

Schlussbericht

Masterplan Wärme Freiburg 2030

Projekt-Nr.: B-STFR-001

Auftraggeber: Stadt Freiburg im Breisgau - Umweltschutzamt
Fehrenbachallee 12
70106 Freiburg

Auftragnehmer: GEF Ingenieur AG
Ferdinand-Porsche-Straße 4a
69181 Leimen

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH
Wilkenstraße 3
69120 Heidelberg

badenova-Gruppe
Tullastraße 61
79108 Freiburg

Version: 8.0

Leimen, 06.10.2021

Inhalt

- 1. Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen 6**

- 2. Bestandsaufnahme..... 8**
 - 2.1 Wärmebedarf und Wärmekataster 9
 - 2.2 Szenario für die Wärmebedarfsentwicklung..... 12
 - 2.3 Wärmeversorgungsstruktur und Klimabilanz 16
 - 2.3.1 Gasnetz-Infrastruktur 17
 - 2.3.2 Wärmenetz-Infrastruktur 17
 - 2.3.3 Fernwärmestrategie 18
 - 2.4 Klimabilanz Wärmeversorgung 2020 20

- 3. Potenzialanalyse Erneuerbare Wärme und Abwärme 21**
 - 3.1 Erneuerbare Energien zur zentralen oder dezentralen Nutzung im Wärmebereich 21
 - 3.2 Luft 25
 - 3.3 Solarthermie..... 26
 - 3.4 Tiefe Geothermie 26
 - 3.5 Oberflächennahe Geothermie 28
 - 3.6 Umweltwärme aus dem Grundwasser..... 29
 - 3.7 Biogas und Biomasse..... 31
 - 3.8 Abwärme 32
 - 3.9 Abwärme aus Abwasser 32
 - 3.10 Sonstige 33
 - 3.11 Zusammenfassung..... 34

- 4. Perspektive Gasnetz 36**
 - 4.1 Fachrecherche Erdgasersatz..... 36
 - 4.1.1 Erneuerbare Gase 36
 - 4.1.2 Erdgasersatz in der Industrie 39
 - 4.1.3 EE-Gase und Gasnetzinfrastruktur 40
 - 4.1.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit PtG 42
 - 4.1.5 Zukünftige Rolle und Verfügbarkeit von PtG 43
 - 4.1.6 Zusammenfassung..... 46
 - 4.2 Analyse Gasnetzinfrastruktur 46
 - 4.2.1 Kapazitive Analyse 46

4.2.2	Analyse Erneuerungs- und Reinvestitionsbedarf	47
4.3	Szenarien Entwicklung Gasnetze.....	51
4.4	Zusammenfassung.....	54
5.	Wärmemasterplan.....	56
5.1	Eignungsgebiete zentrale / dezentrale Wärmeversorgung	56
5.1.1	Wärmeversorgung und Siedlungstypen	57
5.1.2	Eignungsgebiete für die erneuerbare Wärmeversorgung in Freiburg	60
5.2	Entwicklung Energieträgermix Wärme und Treibhausgas-Bilanz	61
5.3	Auswirkungen auf das Stromnetz	66
5.4	Integration Erneuerbare Wärme in Wärmenetze	66
5.4.1	Voraussetzungen am Beispiel Weingarten/Rieselfeld	66
5.4.2	Umsetzungsbeispiel eines Wärmenetzsystems der 4. Generation – „Verbund Freiburg-Süd“	70
5.4.3	Netz Universitätsklinikum.....	73
5.5	Herausforderungen	77
6.	Maßnahmenplan.....	80
6.1	Maßnahmen für Stadtbezirke	80
6.2	Maßnahmen für Handlungsfelder.....	83
7.	Ausblick	86
	Abbildungsverzeichnis.....	88
	Tabellenverzeichnis.....	90
	Literaturverzeichnis.....	91
8.	Anhänge	94
8.1	Rahmendaten Treibhausgas-Projektion.....	94
8.2	Rahmendaten Untersuchung Weingarten/Rieselfeld.....	95
8.3	Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren.....	96
8.4	Gebäude nach Baualterklassen	97
8.5	Gebäude nach Nutzungstypen	98
8.6	Maßnahmen-Steckbriefe.....	99
8.7	Stromwende und Wärmewende.....	123
8.8	Wärme-Netzbau - Einflussfaktoren.....	125

Abkürzungen

<i>ALKIS</i>	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
<i>BHKW</i>	Blockheizkraftwerk
<i>BIP</i>	Bruttoinlandsprodukt
<i>BSL</i>	Brennstofflager
<i>BMWi</i>	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
<i>BW</i>	Baden-Württemberg
<i>CNG</i>	Compressed Natural Gas
<i>CO_{2e}</i>	CO ₂ equivalent (CO ₂ -Äquivalent)
<i>DS</i>	Denkmalschutzbestimmungen
<i>DVGW</i>	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
<i>EE</i>	Endenergie
<i>EEG</i>	Erneuerbares Energie Gesetz
<i>EE-Gase</i>	Erneuerbare Gase
<i>EE-Strom</i>	Erneuerbarer Strom
<i>ES</i>	Erhaltungssatzungen
<i>EVB</i>	Energieversorgung Breisgau
<i>fp(-Faktor)</i>	Primärenergie-Faktor
<i>FW</i>	Fernwärme
<i>FWV</i>	Freiburger Wärmeversorgung
<i>GAB</i>	Gesellschaft Abfallwirtschaft Breisgau mbH
<i>GEG</i>	Gebäudeenergiegesetz
<i>GEMOD</i>	Gebäudesimulationssystem
<i>GG</i>	Grauguss
<i>GGG</i>	Duktiles Gusseisen
<i>GHD</i>	Gewerbe, Handel, Dienstleistung
<i>GuD</i>	Gas- und Dampfturbine
<i>GWh</i>	Gigawattstunde
<i>GWP</i>	Global Warming Potential
<i>HA</i>	Hausanschluss
<i>HD</i>	Hochdruck
<i>HHS</i>	Holzhackschnitzel
<i>HVZ</i>	Hochwasservorhersagezentrale
<i>ISONG</i>	Informationssystem Oberflächennahe Geothermie
<i>IWU</i>	Institut Wohnen und Umwelt
<i>JAZ</i>	Jahresarbeitszahl
<i>kWh</i>	Kilowattstunde
<i>KWK</i>	Kraft-Wärme-Kopplung
<i>KWKK</i>	KWK mit Kälte aus Wärme
<i>LE</i>	lokale Erzeugung
<i>LGBR</i>	Landesamt für Geologie, Bergbau und Rohstoffe
<i>LoD</i>	Level of Detail
<i>LUBW</i>	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
<i>MENA</i>	Mittlerer Osten und Nordafrika
<i>MWh</i>	Megawattstunde
<i>ND</i>	Niederdruck

<i>NE</i>	Nutzenergie
<i>ORC</i>	Organic-Rankine-Cycle
<i>PE</i>	Primärenergie
<i>PEHD</i>	Polyethylen HD
<i>PEM</i>	Polymer-Elektrolyt-Membran
<i>PEX</i>	Vernetzes Polyethylen
<i>PtG</i>	Power to Gas
<i>PtL</i>	Power to Liquid
<i>PV</i>	Photovoltaik
<i>RW</i>	Raumwärme
<i>St</i>	Stahl
<i>SWOT</i>	Strengths, Weakness, Opportunities, Threats
<i>THG</i>	Treibhausgas
<i>TREA</i>	Thermische Restabfallbehandlungs- und Energieerzeugungsanlage
<i>UBA</i>	Umweltbundesamt
<i>UKF</i>	Universitätsklinikum Freiburg
<i>WAD</i>	Wärmeatlas Deutschland
<i>WSW</i>	Wärme Süd-West
<i>WW</i>	Warmwasser

1. Aufgabenstellung und methodisches Vorgehen

Die Veränderung des Weltklimas durch den verstärkten Ausstoß von Treibhausgasen durch die menschlichen Aktivitäten der letzten Jahrzehnte bedrohen Umwelt und Gesellschaft. Die Stadt Freiburg arbeitet seit mehr als 25 Jahren konsequent an der Verringerung der Treibhausgas-Emissionen und hat bis 2018 einen Rückgang von minus 26,3 % gegenüber 1992 erreicht [ifeu 2021]. Vor dem Ziel einer kommunalen „Klimaneutralität“ bis 2050 ist es notwendig, die Wärmeversorgung und die Wärmeversorgungsstruktur strategisch weiterzuentwickeln. Ziel des Masterplans 2030 ist es, eine langfristige Strategie zur erneuerbaren Wärmeversorgung aller Stadtgebiete zu erstellen und einen Vorschlag zu erarbeiten, welche Gebiete perspektivisch mit welchem Wärmesystem versorgt werden sollen.

Beim Masterplan Wärme liegt der Fokus der Maßnahmen auf dem Zeitraum bis 2030. Da die Maßnahmen Teil einer Strategie zur Erreichung der langfristigen Klimaziele bis zum Jahr 2050 sind¹, wird bei der Szenario-Entwicklung ebenfalls der Zeitraum bis 2050 in den Blick genommen.

Der Wärmemasterplan baut auf bestehenden Vorarbeiten der Stadt Freiburg auf, vor allem auf dem Klimaschutzkonzept 2019, auf der Klimabilanz, auf Potenzialanalysen zu erneuerbaren Energie (EE) und auf der 2019 erstellten Fernwärmestrategie. Als wesentliche weitere Grundlage wird auf Basis vorhandener Daten ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt, mit dem der Energiebedarf für die Wärmeversorgung in seiner räumlichen Verteilung im Stadtgebiet dargestellt werden kann.

Das Wärmebedarfsszenario bis 2050 orientiert sich am Zielszenario des Klimaschutzkonzeptes, mit dem sich die Klimaszutzziele der Stadt grundsätzlich erreichen lassen würden. Für den Status-Quo werden auch Daten zu den Gas- und Wärmenetzen von den Versorgern erhoben² und eine Treibhausgas-(THG)-Bilanz für den Wärmebereich erstellt.

Eine zentrale Frage bei einer Wärmemasterplanung ist die Rolle der leitungsgebundenen Infrastruktur: welchen Beitrag können und sollen Gasnetze, Wärmenetze und Stromnetze zukünftig für eine klimaschonende Wärmeversorgung leisten? Netzinfrastrukturen besitzen in der Regel eine technische Nutzungsdauer von mehr als 40 Jahren, ihr (Um)-Bau und auch ihre Amortisation sind nicht binnen weniger Jahr zu realisieren. Mit der Fernwärmestrategie lag ein erster Vorschlag für die perspektivische Entwicklung der Wärmenetze bereits vor. Die Frage der zukünftigen Rolle der Gasnetze ist ein zentraler Teil der Masterplan-Entwicklung und wird vorgelagert untersucht um zu ermitteln, ob eine Wärmeversorgung mittels erneuerbarer Gase (EE-Gase) plausibel erwartbar ist. Wäre dies der Fall, so wäre nur ein geringer Umbau sowohl der Netzinfrastrukturen in Freiburg als auch der Anlagentechnik in den Gebäuden erforderlich, da die Wärmeversorgung in Freiburg bereits heute stark gasbasiert erfolgt. Ist eine schwerpunktmäßig EE-Gas-basierte Wärmeversorgung jedoch unwahrscheinlich, ist ein sehr viel stärkerer Umbau der Wärmeversorgung erforderlich.

Um für diese Pfad-Entscheidung innerhalb der Masterplan-Entwicklung die Grundlagen zu schaffen, wird eine Fachrecherche zur Verfügbarkeit von EE-Gasen erstellt und die bestehende Gasnetzinfrastruktur hinsichtlich Kapazität und Erneuerungsbedarf bewertet. Anschließend werden zwei Szenarien für die Gasnetz-Entwicklung abgeleitet und mit ihren Stärken und Schwächen analysiert – ein Szenario, das auf EE-Gase fokussiert, und ein zweites, bei dem die Wärmeversorgung sich wandelt und stark auf Umweltenergie und EE-Strom setzt. Gemeinsam mit dem Auftraggeber werden die Teilergebnisse der Analysen bewertet und eines der zwei Szenarien als Basis für die Masterplanung ausgewählt.

¹ Die Verschärfung der Klimaszutzziele des Bundes im Mai 2021 ist hier noch nicht einbezogen. Im Mittel bedeutet das Vorziehen der Klimaneutralität auf 2045, dass Zwischenziele bis 2030 und 2040, für deren Erreichung bisher 10 Jahre zur Verfügung standen, nun in rund 8 Jahren erreicht werden müssen (also 2028 und 2036)

² Aufgrund des Projektbeginns noch deutlich vor der Verabschiedung des Klimaschutzgesetzes für Baden-Württemberg konnten gesetzlich neu erschlossene Datenquellen, z.B. von Schornsteinfegern, etc. noch nicht einbezogen werden. Die Stadt Freiburg plant, diese Daten in ihre Planungen integrieren, sobald sie vorliegen. Dann kann auch das auf 2045 vorgezogene Klimaneutralitätsziel in den Masterplan integriert werden.

Aufbauend auf den vorhergehenden Arbeitsergebnissen werden – für das ausgewählte Gasnetz-Szenario – auf Stadtgebietsebene Eignungsgebiete für leitungsgebundene oder dezentrale erneuerbare Wärmeversorgung ausgewiesen. Die Auswirkungen einer Umsetzung dieses Versorgungsszenarios auf die Klimabilanz und auf das Stromnetz werden untersucht. Für mehrere der großen Wärmenetze in Freiburg (Rieselfeld/Weingarten, Verbund Freiburg-Süd, Uniklinikum Freiburg) werden Vorüberlegungen angestellt, wie eine Integration von erneuerbaren Energien in die Fernwärmesystem erfolgen kann.

Für die einzelnen Freiburger Stadtbezirke werden Steckbriefe erstellt, auf denen die Optionen für eine zukünftige erneuerbare Wärmeversorgung im Bezirk dargestellt sind. Darüber hinaus werden übergreifende Maßnahmen für verschiedene Handlungsfelder und Akteure vorgeschlagen.

Zwischenergebnisse und Endergebnisse werden in zwei Workshops mit verschiedenen Akteuren aus dem Wärmebereich in Freiburg diskutiert.

Ende 2020 hat das Land Baden-Württemberg durch das Klimaschutzgesetz eine kommunale Wärmeplanung für Stadtkreise und große Kreisstädte in Baden-Württemberg als zentrales Element für eine klimaneutrale Stadtentwicklung gesetzlich vorgeschrieben. Die Stadt Freiburg hatte bereits 2019 mit der Fernwärmestrategie erste Schritte in diese Richtung unternommen. Diese werden jetzt durch den Masterplan Wärme ergänzt. Ziel der kommunalen Wärmeplanung ist, grobe strategische Fahrpläne für die Entscheidungen der betroffenen Akteure zu liefern, wie eine klimaneutrale Wärmeversorgung langfristig erreicht werden kann. Spätestens alle sieben Jahre sind die kommunalen Wärmeplanungen unter Berücksichtigung weiterer Entwicklungen fortzuschreiben. Kommunale Wärmeplanung ist entsprechend ein iterativer Prozess, der durch die Diskussion der Akteure befruchtet wird. Der vorliegende Masterplan ist ein Baustein in diesem Prozess.

2. Bestandsaufnahme

Die Stadt Freiburg hat ca. 230.000 Einwohner und hat ihre Einwohnerzahl seit 1950 grob verdoppelt. Rund um den Altstadtbereich sind große Neubaugebiete entstanden – z. B. die Stadtbezirke Weingarten und Landwasser in den 60er Jahren, Rieselfeld und Vauban in den 90er Jahren. Aktuell wird im Westen der Stadt der neue Stadtteil Dietenbach geplant, in dem in den nächsten Jahrzehnten mehr als 15.000 Menschen leben sollen [STFR 2020].

Die Stadt gliedert sich in sechs Stadtbereiche (Nord, Ost, Süd, Südwest, Mitte, West) und 43 Stadtbezirke.

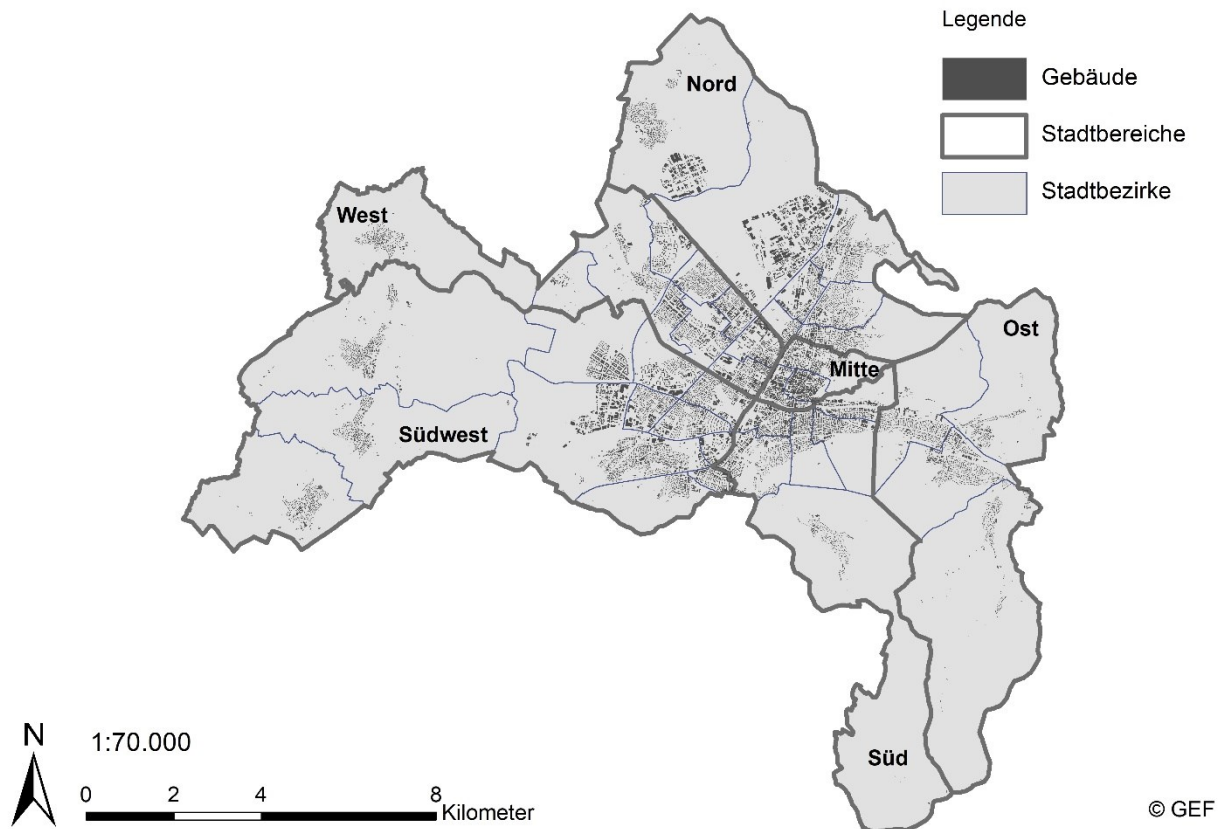


Abbildung 2-1: Stadtgliederung Freiburg

Quelle: Stadt Freiburg

Das Gebäudekataster (s. Kapitel 2.1) umfasst rund 50.000 Gebäude, von denen rund 29.000 als beheizt eingestuft werden und 21.000 als unbeheizt.

Die Stadt Freiburg hat 2018 im Rahmen der Erstellung des Perspektivplans eine Siedlungstypologie für Freiburg erstellt [STFR 2018]. Die räumlich aufgelösten Daten sind in Abbildung 2-2 dargestellt. Die historischen Stadtkerne in der Kernstadt Freiburg und in den Ortsteilen sind deutlich zu erkennen, ebenso wie die Gewerbegebiete. In der Kernstadt herrschen Blockrandbebauung und Geschosswohnungsbau vor, am Stadtrand und in den Ortsteilen dominieren Ein- und Zweifamilienhäuser.

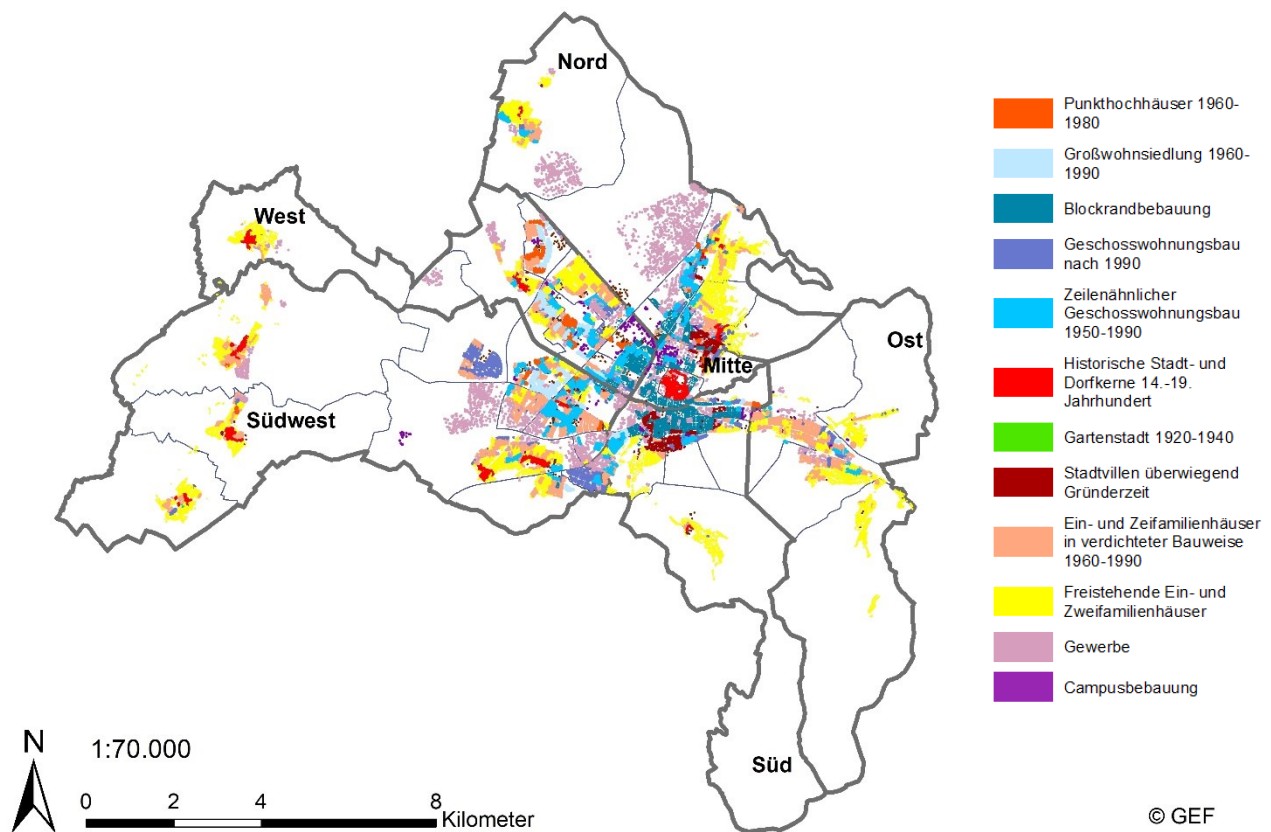


Abbildung 2-2: Siedlungstypologie Freiburg

Quelle: Stadt Freiburg [STFR 2018]

Ebenfalls gut erkennbar sind die Gebiete mit Gründerzeitvillen in der Wiehre und in Herdern und der neue Geschosswohnungsbau im Rieselfeld und im Vauban.

2.1 Wärmebedarf und Wärmekataster

Als Basis für die Konzeption des Wärmemasterplans ist in Zusammenarbeit mit den städtischen Ämtern ein gebäudescharfes Wärmekataster erstellt worden. Hierfür sind Daten aus ALKIS, Perspektivplan, Denkmalschutz u. a. mit Wärmebedarfsdaten zusammengeführt worden. Für die Wärmebedarfsabschätzung im Ist-Zustand 2020 werden die Daten für Freiburg aus dem Produkt „Wärmeatlas Deutschland 2.0“³ (WAD 2.0) verwendet. Der Datensatz beruht auf den Gebäudegeometrien im Level of Detail 1 (LoD1) der Arbeitsgemeinschaft für Vermessungsverwaltungen (Stand 2016)⁴, Daten zur Verteilung energetischer Baualtersklassen auf Ebene eines bundesweiten Hektarrasters und regionalen Klimadaten. Alle Gebäude sind nach dem ifue-Gebäudesimulationsmodell GEMOD klassifiziert, das die Gebäude nach 14 Gebäudetypen und zusätzlich nach Baualtersklassen einteilt. Der Berechnung des Wärmebedarfs liegen spezifische Energiekennzahlen aus GEMOD für Raumwärme und Warmwasser (simulierter verbrauchskalibrierter Nutzenergiebedarf in kWh/m²) sowie die aus den LoD1-Daten ermittelte energetische Nutzfläche AN zugrunde.

Abbildung 2-3 zeigt die Bilanzgrenze im Gebäude für Nutzenergie (NE), lokale Erzeugung (LE), Endenergie (EE) und Primärenergie (PE).

