eine Rolle. Die Berechnungen zum Wärmekataster und zum Sanierungspotenzial basieren auf der Nutzenergie.
oberflächennahe Geothermie	Die oberflächennahe Geothermie ist die Nutzung von Erdwärme (Geothermie) aus geringen Tiefen bis zu einigen hundert Metern.
Ökostrom	Elektrische Energie, die nachweisbar auf ökologisch vertretbare Weise aus erneuerbaren Energiequellen hergestellt wird.
Pelletheizung	Eine Heizungsanlage, die mit festem Brennstoff aus Biomasse in Pelletform betrieben wird.
Photovoltaik	Die Photovoltaik (oder Fotovoltaik) ist ein technisches Verfahren, um Energie von Licht (also eines Teils der Strahlung der Sonne) mit Hilfe von Solarzellen direkt in elektrische Energie umzuwandeln.
Power-to-Gas	Power to Gas ist ein Konzept, dessen zentraler Bestandteil die Erzeugung von EE-Gas (z. B. Wasserstoff oder Methan) mit Hilfe elektrischer Energie ist.
Power-to-Heat	Power to Heat bedeutet zunächst einmal nur die Erzeugung von Wärme aus elektrischer Energie. Allerdings wird er üblicherweise nicht für jede Erzeugung von Elektrowärme benutzt, sondern nur im Zusammenhang mit der Nutzung von zeitweise anfallenden Überschüssen an elektrischer Energie.
Primärenergieverbrauch	Der Primärenergieverbrauch, abgekürzt PEV, gibt an, wie viel Energie in einer Volkswirtschaft eingesetzt wurde, um alle Energiedienstleistungen wie zum Beispiel Produzieren, Heizen, Bewegen, Elektronische Datenverarbeitung, Telekommunikation oder Beleuchten zu nutzen. Es ist also die gesamte einer Volkswirtschaft zugeführte Energie. Eingesetzte Energieträger sind bisher vor allem Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle, Kernenergie, Wasserkraft und Windenergie.
Prozesswärme	Wärme, die für die Durchführung von bestimmten technischen Prozessen (insbesondere in der Industrie) benötigt wird.
Solarkataster	Solarkataster sind Landkarten, die aufzeigen, wie gut vorhandene Dachflächen für die Installation von Photovoltaikanlagen oder Solarthermieanlagen geeignet sind.
Solarthermie	Die Gewinnung von Wärme aus der Sonneneinstrahlung mit Hilfe von Sonnenkollektoren.
Stickstoffoxide	Stickstoffoxide ist ein Sammelbegriff für zahlreiche gasförmige Stickoxide. Eine der Hauptquellen für Stickoxide in der Atmosphäre sind Abgase, die bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, z.B. Kohle oder

	<p>Kraftstoff, entstehen. Der Verkehr gilt als der größte Verursacher von NO_x-Emissionen.</p>
Strommix	<p>Der Strommix beschreibt die Kombination verschiedener Energiequellen, die für die Erzeugung von Strom eingesetzt werden. Derzeit werden deutschlandweit überwiegend fossil befeuerte Kraftwerke (Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Erdöl) sowie Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke, Windkraft-, Biogas- und Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung eingesetzt.</p>
Technisches Potenzial	<p>Das technische Potenzial ist der Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist.</p>
Tiefengeothermie	<p>Die Tiefengeothermie ist die Nutzung von Erdwärme (Geothermie) aus Tiefen ab 400 m.</p>
Über Normalnull	<p>Dabei handelt es sich in der Geodäsie um die Bezeichnung für eine bestimmte Niveaufläche, die in einem Land als einheitliche Bezugsfläche bei der Ermittlung der Erdoberfläche vom mittleren Meeresniveau dient. Das Normalnull in Deutschland repräsentiert das Mittelwasser der Nordsee, „0 m ü. NN.“ ist also gleichbedeutend mit „mittlerer Meereshöhe“.</p>
Umgebungswärme	<p>Energie, die sich durch tägliche Sonneneinstrahlung und den Wärmefluss im Erdinneren, natürlicherweise in der Umwelt befindet. Sie wird zum Beispiel in Flüssen, Seen sowie in der Luft oder dem Erdreich gespeichert. Sie wird zum Teil als erneuerbare Energiequelle genutzt.</p>
Volatilität	<p>Die Anfälligkeit eines bestimmten Gutes für Schwankungen. In der Energiebranche spricht man von Volatilität der Erneuerbaren Energien, da die Stromerzeugung aus bestimmten Erneuerbaren Energien witterungsbedingt sowie Jahres und tageszeitlich bedingt Schwankungen unterworfen ist.</p>
Wärmebedarf	<p>Ist der Bedarf der Wärme welches ein Haus verbraucht.</p>
Wärmebrücke	<p>Bezeichnung für eine Stelle in der Bausubstanz, die mehr Wärme ableitet als ihre umgebenden Flächen.</p>
Wärmekataster	<p>Ein Wärmekataster gibt Auskunft über den Wärmebedarf von Gebäuden und die Lage der Wärmequellen und -verbraucher in einer Kommune. Es kann als Grundlage für die Auslegung eines Nahwärmenetzes verwendet werden.</p>
Wärmeschutzverordnung	<p>Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden seit 1983. Durch die folgenden Novellierungen und verschärften gesetzlichen Anforderungen wird das Gebäude immer mehr als ein „Gesamtsystem“ mit ganzheitlichen Planungen begriffen.</p>
Wirtschaftliches Potenzial	<p>Das wirtschaftliche Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, den man erhält, wenn die Gesamtkosten (Investition, Betrieb und Entsorgung einer Anlage) für die Energieumwandlung einer erneuerbaren Energiequelle berechnet und in der gleichen Bandbreite liegen wie die Gesamtkosten konkurrierender Systeme.</p>

9. Literaturverzeichnis

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

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

Barth, D. H.-J. et al., 2021. *Leitfaden für zukunftsgerechte Neubaugebiete*, Allgäu: Energie- und Umweltzentrum Allgäu.

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

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

Calorie, 2023. [Online] Available at: <https://www.kehl.de/generaldirektorin+calorie> [Zugriff am 09 11 2023].

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

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

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

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

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

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

European Hydrogen Backbone, 2023. *European Hydrogen Backbone.* [Online] Available at: <https://ehb.eu/page/european-hydrogen-backbone-maps> [Zugriff am 17 11 2023].

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

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

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

INSTITUT FÜR ENERGIE UND UMWELTFORSCHUNG (IFEU), 2012. *Pilotphase zum kommunalen Energie- und CO₂-Bilanzierungstool BiCO₂ BW: Endbericht. Heidelberg.* [Online].

Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH (IFEU), 2022. *BiCO₂ BW: Version 2.10*. Heidelberg: s.n.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[Zugriff am 28 Februar 2023].

- Peters, D. M. et al., 2022. *Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung in Baden-Württemberg*. Stuttgart: Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH.
- Powerloop, K. L. -, 2020. *Wärme-Kraft-Kopplung - Der Schlüssel für eine sichere , saubere und bezahlbare Energiezukunft*. [Online] Available at: <https://powerloop.ch/wp-content/uploads/2020/07/POWERLOOP-Standardpr%C3%A4sentation-v20200703c-1.pdf> [Zugriff am 27 Februar 2023].
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021. *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*, Berlin: Studie im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.
- Purr, K., Günther, J., Lehmann, H. & Nuss, P., 2019. *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie, 36/2019*, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Rehmann, F., Streblov, R. & Müller, D., 2022. *KURZFRISTIG UMZUSETZENDE MAßNAHMEN ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON GEBÄUDEN UND QUARTIEREN, Whitepaper*, Berlin: s.n.
- Statista, 2021. *Statista - Energie & Umwelt - Wasserwirtschaft*. [Online] Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/152743/umfrage/laenge-des-kanalnetzes-in-deutschland-im-jahr-2019/> [Zugriff am 9 Oktober 2023].
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (STALA BW), 2022. *Struktur- und Regionaldatenbank*. [Online] Available at: <https://www.statistik-bw.de/SRDB/?E=GS> [Zugriff am 2022].
- Sterner, M. & Stadler, I., 2014. *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Stober, I. & Bucher, K., 2012. *Geothermie*. s.l.:Springer.
- Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU), 2017. *Erdgasinfrastruktur in der Zukunft: Darauf können wir aufbauen*, Berlin: VKU Verlag GmbH.
- WBGU, 2011. *Welt im Wandel - Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*, Berlin: WBGU.

10. Anhang

10.1 Steckbriefe der Gemarkungen inklusive der Beschreibung von Fernwärme-Eignungsgebieten sowie für die dezentrale Wärmeversorgung

Zur Übersicht stellt die Abbildung 56 nochmals die Fernwärme-Eignungsgebiete dar, die in der kommunalen Wärmeplanung auf Grundlage aller vorhandenen Daten gewissenhaft definiert wurden.

Die dezentralen Eignungsgebiete wurden in blau (Schwerpunktgebiet: vorwiegend Einzelheizung) eingezeichnet. Die zentralen Eignungsgebiete sind in orange (Schwerpunktgebiet: potenzielles Nahwärmegebiet) dargestellt. Die gelben Eignungsgebiete innerhalb der Kernstadt, stellen die Schwerpunktgebiete aus der Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 dar.

In Abbildung 57 sind zukünftigen Standorte der Wärmeerzeuger für die Fernwärmeversorgung dargestellt, die für die Kernstadt Kehl im Projekt Wärmenetz 4.0 erarbeitet wurden.

Darunter befindet sich in Abbildung 58 der grafische Ausbauplan der Wärmenetze in der Kernstadt Kehl, ebenfalls aus dem Projekt Wärmenetz 4.0.

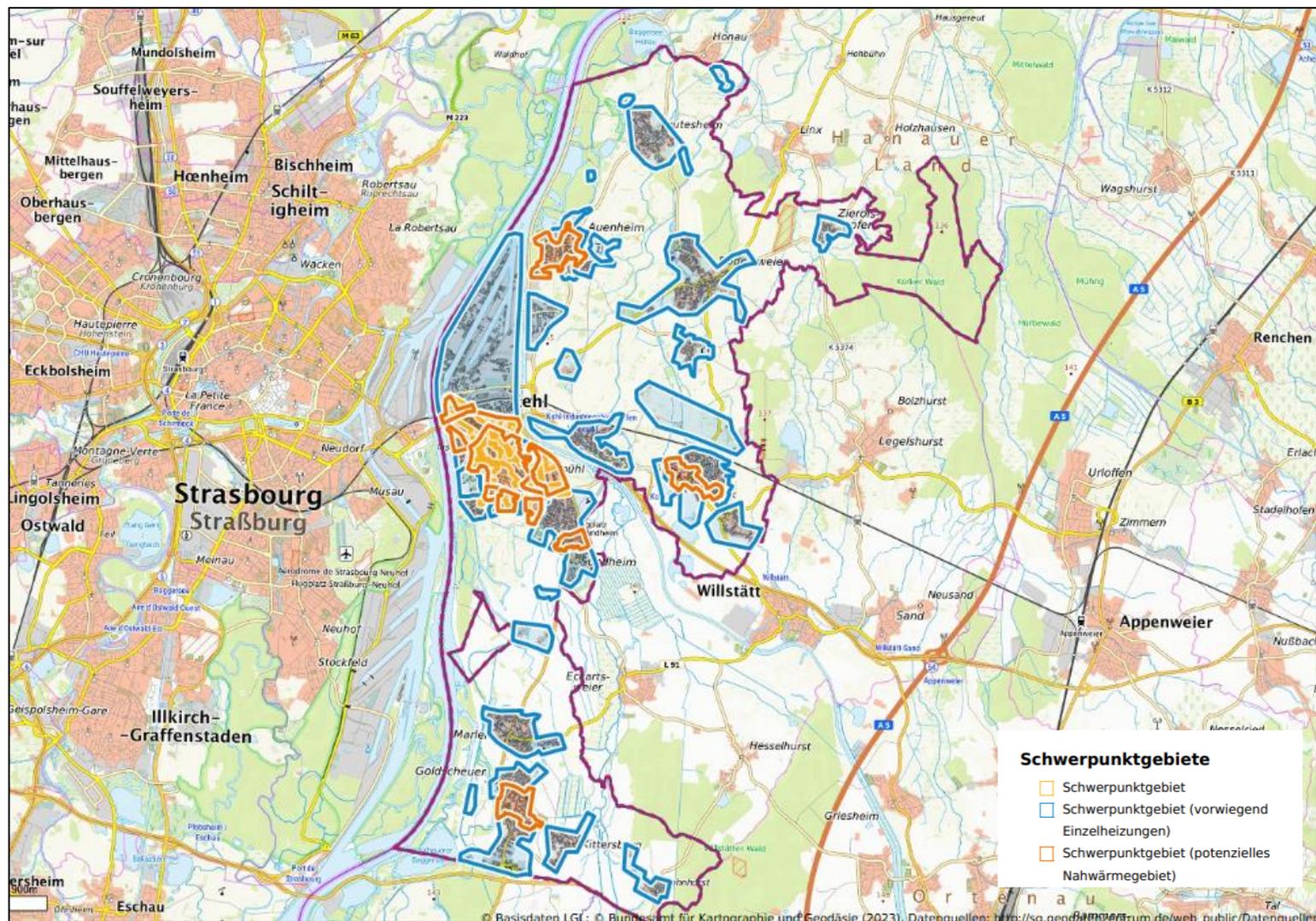


Abbildung 56 – Fernwärme-Eignungsgebiete der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Kehl (Quelle: badenovaNETZE GmbH 2023)

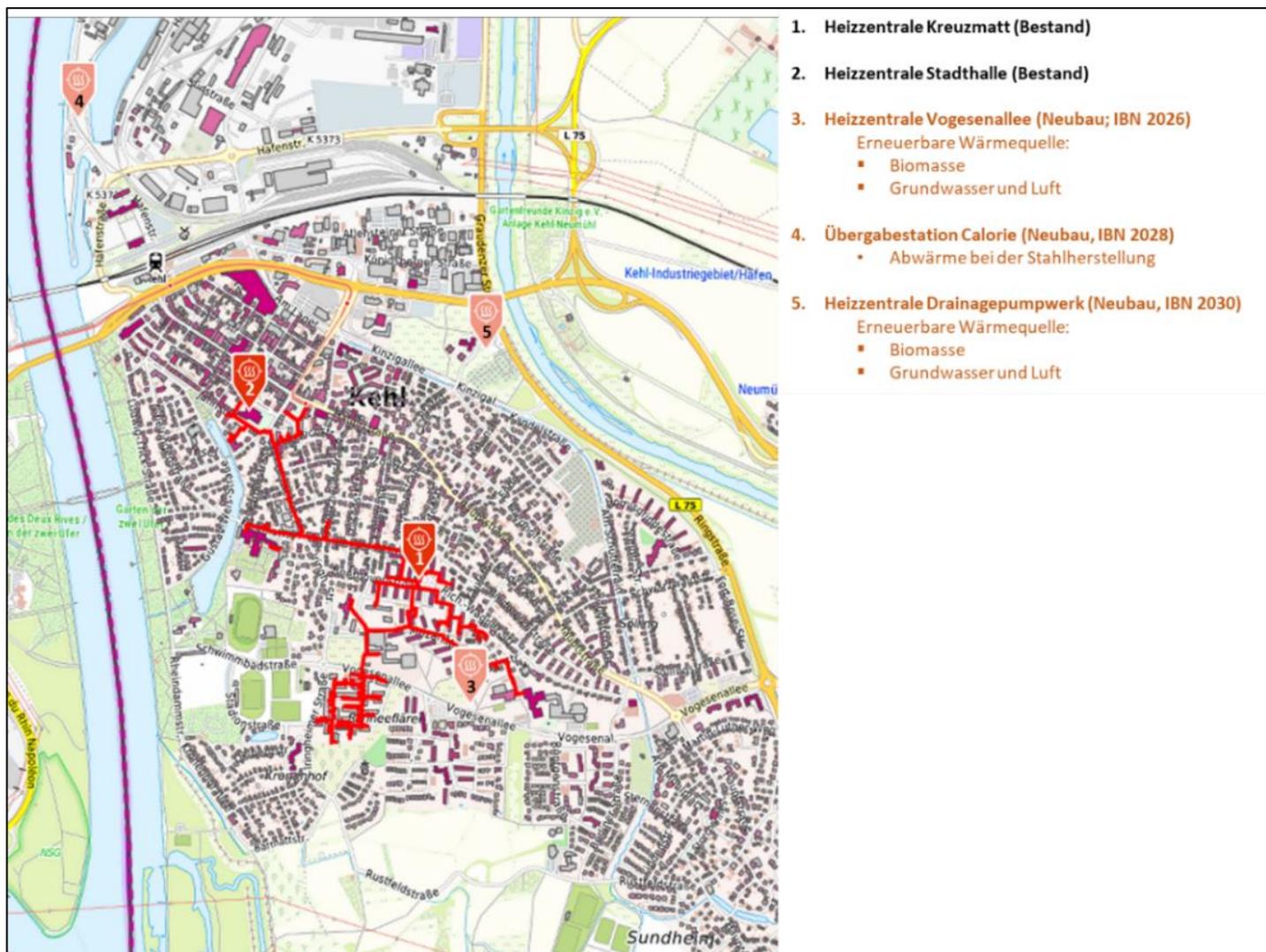


Abbildung 57 – Standorte der Wärmeerzeuger (Bestand und Neubau) (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)

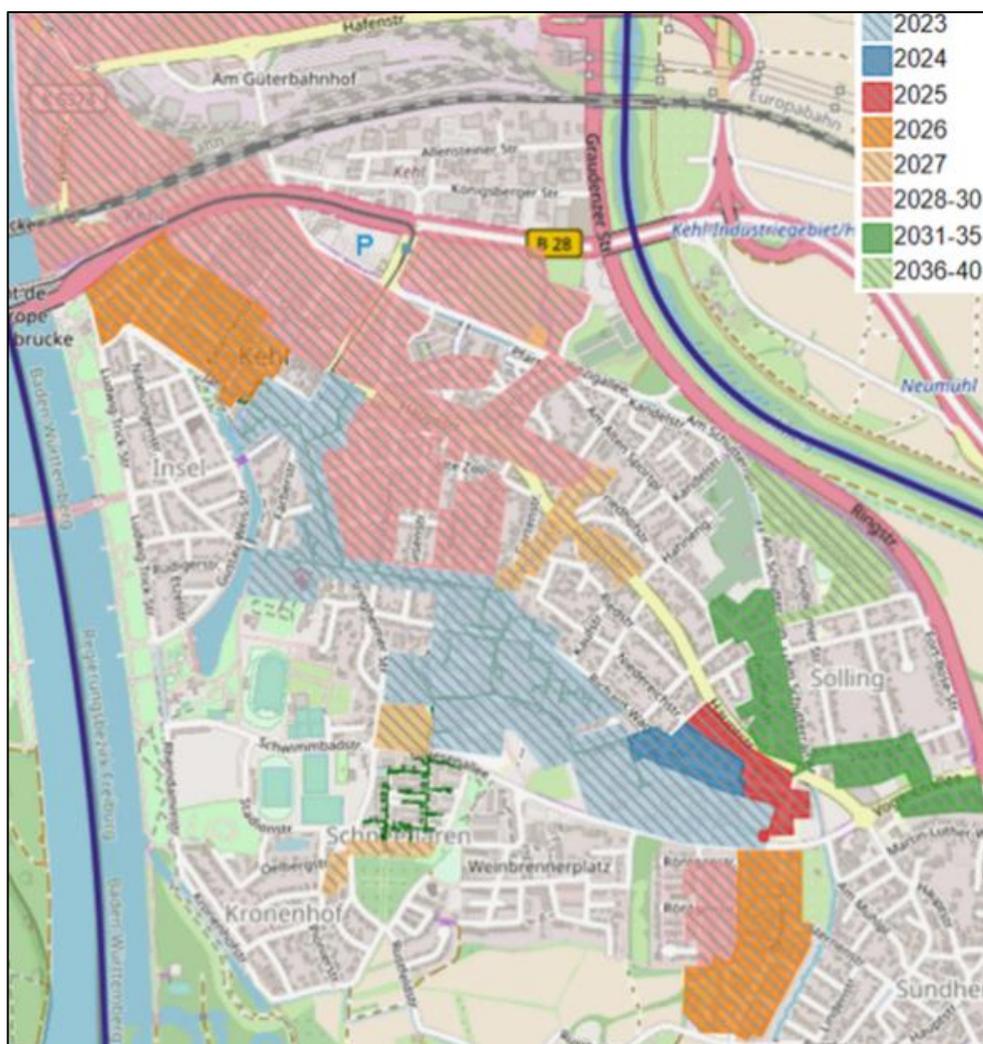
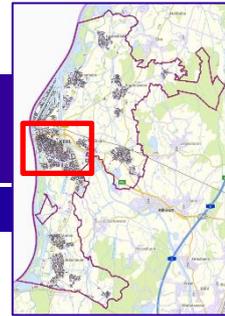


Abbildung 58 – Eignungsgebiete für Fernwärme und zeitlicher Ausbauplan (Quelle: Machbarkeitsstudie Wärmenetz 4.0 der Stadt Kehl)

10.1.1 Steckbrief Kehl Kernstadt

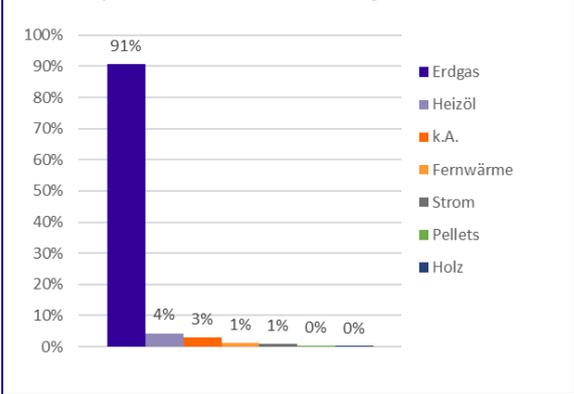


Steckbrief Ortsteil Kehl Kernstadt

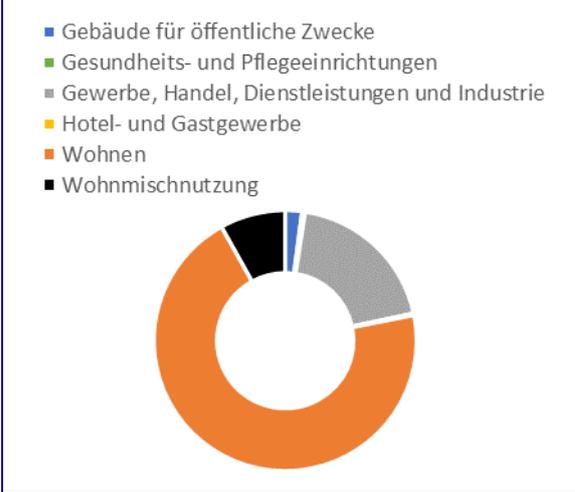
Beschreibung des Ortsteils		Lage: Die Kernstadt Kehl grenzt im Westen direkt an den Rhein. Im Osten grenzt Kehl an die Kinzig. Im Süden liegt Sundheim.
Anzahl beheizter Gebäude	2.745	
Wärmeverbrauch 2019	840.745 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	47 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern Gebäudenutzung

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Kehl beträgt 840.745 MWh. Der Ortsteil ist zu großen Teilen durch ein Gasnetz erschlossen. Der **vorwiegende Energieträger** ist demnach **Erdgas**. Aber auch Ölheizungen spielen eine Rolle. Teile des Ortsteils werden zudem per Fernwärme versorgt.

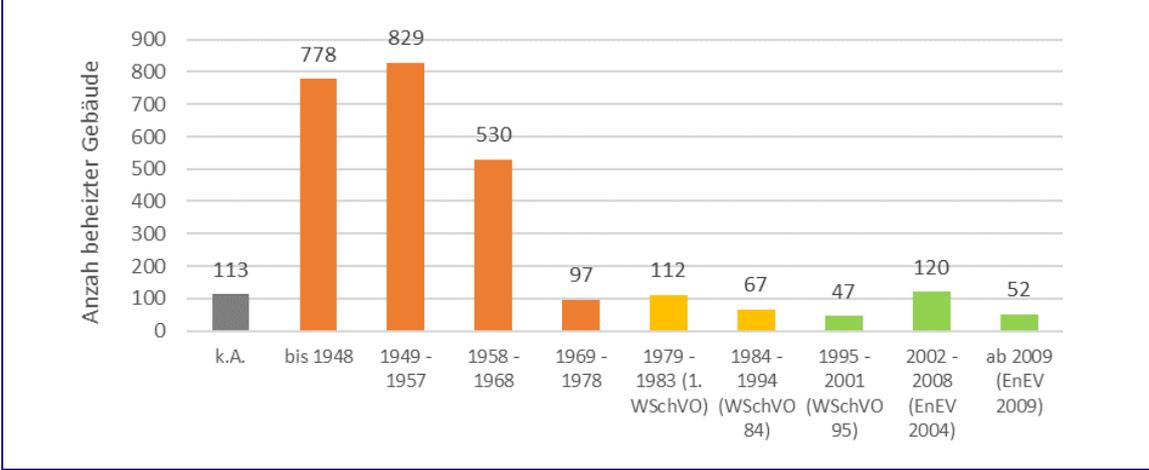


Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Kehl besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.



Gebäudealter

Ein großer Teil der beheizten Gebäude in Kehl wurde vor 1948 erbaut und über drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.