³ Erarbeitet von einem Konsortium aus Geomer GmbH, ifue-Institut und GEF Ingenieur AG

⁴ Gutleutmatten als großes Neubaugebiet ergänzt

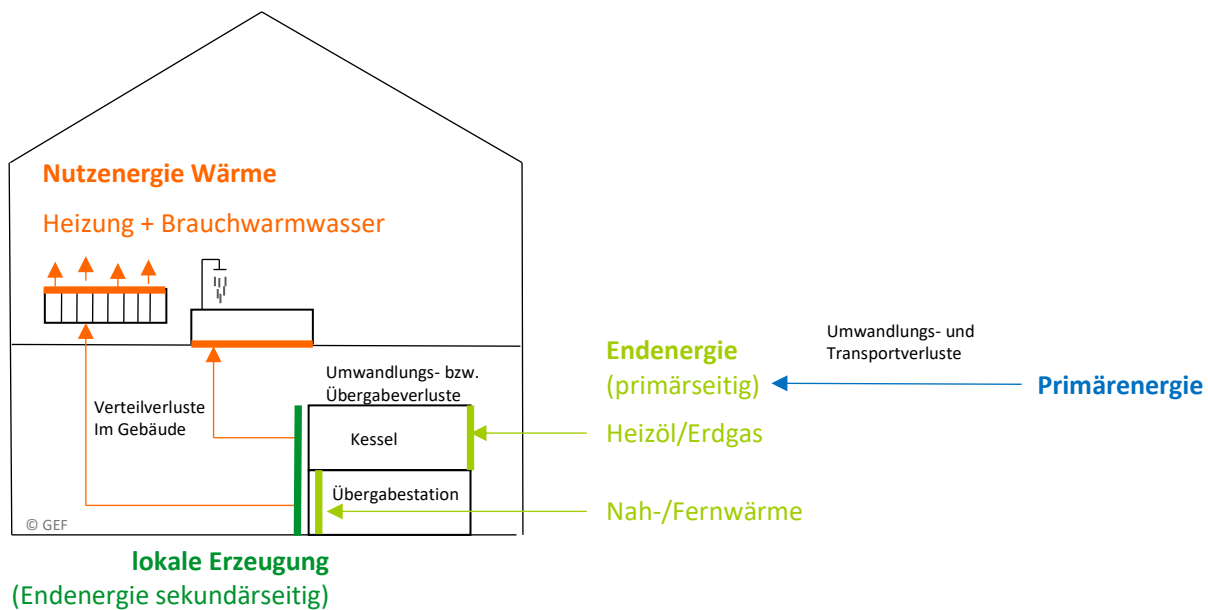


Abbildung 2-3: Bilanzgrenzen im Gebäude

Quelle: GEF in Anlehnung an [STMUG 2011]

Das Kataster ist so angelegt, dass es zukünftig ergänzt und langfristig für die kommunale Wärmeplanung verwendet werden kann.

Aus den Nutzenergiebedarfsdaten wird ein Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser (RW+WW) berechnet⁵ und mit Daten der aktuellen witterungsbereinigten Klimabilanz für Freiburg [ifue 2020a] kalibriert. Der aus der Klimabilanz ermittelte Wärmebedarf (Stand 2016) wird in dieser Untersuchung konservativ als Ist-Wärmebedarf für 2020 angenommen. Für die Sektoren Private Haushalte, Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) werden mit den Faktoren der bundesweiten Energiestatistik [BMWi 2020] die Anteile für die Anwendungsbereiche Raumwärme und Warmwasser aus der Klimabilanz ermittelt. Insgesamt ergibt sich für Freiburg ein Bedarf für Raumwärme und Warmwasser in Höhe von rund 1.900 GWh Endenergie, 87 % davon für Raumwärme und 13 % für Warmwasser.

Die Bedarfe aus dem Energiekataster werden für jeden Sektor an die aus der Klimabilanz abgeleiteten Werte angepasst um bezüglich der CO₂-Entwicklung konsistente Modelle zu erstellen.

⁵ Annahme: 10 % Verteilverluste im Gebäude, 90 % Jahresnutzungsgrad Heizung

Tabelle 2-1: Vergleich Abschätzung Energieverbrauch Raumwärme u. Warmwasser Klimabilanz und WAD 2.0

	Endenergieverbrauch RW+WW abgeleitet aus Klimabilanz	Endenergiebedarf RW+ WW abgeleitet aus WAD 2.0	Abweichung
Private Haushalte	1.015 GWh/a	1.080 GWh/a	0,94
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	830 GWh/a	390 GWh/a	2,13
Industrie	70 GWh/a	75 GWh/a	0,93
Summe	1.915 GWh/a	1.545 GWh/a	1,24

Während sich für die Sektoren Industrie und private Haushalte eine zufriedenstellende Übereinstimmung ergibt, weichen die Werte zwischen Klimabilanz und WAD 2.0 im Sektor GHD deutlich voneinander ab. Im Mittel über alle Sektoren beträgt die Abweichung 24 %. Mögliche Ursachen können sowohl in der Methodik der Klimabilanzierung, in der Ableitung der anwendungsspezifischen Verbräuche für RW und WW aus der Klimabilanz als auch in der Methodik oder Datenbasis der WAD 2.0 liegen. Die Abschätzung von Wärmebedarfen für Nichtwohngebäude ist grundsätzlich mit höheren Unsicherheiten verbunden, da diese Gebäude weniger gut typisierbar sind als Wohngebäude (Reihenhäuser sind sich ähnlicher als Krankenhausgebäude). Im Rahmen der Novelle des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg im Herbst 2020 wurde eine gesetzliche Grundlage geschaffen, um weitere Datenquellen (Verbrauchsdaten, Schornsteinfegerdaten, etc.) zukünftig für die kommunale Wärmeplanung verfügbar zu machen. Es ist vorgesehen, diese Daten – sobald sie der Stadt Freiburg vorliegen – zeitnah in das Wärmekataster zu integrieren. Bei der nächsten Fortschreibung des Masterplans sollte auf diese verbesserte Datenbasis zurückgegriffen werden.

Um Konsistenz mit der Klimabilanz sicherzustellen werden die Energiebedarfswerte aus dem WAD 2.0 auf die Klimabilanz angepasst. Die Kalibrierung erfolgt separat für die Gebäude aus den Sektoren Industrie, GHD und private Haushalte und dann jeweils für die Anwendungsbereiche Raumwärme und Warmwasser, so dass der Gesamtendenergieverbrauch im Wärmekataster für das Basisjahr 2020 bei rund 1.900 GWh liegt.

Die Endenergiewerte jedes Gebäudes werden mit einem mittleren Jahresnutzungsgrad von 90 % in lokale Erzeugung umgerechnet, die lokale Erzeugung mit einem Nutzungsgrad von 90 % in Nutzenergie (10 % Verteilungsverluste im Gebäude).

Für das Wärmekataster werden die Endenergiewerte pro Gebäude innerhalb von 200 m x 200 m Rasterfeldern aufsummiert und eine Wärmedichte in GWh/km² für jedes Rasterfeld berechnet (Angabe GWh in lokaler Erzeugung = Endenergie (Hi) x 0,9).

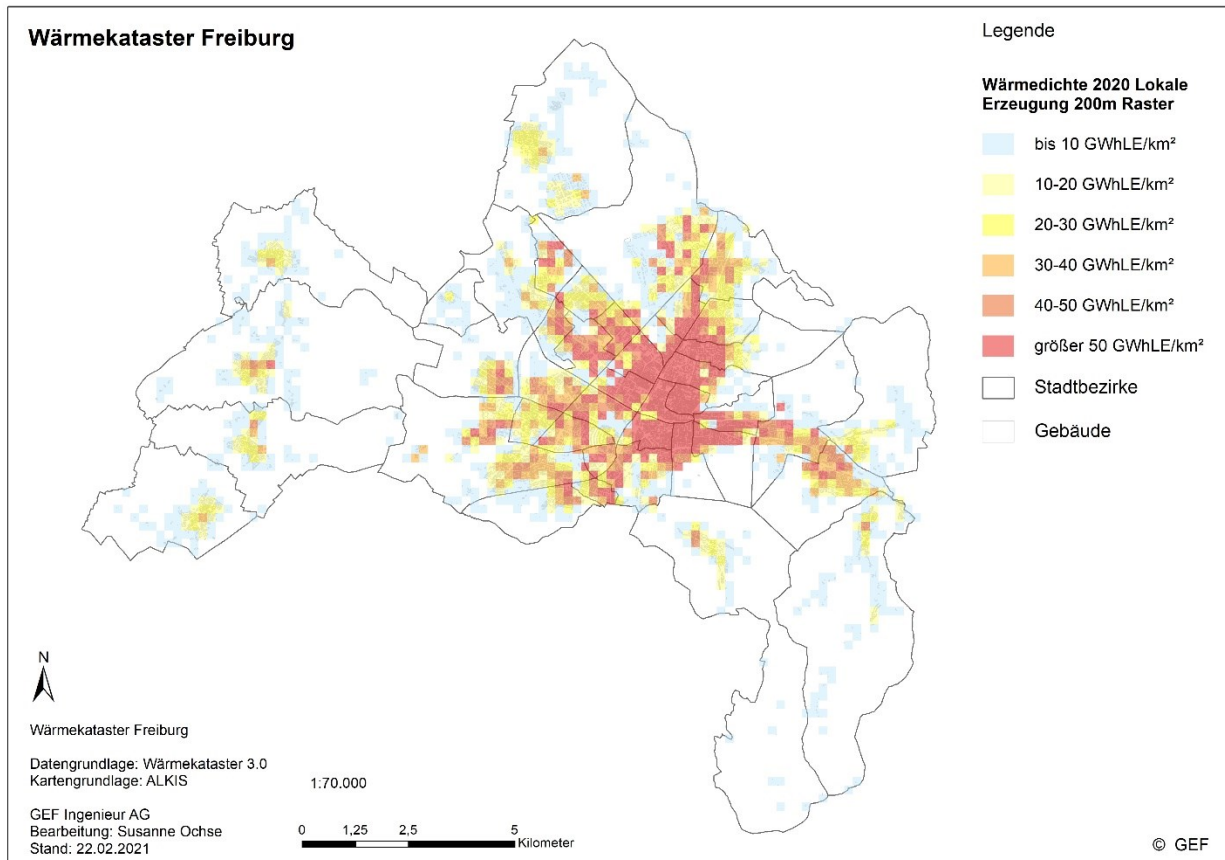


Abbildung 2-4: Wärmedichtekarte Freiburg 2020

Quelle: Wärmekataster Freiburg Version 3.0, Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

Durch die dichte und z. T. höhere Bebauung in der Innenstadt liegt die Wärmedichte dort in großen Bereichen über 50 GWh/m², während in Günterstal, Kappel, Ebnet und den Tuniberg-Gemeinden nur vereinzelt Wärmedichten von mehr als 30 GWh/m² erreicht werden.

Wärmedichten sind ein Indikator, der zur Identifikation von Gebieten für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung verwendet werden kann. Quartiere mit Wärmedichten größer 40 GWh/m² (entspricht 400 MWh/ha) sind - eine entsprechende Anschlussdichte der Kunden vorausgesetzt - in der Regel wirtschaftlich mit Wärmenetzen zu erschließen. Auch in Gebieten mit geringerer Wärmedichte lassen sich heute bereits Wärmenetze unter bestimmten Randbedingungen wirtschaftlich betreiben (z. B. hohe Anschlussdichte auf der Kundenseite, niedrige Erschließungskosten auf der Netzseite, niedrige Wärmeerzeugungskosten auf der Wärmeerzeugungsseite).

2.2 Szenario für die Wärmebedarfsentwicklung

Für den Wärmemasterplan wird ein Rückgang der Wärmenachfrage für Raumwärme und Warmwasser durch Sanierung, Abriss, Neubau, Entwicklung der Wohnfläche, Effizienzmaßnahmen, Verhaltensänderung, etc. unterstellt. Die Entwicklung lehnt sich an die Entwicklung im Zielszenario des aktuellen Klimaschutzszenarios 2019 an [Öko 2019]. In diesem Szenario wird das Ziel der „Klimaneutralität“ gesetzt und der Weg beschrieben, mit dem dieses Ziel erreicht werden kann – durch erhebliche Anstrengungen im Bereich Gebäudesanierung und auch im Nutzerverhalten. Zentrale Annahmen, die im Zielszenario des Klimaschutzkonzeptes als Randbedingungen für die Zielerreichung definiert sind, werden in Tabelle 2-2 aufgelistet.

Tabelle 2-2: Annahmen zu Randbedingungen für die Wärmebedarfsentwicklung aus dem Klimaschutzkonzept

Annahmen Klimaschutzkonzept 2019	
Allgemeines	
Wirtschaftswachstum	Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate inflationsbereinigtes BIP pro Einwohner*in von 0,5 Prozent
Raumwärme	
Sanierungsrate	2020 1,5 %, Anstieg bis 2030 auf 2,2 %, danach bis 2050 konstant
Sanierungstiefe	Mittlerer spez. Raumwärmebedarf nach Komplettisanierung liegt ab 2020 bei 60 kWh/m ² und ab 2030 bei 40 kWh/m ²
Abriss/Neubau	Für Wohngebäude mit Baujahr 1920 bis 1987 wird eine Abrissrate von 0,2 Prozent pro Jahr angenommen. Zwischen 2015 und 2050 werden ca. 1,1 Mio. m ² Wohnfläche neu gebaut.
Verhaltensänderung	In unsanierten Gebäuden zusätzliche Minderung um 10 %.
Wohnfläche pro Kopf	stabilisiert sich bei 38 m ² und steigt bis 2050 nicht an
Warmwasser	
Verbrauch pro Kopf	Verringerung auf 35 Liter pro Einwohner*in und Tag bis 2050 durch technische Effizienzmaßnahmen und Nutzerverhalten.

Die Realisierbarkeit des Zielszenarios hängt nicht allein von Maßnahmen und Setzungen ab, die die Stadt Freiburg vornehmen kann. Sanierungsentscheidungen für Bestandsgebäude werden von den Eigentümern getroffen, die ordnungsrechtliche Steuerung erfolgt durch Vorgaben im Gebäude-Energie-Gesetz auf Bundesebene. Um die Klimaziele zu erreichen sind daher koordinierte Anstrengungen aller Akteure notwendig.

Aus der Entwicklung des Energiebedarfs im gewählten Szenario für die Sektoren private Haushalte, GHD und Industrie im Klimaschutzkonzept werden prozentuale Wärmerückgangsfaktoren für die Sektoren private Haushalte, GHD und Industrie und die Anwendungsbereiche Raumwärme und Warmwasser für die Perioden 2020 bis 2030 und 2020 bis 2050 ermittelt⁶. Mit diesen Faktoren werden die Bedarfe an Nutzenergie, lokaler Erzeugung und Endenergie für jedes Gebäude im Wärmekataster für die Reduktion multipliziert (2020 = 100 %).

Tabelle 2-3: Faktoren der Wärmebedarfsreduktion

	Raumwärme		Warmwasser	
	2020 -> 2030	2020 -> 2050	2020 -> 2030	2020 -> 2050
Private Haushalte	0,9	0,58	0,91	0,77
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	0,77	0,59	0,77	0,59
Industrie	0,81	0,54	0,81	0,54

Der Endenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser reduziert sich unter diesen Annahmen von ca. 1.900 GWh in 2020 bis zum Jahr 2030 um rund 16 % auf 1.600 GWh/a und bis 2050 um ca. 40 % auf 1.150 GWh/a.

⁶ Im Klimaschutzkonzept 2019 ist ein Zuwachs an Wohnfläche in der Größenordnung von Dietenbach bereits berücksichtigt.

Entwicklung Endenergie für Raumwärme und Warmwasser

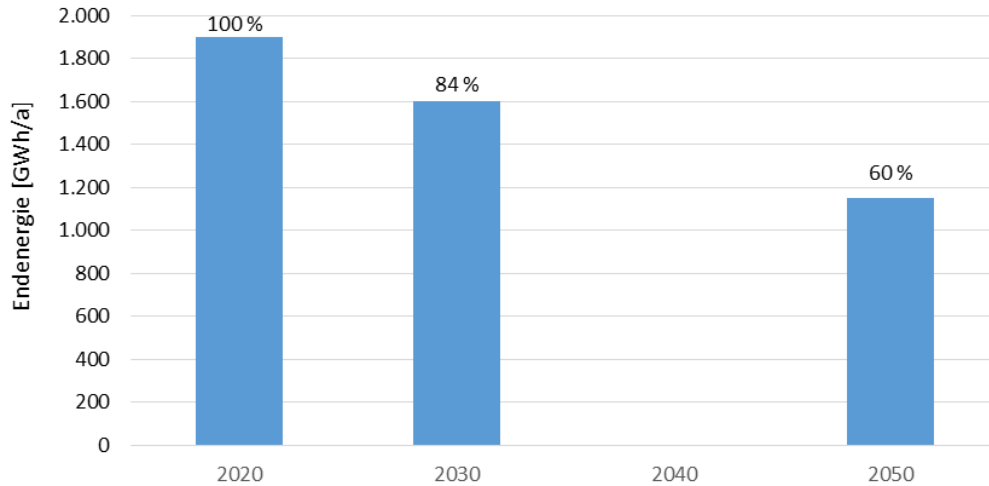


Abbildung 2-5: Entwicklung Endenergiebedarf Raumwärme und Warmwasser bis 2050

In der räumlichen Verteilung stellt sich die Wärmebedarfsentwicklung für die Stichjahre 2030 und 2050 wie folgt dar (Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7).

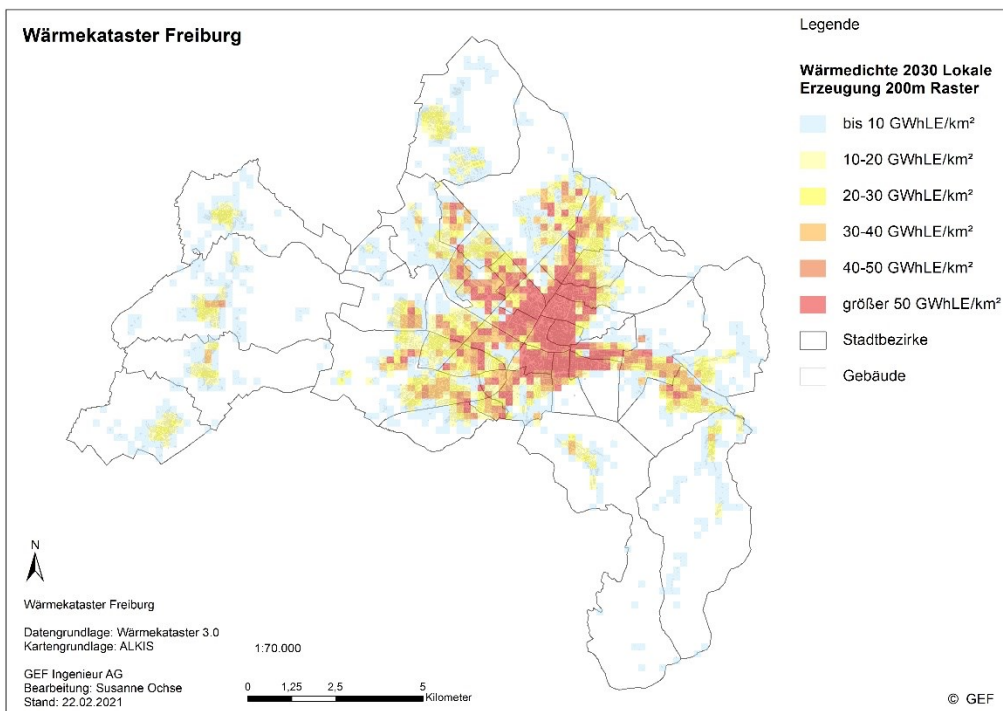


Abbildung 2-6: Wärmedichtekarte Freiburg 2030

Quelle: Wärmekataster Freiburg Version 3.0, Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

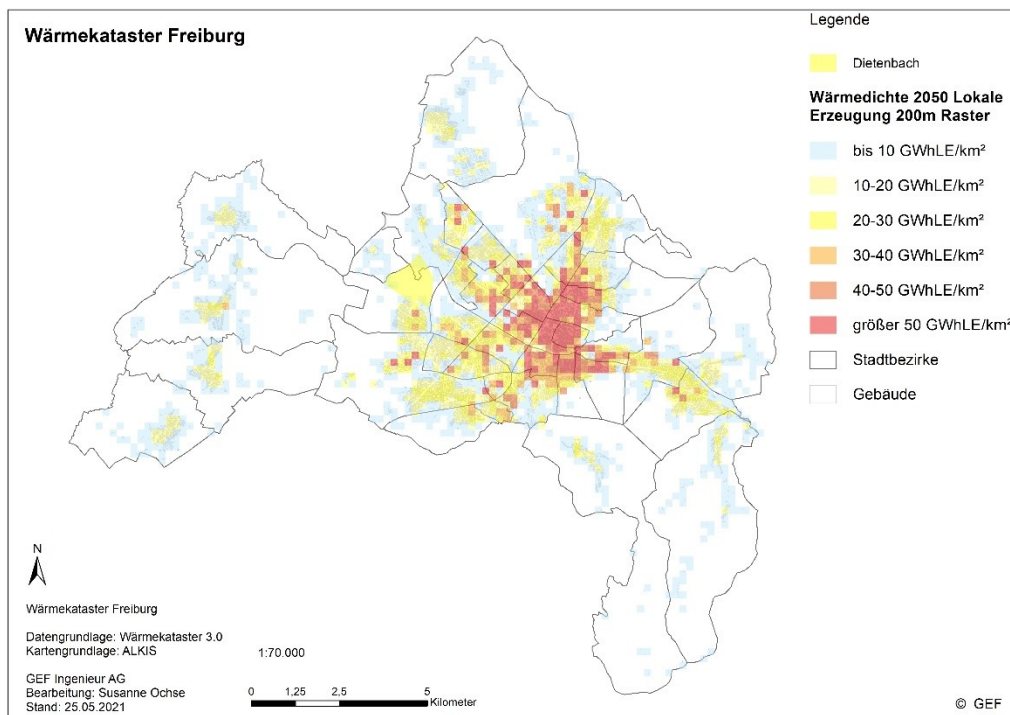


Abbildung 2-7: Wärmedichtekarte Freiburg 2050

Quelle: Wärmekataster Freiburg Version 3.0, Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

In diesem Szenario sind einheitliche Wärmerückgangsfaktoren für alle Gebäude unterstellt worden – unabhängig davon, ob es sich um Gebäude handelt, die Denkmalschutzbestimmungen oder Erhaltungssatzungen unterliegen oder nicht. Circa 20 % der beheizten Gebäude in Freiburg unterliegen gewissen Sanierungsrestriktionen aufgrund von Denkmalschutzbestimmungen (DS) oder Erhaltungssatzungen (ES). Auch Nachkriegsgebäude sind in der jüngsten Vergangenheit unter Schutz gestellt worden, was die Randbedingungen für ihre energetische Sanierung erheblich beeinträchtigt. Auch für diese Gebäude müssen Lösungen gefunden werden, wenn die Einsparziele im Bereich Raumwärme erreicht werden sollen.

Exkurs

Abschätzung der Auswirkungen von verringerter energetischer Sanierung in Gebäuden mit Denkmalschutz oder Erhaltungssatzung

Es werden zwei Abschätzungen durchgeführt. Bei einer wird unterstellt, dass die DS und ES-Gebäude gar nicht (Null-Sanierung) oder weniger stark als der restliche Gebäudebestand (Teil-Sanierung) energetisch saniert werden und im restlichen Gebäudebestand dafür keine Kompensation erfolgt. Entsprechend werden die Ziele für die Reduzierung des Wärmebedarfs nicht erreicht. Bei der anderen Abschätzung wird angenommen, dass der restliche Gebäudebestand noch ambitionierter saniert wird, um die geringere energetische Sanierung der DS- und ES-Gebäude auszugleichen (ohne Kompensation).

Annahmen

- Datenbasis Wärmekataster, als Gebäude mit Satzung werden Gebäude mit dem Merkmal „Erhaltungssatzung“ und „Erhaltungssatzung im Verfahren“ eingestuft (soziale und städtebauliche Erhaltungssatzungen). Als denkmalgeschützt werden alle als beheizt eingestuften Gebäude in Gebieten nach §2, §12 und §19 Landesdenkmalschutzgesetz angenommen (ca. 13 % der denkmalgeschützte Gebäude, ca. 5 % Gebäude mit Erhaltungssatzungen, in der Summe 18 % der Gebäude mit mehr als 20 % der beheizten Fläche).
- Szenario Teilsanierung: Wärmerückgang für Heizung bei denkmalgeschützten Gebäuden nur $\frac{1}{4}$ des Rückgangs im restlichen Bestand, bei Gebäuden mit Erhaltungssatzung nur $\frac{1}{2}$.
- Szenario Null-Sanierung: kein Wärmerückgang für Heizung bei denkmalgeschützten Gebäuden und Gebäuden mit Erhaltungssatzung bis 2050 (also: keine Effizienzmaßnahmen).
- Im Bereich Warmwassererzeugung finden Effizienzverbesserungen auch in Gebäuden mit Denkmalschutz oder Erhaltungssatzungen statt.

Ergebnisse der Abschätzung ohne Kompensation

Entwicklung Endenergie gesamt (alle Gebäude)	Standard-Annahme: Sanierung aller Gebäude	Szenario Teil-Sanierung DS und ES	Szenario Null-Sanierung DE und ES
Wärmebedarf Ist	100%	100%	100%
Wärmebedarf 2030	84%	87%	88%
Wärmebedarf 2050	60% (Ziel)	67% (Zielverfehlung)	70% (Zielverfehlung)

Ergebnisse der Abschätzung mit Kompensation

Entwicklung Endenergie	Wärmerückgang gesamt	Szenario Teil-Sanierung DS und ES		Szenario Null-Sanierung DS und ES	
		DS+ ES	Restliche Gebäude	DS+ ES	Restliche Gebäude
Wärmebedarf Ist	Alle Gebäude	100%	100%	100%	100%
Wärmebedarf 2050	60% (Ziel)	86%	50%	96%*	45%

*Leichter Rückgang durch Effizienzverbesserung im Bereich Warmwassererzeugung

Die Abschätzungen zeigen, dass die hohe Anzahl der denkmalgeschützten Gebäude und Gebäude mit Erhaltungssatzungen einen relevanten Einfluss auf die Erreichung der Effizienzziele im Gebäudebereich in Freiburg haben. Um die Effizienzziele im Gebäudebereich zu erreichen, wenn die geschützten Gebäude weniger oder fast gar nicht energetisch saniert werden, müssten die restlichen Gebäude die ohnehin ambitionierten Ziele nochmals übertreffen (Wärmerückgang auf 50 % oder 45 % im Vergleich zum Ist-Zustand). Daher sollte mit den Beteiligten intensiv nach Lösungen gesucht werden, um auch die geschützten Gebäude energetisch deutlich zu verbessern.

2.3 Wärmeversorgungsstruktur und Klimabilanz

Abbildung 2-8 zeigt die Anteile der Energieträger am Ist-Wärmeverbrauch der Stadt Freiburg von rund 1.900 GWh/a abgeleitet aus Daten aus der aktuellen Klimabilanz [ifeu 2020a].

**Endenergieträger-Anteile 2020
Raumwärme und Warmwasser**

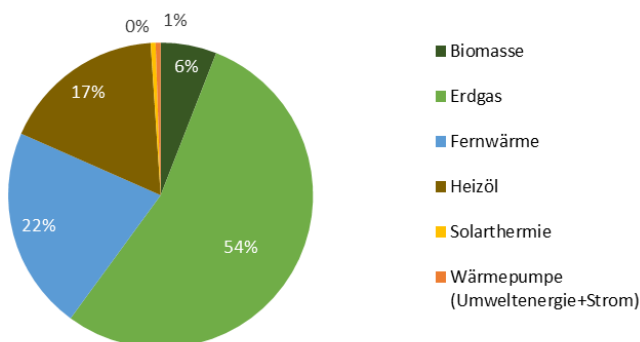


Abbildung 2-8: Anteile der Endenergieträger am Wärmeverbrauch

Mit über 50 % ist Erdgas der dominierende Energieträger in der Wärmeversorgung in Freiburg, gefolgt von der Fernwärme mit über 20 % und Heizöl mit 17 %. Der Anteil erneuerbarer Wärme liegt mit knapp 7 % noch niedrig.

2.3.1 Gasnetz-Infrastruktur

Das Gasnetz in Freiburg hat eine Netzlänge von rund 520 km und teilt sich in ein Hochdruck-, ein Mitteldruck- und ein Niederdrucknetz. Die Netze versorgen ca. 35.000 Kunden.

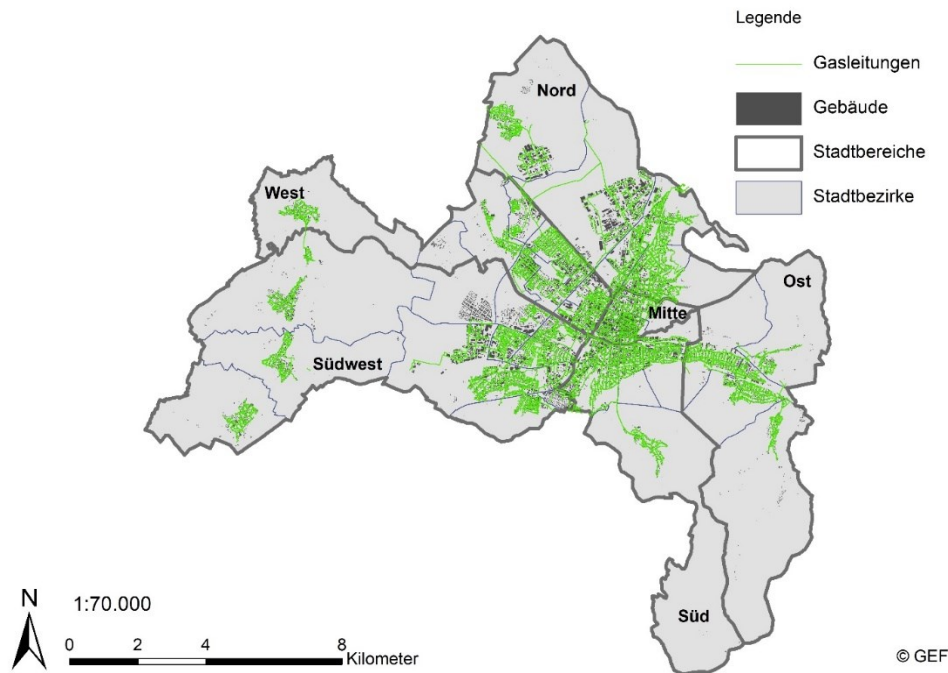


Abbildung 2-9: Gasnetzinfrastruktur in Freiburg

Quelle: Stadt Freiburg, Datenstand ca. 2010, Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

Abbildung 2-9 zeigt, dass das Gasnetz fast flächendeckend vorhanden ist. Ausnahmen bestehen in sehr dünn besiedelten Stadtgebieten wie z. B. Mundenhof und in Gebieten mit flächendeckender Fernwärme wie Rieselfeld oder Weingarten.

2.3.2 Wärmenetz-Infrastruktur

Freiburg hat über 30 Wärmenetze mit unterschiedlicher Größe und unterschiedlichen Betreibern, ein großes „Haupt“-Fernwärmenetz existiert – anders als in vielen anderen Großstädten – nicht. Das Universitätsklinikum Freiburg (UKF) und die Cerdia GmbH betreiben Dampfnetze, die restlichen Netze sind Heißwassernetze. Die badenovaWÄRMEPLUS betreibt mehr als zehn Netze, weitere Netzbetreiber sind die Freiburger Wärmeversorgung (FWV), die Energieversorgung Breisgau (EVB), die Wärme Süd-West (WSW), die GETEC und andere. Abbildung 2-10 gibt einen Überblick über die Lage der Wärmenetze und der Wärmeerzeugungsanlagen.

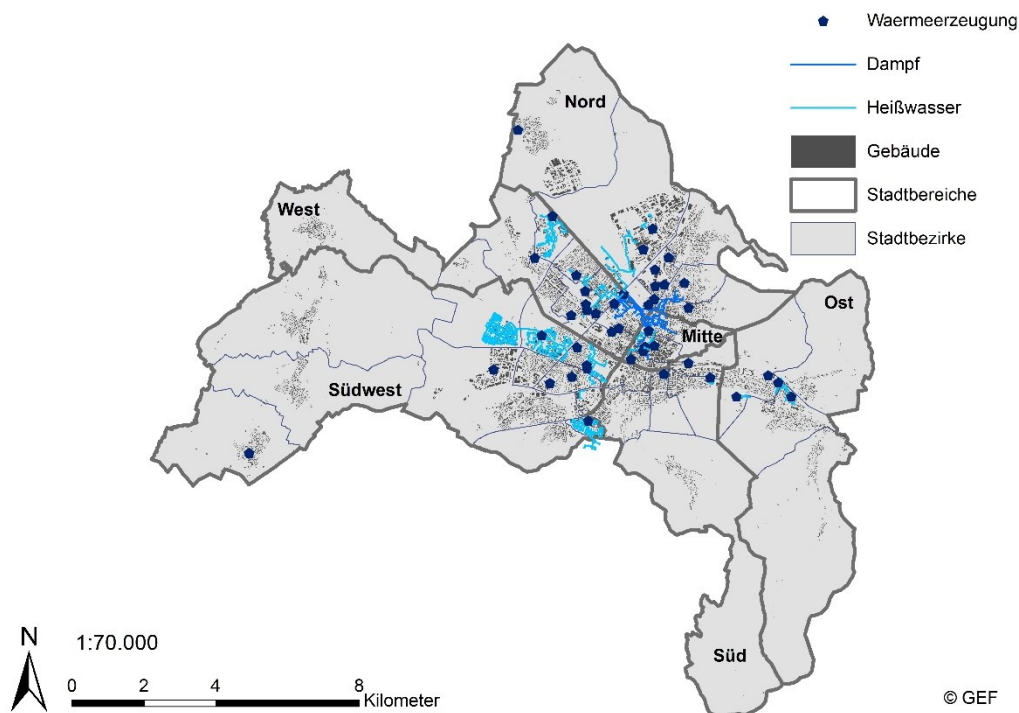


Abbildung 2-10: Wärmenetzinfrastruktur in Freiburg

Quelle: Stadt Freiburg, [badenova 2018], Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

Die größten Wärmenetze sind das Netz Weingarten der badenovaWÄRMEPLUS mit einer Trassenlänge von 54 km, das Dampfnetz des UKF und das Netz Vauban mit 17 km. Eckdaten zu den größten Netzen werden dem Auftraggeber in Form von Steckbriefen übergeben.

Die historisch gewachsenen Struktur der Wärmenetze hat sich so entwickelt, dass oft ganze Quartiere oder Neubaugebiete vorwiegend mit Fernwärme erschlossen wurden, so z. B. in Landwasser, Weingarten, Rieselfeld, Kreuzsteinäcker oder im Vauban.

2.3.3 Fernwärmestrategie

Eine der zentralen Vorarbeiten für den Masterplan ist die Fernwärmestrategie, die die badenova 2018 im Auftrag der Stadt eine Strategie für den kurz-, mittel- und langfristigen Fernwärmeausbau entwickelt hat [badenova 2018]. Die badenova plant, die Fernwärme in der Fläche auszubauen und bestehende Netze zu einem Verbund zusammenzuführen. Ein großes Fernwärmeverbundnetz kann einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung leisten, z. B. Nutzung erneuerbarer Energiequellen (z. B. tiefe Geothermie), durch Nutzung von Abwärme und Sektorkopplung. Da in Freiburg im Vergleich mit anderen Kommunen relativ wenig Gebiete mit einer parallelen Infrastruktur von Erdgas und Fernwärme existieren (s. Kapitel 2.3.2.), bedeutet ein Ausbau der Fernwärme zwangsläufig einen Anstieg von Parallelversorgung durch Gas und Fernwärme. Entsprechend stellen sich Fragen nach der Perspektive des Gasnetzes (s. dazu ausführlich Kapitel 4). Um hier eine Transformationsstrategie bis zur Klimaneutralität zu entwickeln, ist ein koordiniertes Vorgehen zwischen Stadt und Versorger sinnvoll, um die Kosten der Transformation – auch im Sinne der Kunden – zu optimieren.

Nach einer Ist-Analyse der Wärmenetz- und Gasnetz-Strukturen wurden ausgehend von den bestehenden Wärmenetzen Gebiete im Umfeld hinsichtlich der Eignung für einen Wärmenetze-Ausbau untersucht. Einbezogen in die Bewertung wurden u. a. die Gebäudestruktur, Wärmeabsatzpotenziale, die Länge von Wärme- und Gasnetzen im Gebiet, die vorhandenen Erzeugerstandorte und das Vorhandensein potentieller Großkunden („Ankerkunden“).

Im Ergebnis wurden 18 Gebiete definiert, die für eine weitere Untersuchung der Fernwärmeausweitung priorisiert sind (s. Abbildung 2-11). Die Untersuchungsgebiete werden auf zwei Ebenen kategorisiert. Es wird räumlich in Verdichtung, Ausbau und Neubau unterschieden sowie auf der zeitlichen Ebene in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Maßnahmen. Im Wärmemasterplan wird auf diese Fernwärmestrategie aufgebaut.

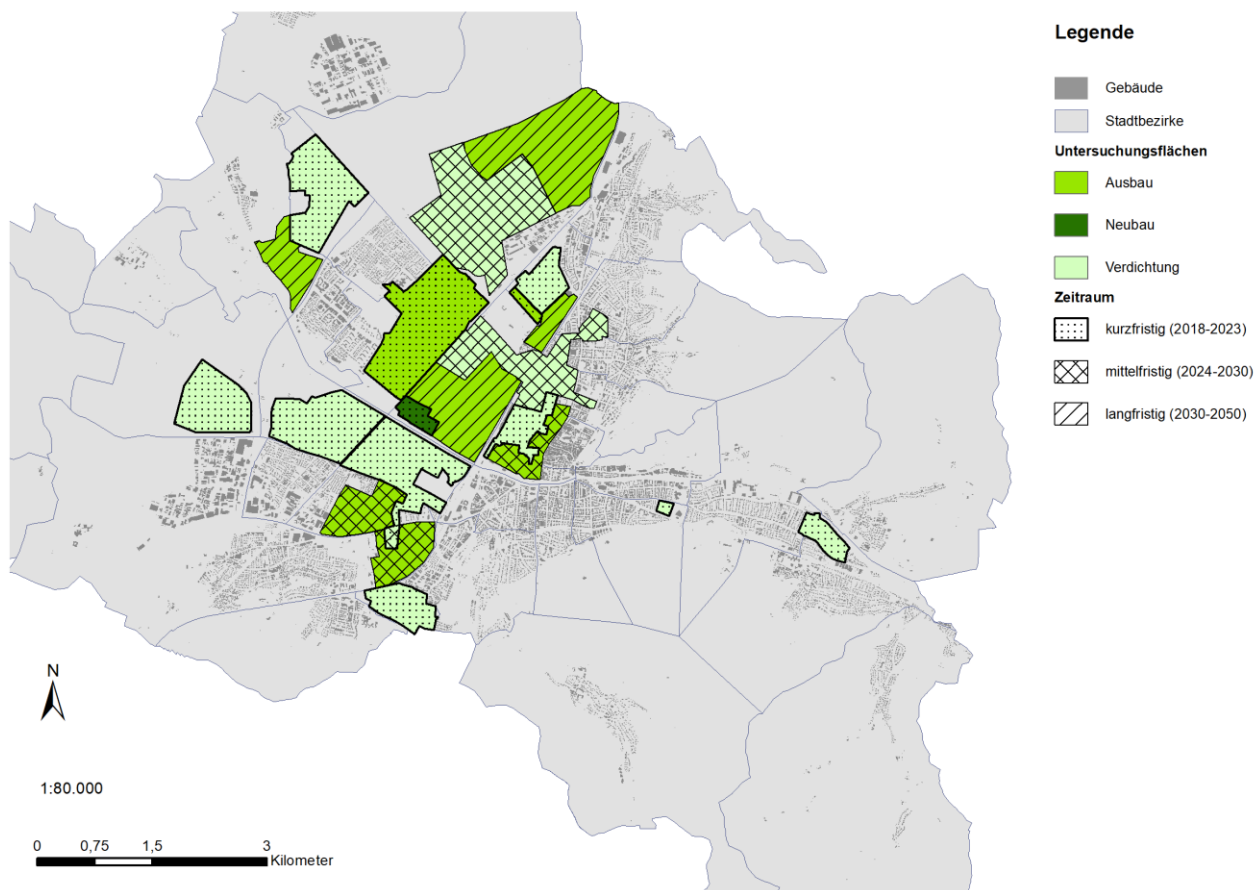


Abbildung 2-11: Untersuchungsgebiete Fernwärmestrategie

Quelle: [badenova 2018], Darstellung GEF

Für die geplanten Neubaugebiete Dietenbach und Zähringen einbeziehen sieht die Fernwärme-Strategie eine ergebnisoffene Prüfung des Fernwärmeausbaus vor. Die Erschließung weiterer Gebiete wird durch die Fernwärme-Strategie nicht ausgeschlossen.

2.4 Klimabilanz Wärmeversorgung 2020

Aus den ermittelten Energieträgeranteilen für Raumwärme und Warmwasser im Basisjahr 2020 (s. Abbildung 2-8 oben) ergeben sich Treibhausgas-Emissionen in Höhe von rund 444.000 t CO_{2äq.}

Treibhausgas-Emissionen Raumwärme und Warmwasser 2020

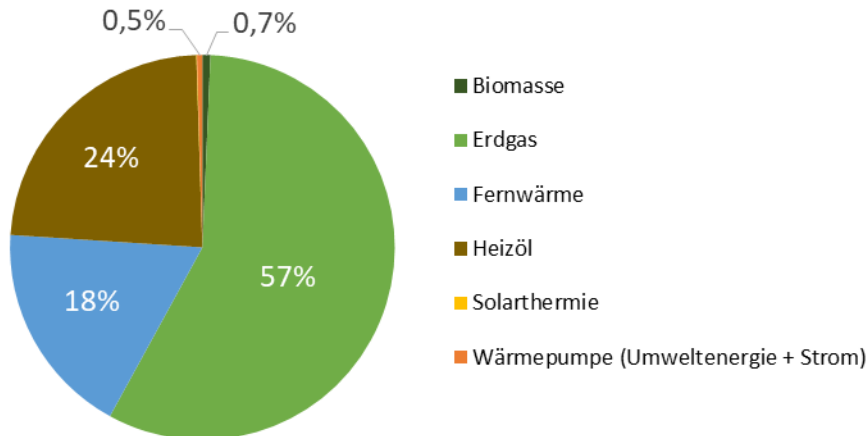


Abbildung 2-12: Treibhausgas-Emissionen Raumwärme und Warmwasser 2020

Erdgas als vorherrschender Energieträger trägt mit über 50 % zu den Emissionen bei, gefolgt von Heizöl und Fernwärme. Auch die Fernwärme in Freiburg nutzt bisher in einem hohen Maße Erdgas als Energieträger, sowohl in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als auch in Erdgaskesseln. Weitere Energieträger in der Fernwärmeerzeugung sind u. a. Biomasse (KWK und Kessel), industrielle Abwärme und Heizöl. Die Treibhausgas-Emissionsfaktoren sind in Anhang 8.1 dokumentiert.

3. Potenzialanalyse Erneuerbare Wärme und Abwärme

Bisher beruht die Wärmeversorgung in extremem Maße auf Ressourcen, die von außerhalb der Region importiert werden (Erdgas, Heizöl, ggf. auch Biomasse) und zum überwiegenden Anteil nicht erneuerbar sind. Die Potenzialanalyse soll ermitteln, welche erneuerbaren Quellen vor Ort zur Verfügung stehen, um fossile Energieträger zu ersetzen. Erneuerbare Energieträger können sowohl in der zentralen Wärmeversorgung über Wärmenetze eingesetzt werden als auch in der dezentralen Einzelversorgung.

Die Potenziale für Erneuerbare Energie sind für die Region Freiburg in [EARFR 2012] erhoben worden. Diese Untersuchung, die Freiburg inklusive seiner Ortsteile umfasst, wird für die Potenzialabschätzung herangezogen und durch weitere Quellen ergänzt. Allen Potenzialen ist gemeinsam, dass die Nutzung nicht nur vom Angebot, sondern auch von der Nachfrage abhängt. Wenn keine Nachfrage – z. B. nach Wärme im Sommer – gegeben ist, ist auch kein nutzbares Potenzial vorhanden. Die Abschätzungen stellen grobe Anhaltspunkte dar (z. T. theoretische Potenziale), können aber zu einer ersten Einordnung hinsichtlich der grundsätzlichen Möglichkeiten und räumlichen Verteilung von erneuerbaren Ressourcen zur Deckung des Wärmebedarfs dienen.

3.1 Erneuerbare Energien zur zentralen oder dezentralen Nutzung im Wärmebereich

Zentrale Wärmenetze: Die leitungsgebundene Wärmeversorgung bietet in räumlicher Hinsicht Flexibilität für die Einbindung erneuerbarer Energien. EE-Wärmequellen an verschiedenen Standorten und auf verschiedenen Temperaturniveaus können kombiniert und durch die Netze verbunden werden. Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über wichtige zur Einbindung in zentrale Wärmenetze geeignete erneuerbare Energieträger mit ihren Vorteilen und Restriktionen sowie einer Einschätzung zur Verfügbarkeit in Freiburg (s. detaillierter in den folgenden Kapiteln).

Tabelle 3-1: Erneuerbare Energiequellen und ihre Eignung für die zentrale Wärmeversorgung

	Vorteile	Restriktionen	Verfügbarkeit in Freiburg	Konkurrenz zu dezentraler Nutzung
Luft + Wärmepumpe	weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Lärmemissionen, technische Entwicklungen im Bereich Groß-Wärmepumpen zu erwarten, GWP Kältemittel Wärmepumpen, gegensätzlicher Verlauf COP zu Wärmebedarf bzw. Lufttemperatur profitiert von niedrigen Netztemperaturen	++	Nein
Solarthermie (Freiflächen-Anlagen)	Wärmegestehungskosten langfristig stabil, erprobte und ausgereifte Technik, hohe Solarstrahlung in Freiburg	Hoher Flächenbedarf, fluktuierend, Verfügbarkeit schwermäßig im Sommerhalbjahr profitiert von niedrigen Netztemperaturen	o wenig Freiflächen	Nein
Oberflächen-Gewässer (See, Fluss, Uferfiltrat) + Wärmepumpe	Bei großen Gewässern weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Restriktionen aus der Gewässernutzung, wenig große Pilotprojekte in Deutschland, technische	-- kein großes Oberflächengewässer	Nein

	Vorteile	Restriktionen	Verfügbarkeit in Freiburg	Konkurrenz zu dezentraler Nutzung
		Entwicklungen im Bereich Groß-Wärmepumpen zu erwarten, GWP Kältemittel Wärmepumpen profitiert von niedrigen Netztemperaturen		
Grundwasser + Wärmepumpe	weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Restriktionen aus der Nutzung, wenig große Pilotprojekte in Deutschland, technische Entwicklungen im Bereich Groß-Wärmepumpen zu erwarten, GWP Kältemittel Wärmepumpen profitiert von niedrigen Netztemperaturen	+ vorhanden, aber Nutzungskonkurrenz mit dezentralen Wärmepumpen	Ja
Abwasserkanal + Wärmepumpe	weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Restriktionen aus der Abwasserwirtschaft, wenig große Pilotprojekte in Deutschland, technische Entwicklungen im Bereich Groß-Wärmepumpen zu erwarten, GWP Kältemittel Wärmepumpen profitiert von niedrigen Netztemperaturen	o vorhanden, kaum Nutzungskonkurrenz mit dezentralen Wärmepumpen	wenig
Industrielle Niedertemperatur Abwärme + Wärmepumpe	Ggf. fluktuierend, je nach Abwärmequelle	Komplexität Akteure, ggf. fluktuierend, je nach Abwärmequelle, technische Entwicklungen im Bereich Groß-Wärmepumpen zu erwarten, GWP Kältemittel Wärmepumpen profitiert von niedrigen Netztemperaturen	+	Nein
Oberflächennahe Geothermie + Wärmepumpe	Ganzjährige Verfügbarkeit	Hoher Flächenbedarf, Regeneration erforderlich, technische Entwicklungen im Bereich Groß-Wärmepumpen zu erwarten, bei Wasser/Sole-WP Grundwasserschutz, GWP Kältemittel Wärmepumpen profitiert von niedrigen Netztemperaturen	- vorhanden, aber dezentrale Nutzung aufgrund Flächenproblematik einfacher	Nein
Tiefe Geothermie	ganzjährige Verfügbarkeit, ggf. auch mit Temperaturen > 100 °C	Fündigkeitsrisiko, profitiert von niedrigen Rücklauftemperaturen	++ Oberrheingraben ist attraktives Potenzialgebiet	Nein

	Vorteile	Restriktionen	Verfügbarkeit in Freiburg	Konkurrenz zu dezentraler Nutzung
Feste Biomasse (Holz)	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	begrenzte Potenziale, Emissionen, Anlieferung, Konkurrenz durch stoffliche Nutzung und für Hochtemperaturanwendungen	o begrenztes lokales Potenzial	Ja
Erneuerbare Gase	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	begrenzte Potenziale, hohe Konkurrenz durch stoffliche Nutzung, Hochtemperaturanwendungen, Mobilität	- stark begrenzt	Ja
Industrielle Hochtemperatur-Abwärme (Temperaturen ausreichend für Wärmenetz)	oft niedrige Wärmebezugskosten (besonders ungesicherte Wärme)	Komplexität Akteure, ggf. fluktuierend, je nach Abwärmequelle	-	Nein
Müllverbrennung	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen, nach Aufbereitung als Ersatzbrennstoff auch saisonale Verschiebung der Potenziale möglich	Aktuell nicht am Standort Freiburg, Emissionen, Anlieferung,	-	Nein
Klärschlammverbrennung	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	Aktuell nicht am Standort Freiburg, Emissionen, Anlieferung	-	Nein
Direktnutzung Erneuerbarer Strom (E-Kessel)	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	In Zukunft stärker auf Basis fluktuierender EE, hohe Konkurrenz durch andere Nutzungen (u. a. Mobilität, Hochtemperatur-Nutzungen)	- Potenzial begrenzt	Ja
Abwärme aus Elektrolyseur	Abwärmennutzung aus der Elektrolyse in Wärmenetzen sinnvoll	Zukünftige Entwicklung bzgl. Kapazitäten und Standorten unsicher	?	Nein
<i>Saisonale Speicherung (ergänzend zu EE-Quelle)</i>	<i>Beitrag zur saisonalen Verschiebung von Potenzialen</i>	<i>hoher Flächenbedarf</i>	?	