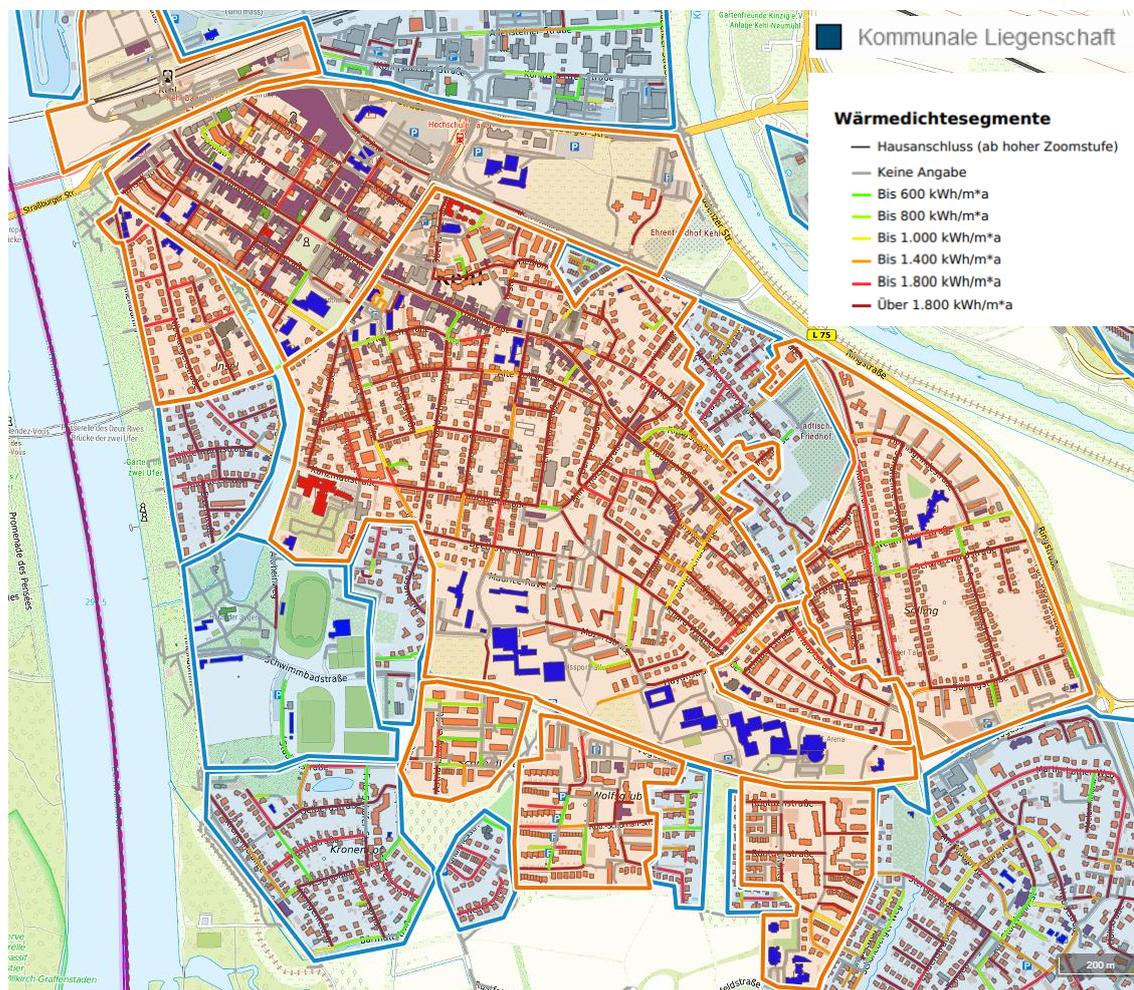


Eignungsgebiet in Kehl

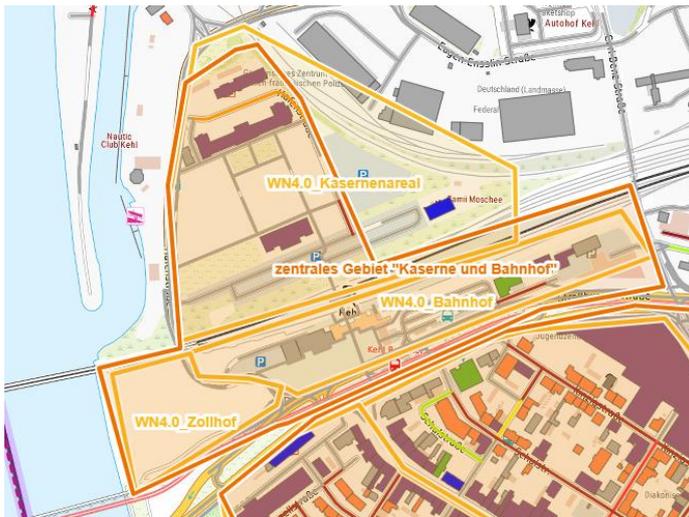
Zentrale Wärmeversorgung (Übersicht):

In der Kernstadt ist größtenteils eine dichte Bebauung vorzufinden, wodurch die Wärmedichte in den Straßenzügen hoch ausfällt. Daher eignet sich die Kernstadt insgesamt für Wärmenetze. Zudem sind dezentrale Lösungen aufgrund von Abstandsregeln bzw. Schallschutzbestimmungen nur bedingt möglich. Vor allem durch die Abwärme der Industrie, aber auch durch andere erneuerbare Potenziale, kann der Bedarf gedeckt werden. Verschiedene öffentliche Liegenschaften könnten sich als Standort für zukünftige Energiezentralen anbieten.

Die Gebiete wurden in dieser Auswertung großflächig ausgewählt. Basierend auf dieser Auswertung müssen in einem nächsten Schritt die Fernwärme-Gebiete genau eingegrenzt werden. Teilweise liegen diese Detailplanungen der Wärmegesellschaft Kehl bereits vor. Die bis-her geplanten Gebiete decken sich mit den Ergebnissen aus der kommunalen Wärmeplanung.



Zentrales Gebiet „Bahnhof und Kaserne“:



Im Bereich des zentralen Gebiets „Bahnhof und Kaserne“ liegen hauptsächlich Gebäude der Kategorie Wohnmischnutzung. Für dieses Gebiet gibt es konkrete Entwicklungspläne. Die Übergabestation für die Fernwärmeleitung von der BSW nach Strasbourg ist in unmittelbarer Nähe und gleichzeitig soll eine zukünftige Wärmeleitung in Richtung Innenstadt zu einem späteren Zeitpunkt auch Wärme

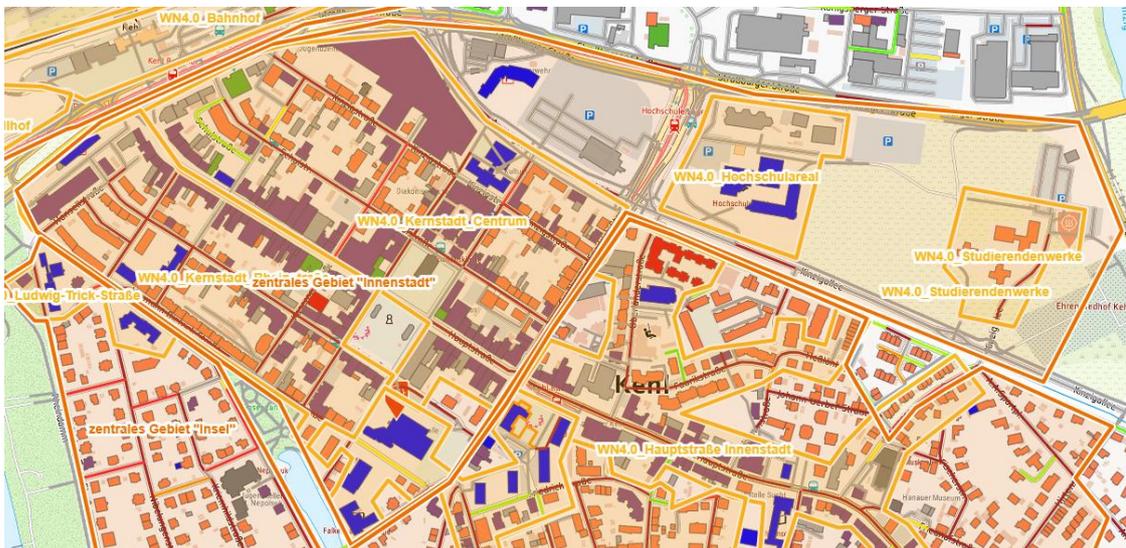
nach Kehl transportieren.

Als weitere Wärmequelle sollte hier die Einbindung einer Großwärmepumpe geprüft werden. Diese Technologie wird bereits in Deutschlands Großstädten eingesetzt und kann große Mengen an Wärmeenergie bereitstellen. Der Standort für die Anlage sollte unmittelbar am Rhein liegen, sodass die Wasserzirkulation zwischen Rhein und Anlage möglichst effizient arbeitet.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 831 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 10

Zentrales Gebiet „Innenstadt“:



Das zentrale Gebiet „Innenstadt“ umfasst die Fußgängerzone und den Markt. Hier findet sich eine sehr hohe Wärmedichte wieder. Bei den Gebäuden handelt es sich zum größten Teil um größere (Wohn-)Gebäude, aber auch viele öffentliche Liegenschaften liegen in diesem Gebiet. Wärmepumpen kommen auf Grund des hohen Wärmebedarfs und wegen der Lärmemissionen durch die Außeneinheiten hier eher nicht in Frage. In der Stadthalle befindet sich eine Bestandsanlage der Wärmegesellschaft Kehl, welche die öffentlichen Liegenschaften und auch

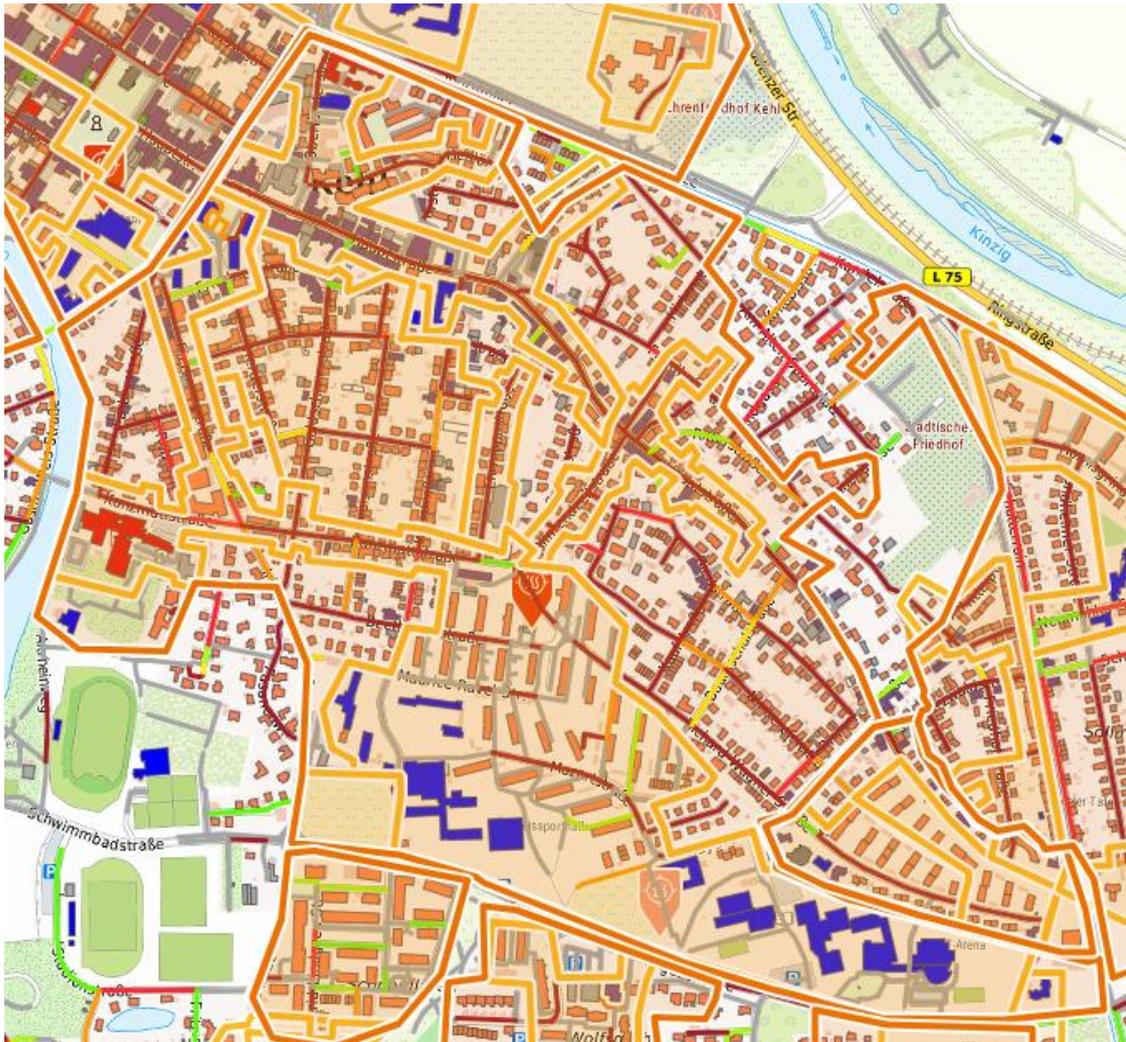
Privathaushalte mit Wärme versorgt. Auch das potenzielle neue Wärmenetz, ausgehend der BSW, würde durch dieses Gebiet verlaufen.

In diesem Gebiet liegen potenzielle Erweiterungsgebiete des bestehenden Wärmenetzes, welche im Rahmen des Projektes Wärmenetz 4.0 definiert wurden.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 28.001 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 383

Zentrales Gebiet „Kehl Dorf und Kreuzmatt“:

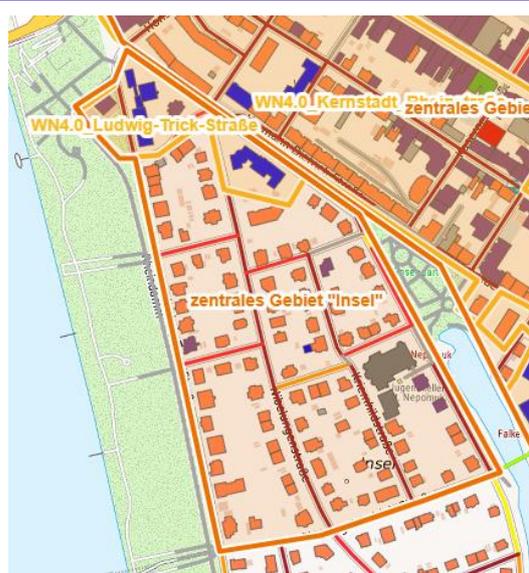


Das Gebiet weist insgesamt eine sehr hohe Wärmedichte (in großen Teilen über 1.800 kWh/m²a) auf. Dieses Gebiet besitzt einen großen Anteil an großen, wärmeintensiven und z.T. öffentlichen Gebäuden. Der Großteil des Bestandswärmenetzes verläuft durch dieses Gebiet. Angrenzend an dieses Gebiet befinden sich die Sportstätten. Hier ist ein großes Kombibad geplant, welches als mögliche Wärmequelle für dieses Gebiet dienen könnte.

In diesem Gebiet liegen potenzielle Erweiterungsgebiete des bestehenden Wärmenetzes, welche im Rahmen des Projektes Wärmenetz 4.0 definiert wurden.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 69.419 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 1.183



Zentrales Gebiet „Insel“:

Die Insel liegt zwischen dem Rhein und dem ehemaligen Landesgartenschau-Gelände. Hier befinden sich hauptsächlich ältere Wohngebäude. Im nördlichen Teil der Insel ist die Wärmepumpeneignung aufgrund der hohen Wärmedichte und der Gebäudeeigenschaften eher schwierig. Da in unmittelbarer Nähe das Bestandsnetz liegt und auch das potenzielle Wärmenetz mit der Abwärme aus Strasbourg verlaufen könnte, bietet sich dieses Gebiet ebenfalls für die Prüfung einer zentralen Wärmeversorgung an.

Auch hier sollte mit der Nähe zum Rhein der Einsatz einer Großwärmepumpe als Wärmequelle

geprüft werden.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 4.931 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 106



Zentrales Gebiet „Richard-Wagner-Str.“:

Das Gebiet der Richard-Wagner-Straße liegt in unmittelbarer Nähe zum Bestandsnetz „Kreuzmatt“. Die Wärmedichte in diesem Gebiet ist sehr hoch (in großen Teilen über 1.800 kWh/m²a). Bei den Gebäuden handelt es sich zum größten Teil um Mehrfamilienhäuser. Die Gebäude sind aufgrund ihrer Beschaffenheit eher nicht für eine Wärmepumpennutzung geeignet.

Das Gebiet Richard-Wagner-Str. ist auch im Wärmenetz 4.0 Projekt ein Schwerpunktgebiet.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 4.714 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 83



Zentrales Gebiet „Sölling“:

Das Gebiet „Sölling“ schließt im Westen an das Gebiet „Richard-Wagner-Str.“ an und umfasst ebenfalls Schwerpunktgebiete aus dem Wärmenetz 4.0 Projekt. Die beiden Gebiete aus dem Wärmenetz 4.0 Projekt befinden sich zum einen im Norden, hier liegt das Gebiet „Hornisgrindestraße“, welches auch die Sölling-Schule mit umfasst und zum anderen im Süden. Hier liegt das Gebiet „Söllingstraße“. Die beiden Gebiete umfassen die größeren Mehrfamilienhäuser. Da die Wärmedichte entlang der Fort-Kirchbach-Straße und der Sundheimer Straße konstant hoch ist (über 1.800 kWh/m²a), wurde das zentrale Gebiet um diese ebenfalls erweitert.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 16.775 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 400



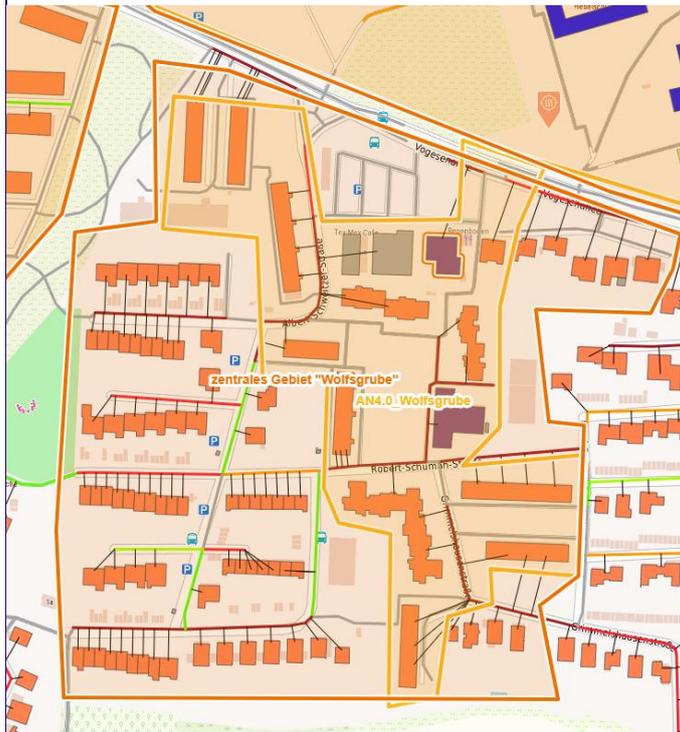
Zentrales Gebiet „Niedereich“:

Im Gebiet „Niedereich“ befindet sich eine Schule mit Turnhalle und auch der Kindergarten Niedereich. Die meisten Gebäude sind große Mehrfamilienhäuser oder Reihenhäuser. Wärmepumpen kommen auf Grund des hohen Wärmebedarfs und wegen der Lärmemissionen durch die Außeneinheiten hier eher nicht in Frage. Die Wärmedichte in diesem Gebiet ist sehr hoch (in großen Teilen über 1.800 kWh/m²a). Auch hier befindet sich ein Schwerpunktgebiet aus dem Wärmenetz 4.0 Projekt. Das Bestandswärmenetz liegt in unmittelbarer Nähe.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet:

7.012 MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 128



Zentrales Gebiet „Wolfsgrube“:

Das zentrale Gebiet „Wolfsgrube“ umfasst hauptsächlich größere Wohn- und Geschäftsgebäude und Reihenhäuser. Die Wärmedichte ist in großen Teilen sehr hoch (über 1.800 kWh/m²a). Im Bereich der Reihenhäuser könnte eine Wärmepumpennutzung auf Grund der Lärmemissionen durch die Außen-einheiten hier eher nicht in Frage kommen.

Im Gebiet „Wolfsgrube“ liegt ebenfalls eine Schwerpunktgebiet des Wärmenetz 4.0 Projektes.

Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 4.334 MWh/a MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 122

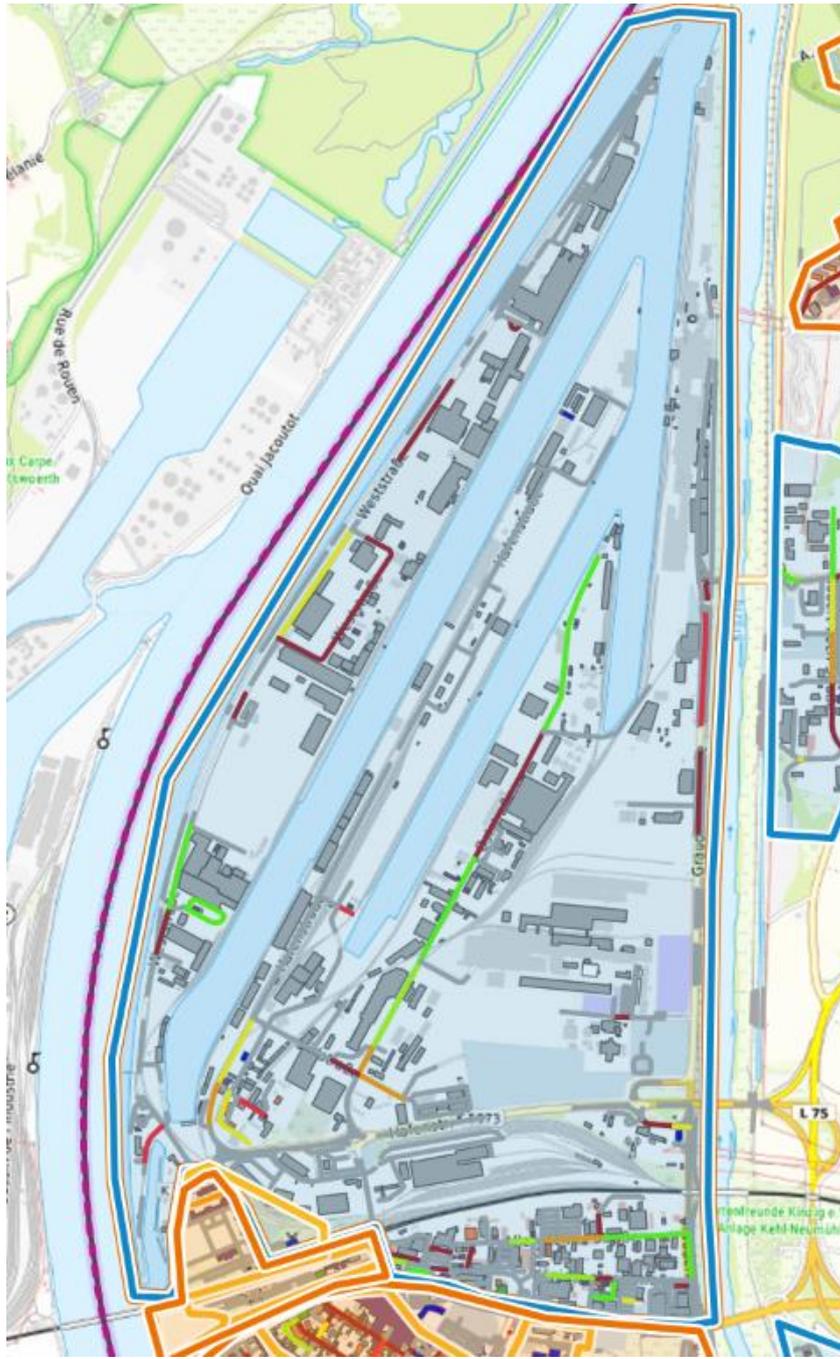


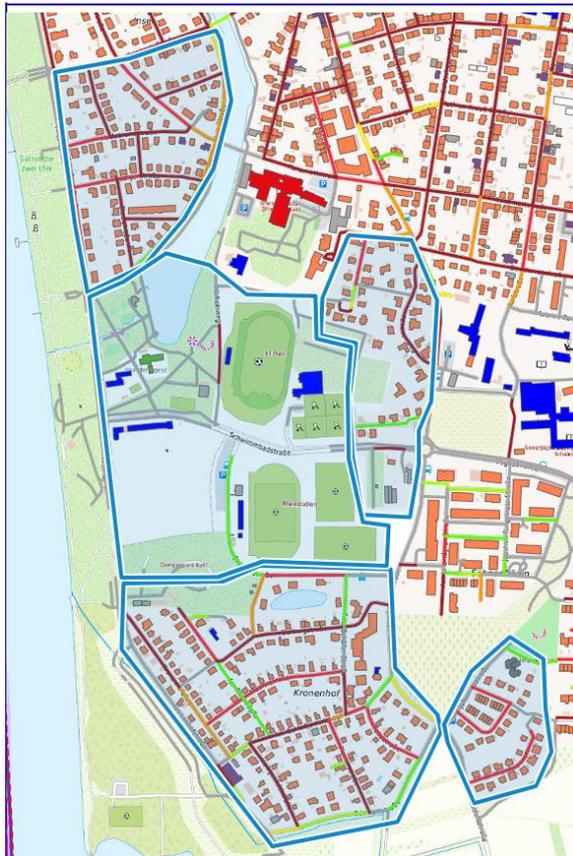
Zentrales Gebiet „Schneeflären“:

Im zentralen Gebiet „Schneeflären“ liegt vollflächig ein Bestandsnetz. Daher wurde dieses Gebiet als zentral ausgewiesen.