Angesichts des generell als begrenzt eingeschätztem Potenzial an erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung sollten für Wärmenetze vorrangig solche Quellen genutzt werden, die

- a) „Abfall“produkte nutzen (z. B. Abwärme, Müllverbrennung, Klärschlammverbrennung)
- b) vor Ort verfügbar sind (z. B. Abwasserkanal, Grundwasser, tiefe Geothermie, oberflächennahe Geothermie, Solarthermie)
- c) bei denen keine Nutzungskonkurrenz zur dezentralen Nutzung besteht („Abfall“produkte, tiefe Geothermie, mit Einschränkung – aufgrund des hohen Flächenbedarfs bei großen Netzen – auch oberflächennahe Geothermie)

In Kapitel 5.4 wird für große Wärmenetze in Freiburg exemplarisch die Einbindung erneuerbarer Wärme in das Versorgungssystem untersucht.

Dezentrale Einzelversorgung: In Tabelle 3-2 sind die Vorteile, Restriktionen und Verfügbarkeit erneuerbare Energiequellen dargestellt, die für die Einzelversorgung von Gebäuden geeignet sind.

Tabelle 3-2: Erneuerbare Energiequellen und ihre Eignung für die dezentrale Wärmeversorgung

	Vorteile	Restriktionen	Verfügbarkeit in Freiburg
Luft + Wärmepumpe	weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Lärmemissionen, GWP Kältemittel Wärmepumpen, profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	++
Solarthermie (Dachanlagen)	Wärmegestehungskosten langfristig stabil, erprobte und ausgereifte Technik, hohe Solarstrahlung in Freiburg	fluktuierend, Verfügbarkeit schwermäßig im Sommerhalbjahr (d.h. keine monovalente Vollversorgung möglich), profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	++
Grundwasser + Wärmepumpe	weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	nicht in allen Gebieten der Stadt möglich, Restriktionen aus der Trinkwassergewinnung, Platzbedarf für zwei Bohrungen, GWP Kältemittel Wärmepumpen, profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	+
Oberflächennahe Geothermie + Wärmepumpe	Ganzjährige Verfügbarkeit	nicht in allen Gebieten der Stadt möglich, Platzbedarf, bei Wasser/ Sole-WP Grundwasserschutz, GWP, GWP Kältemittel Wärmepumpen, profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	+
Feste Biomasse (Holz)	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	begrenzte Potenziale, Platzbedarf für Brennstofflager, Emissionen, Anlieferung, Konkurrenz durch stoffliche Nutzung und für Hochtemperaturanwendungen	- stark begrenzt
Erneuerbare Gase	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	begrenzte Potenziale, hohe Konkurrenz durch stoffliche Nutzung, Hochtemperaturanwendungen, Mobilität	- stark begrenzt
Direktnutzung Erneuerbarer Strom (E-Kessel, Heizstab, elektrischer Durchlauferhitzer Warmwasser)	Ganzjährige Verfügbarkeit, auch mit hohen Temperaturen	In Zukunft stärker auf Basis fluktuierender EE, hohe Konkurrenz durch andere Nutzungen (u. a. Mobilität, Hochtemperaturanwendungen)	o Potenzial begrenzt
Abwasserkanal + Wärmepumpe	weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Nur entlang großer Abwasserkanäle, aufgrund der höheren Aufwands zur Erschließung des EE-Potenzials eher für Gebäude mit größerer Heizleistung geeignet, Restriktionen aus der Abwasserwirtschaft, GWP Kältemittel Wärmepumpen, profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	++

	Vorteile	Restriktionen	Verfügbarkeit in Freiburg
Abwärme + Wärmepumpe	Ggf. fluktuierend, je nach Abwärmequelle	Komplexität Akteure, ggf. fluktuierend, je nach Abwärmequelle, GWP Kältemittel Wärmepumpen, profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	?
Oberflächen-Gewässer (See, Fluss, Uferfiltrat) + Wärmepumpe	Bei großen Gewässern weitgehend ganzjährige Verfügbarkeit, nicht/wenig fluktuierend	Restriktionen aus der Gewässernutzung, GWP Kältemittel Wärmepumpen, profitiert von niedrigen Versorgungstemperaturen	-- kein großes Oberflächen-gewässer

Die beiden Tabellen zeigen, dass es sowohl für die zentrale als auch für die dezentrale Nutzung erneuerbarer Energiequellen eine Vielzahl an Möglichkeiten gibt. Das Freiburger Stadtgebiet kann hier auch auf eine Anzahl von Quellen zurückgreifen, die in anderen Regionen Deutschlands nicht in diesem Maße zur Auswahl zu Verfügung stehen (z. B. tiefe und oberflächennahe Geothermie, Grundwasser, Solarthermie). Es wird jedoch auch deutlich, dass es die „eierlegende Wollmilchsau“ unter den erneuerbaren Energiequellen nicht gibt. Besonders im Vergleich mit dem heute dominierenden Erdgas bedeutet eine Umstellung auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung einen Transformationsaufwand. Hier kann es – klimapolitisch, technisch und wirtschaftlich – sinnvoll sein, die Transformation in mehreren Schritten umzusetzen und zeitnah eine fossile Wärmeerzeugung mit einer erneuerbaren Erzeugung zu ergänzen (bivalente statt monovalente Wärmeerzeugung). Bund, Land und auch die Stadt Freiburg bieten Förderprogramme an, die die Umstellung auf eine erneuerbare Wärmeversorgung unterstützen.

3.2 Luft

Luft zur Nutzung als Umweltenergie mittels Wärmepumpen steht überall zur Verfügung, eine Potenzialabschätzung erfolgt nicht. Luft als Wärmequelle kann sowohl in der dezentralen Einzelversorgung als auch in Kombination mit Großwärmepumpen als Einspeisung für Wärmenetze genutzt werden.



© PlanEnergi

Abbildung 3-1: Ventilator-Einheiten für große Luft-Wärmepumpe

In Dänemark werden bereits Großanlagen mit rund 15 MW_{th} realisiert, aufgrund der Schallemissionen der Luftansaugung mit Lärmschutzwällen und außerhalb von Ortschaften.

3.3 Solarthermie

Für die Abschätzung des Solarthermiepotenzials wird in [EARFR 2012] im ersten Schritt angenommen, dass ein Anteil von 25 % der Gebäude-Grundfläche grundsätzlich für Solaranlagen nutzbar ist (nur Gebäude > 50 m² Grundfläche einbezogen). Die Abschätzung für das Solarthermie-Potenzial erfolgt unter Einbeziehung der Wärmenachfrage für einen Deckungsanteil an Warmwasser und Raumwärme in den Haushalten. Über einen spezifischen Kollektorsertrag (400 kWh/m²a) wird eine notwendige Kollektorfläche/Dachfläche ermittelt. Insgesamt wird das Solarthermie-Potenzial auf Dachflächen für Freiburg mit ca. 150 GWh/a abgeschätzt.

Die Eignung von Dachflächen für die Installation einer Solaranlage wird im Rahmen der Geodatenauskunft der Stadt Freiburg (FreiGIS) im Projekt FREESUN [STFR 2010] dargestellt.

Der Energieatlas des Landes Baden-Württemberg [LUBW 2018] weist für Freiburg mögliche Flächen für PV-Freiflächenanlagen aus (insgesamt ca. 230 ha).

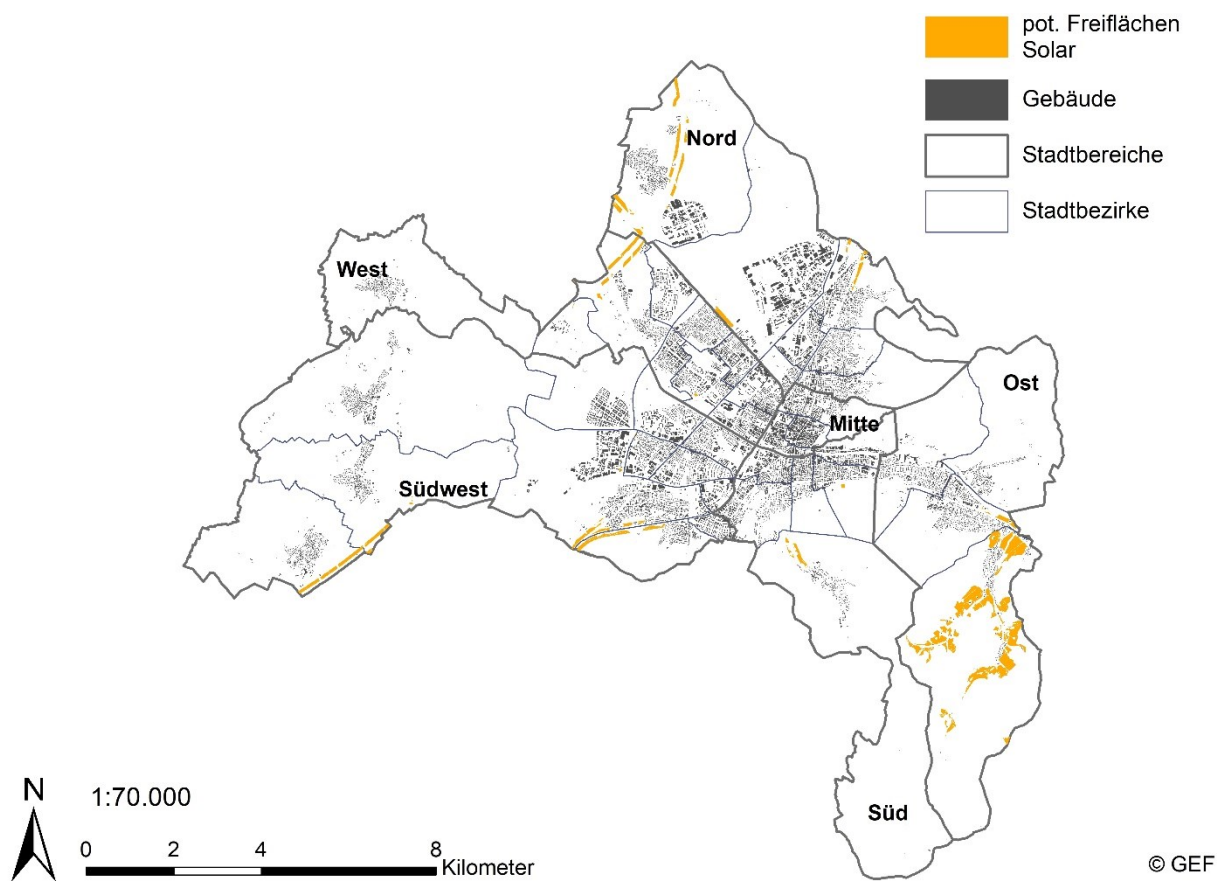


Abbildung 3-2: Potenzielle Freiflächen für Solaranlagen

Wenn der Abstand zu bestehenden oder künftig errichteten Wärmenetzen nicht zu groß ist, könnten diese Flächen auch für eine Nutzung von Freiflächen-Solarthermie zur Einspeisung in Wärmenetze geprüft werden.

3.4 Tiefe Geothermie

Abbildung 3-3 zeigt eine Übersicht über die Temperaturen, die in Baden-Württemberg in 2.500 m Tiefe zur erwarten sind und für tiefe Geothermie genutzt werden können.

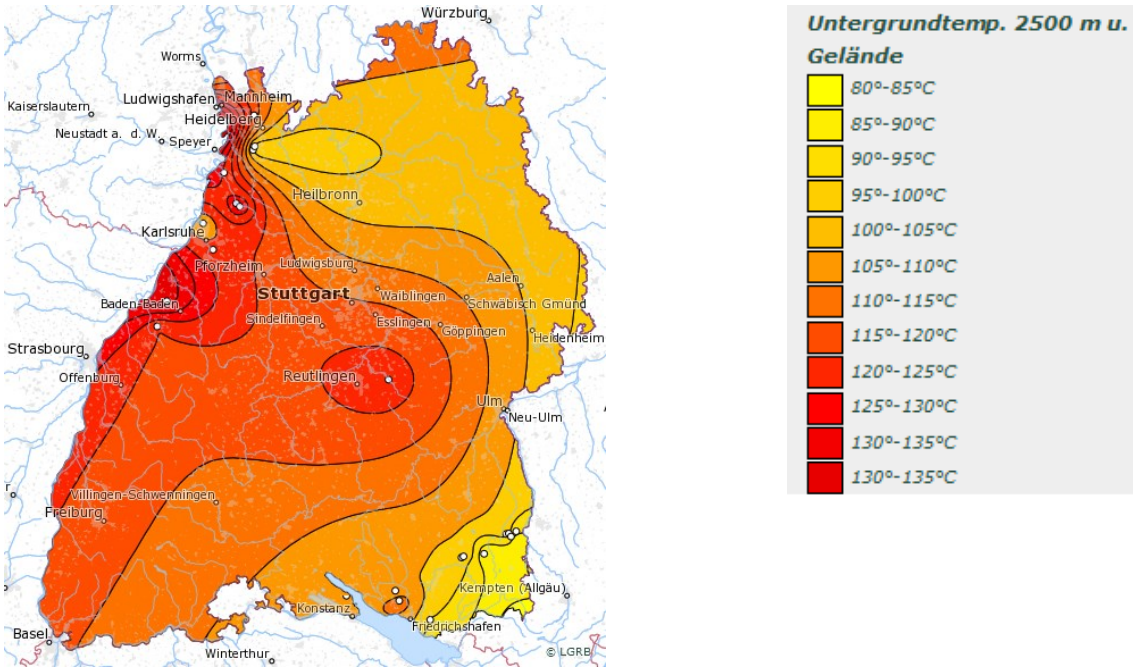
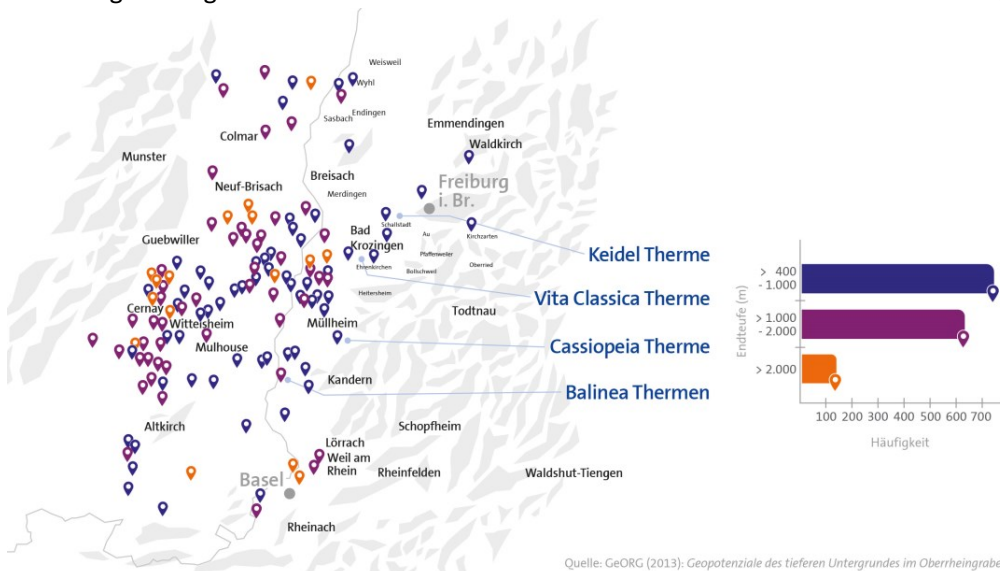


Abbildung 3-3: Untergrundtemperaturen Baden-Württemberg 2500 m unter Gelände

Quelle: LGBR 2020b

Besonders der Oberrheingraben zählt zu den Regionen in Deutschland mit einem erheblichen Potenzial für die tiefe Geothermie. In der Region Freiburg liegt die Untergrundtemperatur in 2.500 m Tiefe bei über 110 °C. Diese Temperatur ist gut geeignet für eine Nutzung in Wärmenetzen.

Abbildung 3-4 zeigt eine Übersicht über bestehende Standorte von Geothermie-Bohrungen am Oberrheingraben.



Quelle: GeORG (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben

Abbildung 3-4: Bohrungen am Oberrhein

Quelle: badenovaWÄRMEPLUS, (verschiedenen Bohrtiefen farbig unterschieden)

Um die hydrothermalen Potenziale in der Region Freiburg, Breisach und Müllheim näher zu erkunden, hat die Wärmeplus im November 2020 beim Regierungspräsidium Freiburg eine entsprechende Erlaubnis zur Erkundung („Aufsuchung“) beantragt. Diese wurde im April 2021 erteilt. Abbildung 3-5 zeigt das Aufsuchungsgebiet.



Abbildung 3-5: Aufsuchungsgebiet zur Erkundung der tiefen Geothermie

Quelle: badenovaWÄRMEPLUS

Vorab durchgeführte Potenzialabschätzungen haben ergeben, dass ein Geothermie-Heizwerk mit $50 \text{ MW}_{\text{th}}$ jährlich ca. 400 GWh Wärme bereitstellen könnte.

3.5 Oberflächennahe Geothermie

Auch Potenzial oberflächennaher Geothermie wird in Abhängigkeit der Wärmenachfrage für Raumwärme und Warmwasser für Haushalte ermittelt [EARFR 2012]. Die geeignete Bodenfläche wird unter Einbeziehung der freien Siedlungsfläche und der Ausschlussgebiete (Wasserschutzzonen) abgeschätzt. Bei einer maximalen Belegung mit Erdsonden (100 Sonden/ha), einem spezifischen Wärmeertrag von 87 W/m Erdwärmesonde (durchschnittlich 70 m Tiefe) und einer angenommenen JAZ von $3,5^7$ ergibt sich ein möglicher Wärmeertrag von ca. 200 GWh/a.

⁷ Annahme: komplett sanierter Gebäudebestand

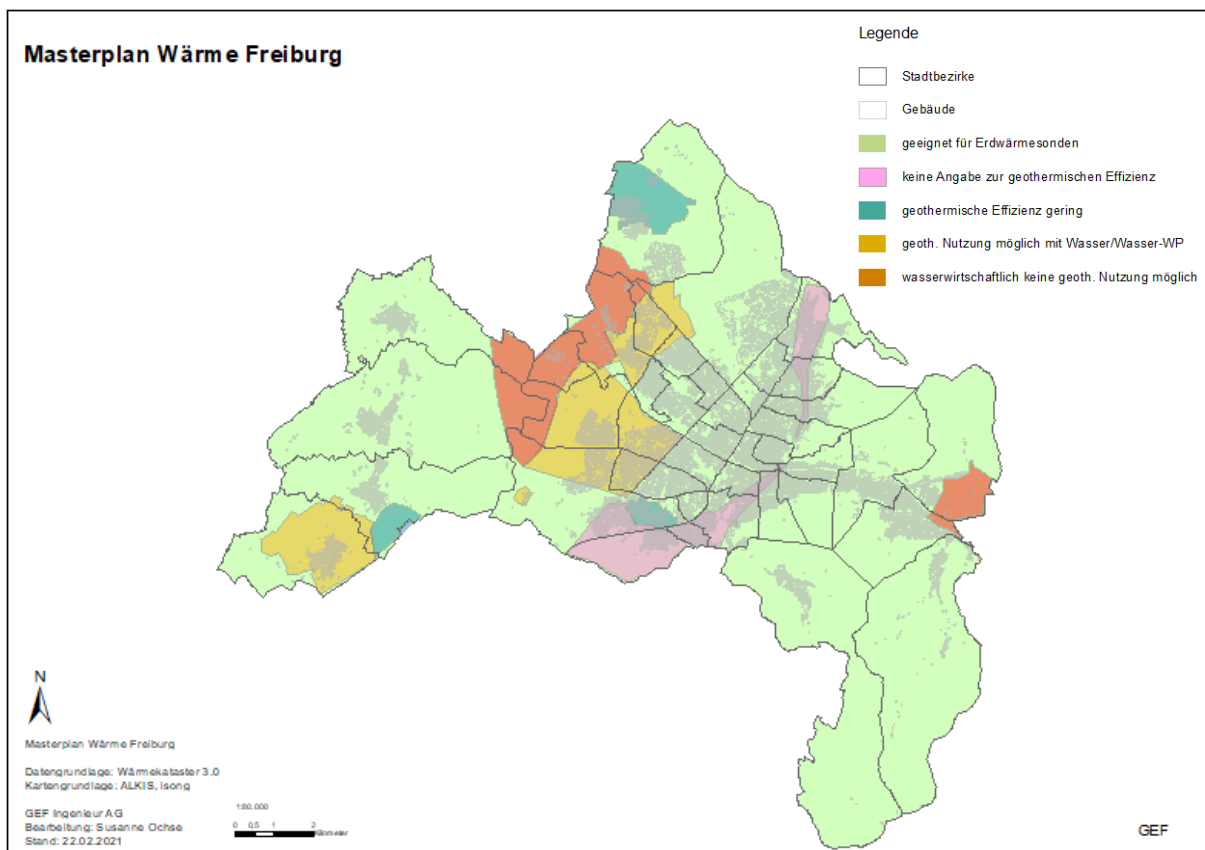


Abbildung 3-6: Eignungsgebiete Erdwärmesonden

Datenquelle: Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de, isong

Abbildung 3-6 gibt einen Überblick über Eignungsgebiete für Erdwärmesonden (grüne Gebiete, gelbe Gebiete mit Einschränkung, rote Gebiete Ausschluss) auf Basis des Informationssystems Oberflächennahe Geothermie ISONG [LGRB 2021]. In Teilen von Freiburg ist lt. ISONG für die Realisierung von Erdwärmesonden eine Einzelfallprüfung notwendig (dies betrifft auch Eignungsgebiete).

3.6 Umweltwärme aus dem Grundwasser

In Freiburg bestehen aufgrund der vorhandenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, Mächtigkeit Grundwasserleiter, Flurabstand etc.) in den meisten Stadtteilen gute Voraussetzungen für die Nutzung von Grundwasser als Umweltenergiequelle für Wärmepumpen.

Die Durchlässigkeiten des Grundwasserleiters können sich im Freiburger Stadtgebiet dennoch lokal unterscheiden, sodass die potenzielle Grundwassernutzung lokal am Standort geprüft werden muss. Grundwasserwärmepumpen können sich aufgrund von Absenkungen und Temperaturfahnen gegenseitig beeinflussen. Es ist daher trotz der guten Voraussetzungen immer eine Einzelfallbetrachtung notwendig.

Die Nutzung von Grundwasser und Erdwärme zur Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen/-tauschern wird in Freiburg bereits vielfach praktiziert. Abbildung 4-2 zeigt die räumliche Verteilung von Erdwärmesonden und Grundwasserwärmeanlagen über das Stadtgebiet.

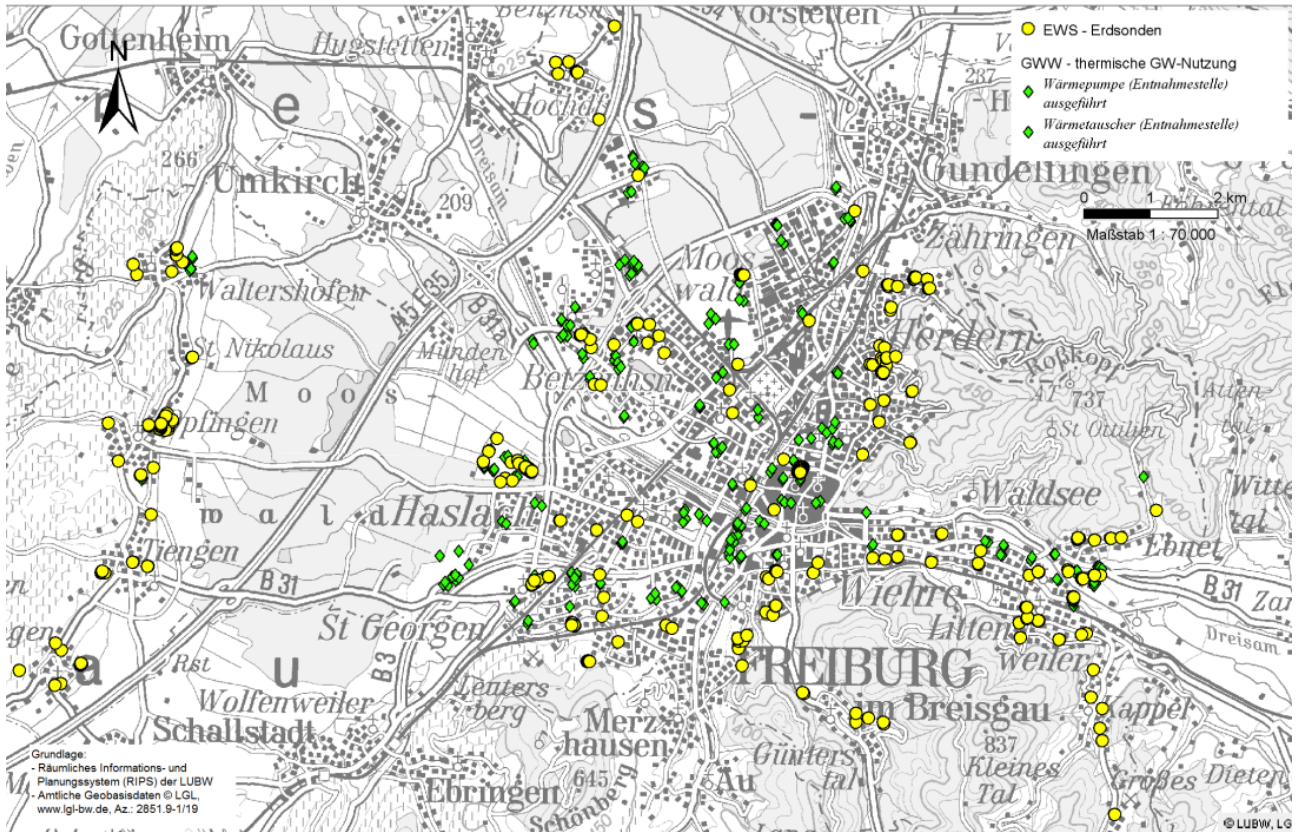


Abbildung 3-7: Übersichtskarte Umweltenergie-Nutzung (grün – Grundwasser, gelb – Erdwärmesonden)

Quelle: Umweltschutzamt Stadt Freiburg

In den Tuniberg-Gemeinden sowie in Günterstal und im Kapplertal ist eine Grundwasserwärmenutzung aufgrund der (hydro-)geologischen Voraussetzungen nur sehr eingeschränkt bzw. nicht möglich.

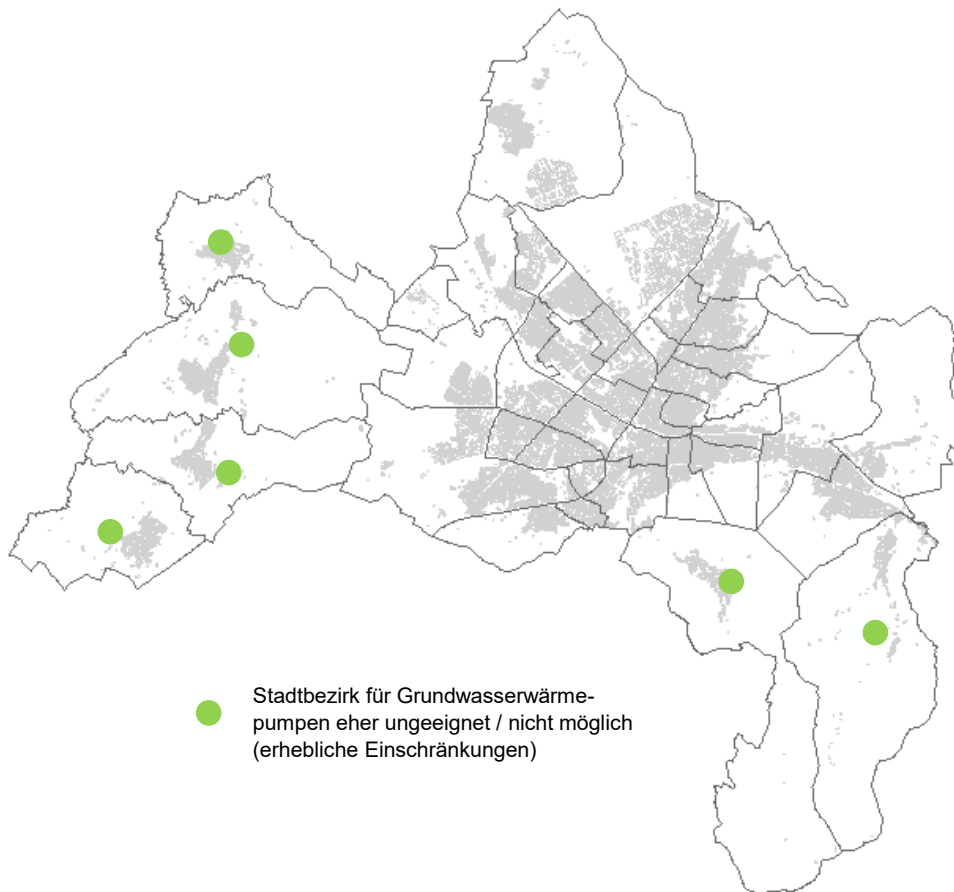


Abbildung 3-8: Eignungsgebiete für thermische Grundwassernutzung (Raumbezug: Stadtbezirk)

Quelle: Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

Für den neuen Stadtteil Dietenbach wird die Grundwassernutzung ebenfalls als eine mögliche Variante in einem Energiekonzept untersucht.

3.7 Biogas und Biomasse

Die Abschätzung des Biogas-Potenzials basiert auf Abschätzung zur Anbaufläche für Energiepflanzen und zum Anfall von Wirtschaftsdünger [EARFR 2012]. Mit 5 GWh/a liegt das Potenzial für die Großstadt Freiburg erwartbar niedrig.

Seit 2007 werden Speisereste und Lebensmittelabfälle aufbereitet, seit 2011 ist auf dem Gelände der ehemaligen Hausmülldeponie Eichelbuckel eine Anlage zur Vergärung der Biotonneninhalte in Betrieb. Das Biogas aus der Vergärung wird gemeinsam mit dem Deponiegas zur KWK-Wärmeerzeugung im Wärmenetz Landwasser genutzt [STFR 2017]. Die Deponiegasmengen sind seit 2005 rückläufig.

Seit 2017 wird der in Freiburg gesammelte Grünschnitt zu Holzhackschnitzeln und Pflanzenkohle verarbeitet. Die Potenzialanalyse [EARFR 2012] ermittelt ein Potenzial von rund 55 GWh/a (obere Abschätzung) unter Einbeziehung von Waldrestholz, Sägereis- und Industrieholz, Landschaftspflegeholz, Rebholz und Kurzumtriebsholz.

3.8 Abwärme

Die Datenbasis des Forschungsprojektes NENIA [ifew 2019a] weist die Unternehmen Pfizer und Cerdia im Industriegebiet Nord als mögliche Quellen für industrielle Abwärme aus. Bereits heute erfolgt durch die WÄRMEPLUS eine Abwärmeauskopplung von 6 MW Niedertemperaturabwärme aus dem Standort der Cerdia GmbH mit 48 °C in Richtung Messe und Stadion [Öko 2019]. Weitere Abwärmemengen, z. T. auf niedrigerem Temperaturniveau, sind lt. Cerdia vorhanden (> 20 MW), eine Nutzung in Wärmenetzen soll geprüft werden (s. Maßnahmenkatalog).

Im Heizkraftwerk des Uniklinikums Freiburg (UKF) ist seit 2012 eine Auskopplung von Wärme aus dem Rauchgas installiert, aus der mit rund 25 GWh/a die Weststadt (u. a. West-Arkaden, Polizeipräsidium) mit Fernwärme versorgt wird (s. Kapitel 5.4.3).

Eine Nutzung von Abwärme für die Wärmeversorgung ist vom Standort der Schwarzwaldmilch in Haslach aus geplant. Aus ca. 4 MW Abwärmeleistung können bei einer Nutzungsdauer von 4.000 Stunden im Jahr 16 GWh Wärme ausgekoppelt werden. Die Realisierung durch die badenovaWÄRMEPLUS hat 2021 begonnen (s. auch Kapitel 5.4.2). Auch hier kann die Abwärmeauskopplung ggf. zukünftig noch erhöht werden.

Weitere Abwärmequellen können aus Kühlanwendungen resultieren (Kühl- und Tiefkühlanlagen, große Rechenzentren, Klimatisierung). Bei der Planung neuer Rechenzentren sollten Optionen zur Nutzung der Abwärme im Gebäude oder in (Nah)-Wärmenetzen bei der Konzeption einbezogen werden, z. B. durch Realisierung einer Wasserkühlung, die höhere und damit besser nutzbare Abwärmepotenziale aufweist.

Zukünftig könnten auch Großanlagen zur Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse, ggf. mit anschließender Methanisierung eine Abwärmequelle darstellen. Eine Errichtung solcher Anlagen an Standorten, an denen die Abwärme in Wärmenetzen genutzt werden kann, erhöht deren Effizienz. Hier ist zu prüfen, ob die Errichtung solcher Anlagen an geeigneten Standorten in Freiburg eine Option sein könnte⁸.

Eine detailliertere Erhebung von Abwärmepotenzialen erfolgt im Rahmen der Masterplan-Erstellung nicht, sondern soll in Form eines Abwärmekatasters realisiert werden (s. Maßnahmenplan).

3.9 Abwärme aus Abwasser

Abwasserkanäle mit ausreichendem Mindestdurchfluss (15 l/s mittlerer Trockenwetterabfluss) können ebenfalls als Abwärmequelle genutzt werden. Für größere Gebäude (Heizlast > 100 kW) mit einem Abstand von max. 300 m vom Kanal, kann der nachträgliche Einbau eines Wärmetauschers in den Kanal eine Option sein, um die Wärmeenergie des Abwassers mittels Wärmepumpe für die Gebäudeheizung zu nutzen.

Auch auf der Kläranlage oder im Ablauf der Kläranlage bestehen grundsätzlich Möglichkeiten zur Nutzung von Abwasserwärme. Die Kläranlage des Abwasserzweckverbandes Breisgauer Bucht befindet sich jedoch ca. 20 km außerhalb von Freiburg, so dass diese Option für Freiburg aufgrund der zu großen Entfernung nicht besteht.

Der Abwasserzweckverband hat untersuchen lassen, welche Bereiche des Verbands-Kanalsystems grundsätzlich für die Nutzung von Abwasserwärme in Frage kommen (Klinger 2010). Als Kriterien wurden ein mittlerer Trockenwetterabfluss von mindestens 15l/s zugrunde gelegt und eine Mindestnenntweite von DN 800, um einen nachträglichen Einbau eines Wärmetauschers zu erlauben. In Abbildung 3-9 sind die Potenzialgebiete in roter Schraffierung dargestellt.

⁸ Im Energiekonzept für Dietenbach wird die Integration eines Elektrolyseurs aktuell untersucht.

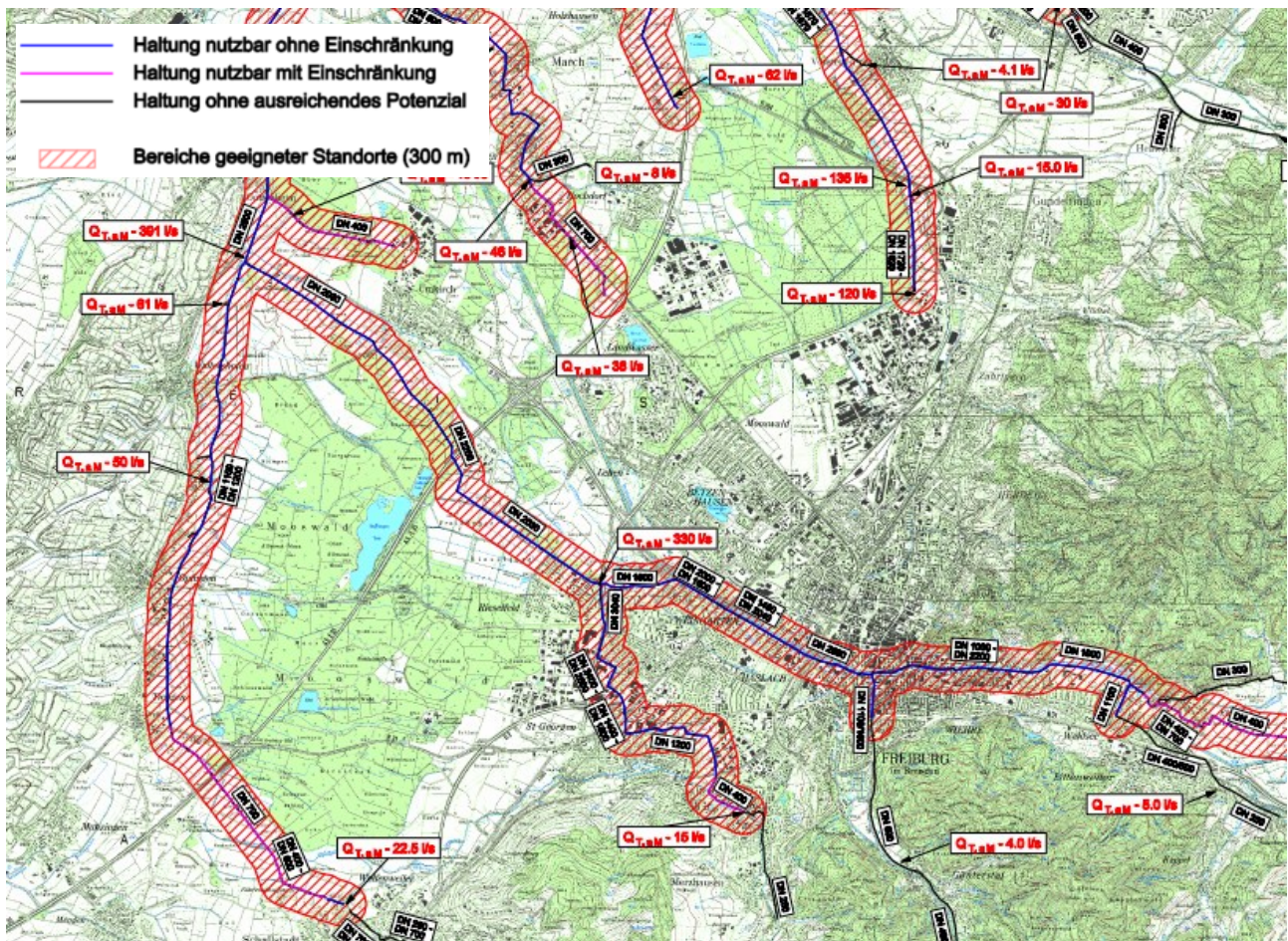


Abbildung 3-9: Potenzialgebiete für die Nutzung von Abwärme aus dem Abwasserkanal (300 m Abstand)

Quelle: Klinger 2010

Das Potenzial wurde in der Studie nicht quantifiziert, da hierzu weitere Angaben (z. B. über die hydraulische Auslastung der Kanäle, das Gefälle) notwendig sind. Diese Angaben müssen im Rahmen von Machbarkeitsstudien für Einzelobjekte ergänzt werden (so z. B. erfolgt für den neuen Stadtteil Dietenbach). Sinnvoll sind darüber hinaus Messungen des Jahrestemperaturverlaufs des Abwassers und der Trockenwetterabfluss in räumlicher Nähe am geplanten Ort des Wärmetauschers.

Ein Vergleich der Abwassertemperaturen am Zulauf der Kläranlage zeigt, dass die Temperaturen im Vergleich mit anderen Kläranlagen in Baden-Württemberg eher hoch liegen (Ursache: tiefe Verlegung der Hauptsammler) und das Abwasser daher überdurchschnittlich gut für die energetische Nutzung geeignet scheint (Klinger 2010).

3.10 Sonstige

Oberflächengewässer: In Freiburg fehlen große Oberflächengewässer, die als Umweltwärmequellen zur Wärmeversorgung genutzt werden könnten. Die Dreisam wird aufgrund niedriger Abflüsse und Niedrigwasserperioden bei Trockenheit [HVZ 2021] als wenig geeignet eingestuft. Weitere Oberflächengewässer (Bäche, Seen) können möglicherweise zur Wärmeversorgung von Einzelobjekten oder Nahwärmeinseln genutzt werden, werden aber bei dieser stadtweiten Analyse nicht näher betrachtet.

Müll: Der Müll aus Freiburg sowie aus den Landkreisen Breisgau-Hochschwarzwald und Emmendingen wird im Auftrag der Gesellschaft Abfallwirtschaft Breisgau mbH (GAB) in der ca. 20 km entfernten Gemeinde Eschbach thermisch verwertet. Die Thermische Restabfallbehandlungs- und Energieerzeugungsanlage (TREA) kann aktuell 15 MW Strom erzeugen und 20 MW Fernwärme auskoppeln. Grundsätzlich stehen 160 GWh Wärme zur Verfügung [TBE 2021]. Ein benachbarter Gewerbepark wird über ein Wärmenetz mit ca. 3 MW Fernwärme versorgt [Plazzo 2017]. Ein Großteil der Wärme bleibt bisher ungenutzt. Ähnlich wie bei der Kläranlage steht die erhebliche Entfernung der TREA von Freiburg einer wirtschaftlichen Nutzung der Abwärme aus der Müllverbrennung in der Stadt aktuell entgegen. Im Zeithorizont bis 2050 kann geprüft werden, ob die Müllverbrennung an die Wärmesenke Freiburg verlagert werden kann.

3.11 Zusammenfassung

In Tabelle 3-3 sind die ermittelten Potenziale zur erneuerbaren Wärmeversorgung zusammengestellt. Die grob überschlägige Abschätzung der technischen Potenziale zeigt, dass die quantifizierten Potenziale niedriger liegen als der geschätzte Wärmeverbrauch für den Ist-Zustand (1.900 GWh_{EE}/a) und auch als der für 2050 abgeschätzte Bedarf (1.150 GWh_{EE}/a) Potenzial. Unter Einbeziehung der nicht-quantifizierbaren Potenziale aus Luft, Grundwasser und Abwasser sowie der Nutzung von oberflächennaher Geothermie und Solarthermie auch für Gebäude aus den Sektoren GHD und Industrie erscheint **eine erneuerbare Wärmeversorgung in Freiburg** in 2050 grundsätzlich auf Basis von vor Ort verfügbaren Quellen aus heutiger Sicht **realisierbar**, wenn alle Quellen genutzt werden. Eine Ausweitung der Erschließung von Abwärme oder Geothermie kann ebenfalls weitere Beiträge leisten. Weitere Untersuchungen und technische Konzepte sind notwendig, um diese Potenziale zu konkretisieren und zu heben.

Tabelle 3-3: Übersicht Potenziale zur erneuerbaren Wärmeversorgung

	Potenzial	Quantifizierung	Kommentar
Luft	Ja	Nicht quantifizierbar	
Solarthermie	Ja	150 GWh/a	Nur Dachflächen, ohne Freiflächen
Tiefe Geothermie	Ja	400 GWh/a	Abhängig von Schüttung und Temperatur sowie von der Anzahl der Dubletten
Oberflächennahe Geothermie	Ja	220 GWh/a ⁹	
Energie aus Grundwasser	Ja	Nicht quantifizierbar	
Biogas	Ja	5 GWh/a	
Biomasse	Ja	55 GWh/a	
Industrielle Abwärme	Ja	60 GWh/a	Heute bekannte genutzte bzw. geplante Potenziale (zukünftig ggf. 100 GWh/a oder mehr)
Abwärme aus Abwasser	Ja	Nicht quantifizierbar	
Müll	?		Option: Verlagerung Müllverbrennungsanlage nach Freiburg (160 GWh Wärme)
Klärschlamm	?		Option: Klärschlammverbrennung in Freiburg
Oberflächengewässer	Nein		
Gesamtergebnis		890 GWh/a	

Die Potenzialanalyse verdeutlicht jedoch auch, dass eine **Reduzierung des Wärmeverbrauchs** eine zentrale Vorbedingung ist, um eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu realisieren, wenn vorrangig vor Ort verfügbare Energieträger genutzt werden sollen, da viele **Potenziale begrenzt** sind. Bezüglich der Nutzung von Umweltenergie z. B. aus dem Grundwasser kann es sinnvoll sein, das heute geltende „Windhund“-Verfahren bei der Genehmigung von Nutzungen ggf. zukünftig durch eine Priorisierung für bestimmte Gebiete oder Nutzungen¹⁰ abzulösen, da Nutzungen stromaufwärts weitere Nutzungen stromabwärts beeinflussen.

Im Einzelfall ist davon auszugehen, dass erneuerbare Energieträger (feste Biomasse, erneuerbare Gase) aus über-regionalen Quellen auch in Freiburg zum Einsatz kommen. Eine Verfügbarkeit in den gleichen Mengen, in denen heute fossile Energieträger zum Einsatz kommen, ist jedoch aus Sicht von GEF und ifeu wenig wahrscheinlich (s. auch Kapitel 4.1), die badenova schätzt die Perspektive positiver ein.

⁹ In Kapitel 5.2 wird der Endenergiebedarf durch Umweltenergie in 2050 auf ca. 310 GWh abgeschätzt. Neben den maximal 220 GWh aus oberflächennaher Geothermie müssen entsprechend auch Potenziale aus Luft, Grundwasser bzw. Abwasser-Kanal genutzt werden.

¹⁰ Der Rechtsrahmen für eine mögliche Priorisierung ist zu klären.

4. Perspektive Gasnetz

Im Rahmen der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung wird die Nutzung von fossilem Erdgas, das heute noch einen hohen Anteil von mehr als 50 % am Wärmemarkt in Freiburg hat, langfristig auslaufen. Dies wirft die Frage auf, welche Rolle das Gasnetz, speziell das Verteilnetz auf kommunaler Ebene, zukünftig bei einer klimaneutralen Energieversorgung spielen wird. In welchem Umfang wird das Verteilnetz benötigt, z. B. als Verteilsystem erneuerbarer Gase? Ist damit zu rechnen, dass der Betrieb des Gas-Verteilnetzes im Stadtgebiet aufgrund zurückgehender Erdgasnachfrage mittelfristig unwirtschaftlich wird und eine (Teil-)Stilllegung ins Auge gefasst werden sollte?

Als Teil des Masterplans wird deshalb untersucht, welche Rolle erneuerbare Gase (EE-Gase) als Erdgasersatz spielen können und welche Entscheidungen bezüglich des Erdgasverteilnetzes in Freiburg im Zeitraum 2020 bis 2030 zu treffen sind.¹¹ Aufbauend auf der Fachrecherche zum Erdgasersatz (Kapitel 4.1) und der Gasnetzanalyse (Kapitel 4.2) werden zwei Szenarien für eine zukünftige Entwicklung formuliert – ein Szenario, bei dem eine strombasierte Wärmeerzeugung besonders für **dezentrale Wärmeerzeugung** im Gebäude im Fokus steht und ein Szenario, bei dem EE-Gase eine relevante Rolle spielen. Die Szenarien werden verglichen und ein Szenario wird – in Abstimmung mit dem Auftraggeber – als Grundlage für die weitere Bearbeitung des Wärmemasterplans ausgewählt (Kapitel 5).

4.1 Fachrecherche Erdgasersatz

In der Diskussion zum Erdgasersatz steht Power to Gas (PtG) im Fokus, die Synthetisierung brennbarer Gase mittels überschüssiger elektrischer Energie, die aus regenerativen Quellen stammt.

4.1.1 Erneuerbare Gase

Die Produkte (z. B. Wasserstoff, Methan) werden neben Biomethan (synonym Bioerdgas) unter dem Sammelbegriff der Erneuerbaren Gase zusammengefasst (siehe Tabelle 4-1).

Tabelle 4-1: Begriffsabgrenzung erneuerbarer Gase

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

Quelle: VKUE 2017

¹¹ Das überregionale (nationale und internationale) Gasnetz ist nicht Teil dieser Untersuchung. Über dieses Netz werden möglicherweise auch zukünftig einzelne (Reserve-)Kraftwerksstandorte oder Industriebetriebe mit Hochtemperaturbedarf angebunden. Das überregionale Gasverteilsystem unterscheidet sich in seiner Funktion vom kommunalen Gas-Verteilnetz kann zukünftig neben seiner Transportfunktion ggf. auch eine stärkere Rolle bei der Energiespeicherung übernehmen.

Insbesondere für Wasserstoff wird zudem nach Herkunft bzw. Technologie unterschieden (siehe Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Unterscheidung der Bezeichnungen für Wasserstoff nach Produktionsverfahren

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 (Abk. CCS) gespeichert wird ▪ bilanziell CO₂-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 CO₂-Neutralität des Verfahrens: <ul style="list-style-type: none"> - Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energiequellen - dauerhafte Bindung des Kohlenstoffs

Die Gewinnung von PtG-Produkten mittels elektrischer Energie geht mit Wirkungsgradverlusten einher. Für die Herstellung von Wasserstoff und synthetischem Methan sind die Sankey-Diagramme in Abbildung 4-1 dargestellt. Zur Gewinnung synthetischen Methans ist ein zusätzlicher chemisch-katalytischer Prozess erforderlich ist, bei dem der erzeugte Wasserstoff mit CO₂ reagiert.