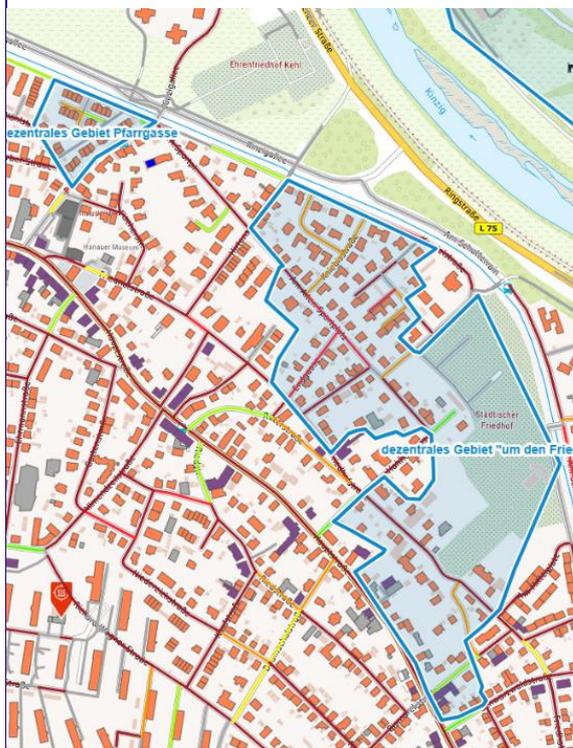
Dezentrale Wärmeversorgung:

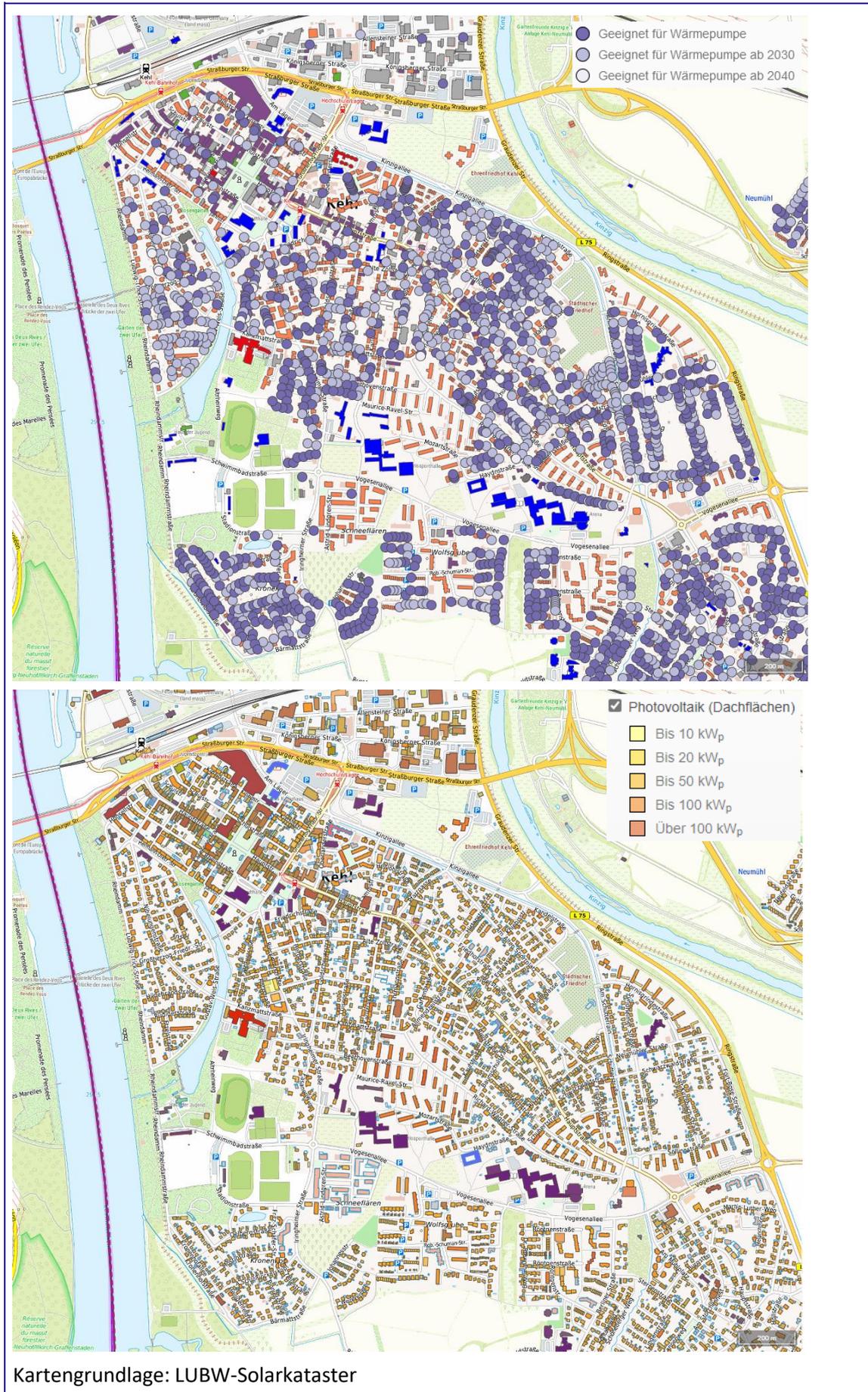
Das größte Gewerbegebiet ist der Rheinhafen, wo 110 Industrie-Unternehmen ansässig sind und das etwa 4.700 Arbeitsplätze bietet. Das Gewerbegebiet „Läger“ befindet sich nördlich der Kernstadt und südlich des Güterbahnhofs. Dort sind vor allem kleinere Unternehmen und der Einzelhandel angesiedelt. Beide Gewerbegebiete wurden in einem dezentralen Gebiet verortet. Gerade in Gewerbegebieten gilt die Einzelfallprüfung, ob der Wärmeverbrauch, die Größe und die Nutzung des Gebäudes und auch die benötigten Leitungsmeter eine zentrale Lösung ermöglichen bzw. ob diese wirtschaftlich abbildbar ist.



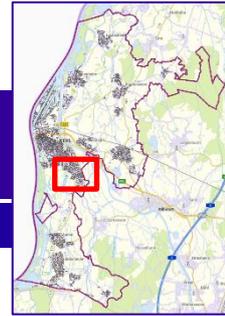


In neueren bzw. weniger eng bebauten Siedlungen ist die Wärmedichte aufgrund des höheren Energiestandards und der größeren Fläche nicht ausreichend für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes. In diesen Gebieten können dezentrale Lösungen wie Wärmepumpen in Verbindung mit PV-Dachanlagen oder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





10.1.2 Steckbrief Sundheim

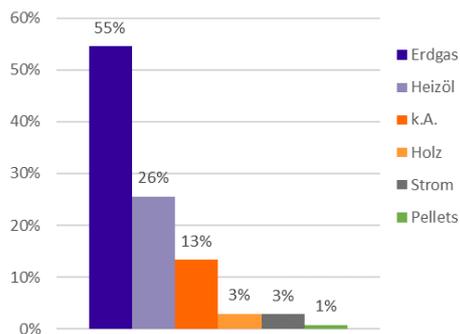


Steckbrief Ortsteil Sundheim

Beschreibung des Ortsteils		Lage: Sundheim ist ein Ortsteil süd-östlich der Kernstadt Kehl gelegen.
Anzahl beheizter Gebäude	709	
Wärmeverbrauch 2019	28.542 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	42 %	

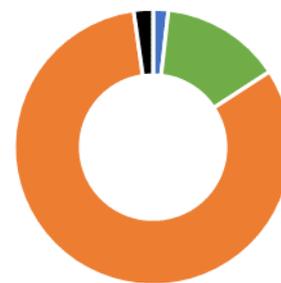
Energieverbrauch nach Energieträgern Gebäudenutzung

Der Energieverbrauch der Gebäude im Stadtteil Sundheim beträgt 28.542 MWh. Der Ortsteil ist durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird mit Hilfe von **Erdgas- und Ölheizungen** gedeckt.



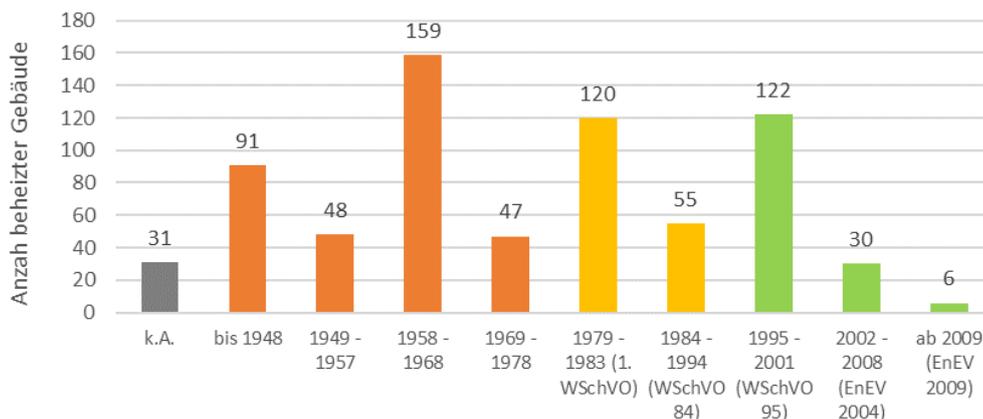
Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Sundheim besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Wohnen
- Wohnmischnutzung



Gebäudealter

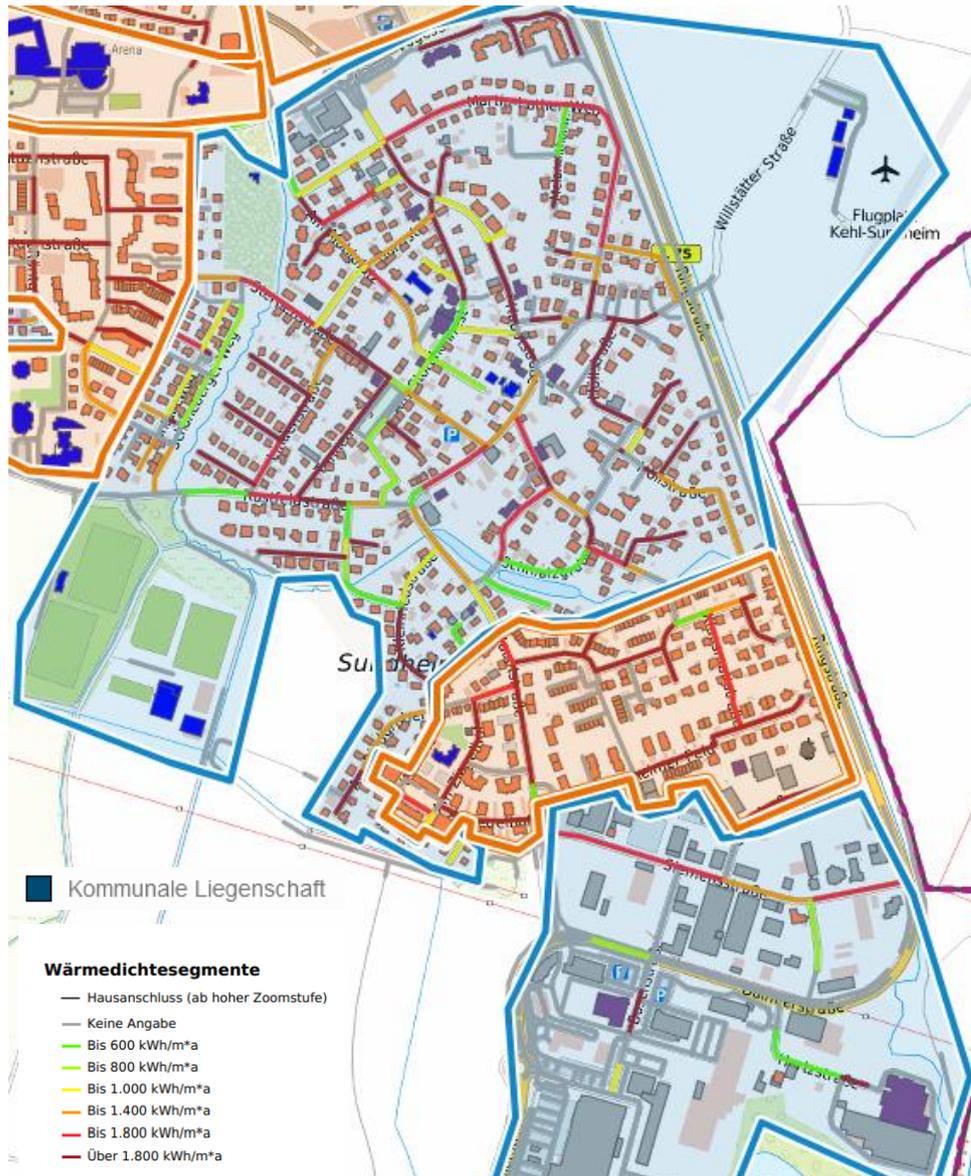
Die Hälfte der beheizten Gebäude in Sundheim wurden vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. In diesen Gebäuden ist ein hoher Wärmeverbrauch vorhanden. Etwa ein Fünftel der Gebäude wurden nach der 3. Wärmeschutzverordnung gebaut. Diese Gebäude eignen sich größtenteils schon heute für den Einbau einer Wärmepumpe.



Eignungsgebiet in Sundheim

Zentrale Wärmeversorgung:

In Kehl Sundheim befindet sich ein zentrales Eignungsgebiet. Im südlichen Teil des Wohngebiets führen mehrere Reihenhäuser und eine dichte Bebauung zu einer durchgängig hohen Wärmedichte von größtenteils über 1,8 MWh/m. Dies führt dazu, dass sich eine dezentrale Wärmeversorgung über Wärmepumpen nur schwer umzusetzen lässt. Abwärmepotenziale aus dem angrenzenden Gewerbegebiet sind nicht vorhanden. Mögliche Heizzentralenstandorte sind durch öffentliche Liegenschaften gegeben.

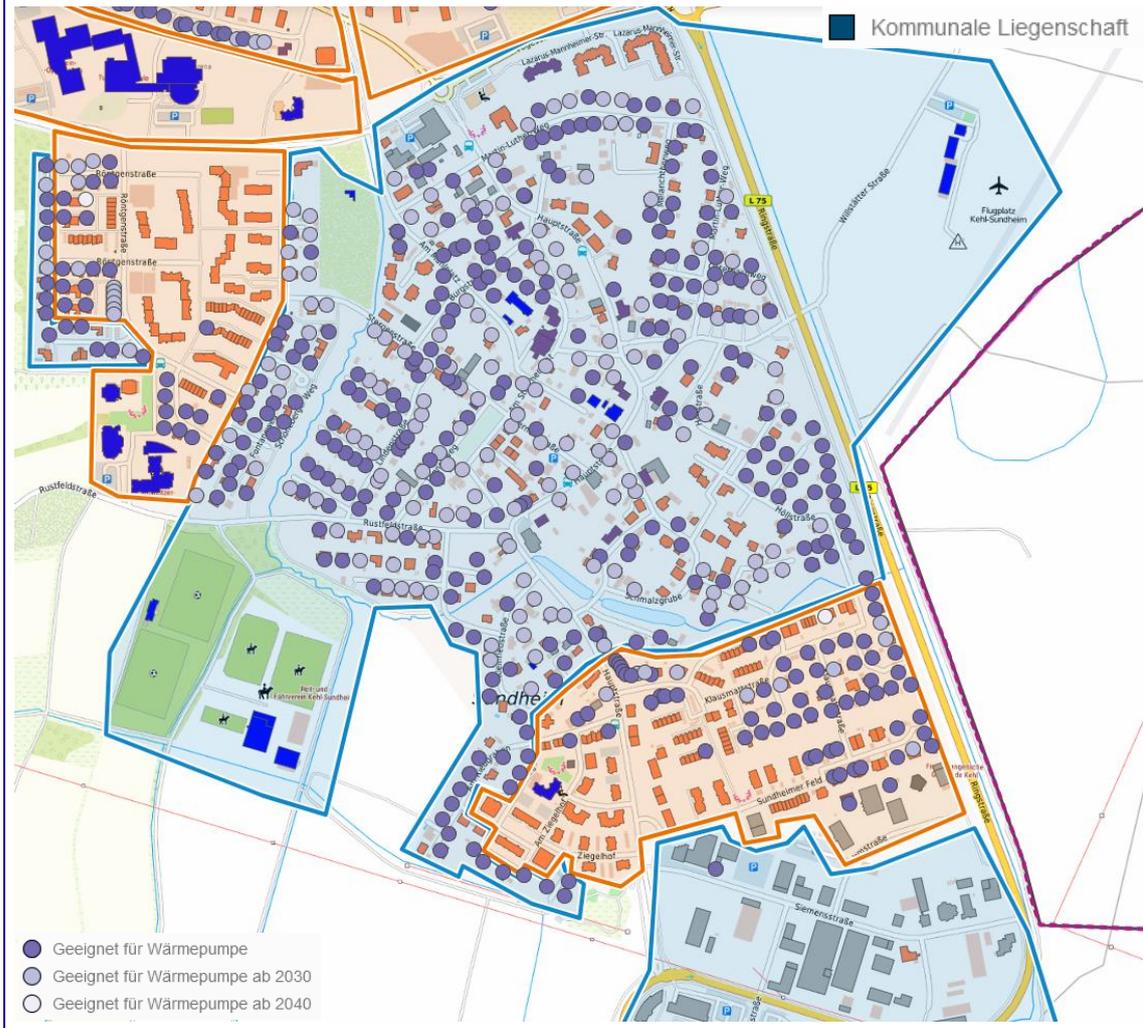


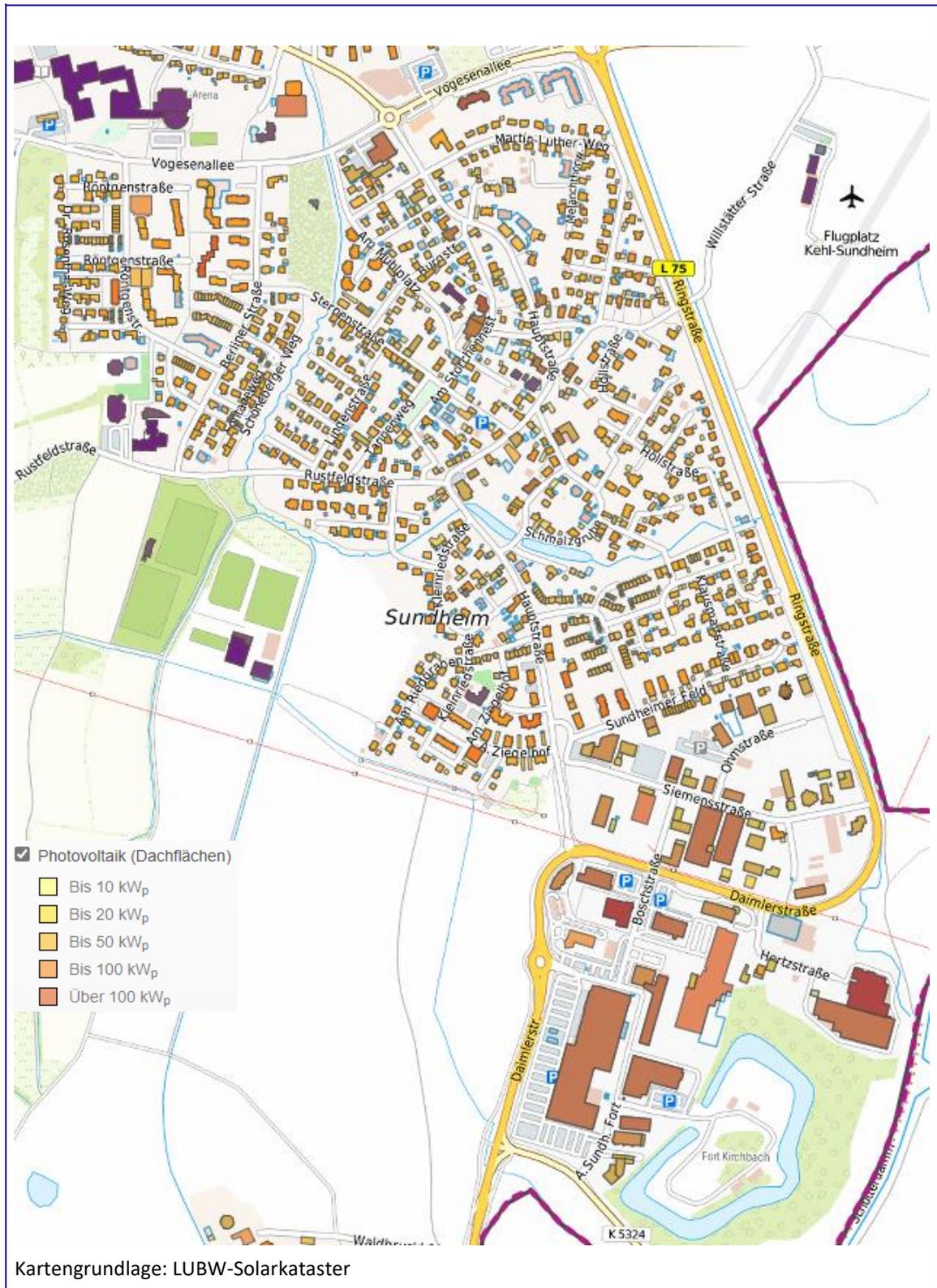
Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 6.687 MWh/a MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 204

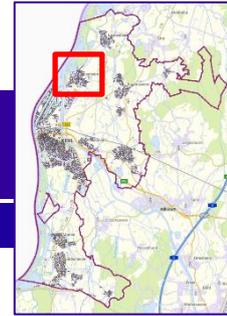
Dezentrale Wärmeversorgung:

Im Großteil des Wohngebiets sowie im Gewerbegebiet sind dezentrale Wärmeversorgungslösungen geeignet. Eine Vielzahl der Gebäude kann dezentral mit einer Wärmepumpe versorgt werden. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Rund um Sundheim gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Auf den Dachflächen besteht ein jährliches PV-Potenzial von ca. 15.800 MWh (inkl. Gewerbegebiet).





10.1.3 Steckbrief Auenheim



Steckbrief Ortsteil Auenheim

Beschreibung des Ortsteils		Lage:	
Anzahl beheizter Gebäude	761		Auenheim liegt nordöstlich der Kernstadt Kehl. Westlich grenzt die Kinzig mit dem Hafeneareal an.
Wärmeverbrauch 2019	26.165 MWh		
Einsparpotenzial Sanierung	50 %		

Energieverbrauch nach Energieträgern

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Auenheim beträgt 26.165 MWh. Der Ortsteil ist durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird mit Hilfe von **Erdgas- und Ölheizungen** gedeckt.

Energieträger	Anteil (%)
Erdgas	44%
Heizöl	31%
k.A.	13%
Strom	6%
Holz	4%
Pellets	2%

Gebäudenutzung

Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Auenheim besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Wohnen
- Wohnmischnutzung

Gebäudealter

Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Auenheim wurde vor 1948 erbaut und über zwei Drittel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.

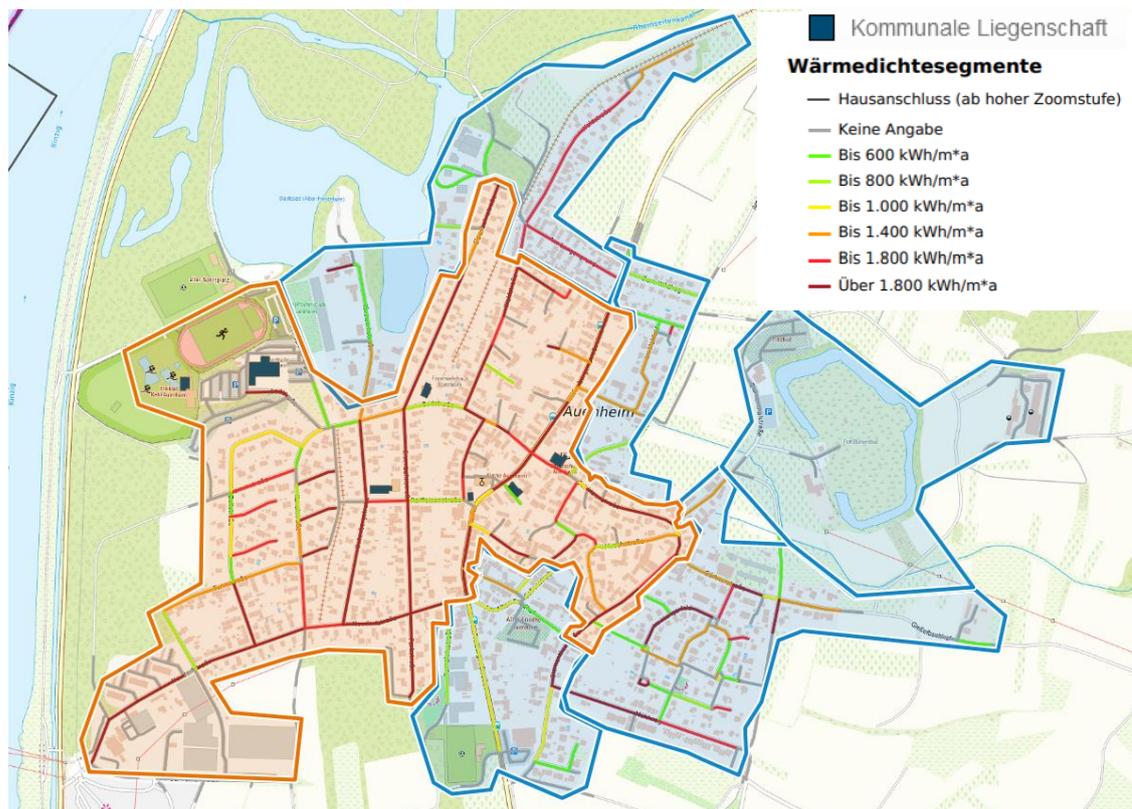
Baujahr	Anzahl Gebäude
k.A.	48
bis 1948	219
1949 - 1957	181
1958 - 1968	77
1969 - 1978	27
1979 - 1983 (1. WSchVO)	43
1984 - 1994 (WSchVO 84)	22
1995 - 2001 (WSchVO 95)	72
2002 - 2008 (EnEV 2004)	69
ab 2009 (EnEV 2009)	3

Eignungsgebiet in Auenheim

Zentrale Wärmeversorgung:

Auf der Gemarkung von Auenheim befindet sich ein zentrales Eignungsgebiet. Die Einteilung des Gebiets gründet u.a. auf der fast durchgängig hohen Wärmedichte im Kernbereich von Auenheim von teils über 1,8 MWh/m und der eigens entwickelten Methodik zur Bewertung von Gebäuden hinsichtlich der Transformation der zukünftigen Wärmeversorgung.

Im Rahmen des KSK wurde eine Maßnahme zur Erstellung einer Machbarkeitsstudie für ein Wärmenetz erstellt. Perspektivisch könnte eine Abwärmenutzung von der BSW Kehl erfolgen. Gleichzeitig gilt es mit der Nähe zur Kinzig auch hier die Nutzung einer Großwärmepumpe zu prüfen. Darüber hinaus weist keiner der Betriebe im näheren Umfeld Abwärme auf.



Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 13.786 MWh/a MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 497

Dezentrale Wärmeversorgung:

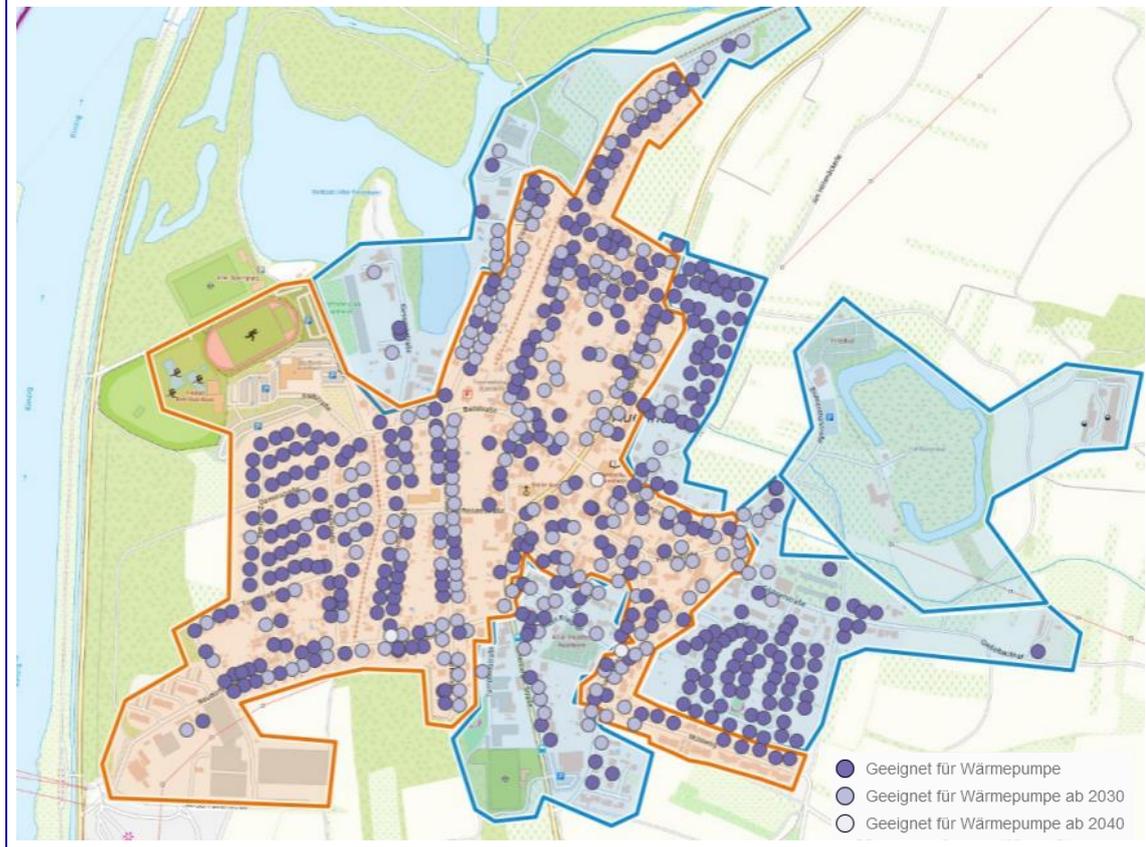
Die östlichen Randbereiche sowie das Gewerbegebiet sind für eine dezentrale Wärmeversorgung geeignet. Auf Grund der großflächig vorhandenen hohen Wärmedichte wird deshalb in

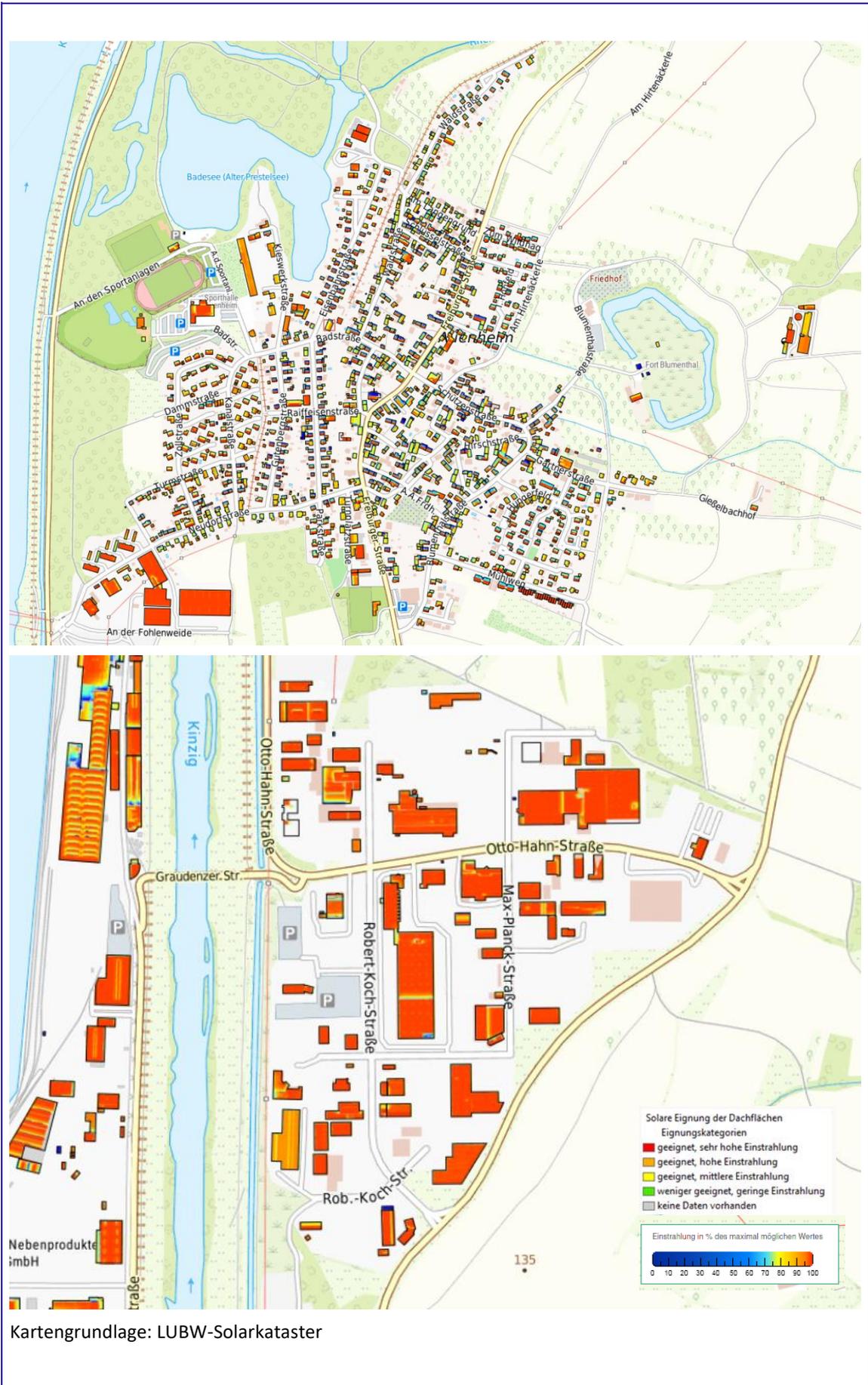


Auenheim nur in geringen Teilen eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet.

Dennoch könnte aber auch ein Großteil der Gebäude dezentral mit einer Wärmepumpe versorgt werden. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser-Wärmepumpen. Rund um Auenheim gibt es keine Flächen, die für

eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial für den Ortsbereich Auenheim auf ca. 16.600 MWh (inkl. Gewerbegebiet).





10.1.4 Steckbrief Leutesheim



Steckbrief Ortsteil Leutesheim

Beschreibung des Ortsteils

Anzahl beheizter Gebäude	412	Lage: Leutesheim ist der nördlichste Ortsteil Kehls und etwa 6 km von der Kernstadt entfernt. Der Ortsteil ist eher ländlich geprägt.
Wärmeverbrauch 2019	12.833 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	53 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Leutesheim beträgt 12.833 MWh. Der Ortsteil ist nicht durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird mit Hilfe von **Öl- und Holzheizungen** gedeckt.

Energieträger	Anteil (%)
Heizöl	68%
Holz	15%
k.A.	10%
Pellets	5%
Strom	2%

Gebäudenutzung

Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Leutesheim besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Nicht relevant
- Sonstiges
- Wohnen
- Wohnmischnutzung

Gebäudealter

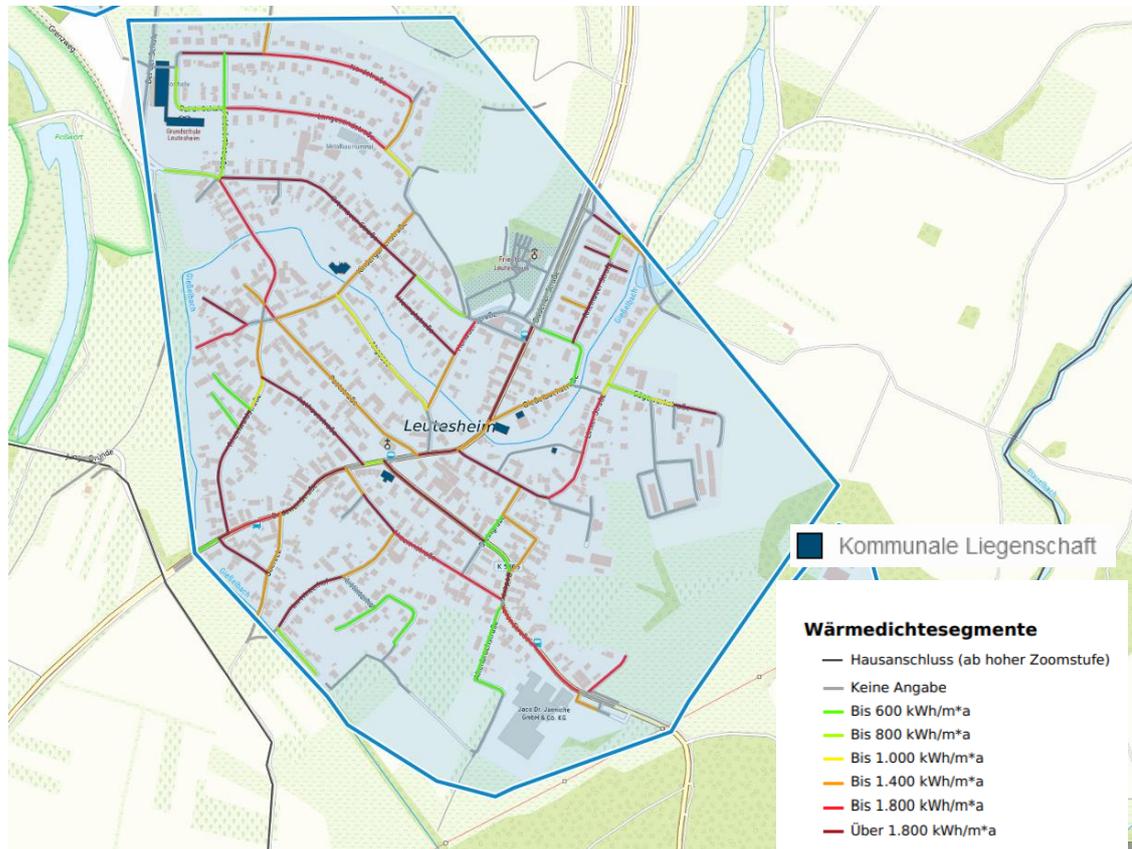
Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Leutesheim wurde vor 1948 erbaut und über drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.

Baujahr	Anzahl beheizter Gebäude
k.A.	1
bis 1948	170
1949 - 1957	94
1958 - 1968	38
1969 - 1978	31
1979 - 1983 (1. WSchVO)	30
1984 - 1994 (WSchVO 84)	14
1995 - 2001 (WSchVO 95)	28
2002 - 2008 (EnEV 2004)	6

Eignungsgebiet in Leutesheim

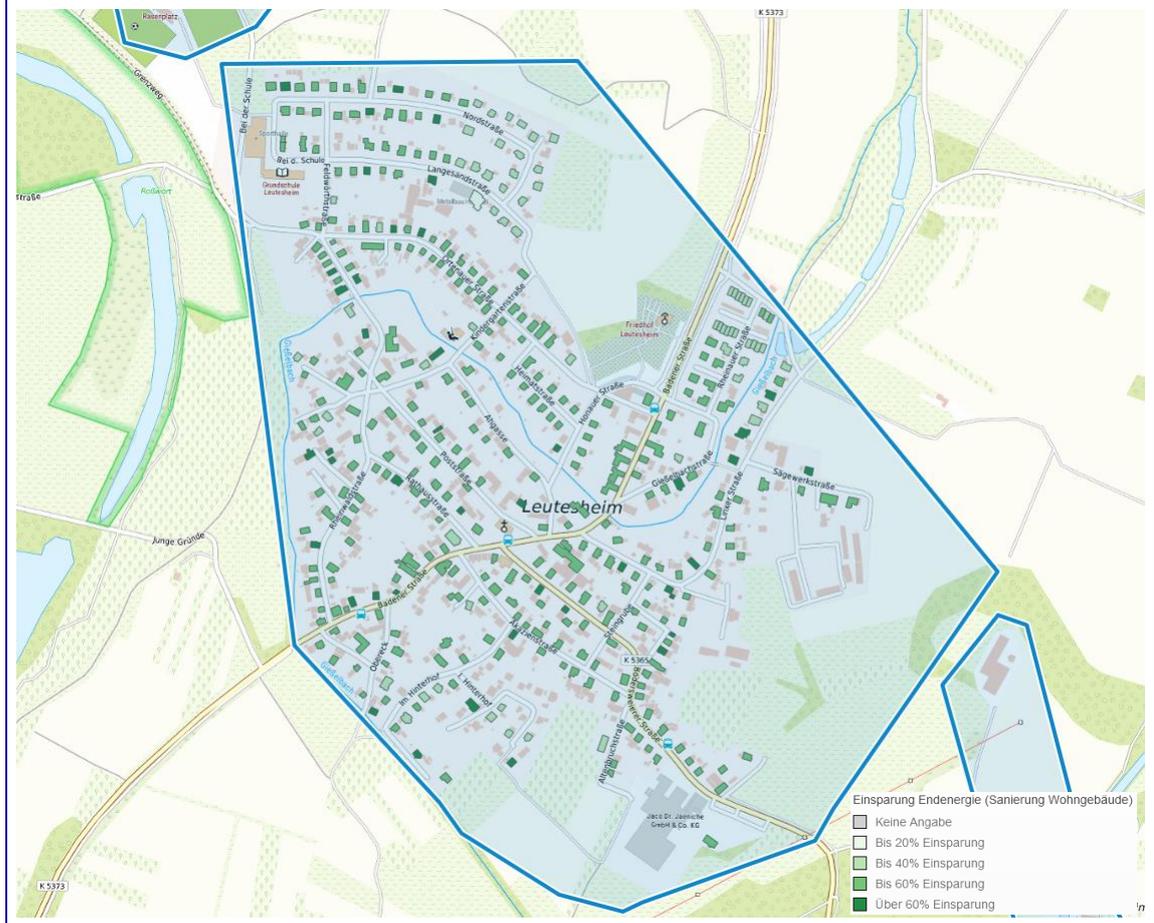
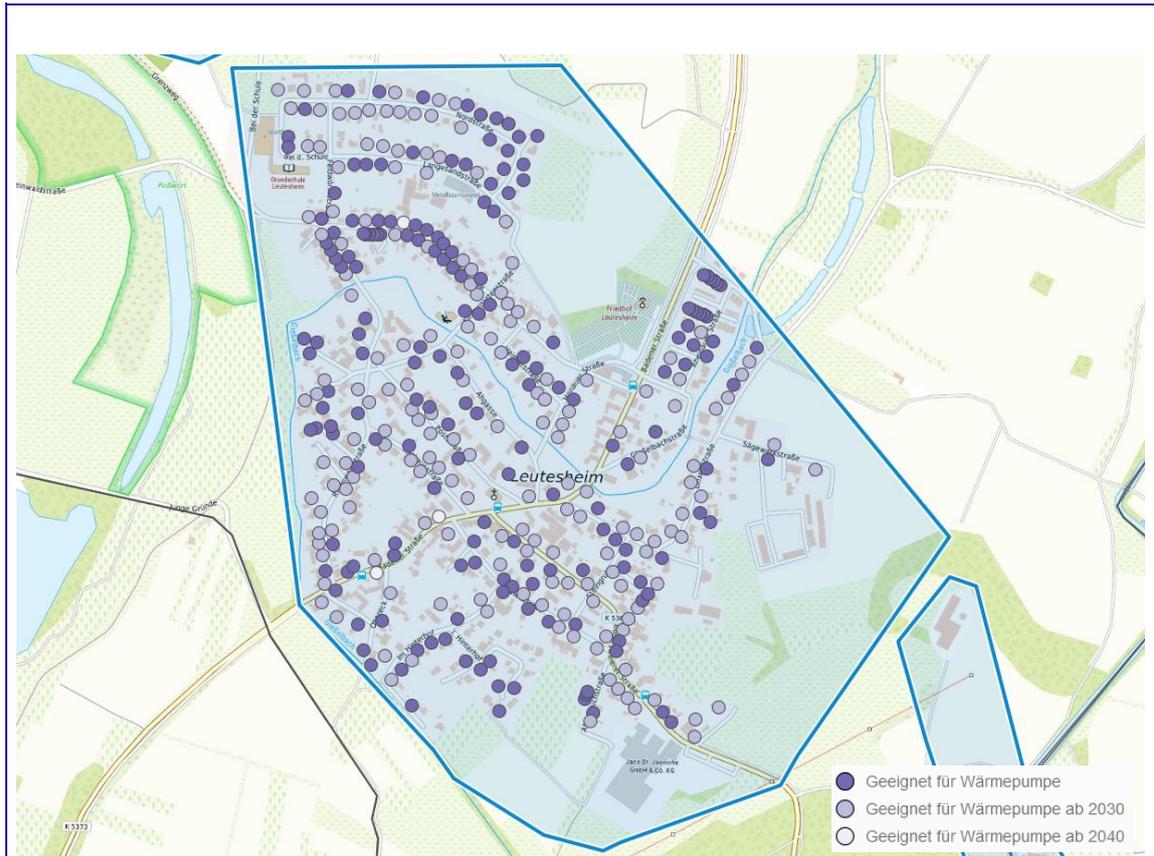
Zentrale Wärmeversorgung:

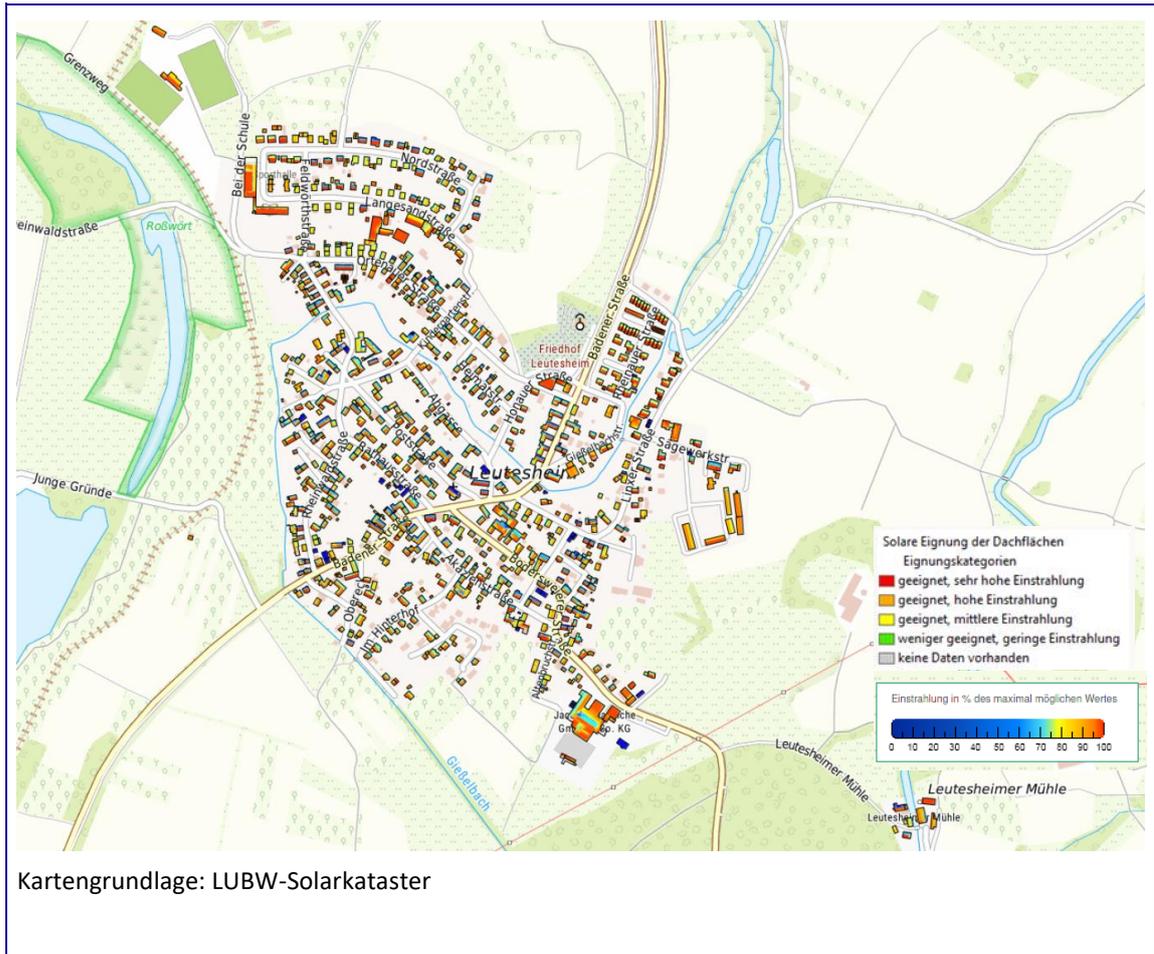
Auf der Gemarkung von Leutesheim befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet. Das vorhandene Abwärmepotenziale in der Industrie ist zu gering bzw. nur aufwendig zu erschließen, so dass ein wirtschaftlicher Betrieb im Moment nicht gegeben wäre.



Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Leutesheim eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 7.100 MWh (Endenergieeinsparung von 53%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Rund um Leutesheim gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial auf ca. 8.300 MWh.





10.1.5 Steckbrief Bodersweier



Steckbrief Ortsteil Bodersweier

Beschreibung des Ortsteils		Lage: Bodersweier liegt im Nordosten der Gemarkung Kehl, ca. 3 km östlich des Rheins und 6 km östlich der Kernstadt Kehl.
Anzahl beheizter Gebäude	510	
Wärmeverbrauch 2019	21.338 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	51 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Bodersweier beträgt 21.338 MWh. Der Ortsteil ist teilweise durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird neben **Erdgas** aber dennoch mit **Heizöl** gedeckt. Auch Holz ist als Energieträger verbreitet.

Energieträger	Anteil (%)
Heizöl	41%
Erdgas	35%
Holz	12%
k.A.	5%
Strom	4%
Pellets	3%

Gebäudenutzung

Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Bodersweier besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Wohnen
- Wohnmischnutzung

Gebäudealter

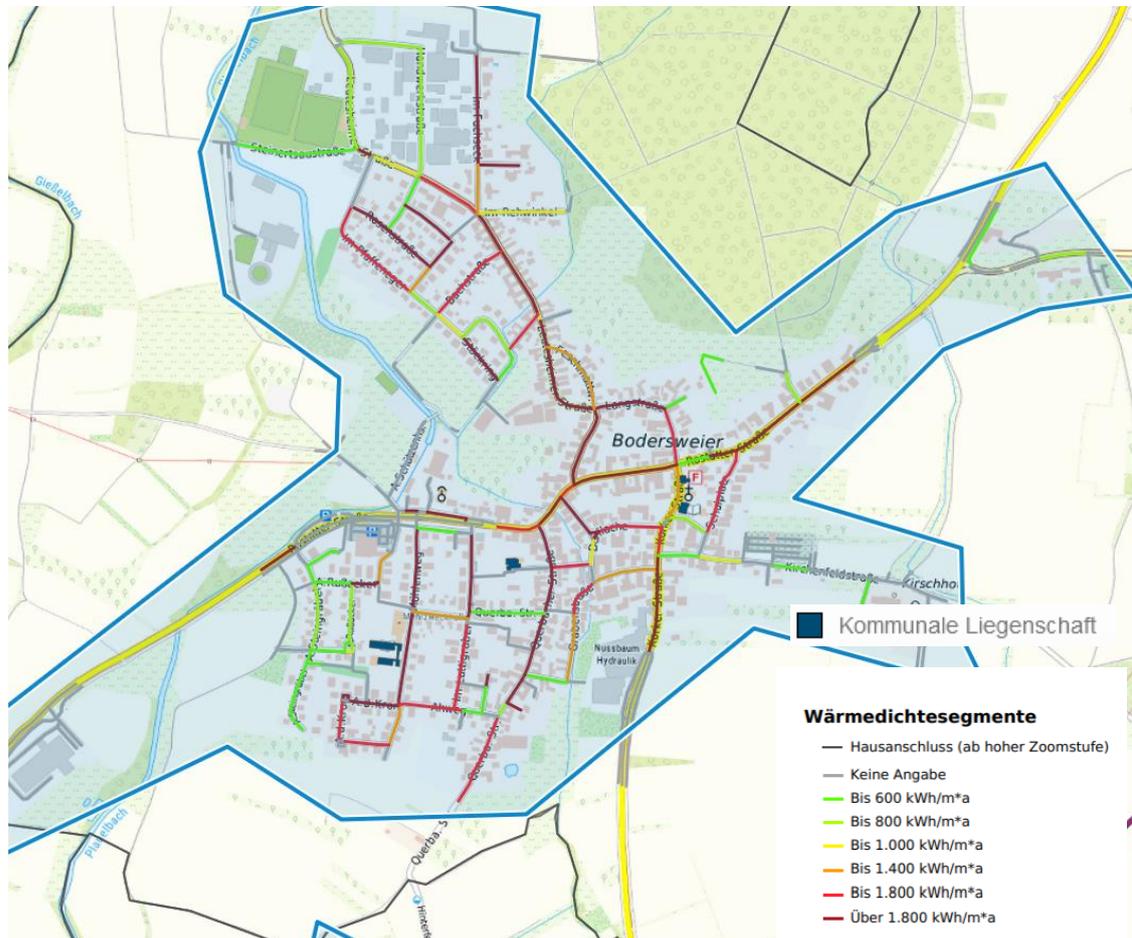
Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Bodersweier wurde vor 1948 erbaut und drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.