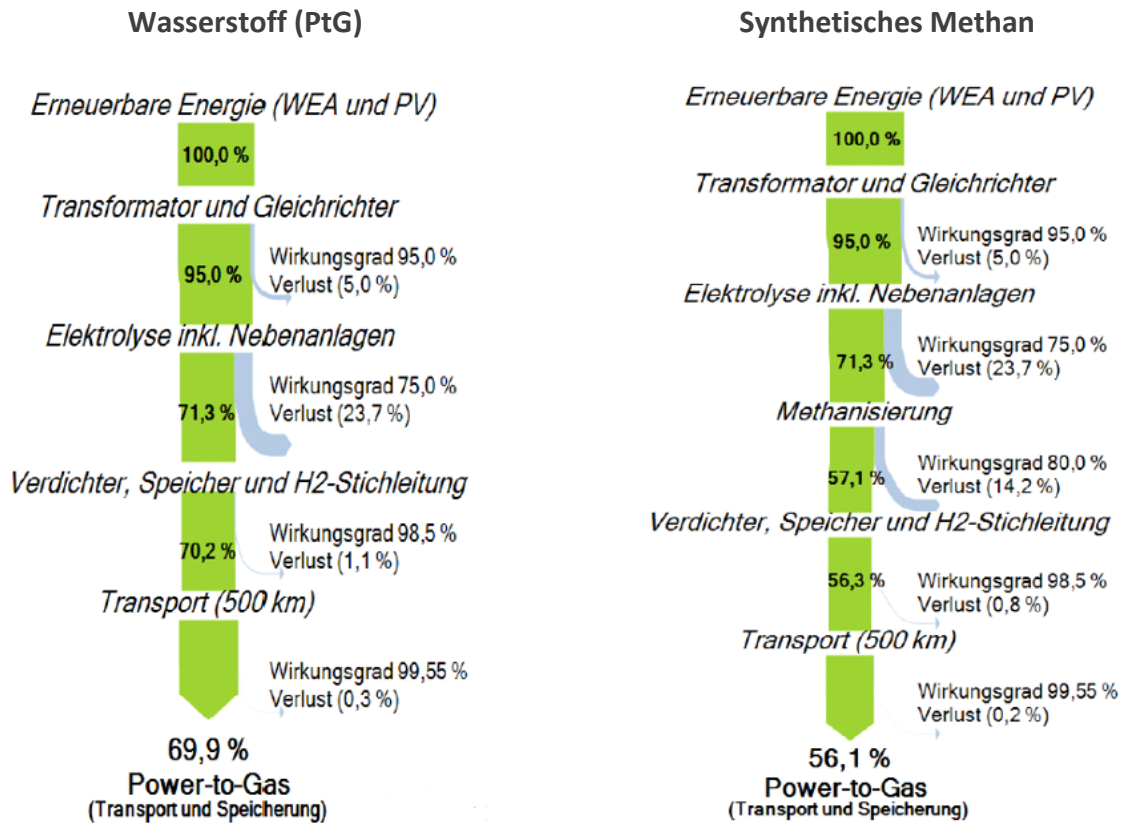


Abbildung 4-1: Wirkungsgradverluste bei PtG-Verfahren¹²

Quelle: Paulus 2017

Übliche Elektrolyse-Verfahren im Kontext von PtG-Anlagen sind die alkalische Wasserelektrolyse, die PEM-Elektrolyse (mit Polymer-Elektrolyt-Membran) und die Hochtemperatur-Wasserdampfelektrolyse.

Auf nationaler Ebene wurde im Dialogprozess Gas 2030 aufgezeigt, dass im Sinne der Versorgungssicherheit mittelfristig an Erdgas festgehalten wird und bestimmte Bereiche der Volkswirtschaft auch langfristig durch Gas-Importe abgedeckt werden. Zur Erzeugung von EE-Gasen sind große Mengen erneuerbarer Strom notwendig, der überwiegend nicht in Deutschland zur Verfügung steht. Zur Deckung des Importbedarfs an erneuerbaren Gasen sollen internationale Kooperationen - z. B. in der MENA-Region (Mittlerer Osten und Nordafrika) – angestrebt werden.

Aktuell sind ca. 50 (Pilot-)Anlagen geplant oder bereits in Betrieb. Das entspricht einer Kapazität von rund 55 MW Elektrolyseleistung. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Übersichtskarte mit den Standorten sowie weitere Informationen, wie Status, Technologie, Endprodukttyp und Leistungskapazität.

¹² Beim Stromtransport treten Leitungsverluste in der Größenordnung von 3-5% auf 500 km auf.



Abbildung 4-2: geplante und in Betrieb befindliche PtG-Anlagen in Deutschland

Quelle: DBVWG 2020

4.1.2 Erdgasersatz in der Industrie

Der Industriesektor ist in Deutschland der zweitgrößte Abnehmer gasförmiger Energieträger (41 % des nationalen Erdgasverbrauchs). Ein Großteil der fossilen Gase wird in Verbrennungsprozessen verwendet (83 %). Insbesondere werden mit fossilen Gasen in KWK-Anlagen Strom und Prozesswärme zur Deckung des Eigenbedarfs erzeugt. Fossile Gase, aber auch Erdöl und Steinkohle, kommen als Brennstoff in Hochtemperaturanwendungen zum Einsatz, beispielsweise in Schmelzverfahren der Glas-, Zement- und Keramikindustrie. Elektrische Heizelemente kommen nach aktuellem Stand der Technik z. T. nicht in Frage, da die erforderlichen Spitzentemperaturen nicht erbracht werden können. Die Stahlindustrie erprobt derzeit den Einsatz von Wasserstoff für die Eisenerzreduktion im Hochofen. Daneben könnte auch der bereits als Inertgas in der Stahlherstellung eingesetzte graue Wasserstoff durch seine grüne Alternative ersetzt werden [DiaG 2019].

Die restlichen 17 % werden als Rohstoffe zur stofflichen Verwendung eingesetzt. Allein die Sektoren Chemie und Petrochemie verbrauchen jährlich ca. 5 % des deutschen Erdgases in stofflichen Erzeugungsprozessen. Erdgas wird

vor allem für die Gewinnung von grauem Wasserstoff in der Chemie-Industrie verwendet und dient als Grundstoff für eine Vielzahl industrieller Herstellungsverfahren [DiaG 2019].

4.1.3 EE-Gase und Gasnetzinfrastruktur

Die Gasbeschaffenheit, die Qualität und die Bedingungen für einen Netzzugang sind in den DVGW-Regelwerken festgelegt. Synthetisches Methan ist vollständig kompatibel mit der bestehenden Erdgas-Infrastruktur. Es kann ohne Umstellungsmaßnahmen transportiert und gespeichert werden. Für erneuerbares Methan bestehen keine mengenmäßigen Beschränkungen. Anwendungsseitig sind keine Anpassungen erforderlich.

Der zulässige Anteil für die Beimischung von Wasserstoff im deutschen Gasnetz liegt aktuell bei bis zu 5 %. Ist eine Erdgastankstelle ans Netz angeschlossen, so darf der Wasserstoffanteil sogar nur bei maximal 2 % liegen. Die kritischen Komponenten, die größere Anteile von Wasserstoff bislang nicht tolerieren sind u. a.:

- Gasturbinen und -motoren (Anpassung der Anlagen bei Einbußen des Wirkungsgrades teilweise möglich)
- Kavernen-/ Porenspeicher
- Komplettierungstechnik und Obertage-Anlagen
- in Fahrzeugen: CNG-Tanks und Großbrenner

Ohne diese kritischen Komponenten kann von einer Verträglichkeit von bis zu 10 % Wasserstoff ausgegangen werden. Für höhere Anteile von Wasserstoff im Erdgasnetz sind ggf. Anpassungsmaßnahmen im Gasnetz zu treffen. Alternativ ist eine neue Netz-Infrastruktur speziell für Wasserstoff denkbar [EWE 2017].

Das Umweltbundesamt hat in der Studie „Road-Map Gas für die Energiewende“ [UBA 2019b] infrastrukturpolitische Maßnahmen für einen nachhaltigen Klimaschutzbeitrag des Gassektors erarbeitet, die sowohl den erwartbaren Rückgang an Nachfrage nach Erdgas also auch zunehmende Anteile von Wasserstoff in den Blick nimmt. Ausgehend von der Grundannahme, dass der Gasbedarf – besonders lokal auf Verteilnetzebenen – moderat bis stark rückläufig ist, werden Handlungsstrategien für die vier Bereiche Verteilnetze, Fernnetze und Gasspeicher, Wasserstoffbeimischung und Wasserstoffnetze/-speicher beschrieben. Diese umfassen sowohl technische Anpassungen (z. B. sinkende Verbräuche bei Regler austausch mitdenken, bei Netzstilllegung Rückbau vermeiden, bestehende Gasspeicher erhalten, Wasserstoffverträglichkeit netzabschnittsweise herbeiführen, etc.) als auch regulatorische und strategische Maßnahmen (Umgestaltung der Netzentgelte zur Refinanzierung prüfen, alternative Versorgung unwirtschaftlicher Netzgebiete regulieren, bei Netzentwicklungsplanung zukünftige Rolle von Gasen in Europa einbeziehen, etc.). Abbildung 4-3 zeigt die Übersicht über die Roadmap.

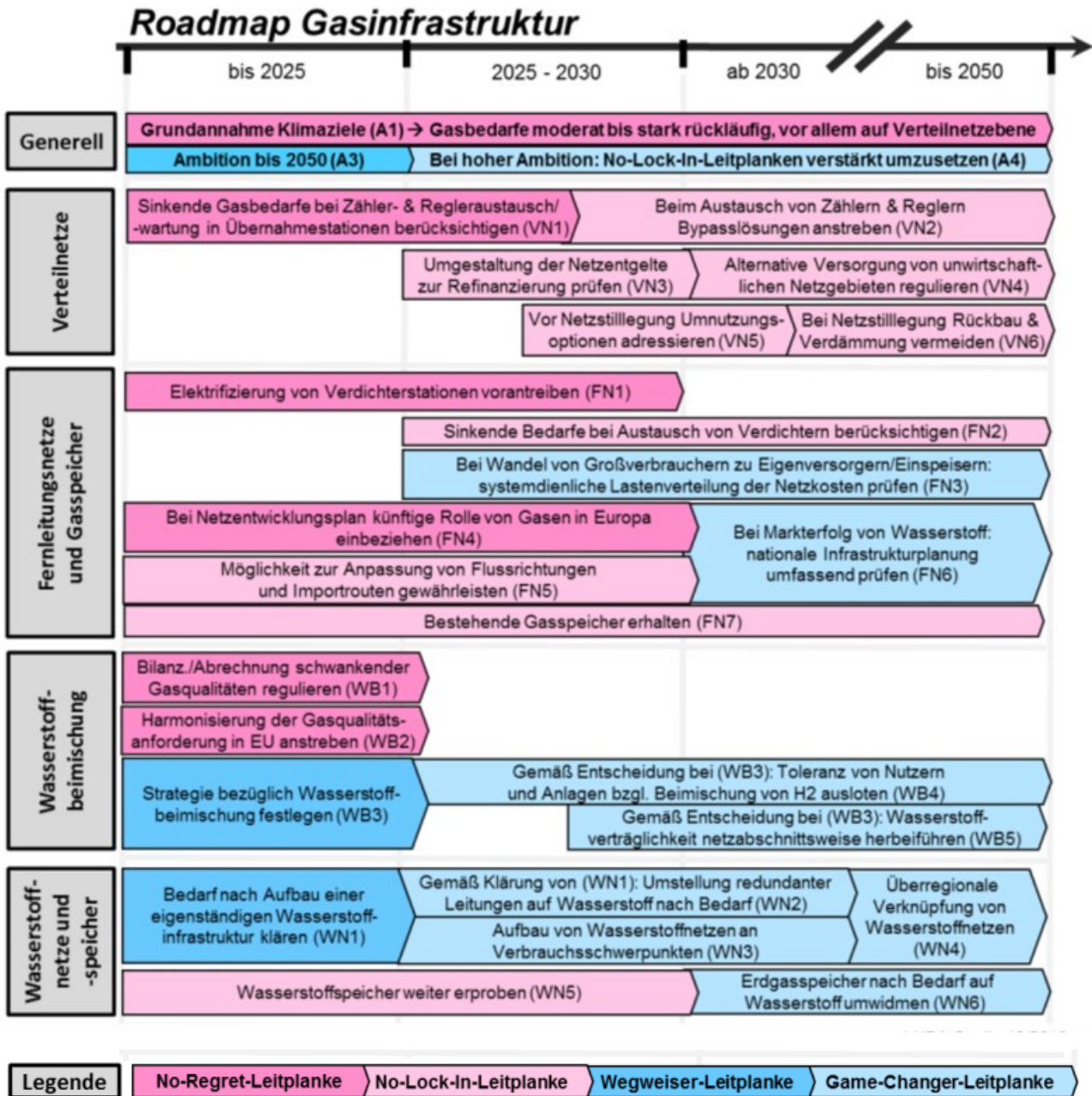


Abbildung 4-3: Roadmap Gasinfrastruktur

Quelle: UBA 2019b

Im Zeitraum bis 2025 sind im Wesentlichen No-Regret-Maßnahmen vorgeschlagen sowie Wegweiser, die die Realisierung einer bestimmten Entwicklung unterstützen. Ab 2025 werden No-Lock-In-Maßnahmen relevanter, die die Flexibilität für die Steigerung Ambitionsniveaus im Klimaschutz sicherstellen. Game-Changer-Maßnahmen umfassen dagegen Optionen, die nur bei der Realisierung bestimmter Entwicklungen (z. B. Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft) relevant werden.

4.1.4 Kosten und Wirtschaftlichkeit PtG

Um unter den aktuellen technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen einen rentablen Betrieb zu realisieren, müssen die Voraussetzungen optimal sein. Von Bedeutung dafür sind vor allem folgende Kriterien:

- hohe Auslastung der Anlage
- Zugang zum Ferngasnetz (erlaubt wegen der größeren Netzvolumina und des größeren Durchsatzes höhere zuspisbare Gasmengen)
- Überschuss elektrischer Energie bzw. geringer Strombezugspreis
- hoher Marktwert des PtG-Produktes

Bisher gibt es keine Förderrichtlinien für PtG-Anlagen, da die Unabhängigkeit von Netzbetrieb und Energieversorgung gewahrt und eine Verzerrung des Wettbewerbs verhindert werden soll. Die in Deutschland realisierten und geplanten Anlagen werden i. d. R. über Einzelfallförderungen aufgrund des Pilotcharakters finanziert.

Die Investitionskosten für PtG-Anlagen sind momentan noch hoch. Die Kosten für die Elektrolyseanlage und den Stromanschluss machen allein rund 85 % der Investitionskosten aus. Daneben sind die Stromgestehungskosten als größtes Hindernis zu betrachten. Durch den fortschreitenden Zubau regenerativer Erzeugungsanlagen mit fluktuierenden Energiequellen zeichnet sich ein stetiger Anstieg der Ausfallarbeit ab, wodurch langfristig mit geringeren Bezugskosten gerechnet werden kann [VKUP 2015].

Abbildung 4-4 zeigt den Zusammenhang zwischen Gestehungskosten (hier für synthetisches Methan) und Auslastung für verschiedene Szenarien und im Vergleich zu den Preisen für Bio- und Erdgas. Die Bandbreite ergibt sich durch unterschiedliche Annahmen bzgl. Wirkungsgrad und spezifischer Investition.

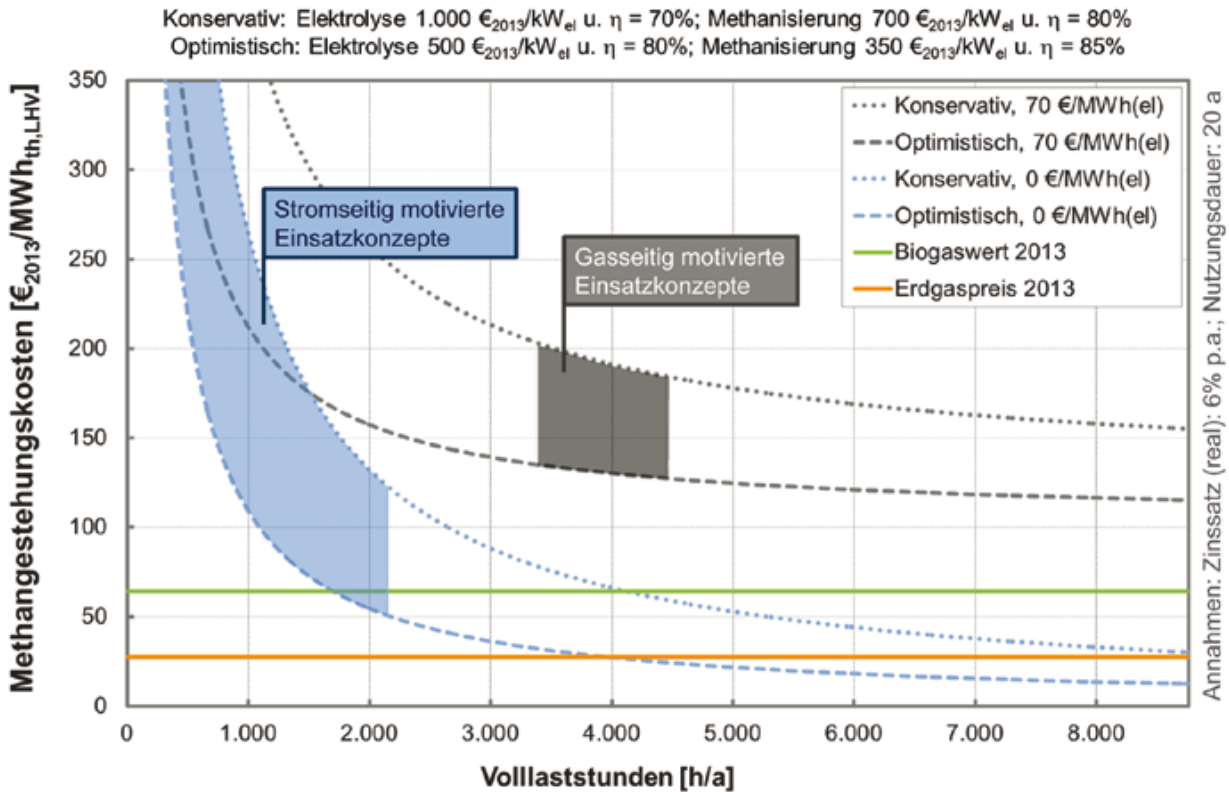


Abbildung 4-4: Gestehungskosten für EE-Gas in Abhängigkeit der Volllaststundenzahl der Anlage

Quelle: ET 2016

Das stromseitig motivierte Erzeugerkonzept betrachtet PtG als Speichermöglichkeit zum Ausgleich zwischen Strom-Bedarf und -Angebot. Im gasseitig motivierten Konzept wird von einem Zubau zusätzlicher erneuerbarer Stromanlagen ausgegangen, die als Energie-Quelle zur Gewinnung regenerativer Brennstoffe errichtet werden und nicht primär zur Deckung des Strombedarfs fungieren. Die Vollkosten für den Strom aus erneuerbaren Energien (EE-Strom) gehen dabei zu Lasten der PtG-Anlagenbetreiber [ET 2016].

4.1.5 Zukünftige Rolle und Verfügbarkeit von PtG

EE-Gase aus PtG-Prozessen (Wasserstoff, synthetisches Methan) sind ebenso vielseitig einsetzbar wie Erdgas. Auch andere Vorteile wie die Speicherbarkeit und die vorhandenen Erdgasverteilinfrastruktur können durch den Einsatz von EE-Gasen genutzt werden. EE-Gase werden jedoch voraussichtlich auch langfristig im Zeithorizont bis 2050 ein knappes Gut bleiben, da auch der erneuerbare Strom nur in begrenzten Mengen zur PtG-Erzeugung zur Verfügung steht.

Bei der Diskussion um die Rolle von PtG in der zukünftigen Energieversorgung spielen daher Überlegungen zur sinnvollen Zuteilung eines knappen Energieträgers auf den prioritären Einsatzbereich eine zentrale Rolle. Tabelle 4-3 zeigt einen Überblick über die aktuellen Einsatzfelder und die möglichen Dekarbonisierungsalternativen.

Tabelle 4-3: EE-Gas-Einsatzfelder und Dekarbonisierungsalternativen

Sektor	Einsatz	Alternative Dekarbonisierungsoptionen	Versorgungsoption
Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> Thermisch, Gebäudeheizung und Warmwasser 	<ul style="list-style-type: none"> Mit Ausnahmen technisch verfügbar 	<ul style="list-style-type: none"> Beimischung ins Erdgas
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> Thermisch, (Hochtemperatur-) Prozesswärme 	<ul style="list-style-type: none"> Eingeschränkt (z. T. Umstellung auf elektrische Verfahren) 	<ul style="list-style-type: none"> Beimischung, direkt
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> Stofflich 	<ul style="list-style-type: none"> Keine 	<ul style="list-style-type: none"> direkt
Verkehr	<ul style="list-style-type: none"> mechanisch 	<ul style="list-style-type: none"> in Teilen elektrifizierbar (PKW, Bahn) in Teilen eingeschränkt (Schiff, Schwerlastverkehr, Flugzeug) 	<ul style="list-style-type: none"> direkt

Die höchste Priorität hat demnach der Einsatz in der Industrie für die stoffliche Nutzung, gefolgt vom Einsatz für Hochtemperatur-Anwendungen in der Industrie und Teilen des Verkehrssektors. Für Niedertemperaturanwendungen wie Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten existieren zahlreiche Alternativen (Wärmepumpen, Solarthermie, Biomasse), so dass kein flächendeckender Einsatz von EE-Gasen zu erwarten ist.

Zu dieser Einschätzung kommen auch zwei Studien, deren Annahmen zum PtG-Einsatz verglichen werden. Für die RESCUE-Studie des Umweltbundesamtes [UBA 2019a] und die Langfristszenarien des Bundeswirtschaftsministeriums [BMW 2017] werden in Tabelle 4-4 zentrale Annahmen und die Aussagen zur Rolle von PtG verglichen. Auch hier wird in den betrachteten Szenarien kein breiter Einsatz von PtG/PtL im Bereich Raumwärme und Warmwasser angenommen.

Tabelle 4-4: Vergleich zentraler Annahmen und Rolle PtG in Studien

Bezeichnung	RESCUE – UBA	Langfristszenarien – BMWi
Szenarien	<ul style="list-style-type: none"> 5 Szenarien (EE= Energieeffizienz, ME = Materialeffizienz, Late = später Start, Supreme = Minimierung) 	<ul style="list-style-type: none"> Vielzahl von Szenarien (u.a. Referenz, Basis, 95% THG-Reduktion, restriktionsarmes Szenario, ...) Basis-Szenario: ca. 80% THG-Reduktion
THG-Ziel	<ul style="list-style-type: none"> minus 95 – 97 % je nach Szenario 	<ul style="list-style-type: none"> minus 80 % Basis-Szenario, minus 95 %-THG-Reduktions-Szenario
Entwicklung Bedarf für Raumwärme und Warmwasser	<ul style="list-style-type: none"> je nach Szenario minus 45- 70 % 	<ul style="list-style-type: none"> Basis-Szenario: - 60 % bis 2050 95 %-THG-Szen.: - 70 %
Rolle fossiles Erdgas	<ul style="list-style-type: none"> Nur im Late-Szenario noch geringer Einsatz von Erdgas (auch im Bereich Heizung) 	<ul style="list-style-type: none"> Basis-Szenario: Rückgang fossile Gase 2010 bis 2050 minus 60 %
Rolle PtG	<ul style="list-style-type: none"> Kein PtG-H₂ als Ersatz für Erdgas 	<ul style="list-style-type: none"> Basis-Szenario: PtG nicht erforderlich bzw. nicht wirtschaftlich

Bezeichnung	RESCUE – UBA	Langfristszenarien – BMWi
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2030: 25- 65 TWh PtG/PtL für Nutzung im Bereich Verkehr und stoffliche Nutzung ▪ 2050: 400 – 600 TWh PtG/PtL 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 95 %-THG-Szen.: Rolle für PtG im Verkehrssektor

In Tabelle 4-5 wird überschlägig abgeschätzt, wie viel Strom und welche Elektrolyseleistung notwendig wäre, um den kompletten Gasbedarf im Jahr 2018 durch Wasserstoff zu ersetzen.

Tabelle 4-5: Modellrechnung Elektrolyseleistung zur Deckung des kompletten Gasbedarfs

Sektor	Gas-Nachfrage 2018 [TWh]	Benötigter Strom η -Elektrolyse 0,7 [TWh]	Benötigte Elektrolyseleistung [4.000 Vbh, GW]	Einsatz
Haushalte	265	379	95	Therm. Gebäude
Industrie (davon stofflich)	369 (41)	527 (58)	132 (15)	Therm. Prozesse (stofflich)
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	114	163	41	Thermisch
Wärme und Kälte	67	96	24	Thermisch
Verkehr	2	3	1	Mechanisch
Strom	110	157	39	Elektrisch
Summe	927	1.324	331	
Geplante Elektrolyse-Kapazität				
2030 - EU	40 GW in Europa, 60 GW in Nord-Afrika / 665 TWh Wasserstoff			
2030 - Deutschland	5 GW in Deutschland, 90- 110 TWh Wasserstoff			

Quelle: bnNETZE

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 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.

4.1.6 Zusammenfassung

PtG-Anwendungen, insbesondere Wasserstoff werden aktuell intensiv diskutiert, weil viele Vorteile von Erdgas, wie z. B. die Speicherbarkeit, die vorhandene Verteilinfrastruktur, die Nutzbarkeit für Industrie und Verkehr durch dekarbonisierte EE-Gase erhalten bleiben würden. PtG-Anwendungen werden in einer hohen Anzahl an Pilotprojekten technisch erprobt, eine Wirtschaftlichkeit ist jedoch momentan nicht gegeben. Die Biogas/Biomethan-Erzeugung ist technisch ausgereift, die Gase sind lokal verfügbar, allerdings mengenmäßig knapp.

Um relevante Mengen an PtG zu erzeugen werden große Kapazitäten erneuerbarer Stromerzeugung benötigt. PtG-Szenarien gehen hierfür in der Regel von Importen (Naher Osten, Nordafrika) zur Deckung des nationalen Bedarfs aus. Bei knapper Verfügbarkeit/hohen Kosten gehen die untersuchten Studien von einer Konzentration der Nutzung im Verkehr und Industrie aus, wo elektrische Alternativen die Anforderungen nur schwierig erfüllen können. Nur in Ausnahmefällen erscheint ein Einsatz im Bereich Wärme sinnvoll (z. B. bei Dunkelflaute).