Baujahr	Anzahl
k.A.	15
bis 1948	175
1949 - 1957	63
1958 - 1968	68
1969 - 1978	77
1979 - 1983 (1. WSchVO)	28
1984 - 1994 (WSchVO 84)	12
1995 - 2001 (WSchVO 95)	25
2002 - 2008 (EnEV 2004)	41
ab 2009 (EnEV 2009)	6

Eignungsgebiet in Bodersweier

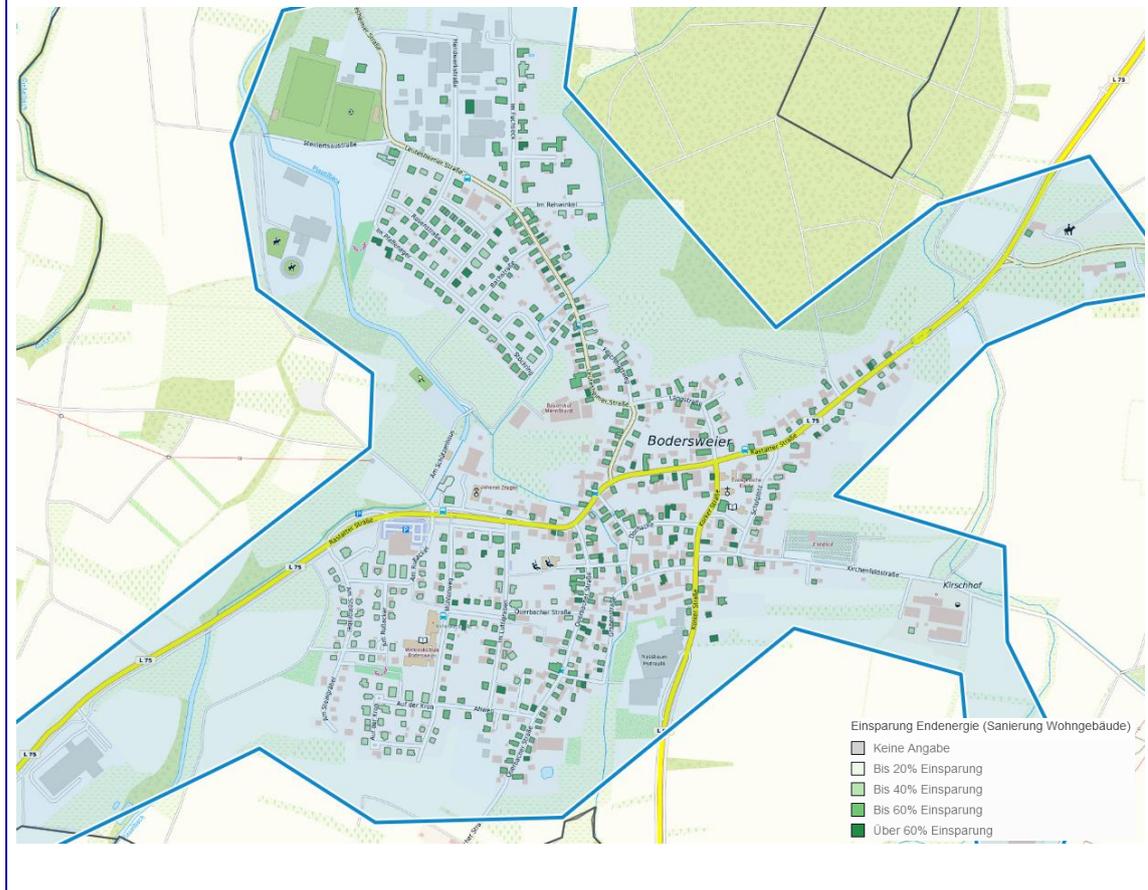
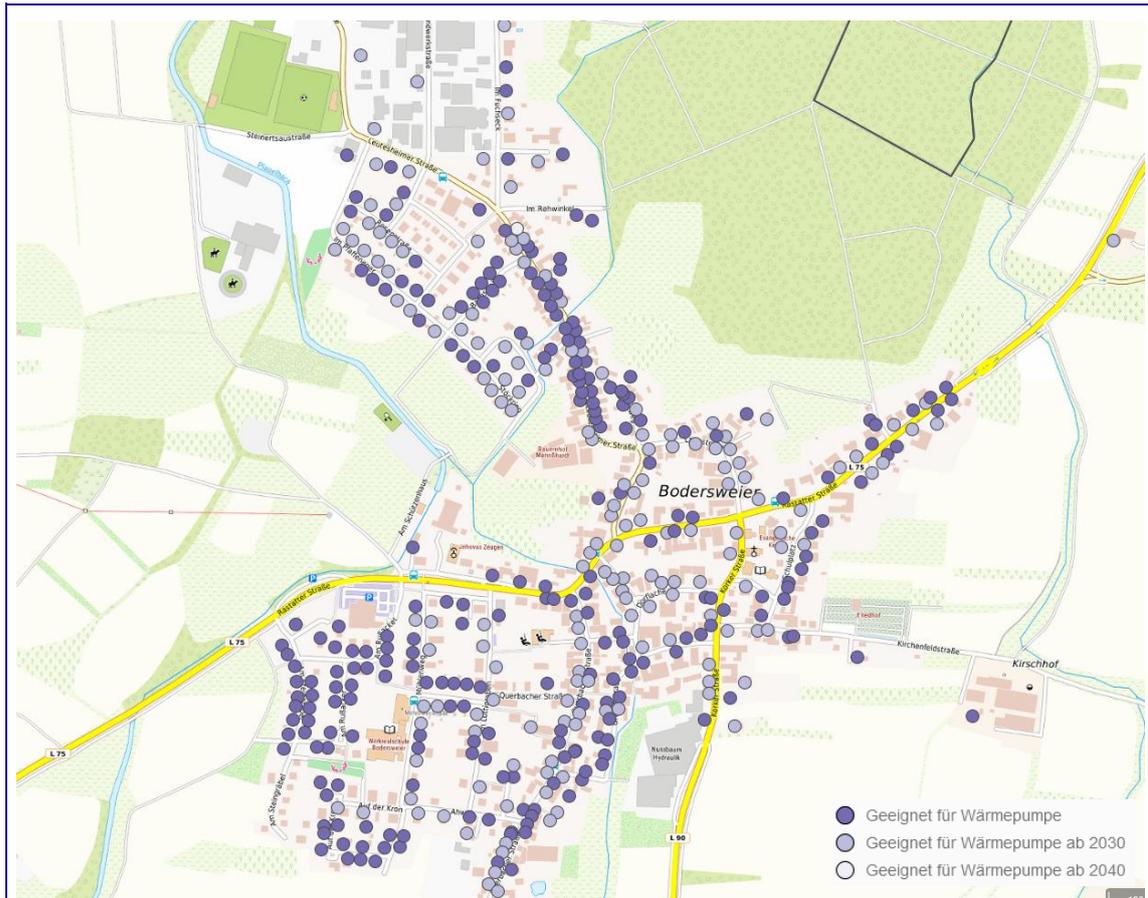
Zentrale Wärmeversorgung:

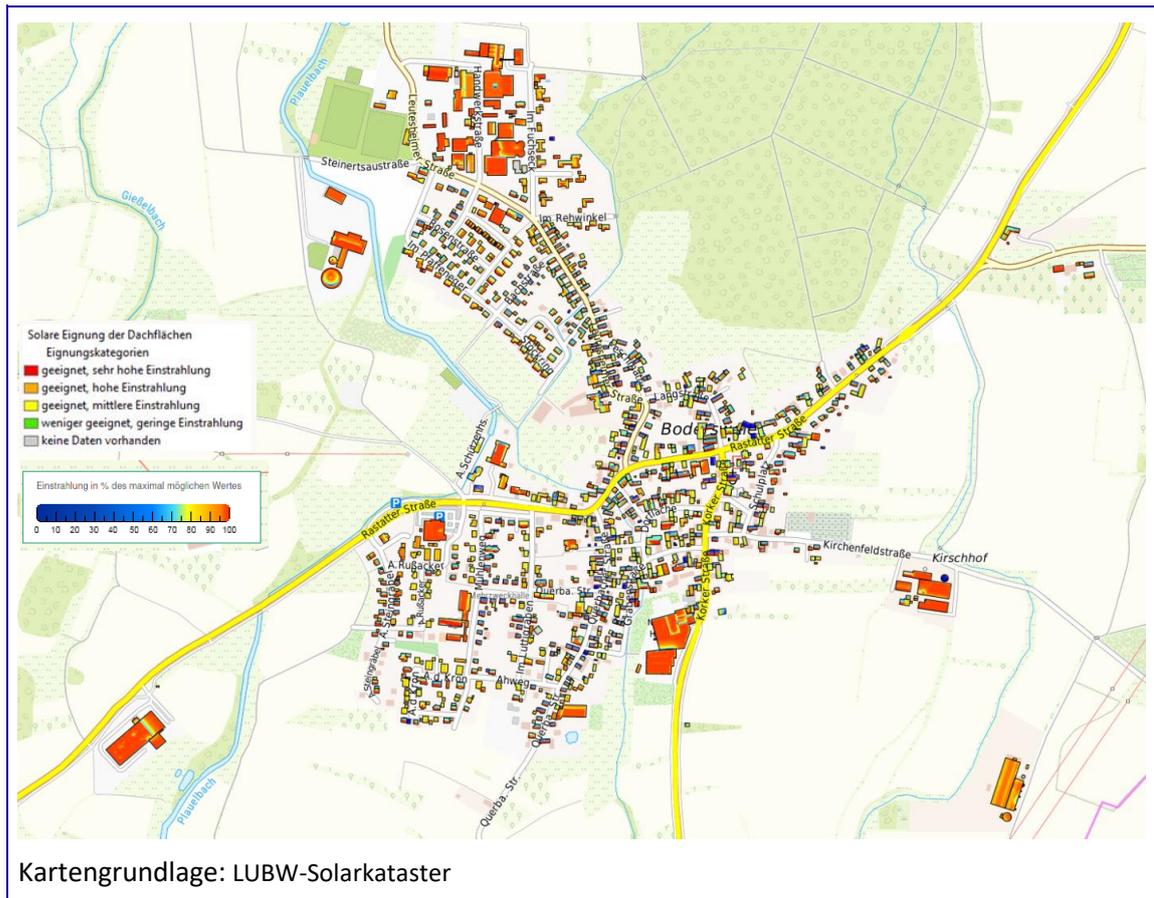
Auf der Gemarkung von Bodersweier befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet



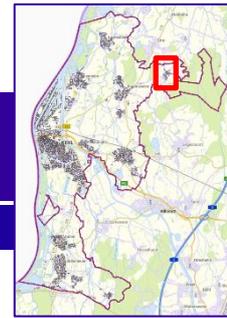
Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Bodersweier eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 8.100 MWh (Endenergieeinsparung von 51%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Rund um Bodersweier gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial auf ca. 14.700 MWh.





10.1.6 Steckbrief Zierolshofen

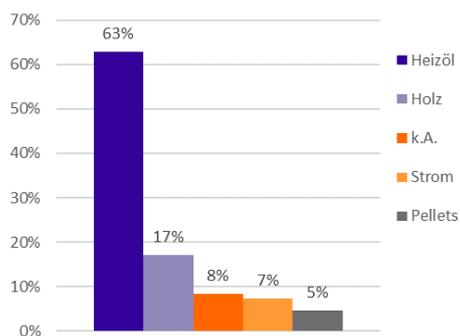


Steckbrief Ortsteil Zierolshofen

Beschreibung des Ortsteils		Lage: Zierolshofen ist der zweitkleinste Ortsteil Kehls. Er liegt etwa 10 km östlich der Kernstadt und ist damit der östlichste Ortsteil.
Anzahl beheizter Gebäude	134	
Wärmeverbrauch 2019	3.840 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	55 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern Gebäudenutzung

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Zierolshofen beträgt 3.840 MWh. Der Ortsteil ist nicht durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird mit **Heizöl** gedeckt. Auch **Holz** spielt eine wichtige Rolle.



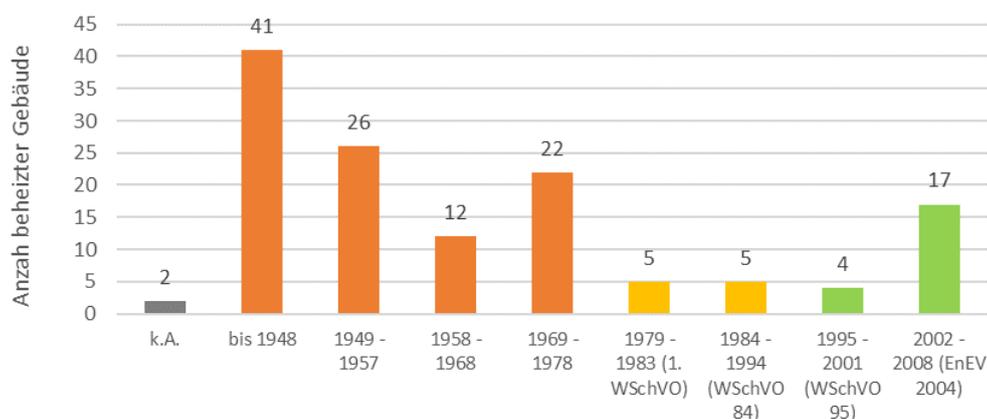
Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Zierolshofen besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Wohnen
- Wohnmischnutzung



Gebäudealter

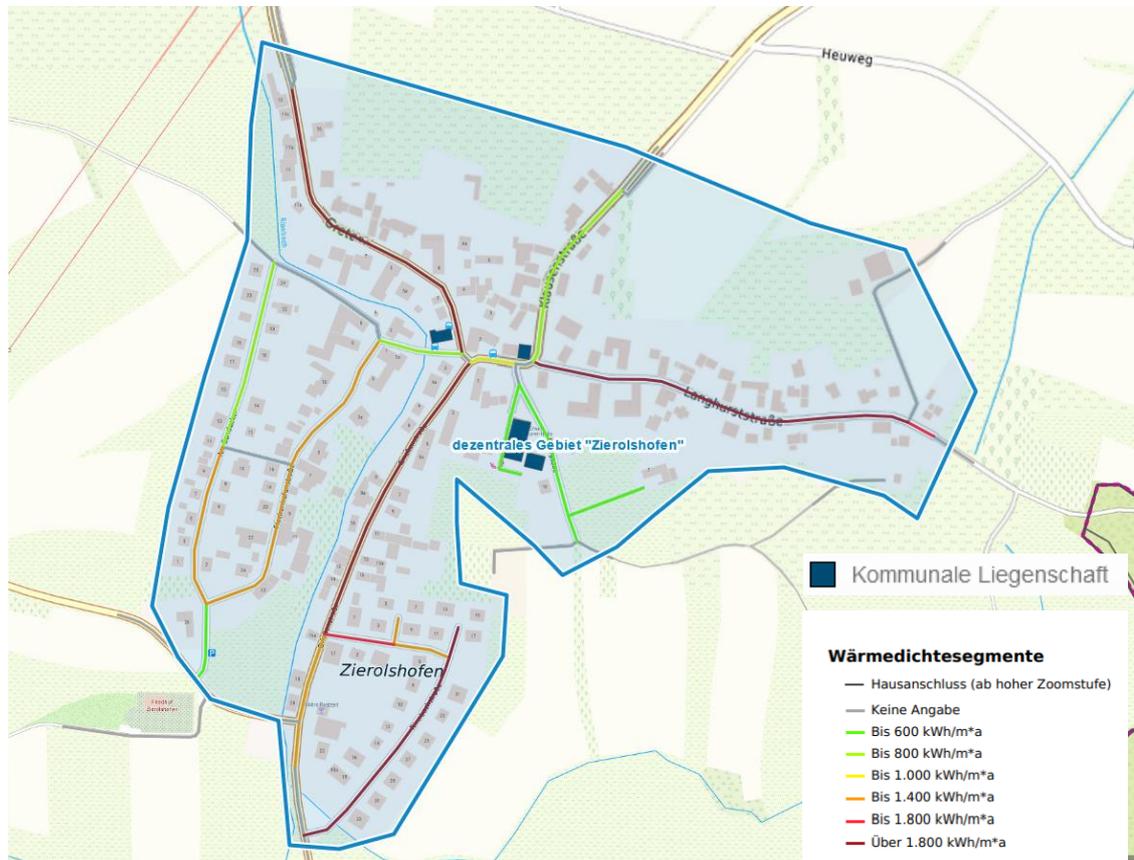
Ein großer Teil der beheizten Gebäude in Zierolshofen wurde vor 1948 erbaut und drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.



Eignungsgebiet in Zierolshofen

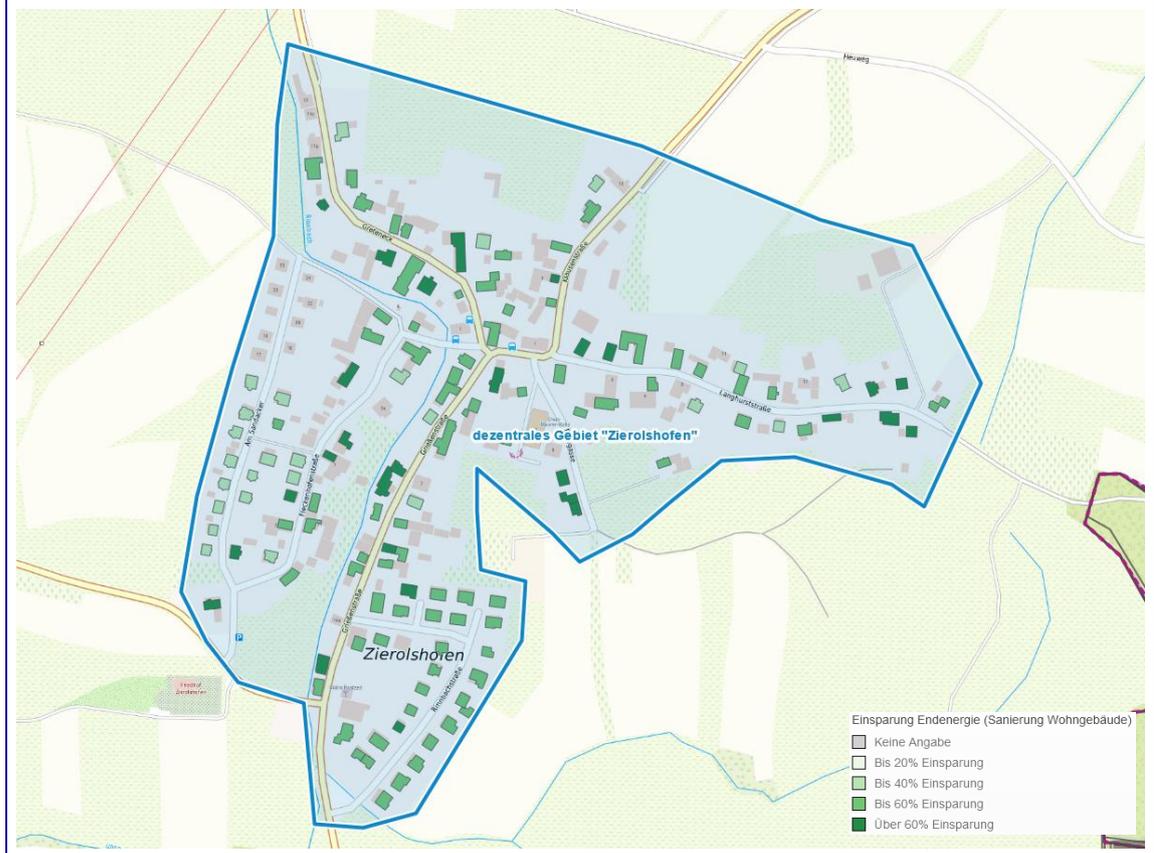
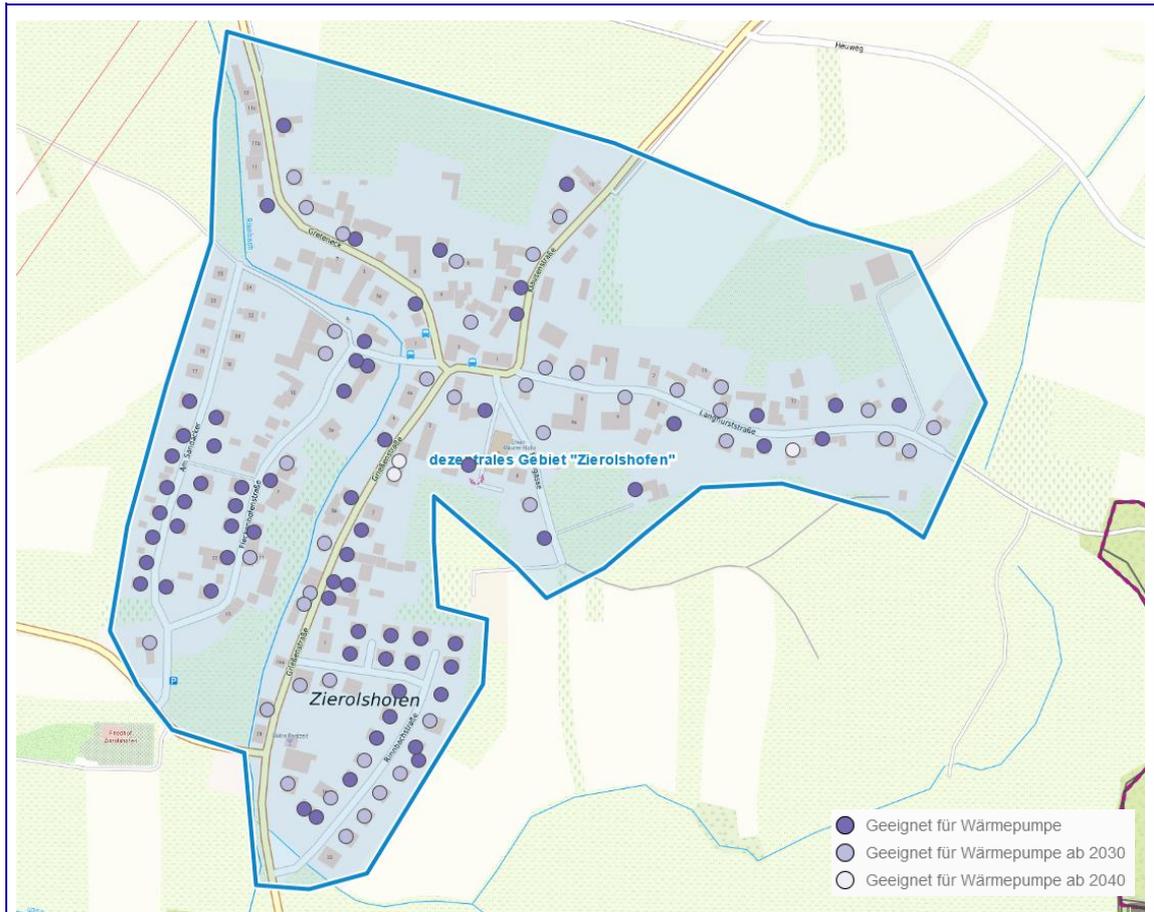
Zentrale Wärmeversorgung:

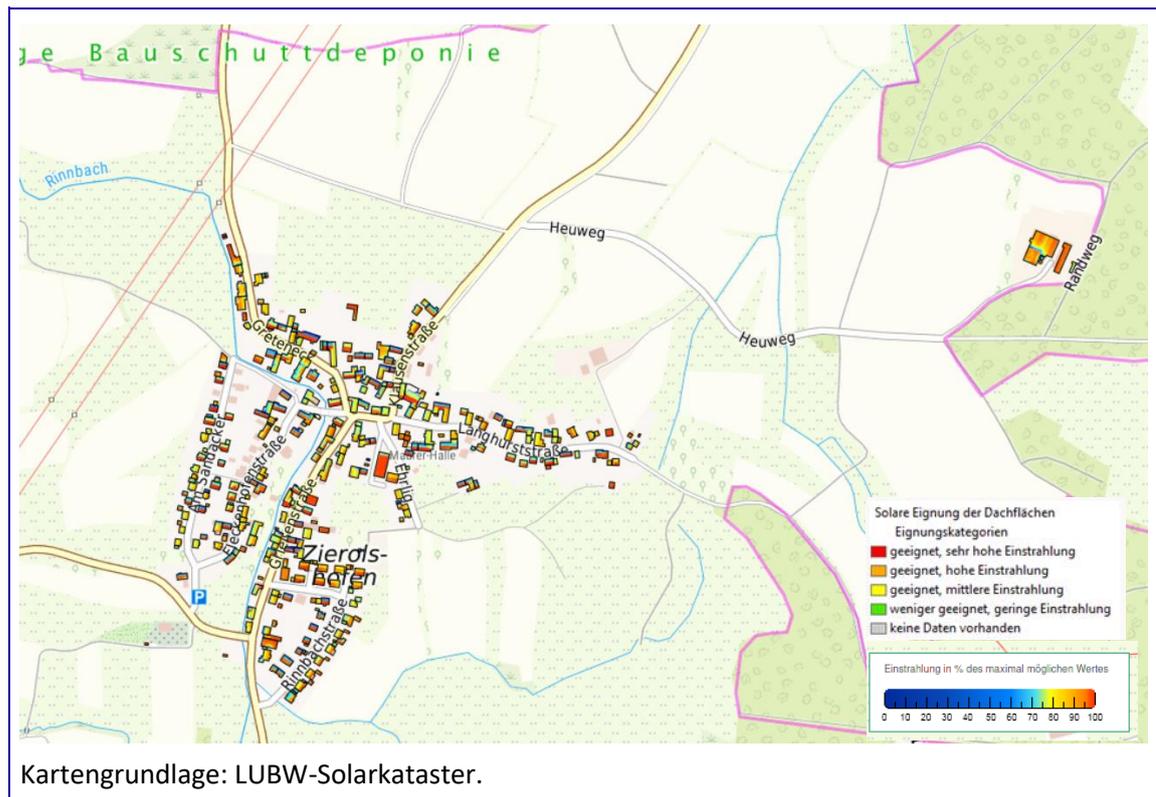
Auf der Gemarkung von Zierolshofen befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.



Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Zierolshofen eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 2.500 MWh (Endenergieeinsparung von 55%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Auf der Gemarkung gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Das PV-Dachflächenpotenzial beläuft sich auf ca. 3.200 MWh/Jahr.





10.1.7 Steckbrief Querbach

Steckbrief Ortsteil Querbach

Beschreibung des Ortsteils	
Anzahl beheizter Gebäude	140
Wärmeverbrauch 2019	3.983 MWh
Einsparpotenzial Sanierung	50 %

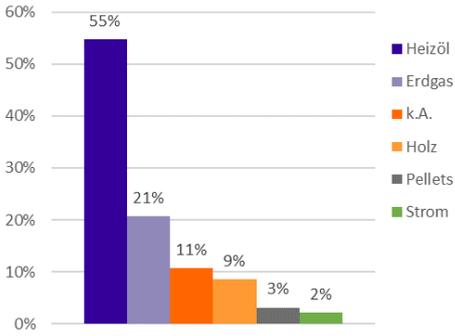


Lage:

Querbach ist mit weniger als 500 Einwohnern einer der kleinsten Ortsteile. Er liegt rund fünf Kilometer nordöstlich der Kernstadt.

Energieverbrauch nach Energieträgern

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Querbach beträgt 3.983 MWh. Der Ortsteil ist teilweise durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird neben **Erdgas** aber noch mit **Heizöl** gedeckt. Auch Holz ist als Energieträger verbreitet.



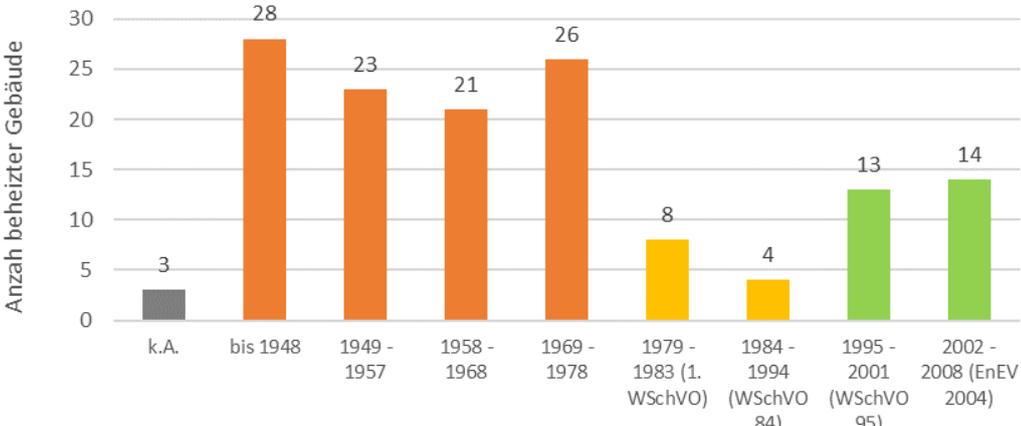
Gebäudenutzung

Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Querbach besteht aus **Wohngebäuden**.



Gebäudealter

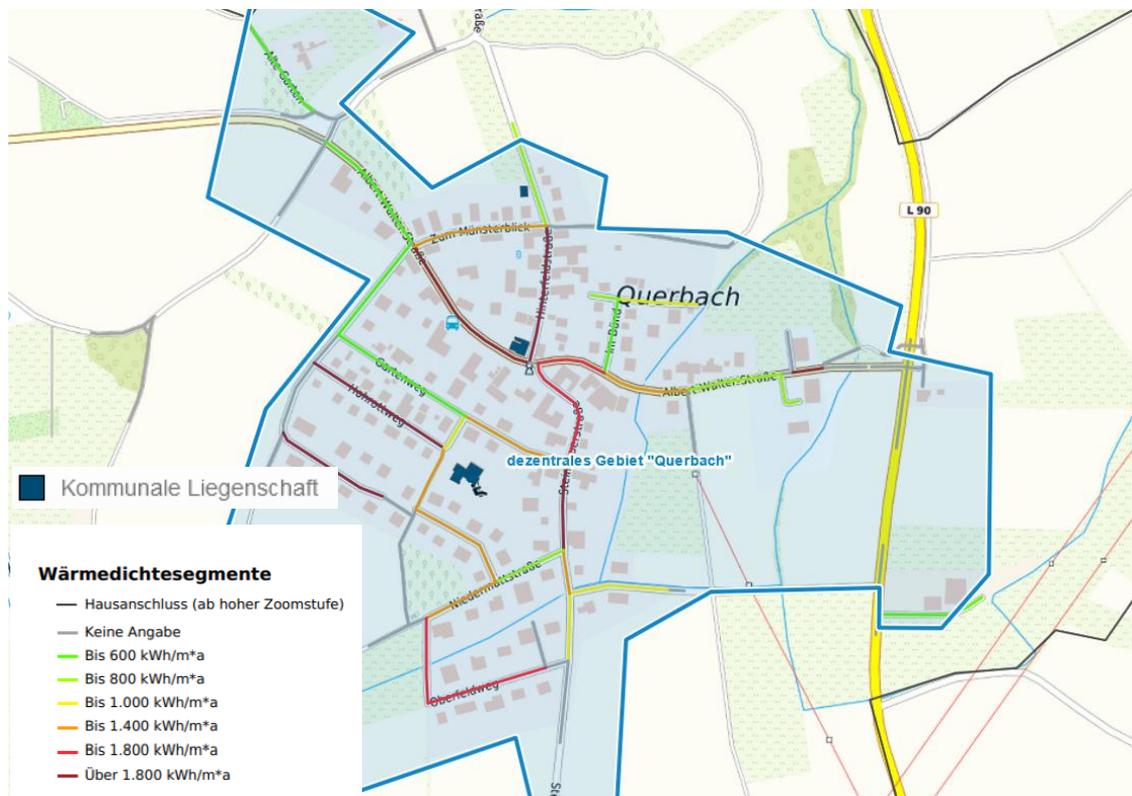
Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Querbach wurde vor 1948 erbaut und knapp drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.



Eignungsgebiet in Querbach

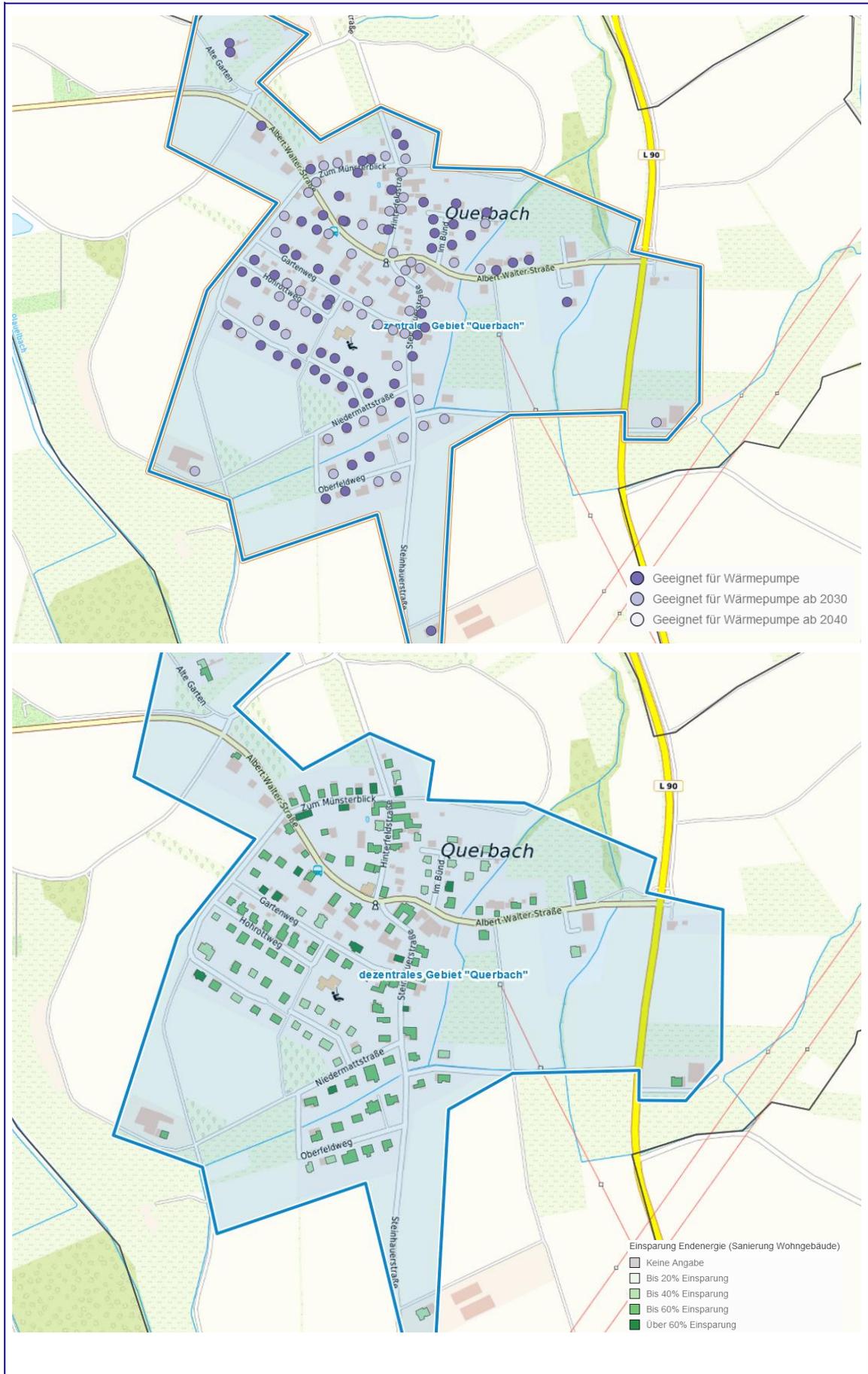
Zentrale Wärmeversorgung:

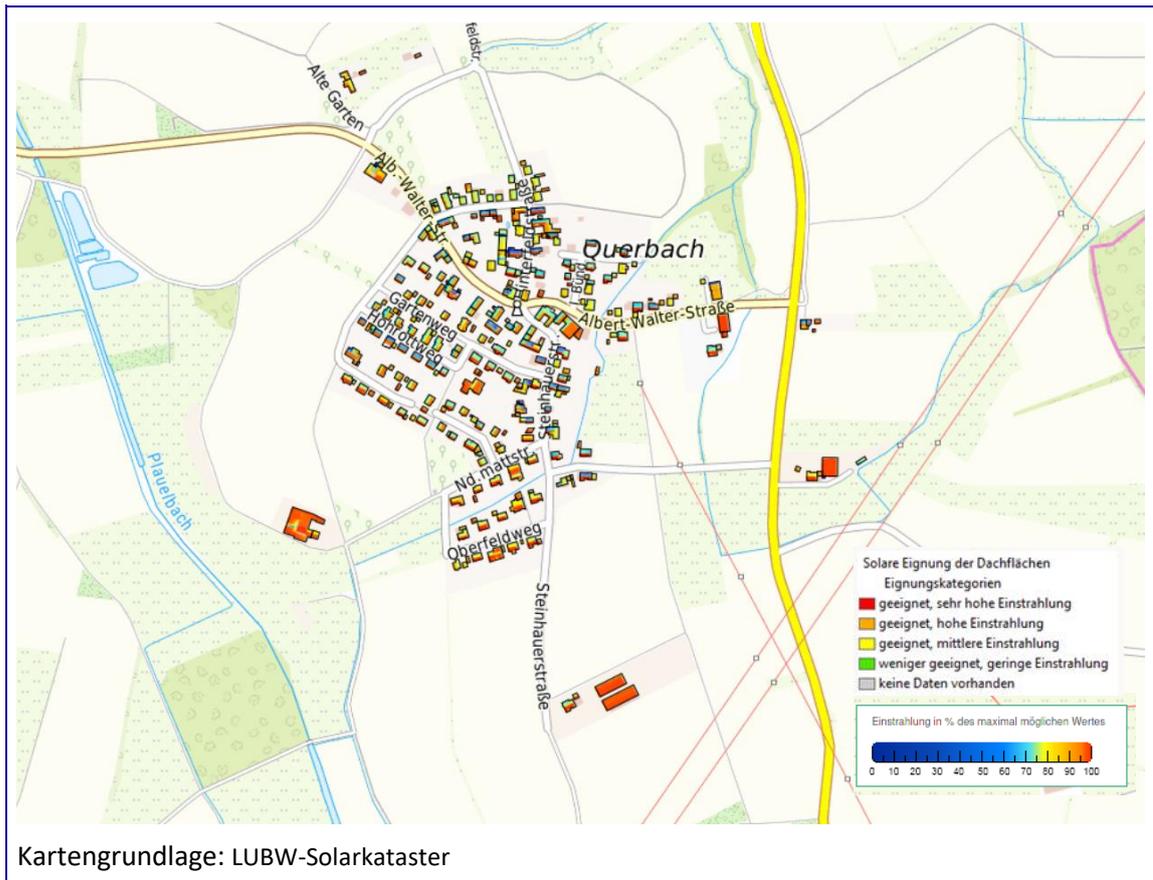
Auf der Gemarkung von Querbach befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.



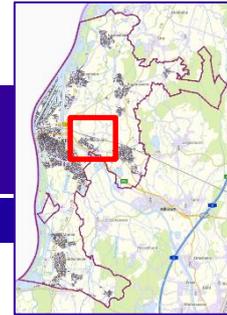
Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Querbach eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 2.100 MWh (Endenergieeinsparung von 50%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Rund um Querbach gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial auf ca. 2.700 MWh.





10.1.8 Steckbrief Neumühl

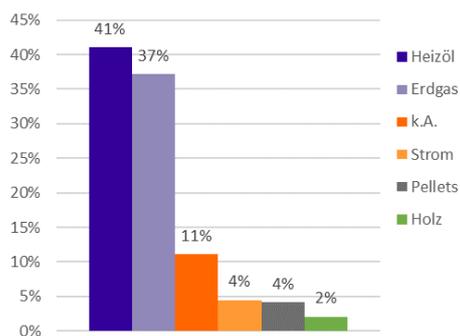


Steckbrief Ortsteil Neumühl

Beschreibung des Ortsteils		Lage: Neumühl ist ein kleiner, direkt an die Kernstadt auf der gegenüberliegenden Uferseite der Kinzig angrenzender Ortsteil Kehls.
Anzahl beheizter Gebäude	370	
Wärmeverbrauch 2019	12.213 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	51 %	

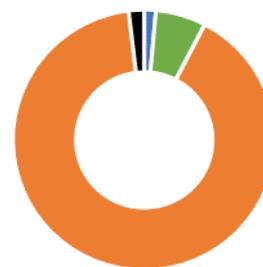
Energieverbrauch nach Energieträgern Gebäudenutzung

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Neumühl beträgt 12.213 MWh. Der Ortsteil ist durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird neben **Erdgas** dennoch mit **Heizöl** gedeckt.



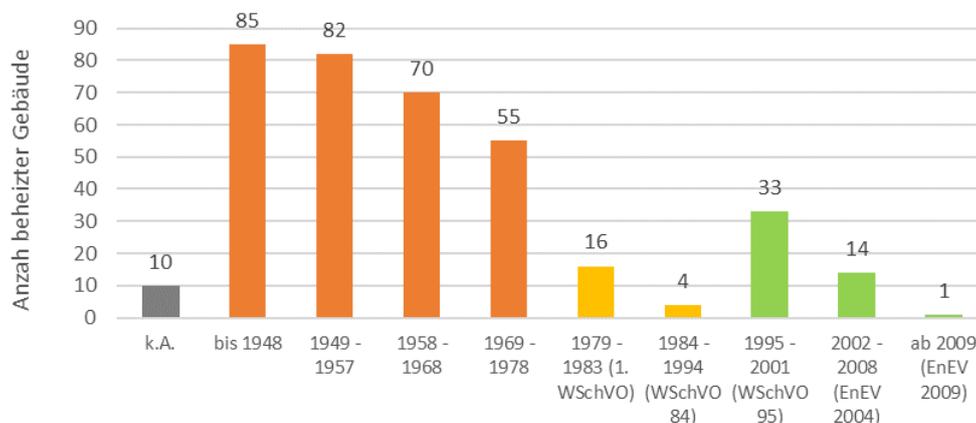
Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Neumühl besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Wohnen
- Wohnmischnutzung



Gebäudealter

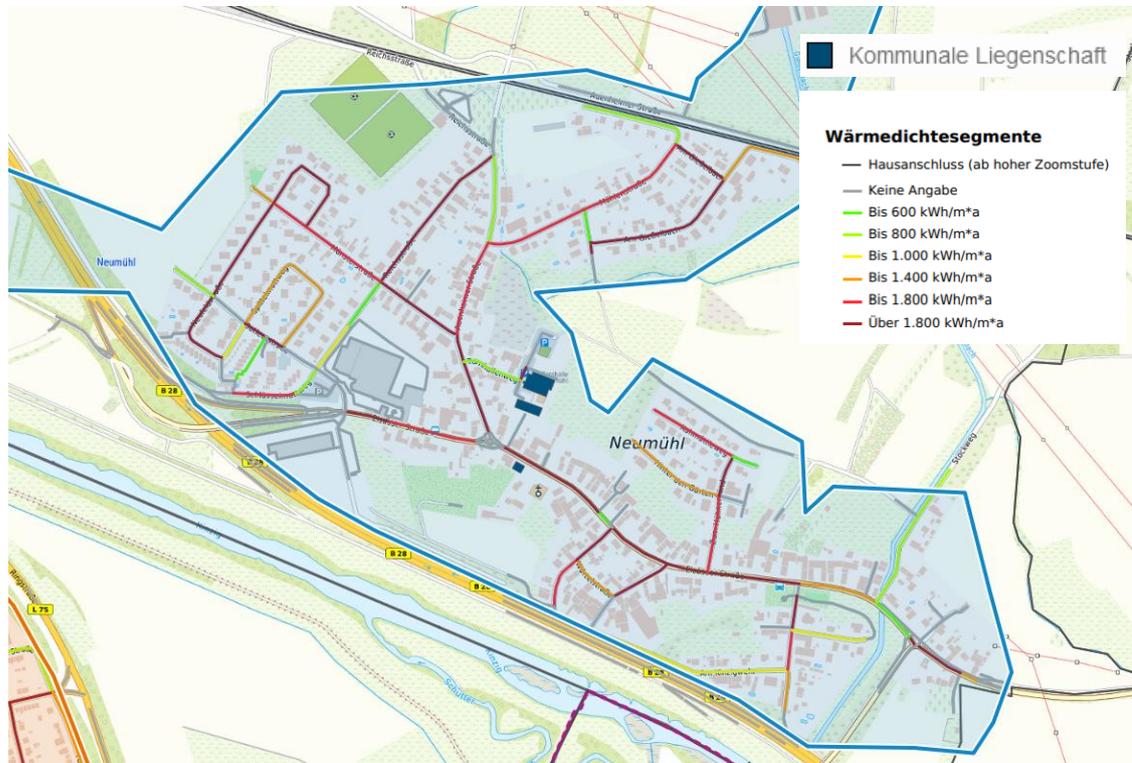
Ein großer Teil der beheizten Gebäude in Neumühl wurde vor 1948 erbaut und über drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.



Eignungsgebiet in Neumühl

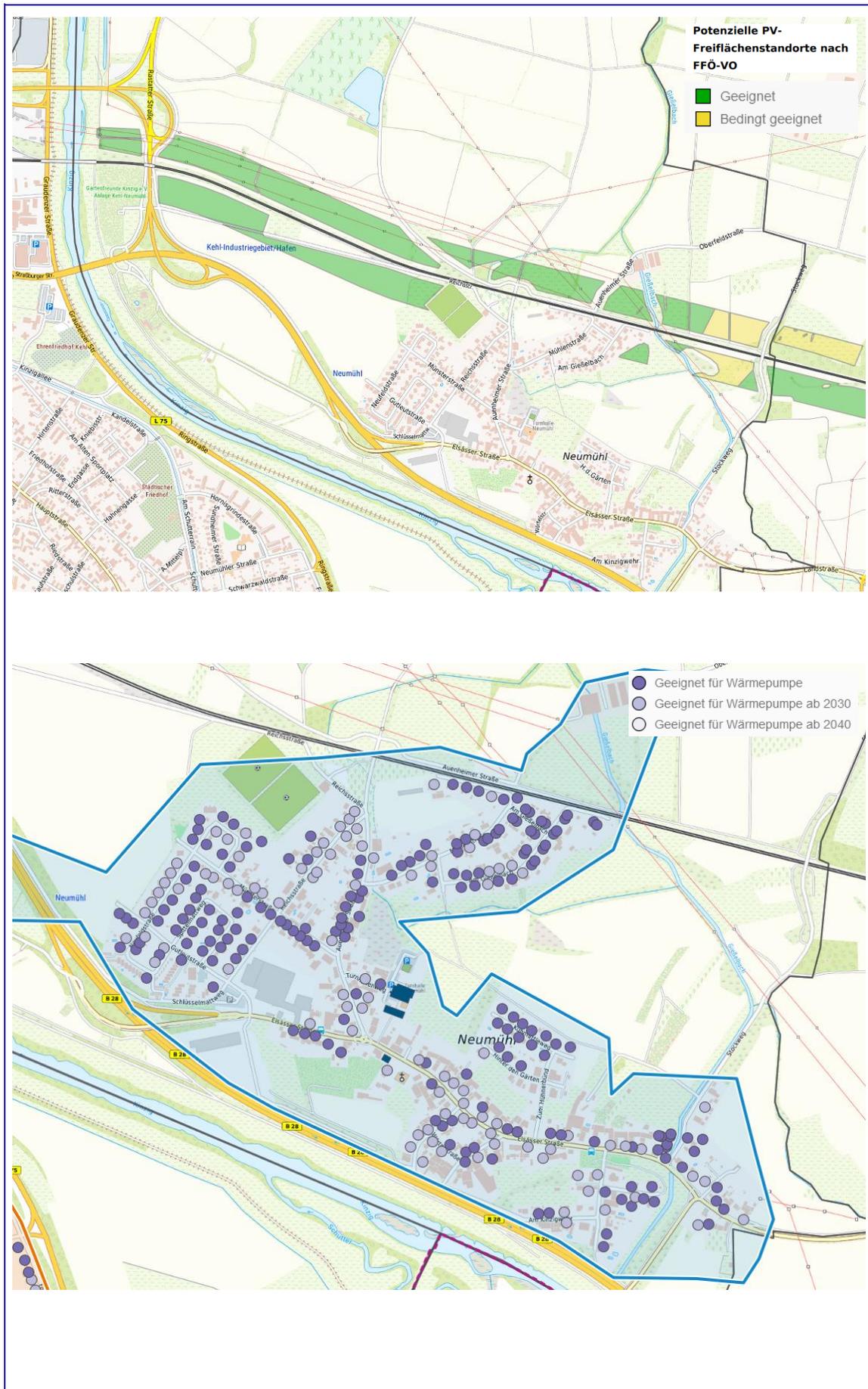
Zentrale Wärmeversorgung:

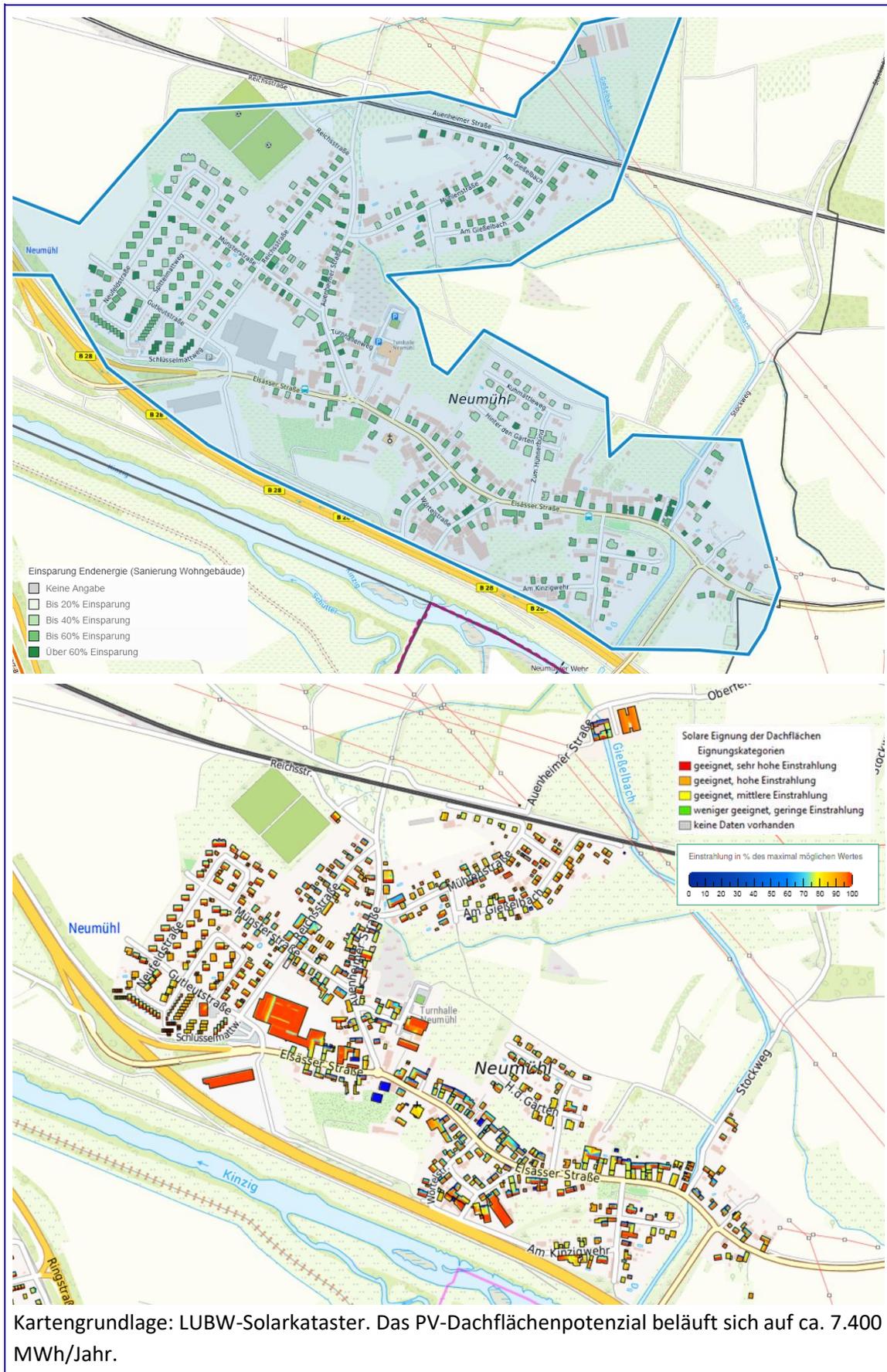
Auf der Gemarkung von Neumühl befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.



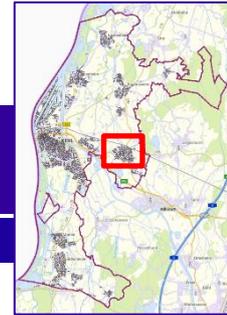
Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Neumühl eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 5.600 MWh (Endenergieeinsparung von 51%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Im nördlichen Bereich des Kernortes gibt es laut Energieatlas des Landes Baden – Württemberg entlang der Bahntrasse einige Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären.





10.1.9 Steckbrief Kork



Steckbrief Ortsteil Kork

Beschreibung des Ortsteils		Lage: Kork ist der drittgrößte Stadtteil Kehls. Er liegt östlich der Kernstadt auf der anderen Seite der Kinzig.
Anzahl beheizter Gebäude	601	
Wärmeverbrauch 2019	34.330 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	49 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Kork beträgt 34.330 MWh. Der Ortsteil ist durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird mit **Erdgas** gedeckt. Aber auch Heizöl und Holz spielen nach wie vor eine Rolle.

Energieträger	Anteil
Erdgas	60%
Heizöl	23%
Holz	10%
k.A.	3%
Strom	2%
Pellets	2%

Gebäudenutzung

Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Kork besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Hotel- und Gastgewerbe
- Wohnen
- Wohnmischnutzung

Gebäudealter

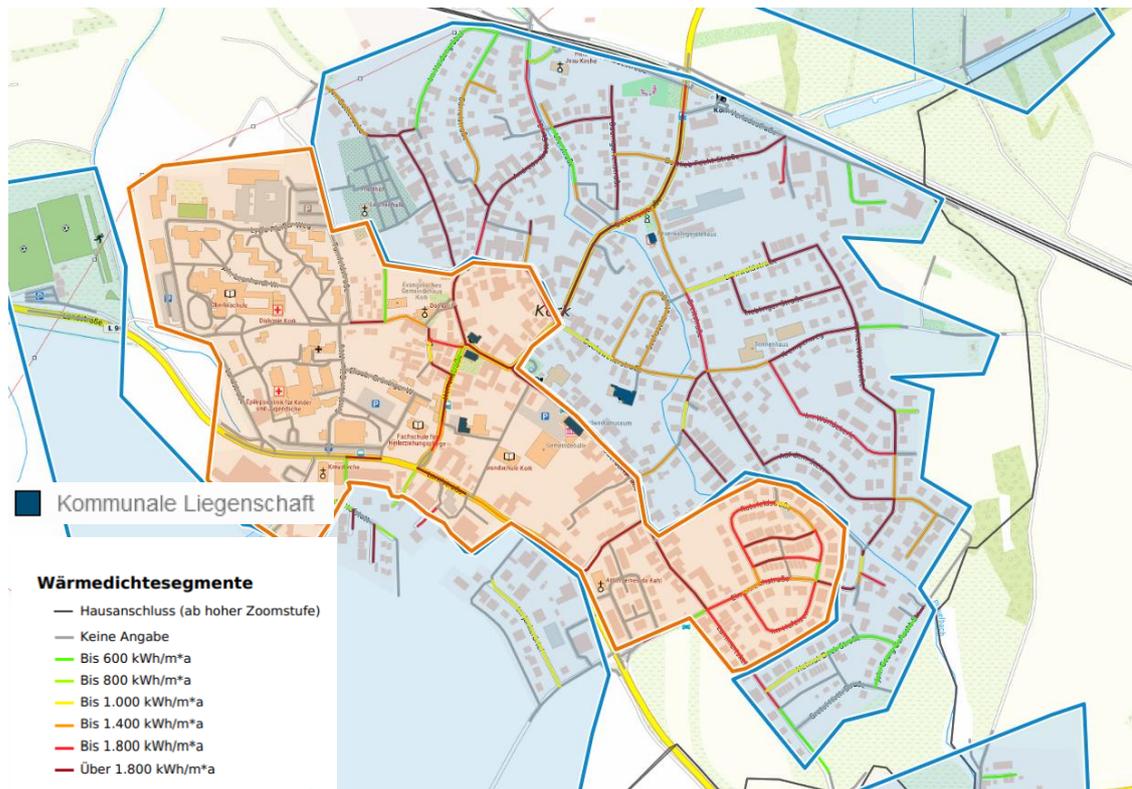
Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Kork wurde vor 1948 erbaut und zwei Drittel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.

Baujahr	Anzahl
k.A.	44
bis 1948	212
1949 - 1957	55
1958 - 1968	90
1969 - 1978	28
1979 - 1983 (1. WSchVO)	55
1984 - 1994 (WSchVO 84)	22
1995 - 2001 (WSchVO 95)	75
2002 - 2008 (EnEV 2004)	17
ab 2009 (EnEV 2009)	3

Eignungsgebiet in Kork

Zentrale Wärmeversorgung:

Auf der Gemarkung von Kork befindet sich ein zentrales Eignungsgebiet. Die Diakonie betreibt bereits ein Wärmenetz, das perspektivisch als Nukleus für eine Erweiterung genutzt werden könnte. Im Diakonie-angrenzenden Gebiet liegt eine hohe Wärmedichte vor. Zudem befinden sich dort auch öffentliche Liegenschaften, in denen zukünftig eine Energiezentrale gebaut werden könnte.