Mittelfristig ist kein breiter Einsatz im Bereich Wärme zu erwarten. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung soll die nationale/internationale Entwicklung stetig beobachtet und die Bewertung der Verfügbarkeit erneuerbarer Gase ggf. angepasst werden (Zeithorizont Neubewertung: in 5-7 Jahren).

4.2 Analyse Gasnetzinfrastruktur

In diesem Kapitel wird untersucht, welche Entscheidungen im Erdgasverteilstrom in Freiburg in den nächsten Jahren, insbesondere im Zeitraum bis 2030, zu treffen sind: Gibt es Handlungsbedarf aufgrund von kapazitiven Problemen in der Gasverteilung oder ist der Zustand des Gasnetzes so schlecht, dass Sanierungen und die Erneuerung von Leitungen erforderlich sind? Sanierungsbedarf und die Behebung von Kapazitätsengpässen können hohe Sprunginvestitionen auslösen, die für die Beurteilung der zukünftigen Perspektive der Gasnetze relevant sind.

4.2.1 Kapazitive Analyse

Grundlage für die Bewertung der Leitungskapazitäten im Gasnetz sind Ergebnisse von Gasnetzsimulationen mit STANET bei Wärmehöchstlast im Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruck-Netz. Die Berechnungen wurden von der badenova durchgeführt. Die kapazitive Bewertung erfolgte anhand der Strömungsgeschwindigkeiten. Bei Strömungsgeschwindigkeiten größer als 20 m/s beginnen die Überlegungen Netzkapazitäten zu erhöhen. Solche Werte sind aber je nach Situation auch noch tolerierbar.

Die Auswertungen zur Strömungsgeschwindigkeit erfolgt grafisch für die Klassen $x < 10$ m/s und $10 < x < 20$ m/s. Werte über 20 m/s treten in den Berechnungen nicht auf.

Abbildung 4-5 zeigt am Beispiel des Hochdrucknetzes die Ergebnisse zur Strömungsgeschwindigkeit. Die grafischen Auswertungen zu allen drei Netzhierarchien (Hochdruck, Mitteldruck und Niederdruck) werden dem Auftraggeber übergeben.

Das Hochdruck- und das Niederdrucknetz zeigen keine kapazitiven Probleme, das Mitteldrucknetz ist gut ausgelastet, weist aber aktuell keine Probleme auf.

Fazit: Die Gasnetze in Freiburg weisen keine kapazitiven Probleme auf. Es besteht in den nächsten Jahren (bis 2030) kein Handlungsbedarf die Netzkapazitäten zu erhöhen.

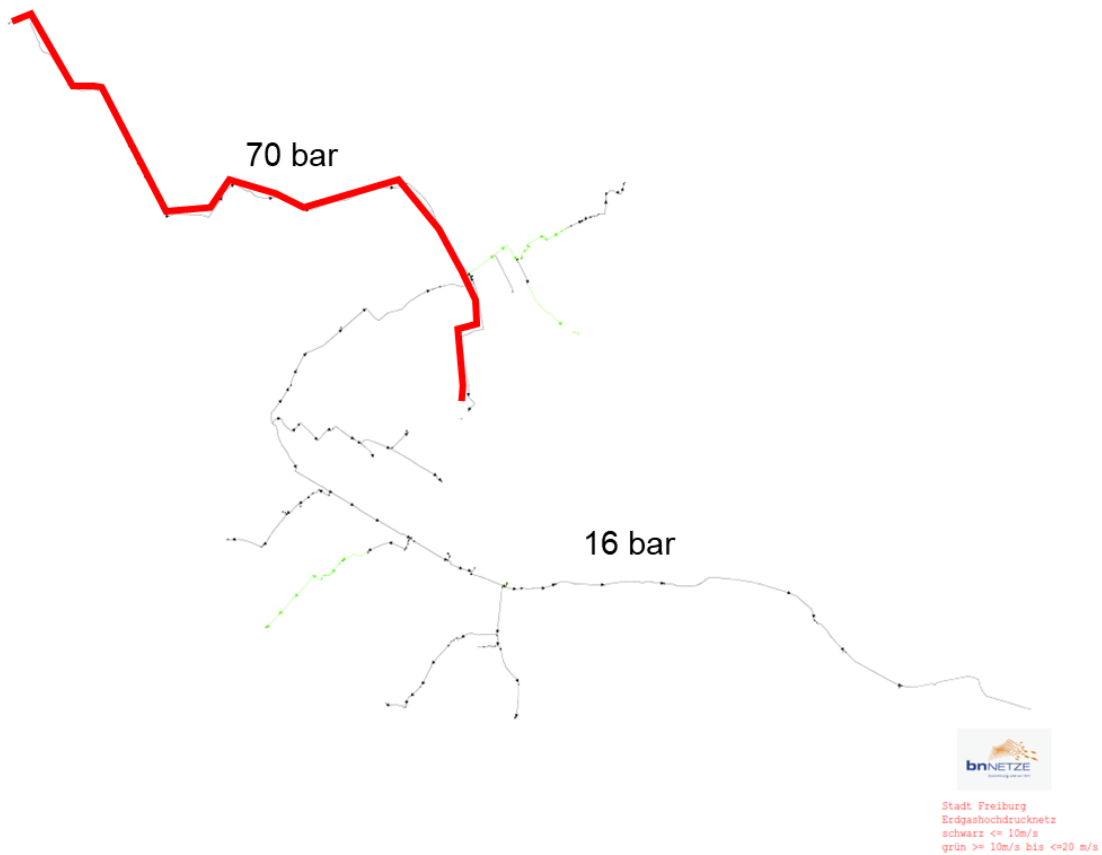


Abbildung 4-5: Strömungsgeschwindigkeiten im Hochdruckgasnetz

4.2.2 Analyse Erneuerungs- und Reinvestitionsbedarf

Der Erneuerungsbedarf der Gasnetze in Freiburg wird in Abhängigkeit des eingesetzten Rohrleitungsmaterials und des Baualters ermittelt. Die entsprechenden Leitungsdaten wurden von der badenova zur Verfügung gestellt.

Das Hochdrucknetz wird bei dieser Betrachtung ausgeklammert, da es eine übergeordnete Bedeutung hat.

Der Erneuerungsbedarf wird anhand von typischen Branchenwerten zur technischen Nutzungsdauer der Rohrleitungsmaterialien berechnet. Die möglicherweise anfälligeren, sanierten Graugussleitungen werden, wenn nicht schon umgesetzt, innerhalb der nächsten Jahre ausgetauscht.

Zusätzlich wird der Restwert des Gasnetzes in einer statistischen Annäherung ermittelt und der Reinvestitionsbedarf dazu in Relation gestellt.

Analyse für Zeitraum 2020 – 2030:

Abbildung 4-6 zeigt den Reinvestitionsbedarf und Abbildung 4-7 zeigt die Erneuerungsanteile bis 2030.

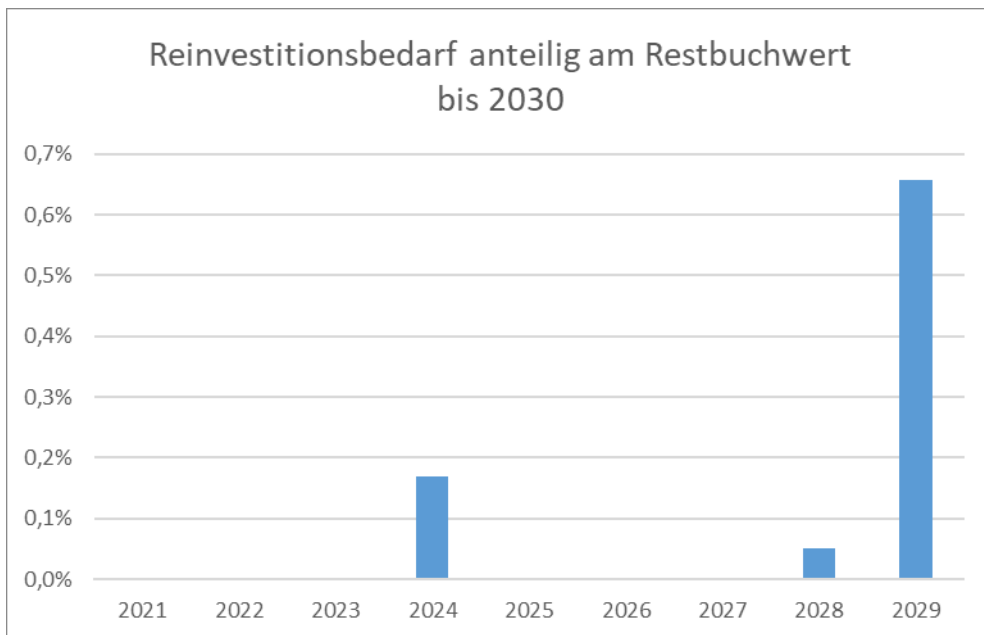


Abbildung 4-6: Reinvestitionsbedarf Gasnetz bis 2030

Für das Freiburger Gasnetz ergibt sich bis 2030 ein Reinvestitionsbedarf, der bezogen auf den Restwert des Gasnetzes bei knapp 1 % des Restwertes liegt. Bezogen auf die Trassenlänge müssen weniger als 1 % saniert werden. Der zeitliche Schwerpunkt des Erneuerungsbedarfs liegt am Ende der 2020er Jahre.

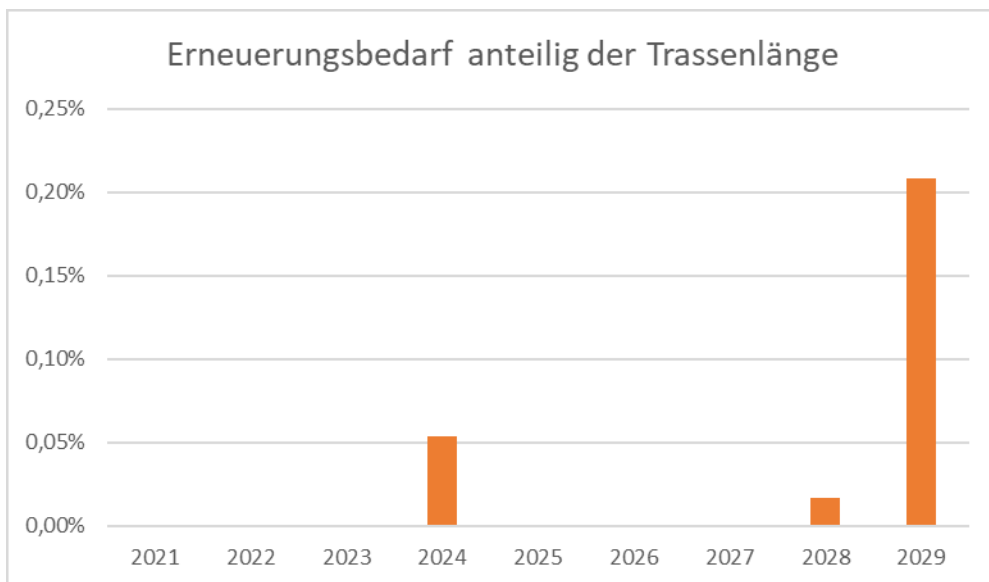


Abbildung 4-7: Erneuerungsanteile Gasnetz bis 2030

Fazit: Bis 2030 besteht im Freiburger Gasnetz nur ein sehr geringer Erneuerungsbedarf.

Analyse für Zeitraum 2030 bis 2050:

Abbildung 4-8 gibt einen Überblick über den Reinvestitionsbedarf und Abbildung 4-9 zeigt die Erneuerungsanteile des Gasnetzes zwischen 2030 und 2050.

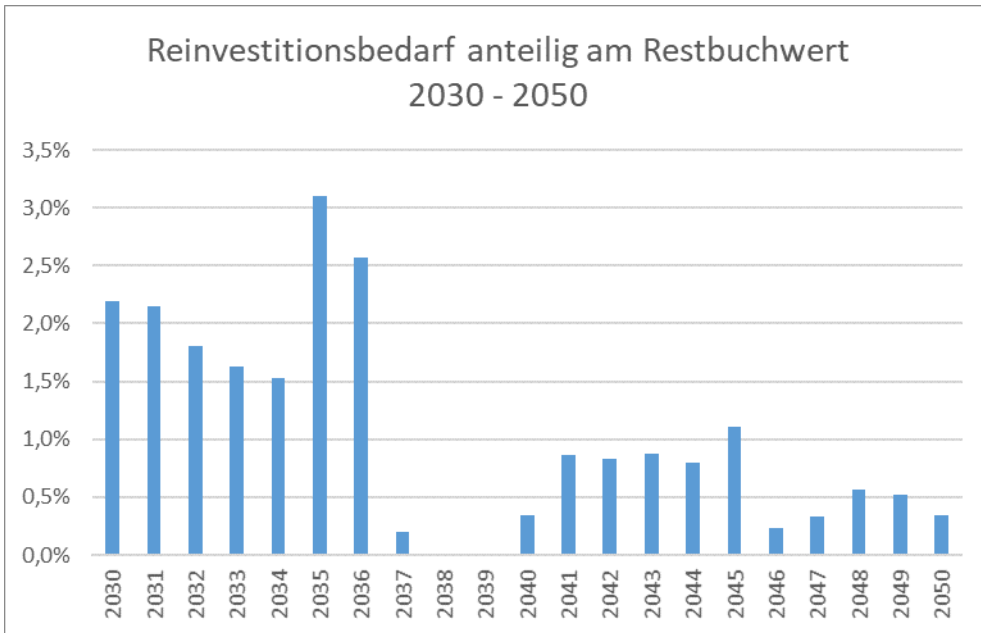


Abbildung 4-8: Reinvestitionsbedarf Gasnetz 2030 bis 2050

Für das Freiburger Gasnetz ergibt sich von 2030 bis 2050 ein Reinvestitionsbedarf von ca. 22 % bezogen auf den Restwert des Gasnetzes, bezogen auf die Gesamtrassenlänge ist dies nur ein Anteil knapp 7 %.

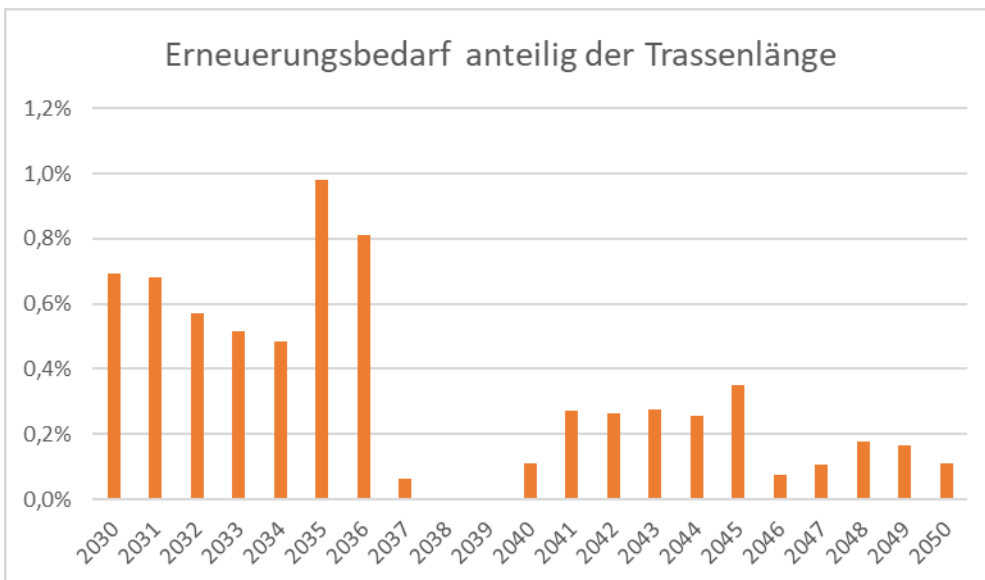


Abbildung 4-9: Erneuerungsanteile Gasnetz 2030 bis 2050.

Der zeitliche Schwerpunkt des Erneuerungsbedarfs liegt in den 2030er Jahren.

Fazit: Auch für den Zeitraum zwischen 2030 und 2050 besteht ein vergleichsweise geringer Erneuerungsbedarf.

Die Ursache für den Erneuerungs- und Reinvestitionsbedarf sowohl im Zeitraum bis 2030 als auch zwischen 2030 und 2050 ist der Anteil an saniertem Grauguss im Netz. Die (inzwischen sanierten) Graugussleitungen wurden im Wesentlichen vor 1970 verlegt mit entsprechend begrenzter Restlebensdauer.

Materialanteile Gasnetz

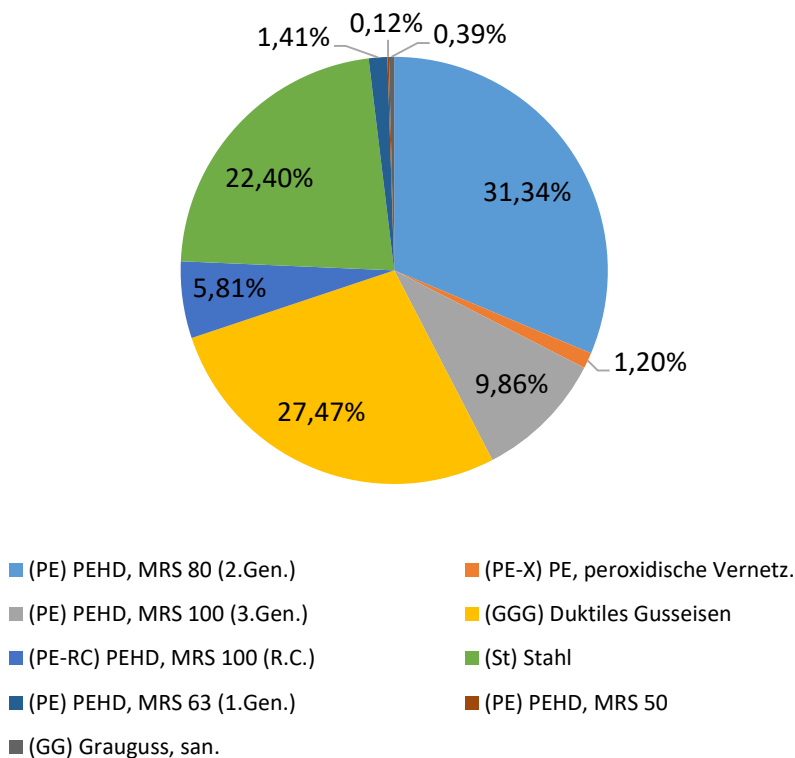


Abbildung 4-10: Materialanteile im Gasnetz

Fazit: Im Freiburger Gasnetz besteht wegen zu geringer hydraulischer Kapazitäten oder einer alters- und zustandsbedingten Erneuerung in den nächsten Jahren, insbesondere bis 2030, kaum Handlungs- und damit Investitionsbedarf. Dies eröffnet für den Netzbetreiber die Option, das Gasnetz ohne hohe Investitionen weiterbetreiben zu können. Für die Stadt Freiburg ergibt sich entsprechend ein größerer Spielraum für Pfad-Entscheidungen, da niedriger Investitionsbedarf auch ein niedrigeres Risiko für Fehlinvestitionen („stranded investment“), die sich für den Netzbetreiber als Folge politischer Entscheidungen zum Klimaschutz ergeben könnten.

4.3 Szenarien Entwicklung Gasnetze

Die für Freiburg entwickelte Fernwärmestrategie umfasst bereits große Flächen mit hohen Wärmedichten, siehe Abbildung 4-11¹³.

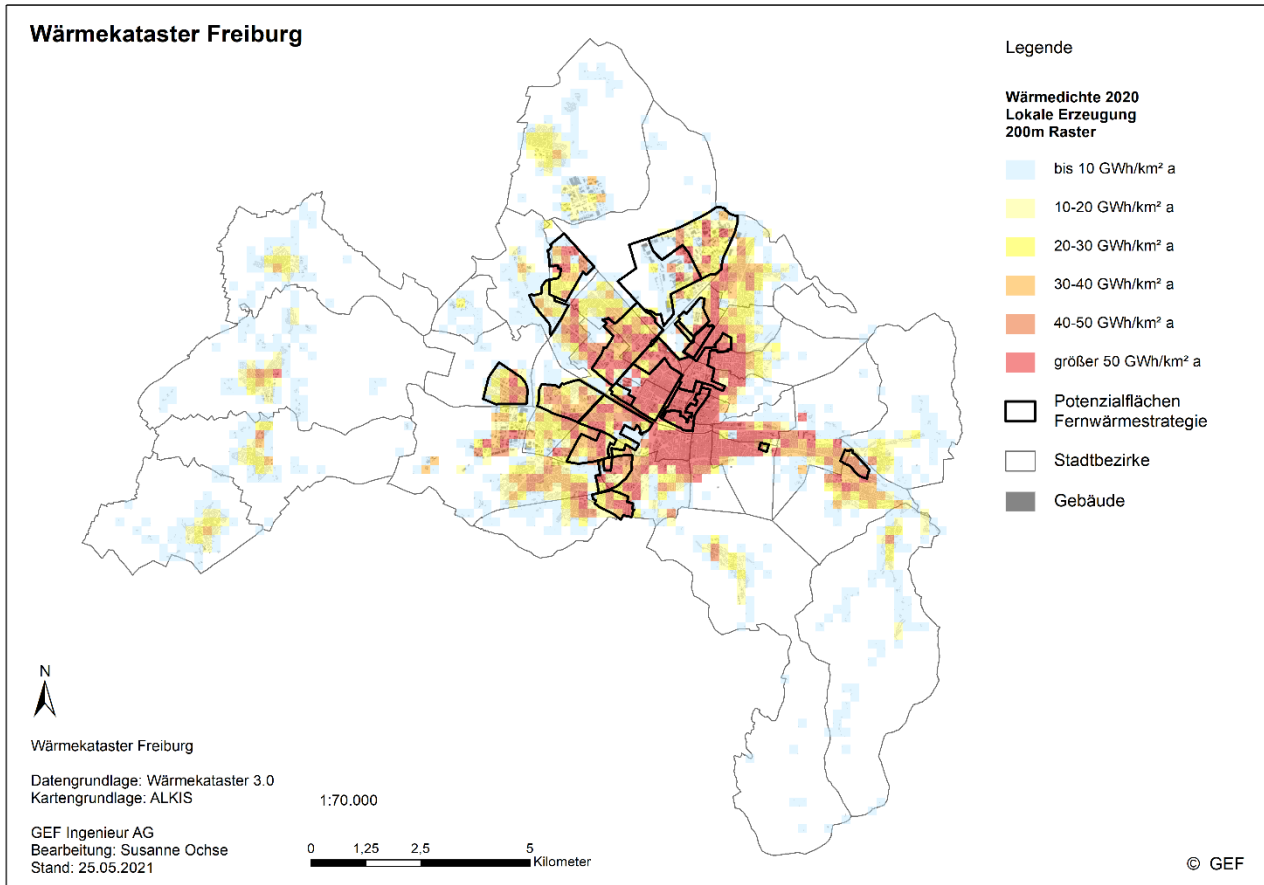


Abbildung 4-11: Gebiete mit Fernwärmeversorgung gemäß Fernwärmestrategie

Für das Gasnetz und die Gasnetz-Szenarien bleiben Restgebiete vorwiegend mit niedrigerer Wärmedichte, diese werden aktuell hauptsächlich mit Gas versorgt.

Aus den Voruntersuchungen lassen sich bis 2030 folgende Prämissen und Randbedingungen ableiten, die sich ausschließlich auf den Wärmebereich beziehen:

- Biomethan ist mit Einschränkungen verfügbar.
- EE-Gas aus PtG ist nur gering verfügbar.
- Strom wird überregional bis zu 65 % aus erneuerbaren Energien erzeugt (Bundesziel). Ob im Winter stets ausreichend EE-Strom für Heizanwendungen verfügbar ist, ist unsicher.
- Grüne Wärme ist mäßig verfügbar.
- Der Wärmebedarf ist durch energetische Sanierung gesunken. Die Erreichung der kommunalen Ziele im Bereich Gebäudeeffizienz wird schwierig, u.a. durch Denkmalschutz und städtebauliche Satzungen.
- Das Gasnetz hat einen geringen Investitionsbedarf (erneuerungsbedingt, kapazitiv)

¹³ Siehe auch Kapitel 2.3.3

Bis 2050 lassen sich folgenden Prämissen und Randbedingungen, bezogen auf den Wärmebereich, ableiten:

- Biomethan und EE-Gas aus PtG könnten unter Einschränkungen verfügbar sein (überregional und aus Import)
 - *Anmerkung: Zu dieser Prämisse gibt es einen Dissens unter den Projektpartnern. Die badenova schätzt die Verfügbarkeit positiver ein als GEF und ifeu*
- Grünstrom ist für Stromanwendungen und E-Mobilität ausreichend, saisonale Engpässe im Winter für Wärme sind möglich. Hier sind Speicherstrategien zu entwickeln, ggf. auch unter Nutzung der Gasinfrastruktur.
- Grüne Wärme ist ausreichend verfügbar.
- Der Wärmebedarf ist durch energetische Sanierung gesunken. Die Erreichung der kommunalen Ziele im Bereich Gebäudeeffizienz wird schwierig, u.a. durch Denkmalschutz und städtebauliche Satzungen.
- Das Gasnetz hat einen geringen Investitionsbedarf (erneuerungsbedingt, kapazitiv)

Daraus werden zwei Gasnetz-Szenarien abgeleitet:

1. **stark EE-Gas-basierte Wärmeversorgung**
2. **Umweltwärme und EE-Strom-orientierte Wärmeversorgung**

Das Gasnetz-Szenario „stark EE-Gas-basierte Wärmeversorgung“ kann wie folgt beschrieben werden:

- Die Gasversorgung bleibt in den nicht von Fernwärme versorgten und bereits heute mit Gas versorgten Gebieten grundsätzlich in allen Druckstufen erhalten (Hochdruck-, Mitteldruck- und Niederdruck-Netz).
- Transport und Verteilung von Biomethan und EE-Gas aus PtG.
- Die Gasnetzinfrastruktur wird ggf. angepasst auf höhere Anteile Wasserstoff – oder Netzteile werden auf Wasserstoff umgestellt.
- Aufgrund des Wärmebedarfsrückgangs gibt es freie Netzkapazitäten auf allen Netzebenen.
- Falls für grüne Fernwärme grünes Gas eingesetzt werden soll, sind im HD-Netz Kapazitäten vorhanden (KWK und Spitzenlast).
- In zukünftig fernwärmeversorgten Gebieten wird auf Verteilebene (ND-Netz) die transportierte Gasmenge rückläufig sein.
- Heizölkunden werden mit hoher Wahrscheinlichkeit in den gasversorgten Gebieten an das Gasnetz angeschlossen.