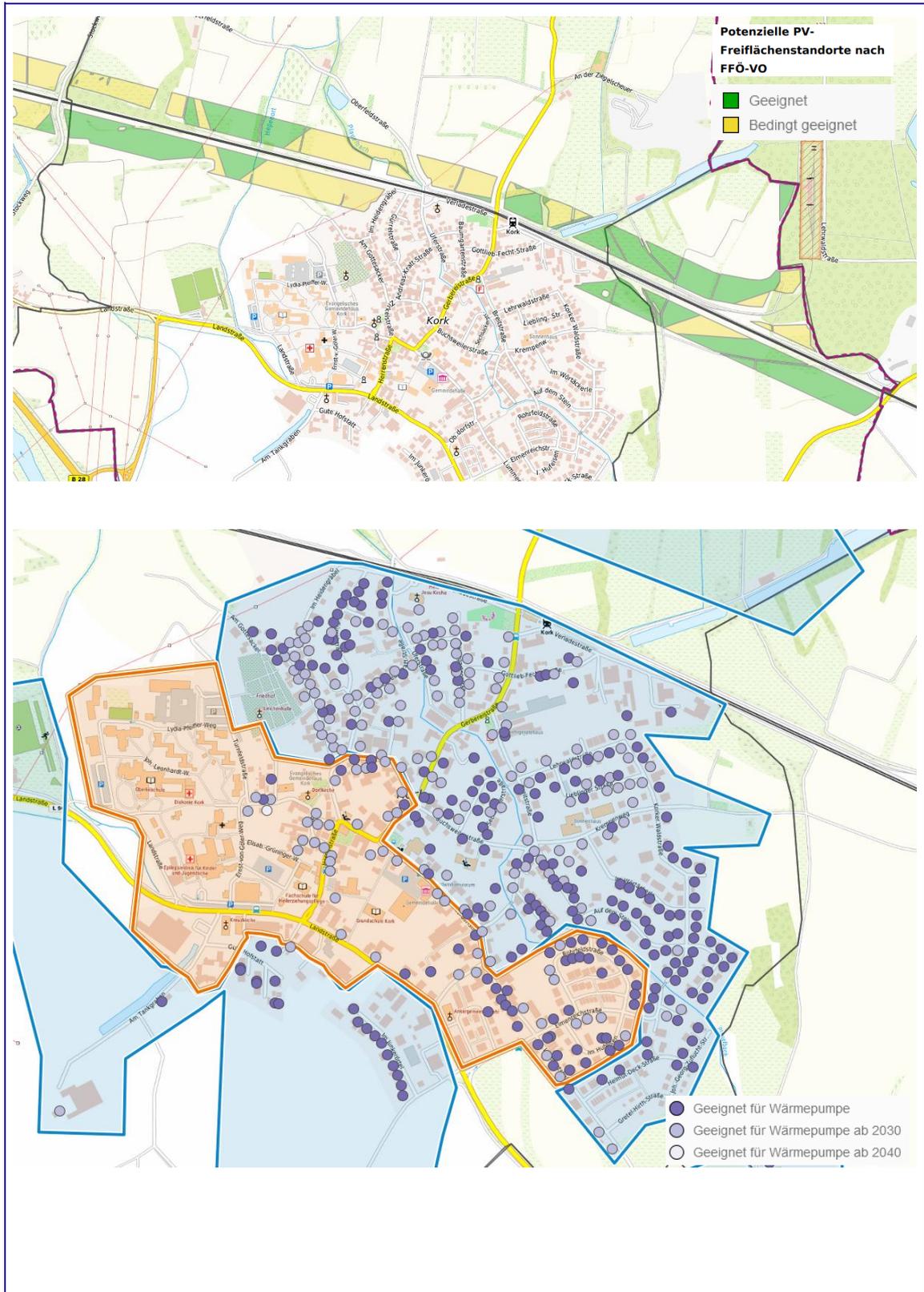


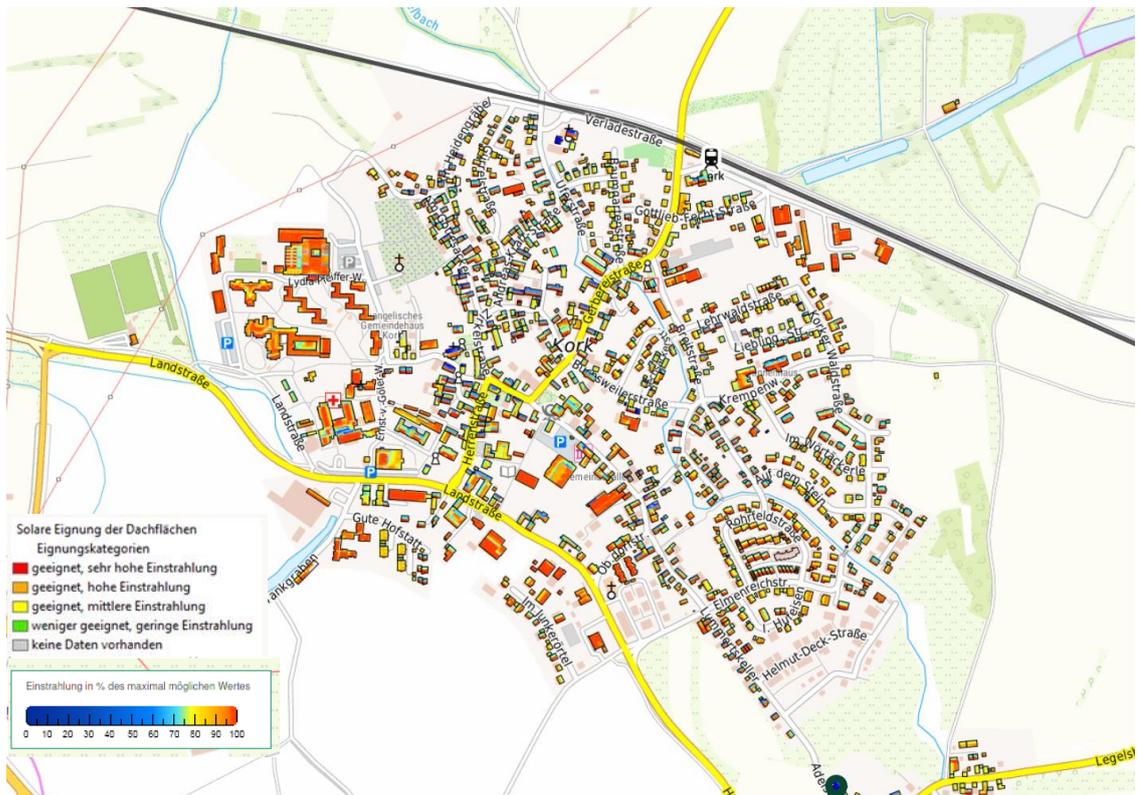
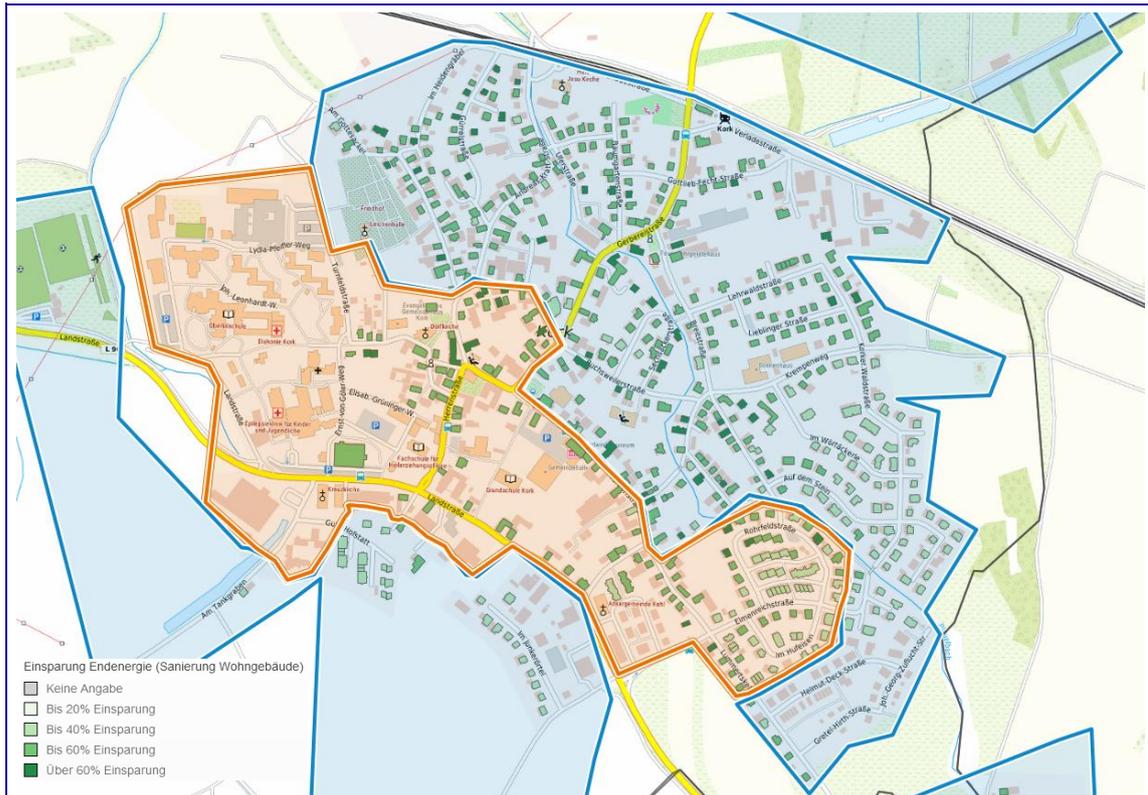
Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 19.649 MWh/a MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 218

Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird im südlichen aber insbesondere nordöstlichen Bereich von Kork eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude in den dezentralen Gebieten beläuft sich auf ca. 6.750 MWh (Endenergieeinsparung von 51%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Im nördlichen Bereich des Kernortes gibt es entlang der Bahntrasse einige Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären.





Kartengrundlage: LUBW-Solarkataster. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial auf Dachflächen auf ca. 2.700 MWh.

10.1.10 Steckbrief Odelshofen

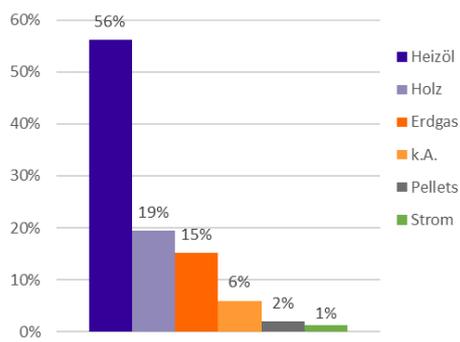


Steckbrief Ortsteil Odelshofen

Beschreibung des Ortsteils		Lage: Oldeshofen ist der südöstlichste Ortsteil Kehls. Nordwestlich grenzt der Ortsteil an Kork. Im Südosten liegt Willstätt.
Anzahl beheizter Gebäude	152	
Wärmeverbrauch 2019	4.598 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	49 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern Gebäudenutzung

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Odelshofen beträgt 4.598 MWh. Der Ortsteil ist teilweise durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird jedoch mit Hilfe von **Öl- und Holzheizungen** gedeckt.



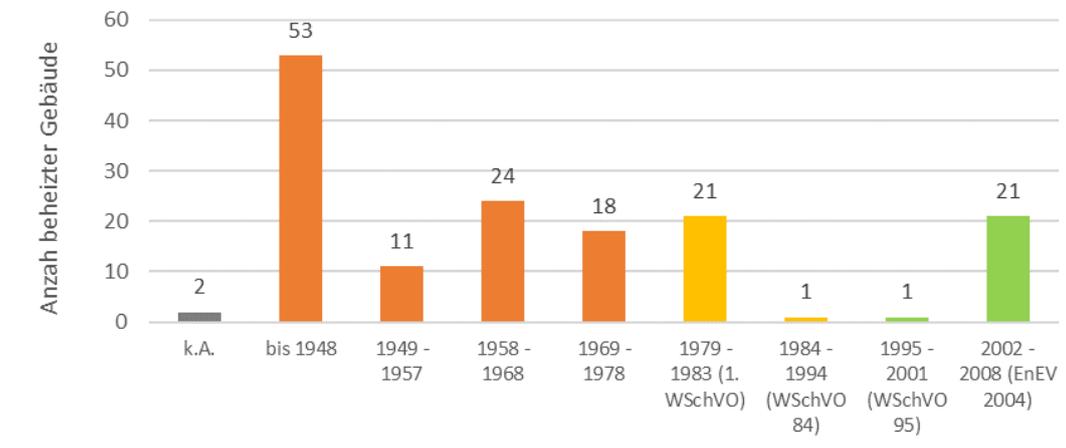
Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Odelshofen besteht aus **Wohngebäuden**.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Hotel- und Gastgewerbe
- Wohnen
- Wohnmischnutzung



Gebäudealter

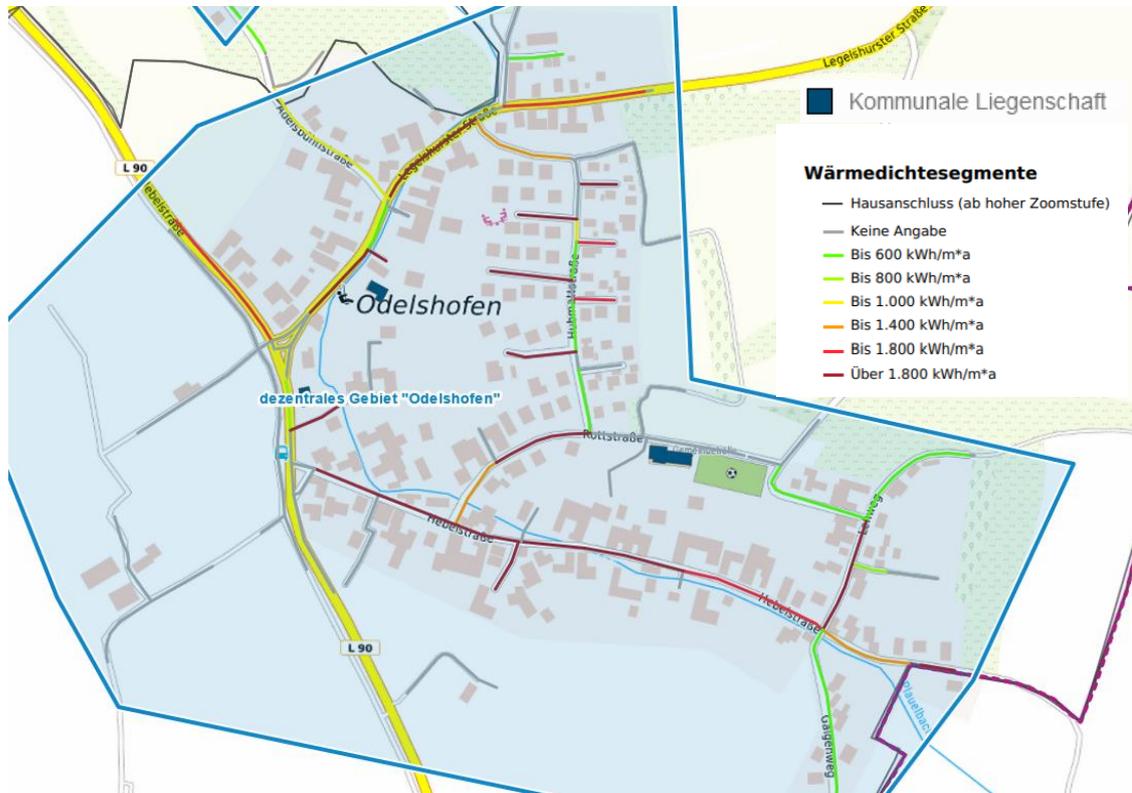
Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Odelshofen wurde vor 1948 erbaut und über zwei Drittel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.



Eignungsgebiet in Oldeshofen

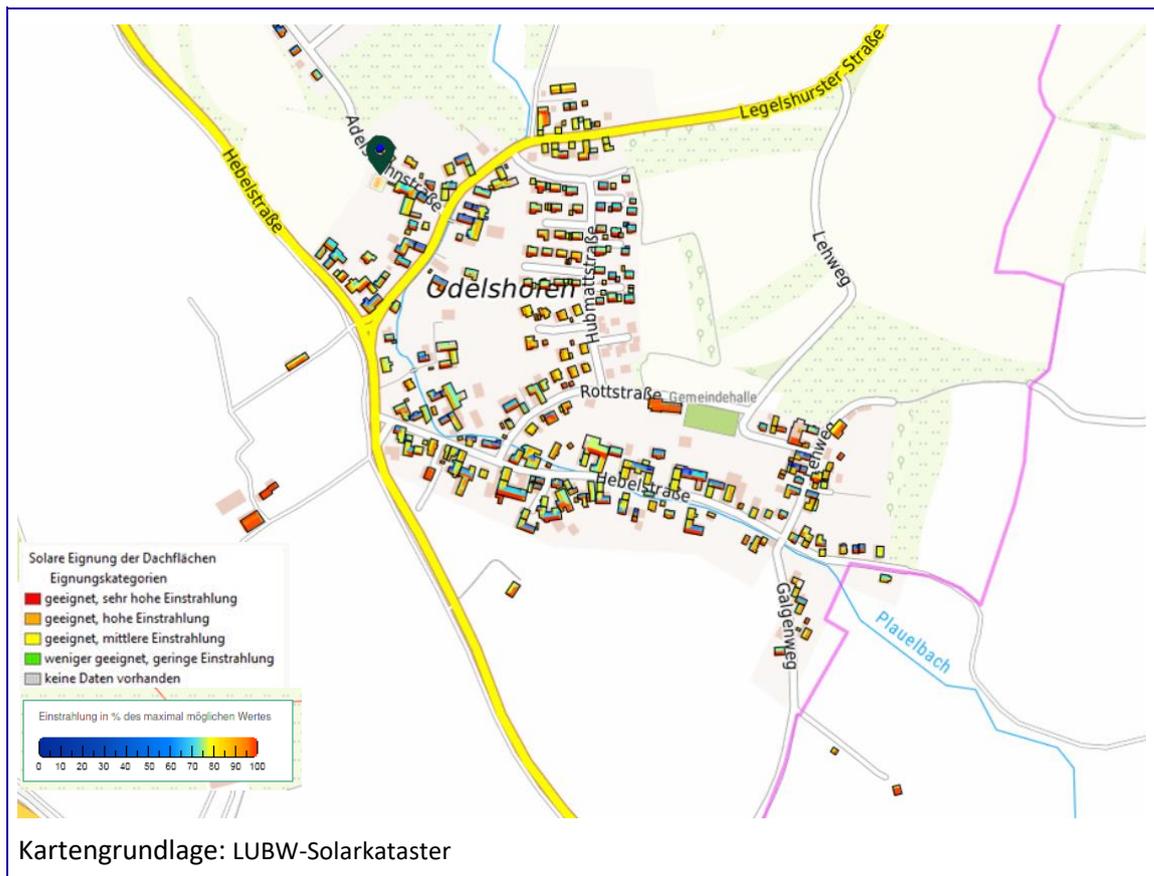
Zentrale Wärmeversorgung:

Auf der Gemarkung von Oldeshofen befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet



Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Oldeshofen eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 2.300 MWh (Endenergieeinsparung von 49%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Rund um Oldeshofen gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial auf ca. 3.800 MWh.



10.1.11 Steckbrief Goldscheuer

Steckbrief Ortsteil Goldscheuer (mit Marlen und Kittersburg)

Beschreibung des Ortsteils

Anzahl beheizter Gebäude	1.492	Lage: Goldscheuer liegt rund neun Kilometer südlich der Kernstadt. Westlich grenzt Goldscheuer an den Rhein.
Wärmeverbrauch 2019	71.201 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	49 %	

Energieverbrauch nach Energieträgern

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Goldscheuer beträgt 71.201 MWh. Der Ortsteil ist teilweise durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird neben **Erdgas** aber noch mit **Heizöl** gedeckt. Auch Holz ist als Energieträger verbreitet.

Energieträger	Anteil (%)
Erdgas	48%
Heizöl	32%
k.A.	11%
Holz	4%
Strom	3%
Pellets	2%

Gebäudenutzung

Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Goldscheuer besteht aus **Wohngebäuden**, aber auch aus Gebäuden des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Hotel- und Gastgewerbe
- Wohnen
- Wohnmischnutzung

Gebäudealter

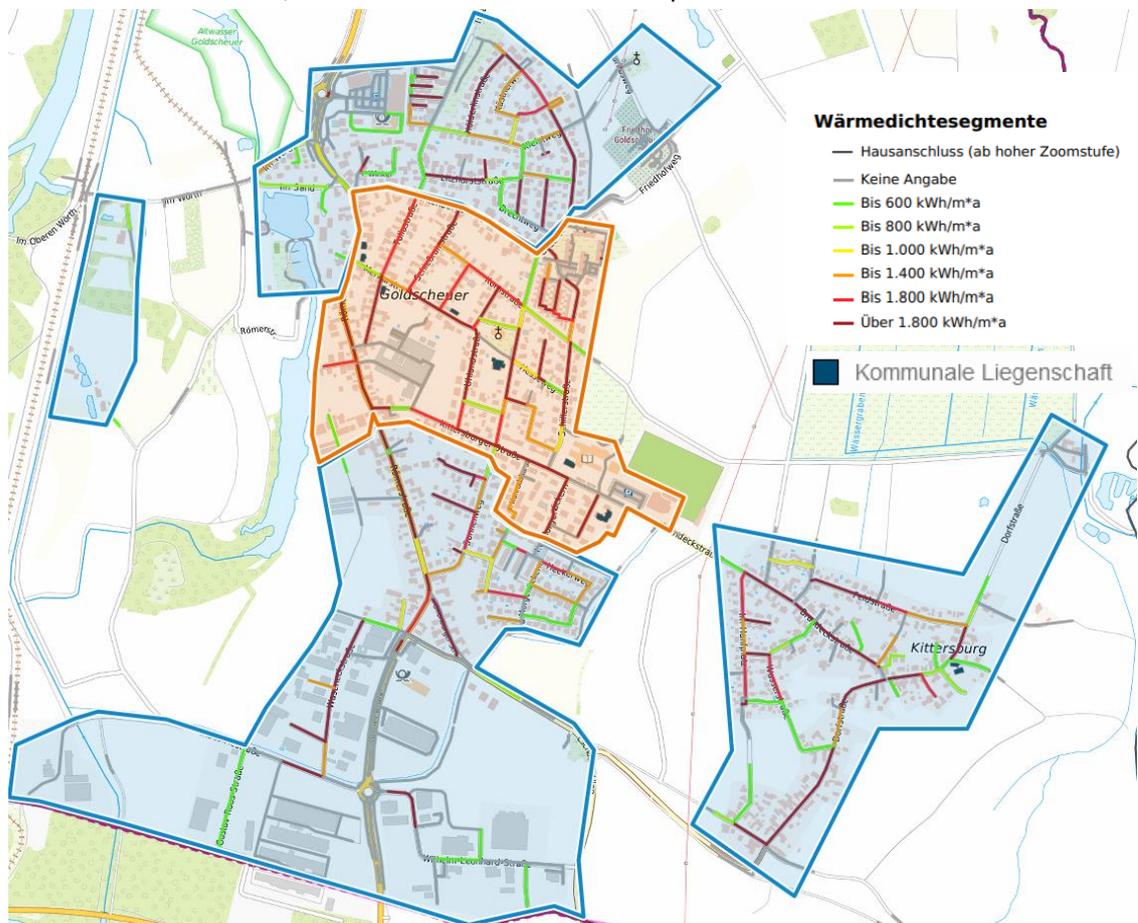
Ein großer Teil der beheizten Gebäude in Goldscheuer wurde vor 1948 erbaut und über zwei Drittel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.

Bauzeitraum	Anzahl beheizter Gebäude
k.A.	48
bis 1948	310
1949 - 1957	184
1958 - 1968	306
1969 - 1978	168
1979 - 1983 (1. WSchVO)	96
1984 - 1994 (WSchVO 84)	53
1995 - 2001 (WSchVO 95)	59
2002 - 2008 (EnEV 2004)	200
ab 2009 (EnEV 2009)	68

Eignungsgebiet in Goldscheuer

Zentrale Wärmeversorgung:

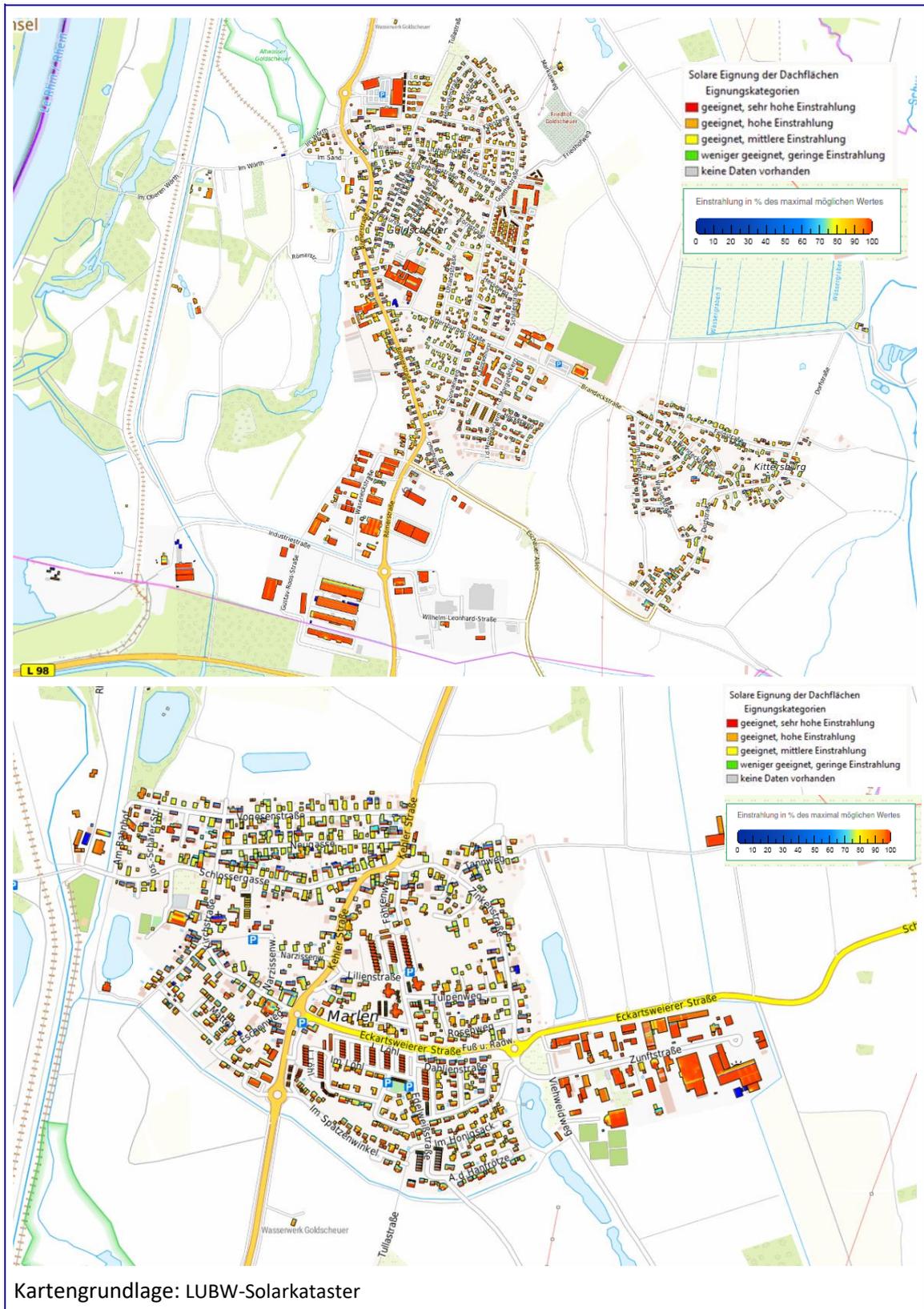
Auf der Gemarkung von Goldscheuer befindet sich im Ortskern ein zentrales Eignungsgebiet. Aufgrund der dichten Bebauung und möglichen öffentlichen Ankerkunden wie Schulen und Pflegeheime hat das Gebiet eine Eignung für zentrale Wärmeversorgung. Zudem könnten Abwärmepotenzial aus der Industrie eine mögliche Wärmequelle darstellen. Im Ortsteil Goldscheuer liegen drei Unternehmen, welche ein Abwärmepotenzial angegeben haben. Auch im interkommunalen Gewerbegebiet Basic gäbe es noch ein weiteres Unternehmen mit potenzieller Abwärme. Diese Möglichkeit müsste in einer genaueren Betrachtung untersucht werden. Unweit des Gewerbegebiets Basic steht auf Neurieder Gemarkung die Biogasanlage der badenovaWÄRMEPLUS, auch hier könnte ein Abwärmepotenzial vorhanden sein.



Endenergieverbrauch im Eignungsgebiet: 13.857 MWh/a MWh/a

Anzahl Gebäude im Eignungsgebiet: 339





10.1.12 Steckbrief Hohnhurst

Steckbrief Ortsteil Hohnhurst

Beschreibung des Ortsteils

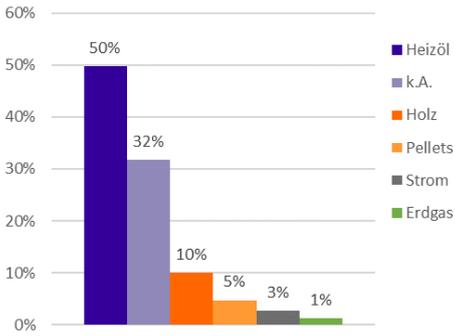
Anzahl beheizter Gebäude	94	Lage: Hohnhurst ist mit ca. 300 Einwohnern der kleinste Ortsteil Kehls und mit 10 km Entfernung zur Kernstadt auch der südlichste.
Wärmeverbrauch 2019	2.872 MWh	
Einsparpotenzial Sanierung	50 %	



Energieverbrauch nach Energieträgern

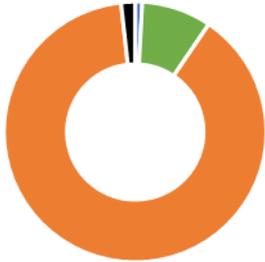
Gebäudenutzung

Der Energieverbrauch der Gebäude im Ortsteil Hohnhurst beträgt 2.872 MWh. Der Ortsteil ist nicht durch ein Gasnetz erschlossen. Der **Großteil** des aktuellen Energieverbrauchs wird mit **Heizöl** und **Holz** gedeckt.



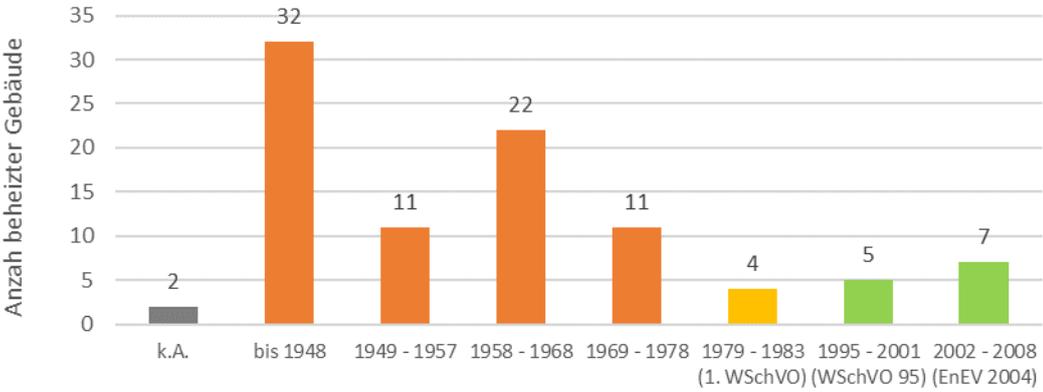
Der **überwiegende Teil** der Gebäude in Hohnhurst besteht aus **Wohngebäuden**.

- Gebäude für öffentliche Zwecke
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und Industrie
- Wohnen
- Wohnmischnutzung



Gebäudealter

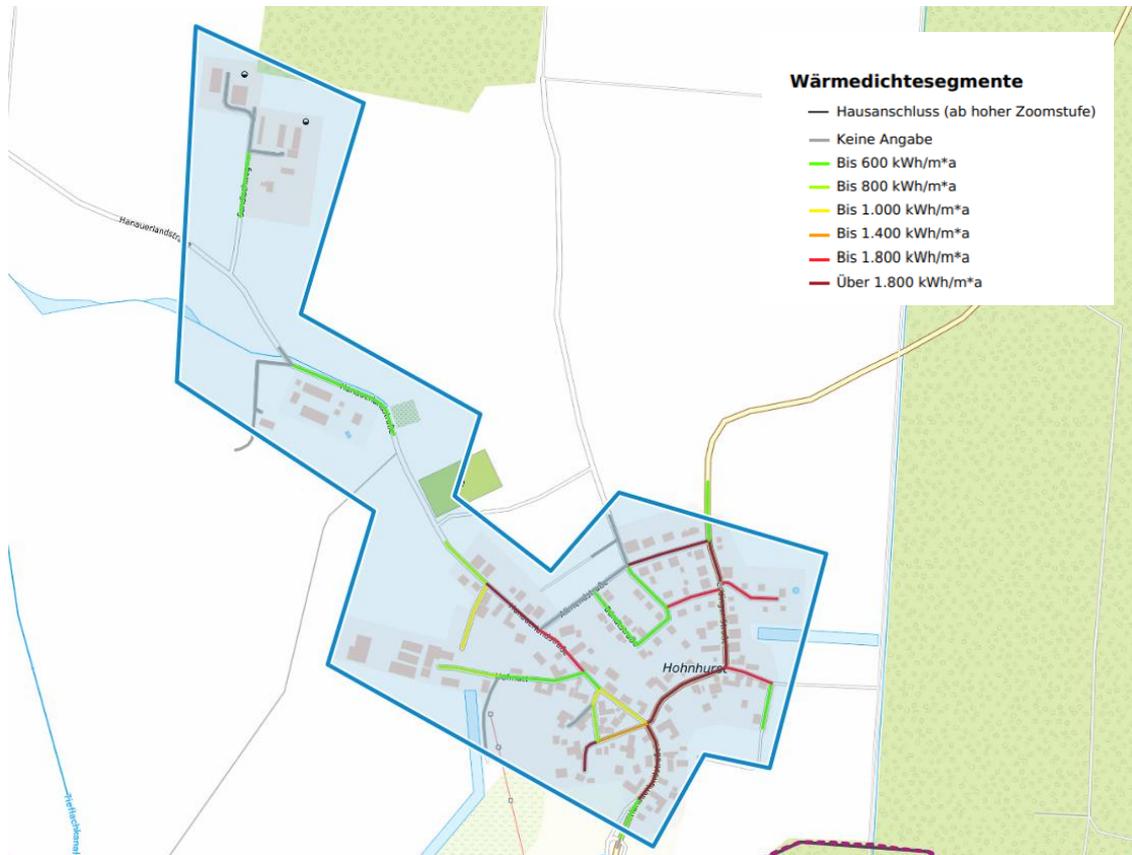
Ein sehr großer Teil der beheizten Gebäude in Hohnhurst wurde vor 1948 erbaut und über drei Viertel wurde vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Dementsprechend wird in diesem Ortsteil ein sehr hoher Wärmeverbrauch pro Wohnfläche anzutreffen sein.



Eignungsgebiet in Hohnhurst

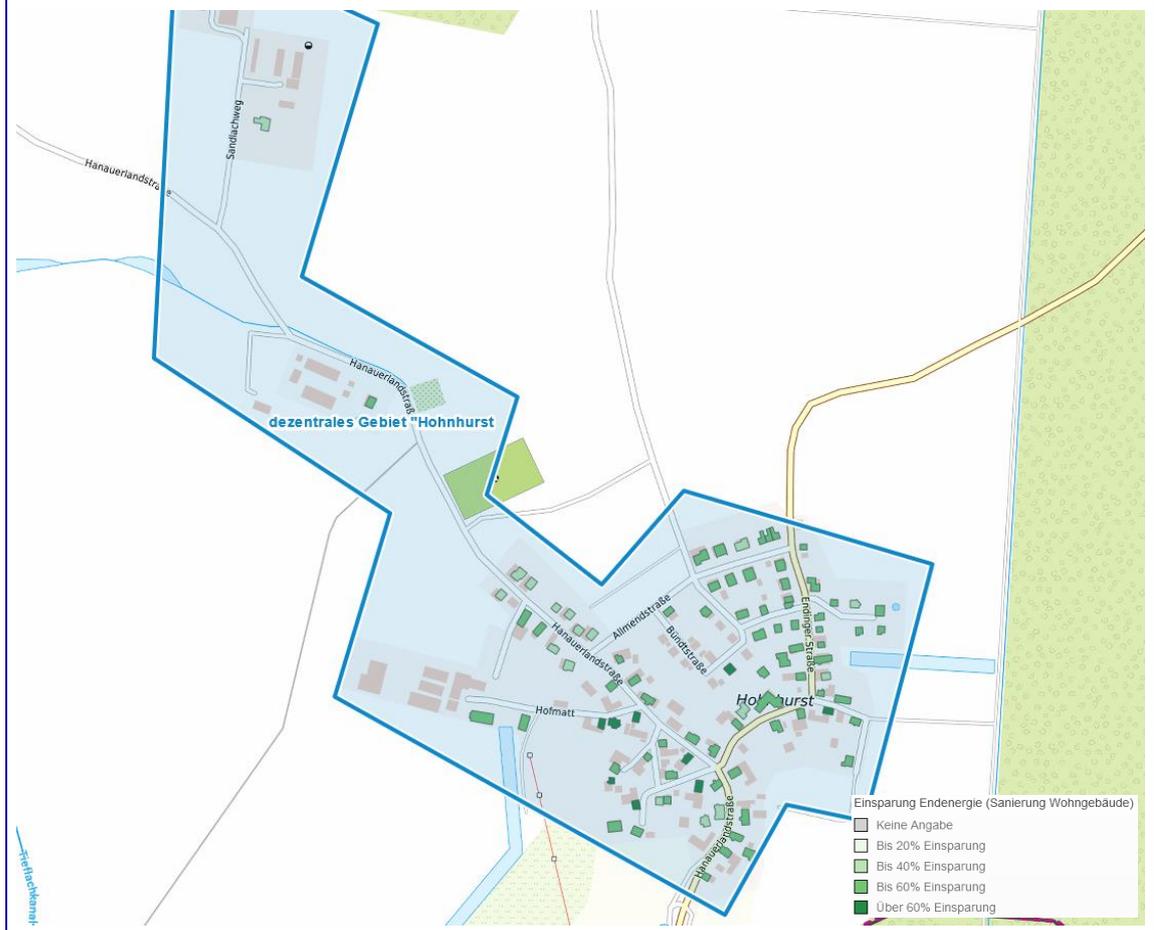
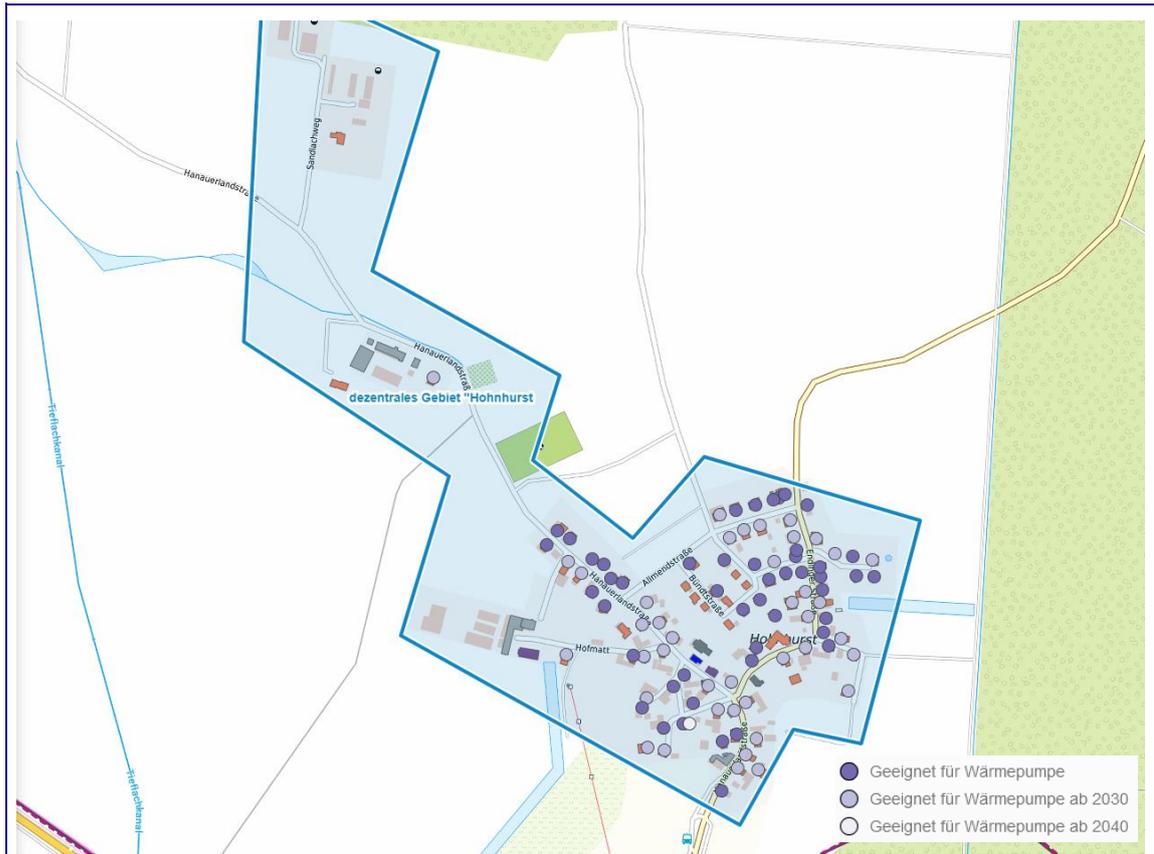
Zentrale Wärmeversorgung:

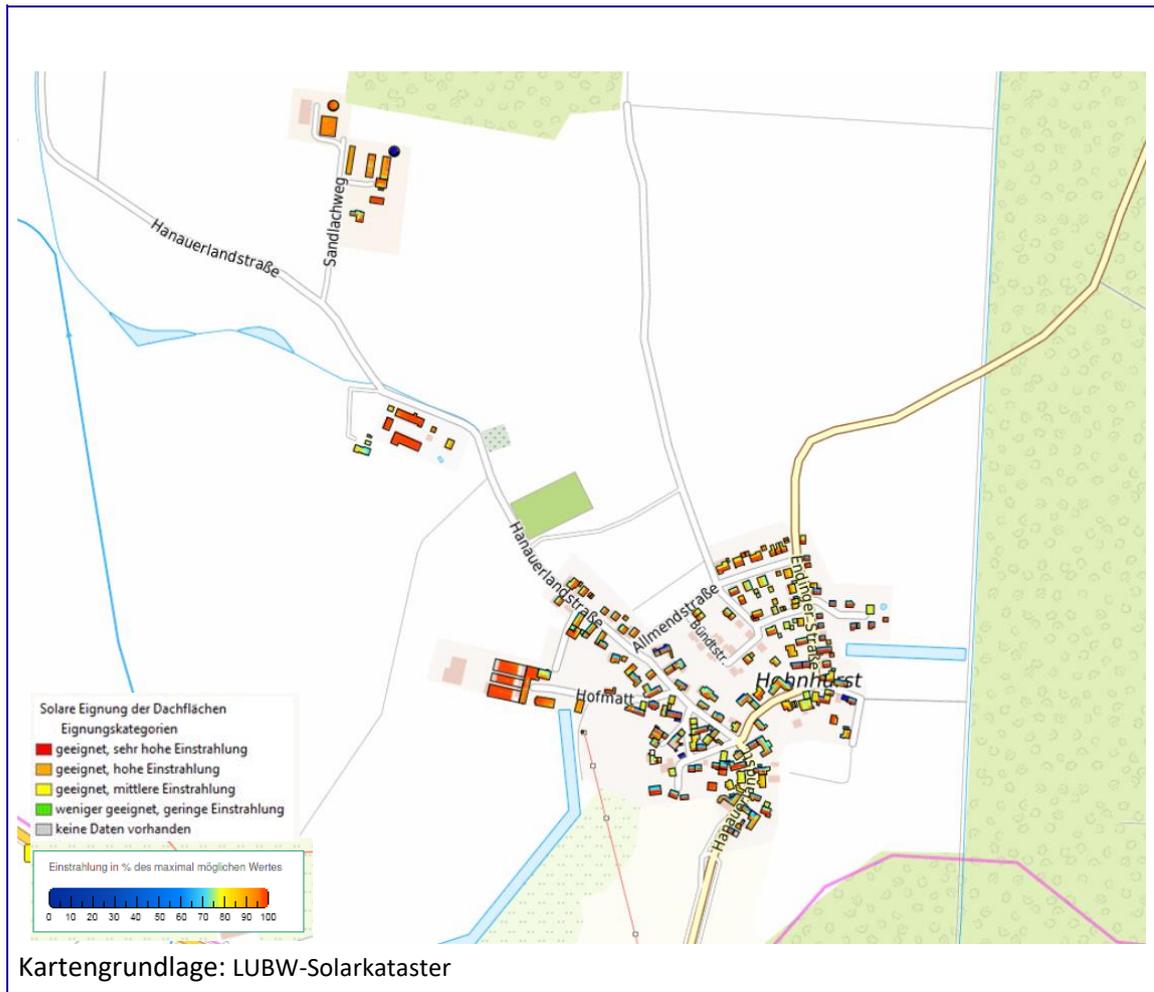
Auf der Gemarkung von Hohnhurst befindet sich kein zentrales Eignungsgebiet.



Dezentrale Wärmeversorgung:

Auf Grund der geringen Wärmedichte wird in Hohnhurst eine dezentrale Wärmeversorgung in Kombination mit PV-Anlagen und Wärmepumpen für eine klimaneutrale Wärmeversorgung als sinnvoll erachtet. Dies kann v.a. mit Hilfe von Gebäudesanierung erzielt werden. Das Sanierungspotenzial der Gebäude beläuft sich auf ca. 1.470 MWh (Endenergieeinsparung von 50%). Lokale Wärmepotenziale bestehen bei der Nutzung von Erdwärmesonden, Solarthermie und Luft-Wasser Wärmepumpen. Rund um Hohnhurst gibt es keine Flächen, die für eine PV-Freiflächenanlage geeignet wären. Insgesamt beläuft sich das PV-Potenzial auf ca. 2.447 MWh.





10.2 Gebäudesteckbriefe für Mustersanierungen

Im Folgenden wird ein beispielhafter Gebäudesteckbrief für den Typ Einfamilienhaus mit einem Baualter zwischen 1958 und 1968 (EFH-E) dargestellt. Alle dreizehn erstellten Gebäudesteckbriefe werden der Stadt digital zur Verfügung gestellt.

Seite 1/4

Stand: Juli 2023

Gebäudesteckbrief für die Einstiegsberatung

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

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

Ist-Zustand



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



Quelle: Deutsche Gebäudetypologie - Institut Wohnen und Umwelt GmbH

Bauteile Gebäudehülle		
Bauteil	Beschreibung	Fläche
Außenwand	Mauerwerk aus Hohlblocksteinen oder Hochlochziegeln	141 m ²
Außenwand gg. Erdreich	nicht relevant	-
Fenster	Holzfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung	27 m ²
Dach	Steildach, 5cm Zwischensparrendämmung	169 m ²
oberste Geschossdecke	nicht relevant	-
Kellerdecke	Betondecke mit 1 cm Dämmung	116 m ²
Fußboden gegen Erdreich	nicht relevant	-

Heizungs- und Anlagentechnik	
Heizungsart	Gas-Zentralheizung
Warmwasserbereitung	über Zentralheizung
Lüftung	Fensterlüftung

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

* Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

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

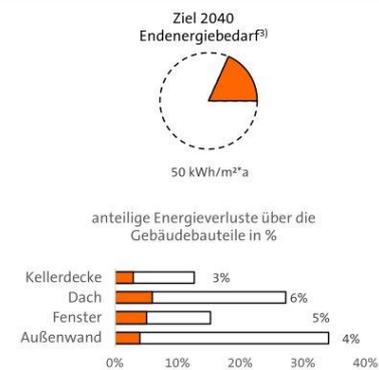
Seite 2/4

Stand: Juli 2023

Sanierung der Gebäudehülle

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

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

Sanierungsvarianten

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

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

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



Seite 3/4

Stand: Juli 2023

Sanierung der Heizung

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

System	Beschreibung / Hinweise	Investitionskosten in € (Brutto) ⁴⁾
Luft-Wasser-Wärmepumpe	Der Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Nutzung von Umweltwärme über die Umgebungsluft kann in gut gedämmten Gebäuden zum Einsatz kommen. Systembedingt können Wärmepumpen sinnvoll in Kombination mit Niedertemperaturheizungen (z.B. Fußbodenheizungen) und einer Frischwasserstation eingesetzt werden.	
	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 23 - 28 ct/kWh	30.000 € - 45.000 €
Luft-Wasser-Wärmepumpe + Gas-Spitzenlastkessel	Die Luft-Wasser-Wärmepumpe in Verbindung mit einem Gas-Spitzenlastkessel wird bevorzugt in Altbauten mit hohen Vorlauftemperaturen im Heizungssystem und in größeren Gebäuden bivalent eingesetzt.	
	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 28 - 34 ct/kWh	42.000 € - 57.000 €
Sole-Wasser-Wärmepumpe	Die Sole/Wasser-Wärmepumpe nutzt die Umweltwärme mit Hilfe von Erdwärmesonden oder Erdkollektoren. Systembedingt können Wärmepumpen sinnvoll in Kombination mit Niedertemperatur-heizungen (z.B. Fußbodenheizungen) und einer Frischwasserstation eingesetzt werden. Die Effizienz kann höher sein als die einer vergleichbaren Luft-Wasser-Wärmepumpe.	
	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 22 - 29 ct/kWh	35.000 € - 55.000 €
Holzpelletkessel + ggf. Solarthermie-Anlage	Eine Pelletheizung verbrennt nachwachsende Rohstoffe. Sind Solaranlage, Pelletkessel und Pufferspeicher aufeinander abgestimmt, erhält der Hausbesitzer eine hervorragende Energieeffizienz und den höchstmöglichen Wärmeertrag – und das sehr umweltschonend. Es besteht ein erhöhter Platzbedarf durch Pelletlager und -ausrüstung.	
ohne Solarthermieanlage	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 24 - 30 ct/kWh	30.000 € - 45.000 €
inkl. Solarthermieanlage	Wärmegestehungskosten ⁵⁾ 28 - 37 ct/kWh	42.000 € - 63.000 €
Fernwärme	Bei einem Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz, ist die Verfügbarkeit und die Kostenkalkulation abhängig von den lokalen Angeboten der Fernwärmeanbieter.	
Zusatzsysteme	(Systeme, die nur einen Teil der Wärmebereitstellung übernehmen können)	
Solarthermieanlage	Thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung (ca. 10 m ² Kollektorfläche) zur Erfüllung des EWärmeG – 15 % Erneuerbare.	12.000 € - 18.000 €
Photovoltaikanlage + ggf. Stromspeicher	Die Photovoltaikanlage (ca. 10 kWp) wandelt die Sonnenenergie in elektrische Energie um und dient der Eigenstromnutzung. Sinnvoll auch in Kombination mit einer Wärmepumpe.	15.000 € - 35.000 €
Lüftung mit Wärmerückgewinnung	Mechanisches Lüftungssystem (Be- und Entlüftung) mit Wärmerückgewinnung.	10.000 € - 18.000 €

⁴⁾ Investitionskosten inklusive Nebenkosten (Planungskosten), ohne Förderung

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

Stand: Juli 2023

Was Sie noch wissen sollten!

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Gebäudeenergiegesetz (GEG):

Ab 01.01.2024 soll die 65 %-EE-Wärmepflicht beim Heizungstausch gelten, sofern eine Wärmeplanung vorliegt. Die Umsetzung der zukünftigen Anforderungen wird im neuen GEG 2024 erfolgen.

Geplante EU-Gebäuderichtlinie

Wohngebäude sollen dem Vorschlag der Europäischen Kommission zufolge spätestens nach Januar 2030 die Klasse F erreichen. Bis zum Jahr 2033 soll dann der Energiestandard D bei allen Gebäuden Standard sein. Die Energieeffizienzklasse D sagt aus, dass ein Wohngebäude eine Endenergie von 100 bis 130 Kilowattstunden pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche im Jahr aufweist. Wenn der Plan zur Realität werden sollte, müssten alle Wohngebäude in Deutschland bis zum Jahr 2033 in ihrer Energieeffizienz in diesem Bereich liegen.

Energieeffizienzklasse	Endenergiebedarf oder -verbrauch in kWh/m ² a	Haustyp
A+	unter 30	Neubauten mit höchstem Energiestandard z.B. Passivhaus, KfW 40
A	30 bis unter 50	Neubauten, Niedrigenergiehäuser, KfW 55
B	50 bis unter 75	normale Neubauten
C	75 bis unter 100	Mindestanforderung Neubau
D	100 bis unter 130	gut sanierte Altbauten
E	130 bis unter 160	sanierte Altbauten
F	160 bis unter 200	sanierte Altbauten
G	200 bis unter 250	teilweise sanierte Altbauten
H	über 250	unsanierte Gebäude

Ausblick

Steigerung Komfort / Marktwert

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

Professionelle Planung und Baubegleitung

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



Alle Infos und Details unter:
www.energie-effizienz-experten.de

Förderprogramme

Einzelmaßnahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG EM)



Alle Infos und Details unter:
www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html

Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG)



Alle Infos und Details unter:
www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-fuer-effiziente-Gebaeude/