Für beide Gasnetzszzenarien wurde jeweils eine SWOT-Analyse durchgeführt, dies umfasst die Sammlung von Stärken (**S**trengths), Schwächen (**W**eaknesses), Chancen (**O**pportunities) und Bedrohungen (**T**hreats). In Abbildung 4-12 ist die SWOT-Analyse zum Gasnetz-Szenario „stark EE-Gas-basierte Wärmeversorgung“ dargestellt. In Rot markiert ist die Zuordnung der einzelnen Punkte auf CO₂ und die Kosten der Stakeholder (Kunden, Stadt, badenova).





 Strengths (Stärken)	 Weaknesses (Schwächen)
<ul style="list-style-type: none"> - Keine neue leitungsgebundene Infrastruktur notwendig <i>€_{bnNETZE, Stadt}</i> - Keine neuen Endkundengeräte nötig <i>€_{Endkunde, Stadt}</i> - Geringer Investitionsbedarf bis 2030, „<u>sunken investments</u>“ unwahrscheinlich <i>€_{bnNETZE, Stadt}</i> - Technische Anpassung des Netzes bei hohen H₂-Anteilen überschaubar <i>€_{bnNETZE, Stadt}</i> - Gasinfrastruktur kann als Energiespeicher für saisonale Anpassung zwischen Erzeugung und Verbrauch genutzt werden. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit EE-Gase aus PtG für den Wärmemarkt fraglich <i>CO₂</i> - Anpassung Endkundengeräte bei hohen H₂-Anteilen <i>€_{Endkunde, Stadt}</i> - Erhöhter Investitionsbedarf zwischen 2030 und 2050, „<u>sunken investments</u>“ möglich <i>€_{bnNETZE, Stadt}</i> - Integration erneuerbarer Energien vor Ort aufwendig (mind. Elektrolyse, optional <u>Methanisierung!</u>) <i>CO₂</i>
 Opportunities (Chancen)	 Threats (Bedrohungen)
<ul style="list-style-type: none"> - Umstellung auf CO₂-neutrale Tarife, EE-Gas oder Biogas ermöglicht zeitnahe CO₂-Reduktion <i>CO₂</i> - Stromerzeugung in KWK vor Ort, Entlastung der Stromnetze (Sektorenkopplung!) <i>€_{bnNETZE, Stadt}</i> - Integration von Umweltwärme z.B. durch Gaswärmepumpen technisch möglich <i>CO₂</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit EE-Gase (Preis und Kapazität) <i>€_{Endkunde, Stadt} ; CO₂</i> - Umstellung des Endkunden auf Klimatarife notwendig bis fossile Gase aus dem System verdrängt worden sind (analog zum Strom!)

Abbildung 4-12: SWOT-Analyse Gasnetz-Szenario "stark EE-Gas-basierte Wärmeversorgung"

Das Gasnetz-Szenario „Umweltwärme und EE-Strom-orientierte Wärmeversorgung“ kann wie folgt beschrieben werden:

- Auf der Hochdruckebene bleibt die Gasversorgung erhalten – als Teil des überregionalen Verteilnetzes sowie zur Versorgung spezieller Kunden mit EE-Gas aus PtG (und ggf. Anteilen Biomethan)
 - Rest-Kunden Industrie (stoffliche Nutzung, Hochtemperatur-Anwendungen)
 - Rest-Gaseinsatz zur Stromerzeugung (in Phasen der Dunkelflaute Kraftwerke, ggf. auch KWK)
 - Rest-Gaseinsatz zur Wärmeerzeugung für Wärmenetze (ggf. kleinere Anteile Spitzenlast, KWK bei Dunkelflaute)
- Im Hochdrucknetz ergeben sich freie Kapazitäten aufgrund des erheblichen kundenseitigen Nachfragerückgangs. Das HD-Netz wird ggf. angepasst auf höhere Anteile Wasserstoff.
- Auf der Mitteldruck- und Niederdruckebene sinkt die Gastransportmenge aufgrund des Wärmebedarfsrückgangs der Gebäude und des Wechsels von Gaskunden zur Fernwärme oder zu Wärmepumpen sehr stark. Heutige Heizölkunden wechseln zu Strom, nicht Gas.
- Netzteile auf der Mitteldruck- und Niederdruckebene verlieren aufgrund der sinkenden Nachfrage an Wirtschaftlichkeit. Dies könnte (unter geeigneten regulatorischen Rahmenbedingungen) zu einer Außerbetriebnahme oder Stilllegung von Netzteilen führen.
- Notwendige Investitionen in die Sanierung von Netzteilen verstärken den wirtschaftlichen Druck auf das Gasnetz zusätzlich.

Die SWOT-Analyse zum Gasnetz-Szenario „Umweltwärme und EE-Strom-orientierte Wärmeversorgung“ ist nachfolgend in Abbildung 4-13 dargestellt.

Strengths (Stärken)	Weaknesses (Schwächen)
<ul style="list-style-type: none"> - Kann die Klimaschutzziele erfüllen. CO₂ - Integration der Umweltwärme in Einzellösungen ist eine bewährte Technik. CO₂ - Reinvest bis 2030 im Gasnetz bleibt in Grenzen => Flexibilität zum Wechsel auf EE-Gas bleibt bestehen (kein Lock-In-Effekt) € bn - Infrastruktur Strom ist vorhanden. € bn 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausreichendes EE-Wärme-Potential muss gefunden werden CO₂ - Verfügbarkeit von EE-Strom ggf. mit saisonalen Engpässen - Strombasierte Lösungen (WP) sind teuer (Invest und Betrieb) oder gar nicht umsetzbar, kundenseitige Infrastruktur im Gasbereich eher weniger aufwändig € Kunden - Neue Infrastruktur für EE-Nahwärmelösungen ist aufwändig € bn, Kunden - Einbindung von EE-Wärme ist schwierig € bn - Geringere Ausnutzung des Gasnetzes => höhere NNE, Anpassung Zähler/Regler € bn, Kunden - Sinkende Gewinne beim Gasnetzbetreiber => geringere Dividenden beim Anteiliger Stadt € bn, Stadt
Opportunities (Chancen)	Threats (Bedrohungen)
<ul style="list-style-type: none"> - Erfüllung der Klimaschutzziele CO₂ - HD-Gasnetz bleibt langfristig erhalten => Nutzung EE-Gas für Industrie und KWK möglich CO₂ - Flexible und kombinierbare Lösungen sind möglich (KWK, Kalte Nahwärme, WP, Umstellung Heizöl) € bn, Kunden 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit EE-Strom und EE-Wärme CO₂ - Kapazität Stromnetz € bn - Akzeptanz Kunden € Kunden - Rechtliche Hürden Gasnetzteile stillzulegen sind hoch (forcierter Kundenwechsel) € bn

Abbildung 4-13: SWOT-Analyse Gasnetz-Szenario "Umweltwärme- und EE-Strom-orientierte Wärmeversorgung"

4.4 Zusammenfassung

Als Ergebnis der Analysen zum Gasnetz wird in Abstimmung mit der Stadt Freiburg für den Masterplan Wärme 2030 das Umweltwärme- und EE-Strom-orientierte Szenario weiterverfolgt.

- Dieses Szenario wurde im Klimaschutzkonzept der Stadt im langfristigen Zeithorizont gewählt und ist voraussichtlich leichter erreichbar.
- Die Fachrecherche Gasersatz lässt im mittelfristigen Zeithorizont bis 2030 (Fokus des Masterplans) keine ausreichenden Mengen EE-Gas erwarten. Bis 2030 ist daher nicht damit zu rechnen, dass das Gasnetz einen entscheidenden Beitrag zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung leisten kann. Nach 2030 ist die Perspektive für eine Erhöhung der Verfügbarkeit unsicher.
- Dieses Szenario bietet den größeren Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Realisierbarkeit des im Klimaschutz gewählten Vorgehens. Wenn die besonders die dezentrale Wärmeversorgung in erheblichem Maße von Gas auf Umweltenergie und Strom (Wärmepumpen) umgestellt werden soll, müssen hierfür bereits im Jahrzehnt bis 2030 Weichen gestellt werden. Um zu verifizieren, ob dieser Transformationsprozess gelingt, sollen die Erkenntnisse bzgl. der Umstellung regelmäßig ausgewertet und die Perspektive des Gasnetzes überprüft werden (s. Maßnahmenkatalog).
- Falls eine Realisierung nicht im notwendigen Maße gelingt, bietet das Szenario mit Orientierung auf Umweltenergie- und EE-Strom die Flexibilität, ab 2030 auf den EE-Gas-basierten Pfad umzuschwenken. Im Gasnetz stehen bis 2030 keine hohen Investitionen und Richtungsentscheidungen an, so dass ein Fokus auf Strom die Option eines zukünftigen Wechsels (oder Teil-Wechsels) zu EE-Gas offen hält und keine „stranded“

investments“ entstehen. Zusammengefasst: der Pfad Umweltenergie und EE-Strom hat mit dem Gasnetz möglicherweise eine „Fall-Back“-Lösung. Für die Stadt Freiburg – und für die Gasnutzer – ist dieses Szenario der Pfad mit dem geringeren Risiko im Hinblick auf die Erreichung einer klimaneutralen Wärmeversorgung. Denn bei einer Pfad-Entscheidung für das EE-Gas-Szenario ist eine „Fall-Back“-Lösung in der dezentralen Wärmeversorgung nicht oder nur sehr eingeschränkt gegeben: Der Transformationsaufwand von Erdgaskesseln/-BHKW auf Wärmepumpen umzustellen wird als deutlich höher eingeschätzt als eine Umstellung von fossilem Erdgas auf erneuerbare Gase bzw. Wasserstoff. Sollte sich der Pfad Erneuerbare Gase im Jahr 2030 als nicht realisierbar erweisen, wäre bereits ein Drittel des möglichen Transformationszeitraums bis 2050 weitgehend ungenutzt verstrichen und die Erreichung einer Klimaschutzziele nach Wechsel auf den Umweltenergie und EE-Pfad bis 2050 stark in Frage gestellt.

- Ein Weiterbetrieb des Gas-Verteilnetzes kann – mindestens im Zeitraum bis 2030 – einen Beitrag leisten, EE-Gasmengen an Standorte zu transportieren, an denen eine Umstellung auf Umweltenergie und EE-Strom aktuell noch an Grenzen stößt.

Aus diesen Gründen wird bei der weiteren Erarbeitung des Wärmemasterplans das Gasnetz-Szenario mit Orientierung auf Umweltenergie und EE-Strom unterstellt.

5. Wärmemasterplan

Im Wärmemasterplan wird eine Strategie für eine langfristig erneuerbare und klimafreundliche Wärmeversorgung aller Freiburger Stadtteile skizziert und für jeden Stadtbezirk perspektivisch ein Wärmeversorgungssystem vorgeschlagen.

In Anlehnung an das Klimaschutzkonzept 2019 [Öko 2019] wird ein Szenario unterstellt, in dem die Fernwärme einen deutlich höheren Anteil an der Wärmeversorgung leistet als heute und in dem die dezentrale Wärmeversorgung, die heute im Wesentlichen auf Basis von Erdgas- und Heizöl-Kesseln basiert, zukünftig in starkem Ausmaß durch Wärmepumpen unter Nutzung von Umweltwärme und (zunehmend) erneuerbarem Strom erfolgt (s. Kapitel 4.4).

Dieses Szenario wird im Masterplan Wärme mit einer räumlichen Verteilung im Stadtgebiet untersetzt (Kapitel 5.1.). In Steckbriefen für jeden Bezirk wird aufgezeigt, welche zentralen Zukunftsoptionen für die erneuerbare Wärmeversorgung dort zur Verfügung stehen, um den Gebäudeeigentümern und Netzbetreibern eine Orientierung für den Umbau der Wärmeversorgungsstruktur zu geben (Anlage 1). Für die größten Fernwärmenetze in Freiburg werden in Kapitel 5.4 Optionen für eine Integration erneuerbare Wärme aufgezeigt. Welche Auswirkungen eine Wärmeversorgung, die in starkem Maße auf Umweltenergie und EE-Strom setzt, auf das Stromnetz hat, wird in Kapitel 5.2. abgeschätzt.

Eine zentrale Vorbedingung für die Erreichung der Klimaszutzziele im Wärmebereich ist eine deutliche Erhöhung der Energieeffizienz der Gebäude. Im Wärmemasterplan wird – in Anlehnung an das Klimaschutzkonzept – davon ausgegangen, dass der Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser in Freiburg trotz wachsender Einwohnerzahlen bis 2030 um 16 % und bis 2050 um 40 % sinkt. Dazu sind große Anstrengungen aller beteiligten Akteure notwendig, die weit über die heute gesetzlich im Gebäude-Energie-Gesetz vorgeschriebenen Maßnahmen für Bestandsgebäude und Neubauten hinausgehen. Die Dämmung der Gebäudehülle und die Erneuerung der Anlagen zur Erzeugung von Trinkwarmwasser und Heizwärme hängen eng zusammen und sollten nach einem abgestimmten Konzept erfolgen. Im Anlagenbereich ist die Absenkung der Versorgungstemperaturen für Heizung und Warmwasser ein wichtiges Ziel. Bereits in teilsanierten Gebäuden ist der Einsatz von Wärmepumpen heute schon effizient möglich [FhG ISE 2020], ggf. als Hybridsystem (Wärmepumpe + Kessel). Je höher die Gebäudeeffizienz und je niedriger die Versorgungstemperaturen, desto besser wird eine Wärmeversorgung mit dem begrenzten Potenzial erneuerbarer Energiequellen gelingen.

Aufgrund der hohen Bedeutung von Effizienzmaßnahmen für das Gelingen der Wärmewende sind im Maßnahmenplan auch Maßnahmen für die Bereich Gebäudeeffizienz enthalten, auch wenn dieser Themenbereich nicht im Fokus des Masterplans steht.

5.1 Eignungsgebiete zentrale / dezentrale Wärmeversorgung

Im Masterplan Wärme werden Eignungsgebiete für Wärmeversorgungssysteme ausgewiesen. Eignung bedeutet in diesem Zusammenhang nicht „Vorrang“ im Sinne einer Verpflichtung, diese Versorgungsart zu nutzen, sondern eine strategische Prioritätensetzung im langfristigen Zeithorizont. Angesichts der hohen Investitionen, die im Gebäudebereich, für den Aus- und Umbau von Wärme- und Stromnetzen und für die Erschließung erneuerbarer Energiequellen in den kommenden Jahrzehnten zu leisten sind, kann eine Skizzierung von Eignungsgebieten Akteure bei der Entscheidungsfindung unterstützen.

5.1.1 Wärmeversorgung und Siedlungstypen

Siedlungstypen sind eines der zentralen Kriterien für die Auswahl möglicher erneuerbarer Wärmeversorgungsoptionen. Im Wärmekataster sind die beheizten Gebäude jeweils einem von 13 Siedlungstypen zugeordnet¹⁴.

Jede Art der Wärmeversorgung unterliegt Restriktionen: nicht jeder Energieträger ist an jedem Ort verfügbar, manche Energieträger benötigen Lagerplatz (Heizöl, Holz), manche profitieren von niedrigen Versorgungstemperaturen im Gebäude, etc. Einige dieser Restriktionen hängen mit der Art des Energieträgers zusammen (s. Kapitel 3.1), andere sind jedoch auch vom Siedlungstyp abhängig.

Dezentrale Wärmeversorgung: In Tabelle 5-1 sind die Restriktionen, die bei einer dezentralen erneuerbaren monovalenten Wärmeversorgung bei verschiedenen Siedlungstypen auftreten können, dargestellt.

Die Darstellung macht deutlich, dass Platzbedarf und damit das Verhältnis von Grundstücksfläche zu beheizter Fläche ein Kriterium ist, das die Auswahl an Optionen für die erneuerbare Wärmeversorgung eine deutliche Restriktion darstellt. Während bei den Siedlungstypen freistehende oder verdichtete Ein- und Zweifamilienhäuser, Stadtvillen und offene landwirtschaftliche Bebauung für zwei oder mehr erneuerbare Energieträger eine Eignung aufweisen. Die meisten anderen Siedlungstypen weisen für mehrere erneuerbare Optionen – je nach ggf. individuellen Randbedingungen – eine eingeschränkte Eignung auf. Die geringste Auswahl an erneuerbaren Optionen liegt bei den zwei Siedlungstypen „Stadtkern“ und „Blockrandbebauung“ vor, wo aufgrund der dichten Bebauung und des pro Grundstücksfläche hohen Wärmebedarfs (= hohe Wärmedichte) viele erneuerbare Optionen oft schwierig zu verwirklichen sind.

Die Einbeziehung leitungsgebundener Energieträger – wie z. B. erneuerbares Gas oder erneuerbarer Strom zur Direktheizung – unterliegen in den Gebäuden wenig technischen Restriktionen. Es ist jedoch davon ausgegangen, dass beide Energieträger ebenso wie Holz zukünftig nur in stark eingeschränktem Maße für die dezentrale Wärmeversorgung zur Verfügung stehen (s. auch Kapitel 3), so dass vor Ort vorhandenen Umweltwärmequellen prioritär genutzt werden sollten.

¹⁴ Der 14. Siedlungstyp – die Kleingartenbebauung – ist i.d.R. unbeheizt.

Tabelle 5-1: Monovalente erneuerbare Optionen für dezentrale Wärmeversorgung

Dezentrale EE-Versorgungsoptionen		Versorgungsoptionen		Versorgungsoptionen mit räumlichen Potenzial-Restriktionen			eingeschränkt verfügbar	
		Holz (HS, Pellets)	Luft-Wärmepumpe	Erd-Wärmepumpe	Abwasserkanal-Wärmepumpe	Grundwasser-Wärmepumpe	EE-Gas	EE-Strom direkt
Techn. Restriktionen der Versorgungsoptionen		Lagerraum, Emissionen, Anlieferung	Versorgungstemperatur, Lärm, GWP Kältemittel	Versorgungstemperatur, Fläche Grundstück, Glykol, GWP Kältemittel	Versorgungstemperatur, GWP Kältemittel, sinnvolle Mindestgröße	Versorgungstemperatur, GWP Kältemittel, Fläche Grundstück		
Siedlungstyp	Restriktionen abhängig vom Siedlungstyp							
Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser		x	x	X	zu klein	X	x	x
Ein- und Zweifamilienhäuser in verdichteter Bauweise	Grundstücksfläche, Raumbedarf Brennstofflager (BSL)	(x)	x	x	zu klein	zu klein, zu eng	x	x
Stadtviellen Gründerzeit		x	x	x	zu klein	zu klein	x	x
Historische Stadtkerne	hohe Individualität, Grundstücksfläche, Raumbedarf Brennstofflager (BSL)	zu eng	(x)	zu eng	(x)	zu eng	x	x
Historische Dorfkern	Grundstücksfläche	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x
Blockrandbebauung	hoher Wärmebedarf im Verhältnis zum Grundstück, BSL, ggf. Gas-Etagen-Heizung	(x)	zu groß zu eng	zu eng	zu klein	zu eng	x	x
Zeilenähnlicher Geschosswohnungsbau 1950 – 1990	hoher Wärmebedarf im Verhältnis zur Grundstücksfläche, Raumbedarf BSL	(x)	zu groß	(x)	(x)	(x)	x	x
Geschosswohnungsbau nach 1990	hoher Wärmebedarf im Verhältnis zur Grundstücksfläche, Raumbedarf BSL	(x)	zu groß	(x)	(x)	(x)	x	x
Großwohnsiedlungen, Punkthochhäuser	hoher Wärmebedarf im Verhältnis zum Grundstück	(x)	zu groß	(x)	(x)	(x)	x	x
Solitärbebauung, Campus	hohe Individualität	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x
Gewerbe	hohe Individualität	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x
Offene landwirt. Bebauung		x	x	x	zu klein	(x)	x	x

x geeignet
 (x) eingeschränkt geeignet
 wenig geeignet
 x Energieträger eingeschränkt verfügbar

Für Stadtgebiete, in denen Siedlungstypen mit schwierigen Randbedingungen für dezentrale erneuerbare Energien relevante Anteile haben, kann eine zentrale Wärmeversorgung mit erneuerbarer Fernwärme eine sinnvolle Alternative sein.

Zentrale Wärmeversorgung: Für eine zentrale Wärmeversorgung über Wärmenetze sind grundsätzlich Siedlungstypen geeignet, die eine hohe Wärmedichte aufweisen, deren Gebäude einem hohen Wärmebedarf haben und deren Grundstückgröße eine im Vergleich zum Wärmebedarf nicht zu lange Hausanschlussleitung notwendig macht. Zur Optimierung des Akquiseaufwandes ist auch die Eigentümerstruktur der Gebäude (möglichst nur ein Eigentümer für viele (Wohn)-Einheiten) oft ein Kriterium, das für die Erschließung eines bestimmten Quartiers mit leitungsgebundener Wärme spricht. Große Kunden, deren Anschluss an ein Wärmenetz vor der Erschließung bereits wahrscheinlich oder gesichert ist, werden oft als „Ankerkunden“ bezeichnet, die das wirtschaftliche Risiko eines Leitungsbaus für den Investor verringern. In Tabelle 5-2 wird eine Einordnung der Siedlungstypen hinsichtlich ihrer Eignung für eine zentrale Wärmeversorgung vorgenommen.

Tabelle 5-2: Siedlungstypen und ihre Eignung für zentrale Wärmeversorgung

Siedlungstyp	
in der Regel geeignet	
Historische Stadtkerne	hohe beheizte Fläche pro km ² Stadtraum (= hohe Wärmedichte)
Blockrandbebauung	hoher Wärmeabsatz pro Hausanschluss (HA) Länge Hausanschluss (HA) und Absatz stehen in wirtschaftl. Verhältnis
Zeilenähnlicher Geschosswohnungsbau 1950-1990	
Geschosswohnungsbau ab 1990	
Punkthochhäuser der 60er / 70er Jahre	
Großwohnsiedlungen	oft nur ein Entscheider für viele (Wohn)-Einheiten (Akquiseaufwand)
Campus-Bebauung	
In Einzelfall ggf. geeignet	
Historische Dorfkerne	Dichte Bebauung (hohe Wärmedichte), aber ggf. niedriger Absatz pro Hausanschluss (HA)
Stadtvillen Gründerzeit	abhängig von Wärmedichte, Absatz pro HA, Länge HA
Ein- und Zweifamilienhäuser in verdichteter Bauweise (Reihenhäuser)	abhängig von Wärmedichte, Absatz pro HA, Länge HA (durch Kopfstationen kann Anzahl der HA reduziert werden)
Gewerbe (sehr heterogen)	abhängig von Wärmedichte, Absatz pro HA, Länge HA
Solitärbebauung (sehr heterogen) z. B. Schulkomplexe, Kirchen, Schwimmbäder)	abhängig von Wärmedichte Umfeld, Absatz pro HA, Länge HA
Wenig geeignet:	
Freistehenden Ein- und Zweifamilienhäuser	niedrige Wärmedichte, niedriger Absatz pro HA, Länge HA
Offene landwirtschaftliche Bebauung	niedrige Wärmedichte, lange Zuleitung zum Kunden

Siedlungstypologie und Wärmedichte sind zwar wichtige, aber keinesfalls die einzigen Kriterien, die in einer Entscheidung zur Erschließung eines Quartiers oder einer Straße mit Wärmenetzen einfließen (für weitere Kriterien s. Anhang 8.7). Im Rahmen einer strategischen Langfristplanung können diese Kriterien jedoch für die eine Definition von Eignungsgebieten herangezogen werden.¹⁵

5.1.2 Eignungsgebiete für die erneuerbare Wärmeversorgung in Freiburg

Bei der Einteilung der 43 Stadtbezirke in Eignungsgebiete für eine zukünftige erneuerbare Wärmeversorgung werden unter Zugrundelegung des Umweltenergie- und EE-Strom orientierten Szenarios drei Arten von Gebieten unterschieden: Stadtbezirke mit Fokus Wärmenetze, Stadtbezirke mit Fokus Umweltenergie und EE-Strom sowie Mischgebiete (s. Abbildung 5-1).

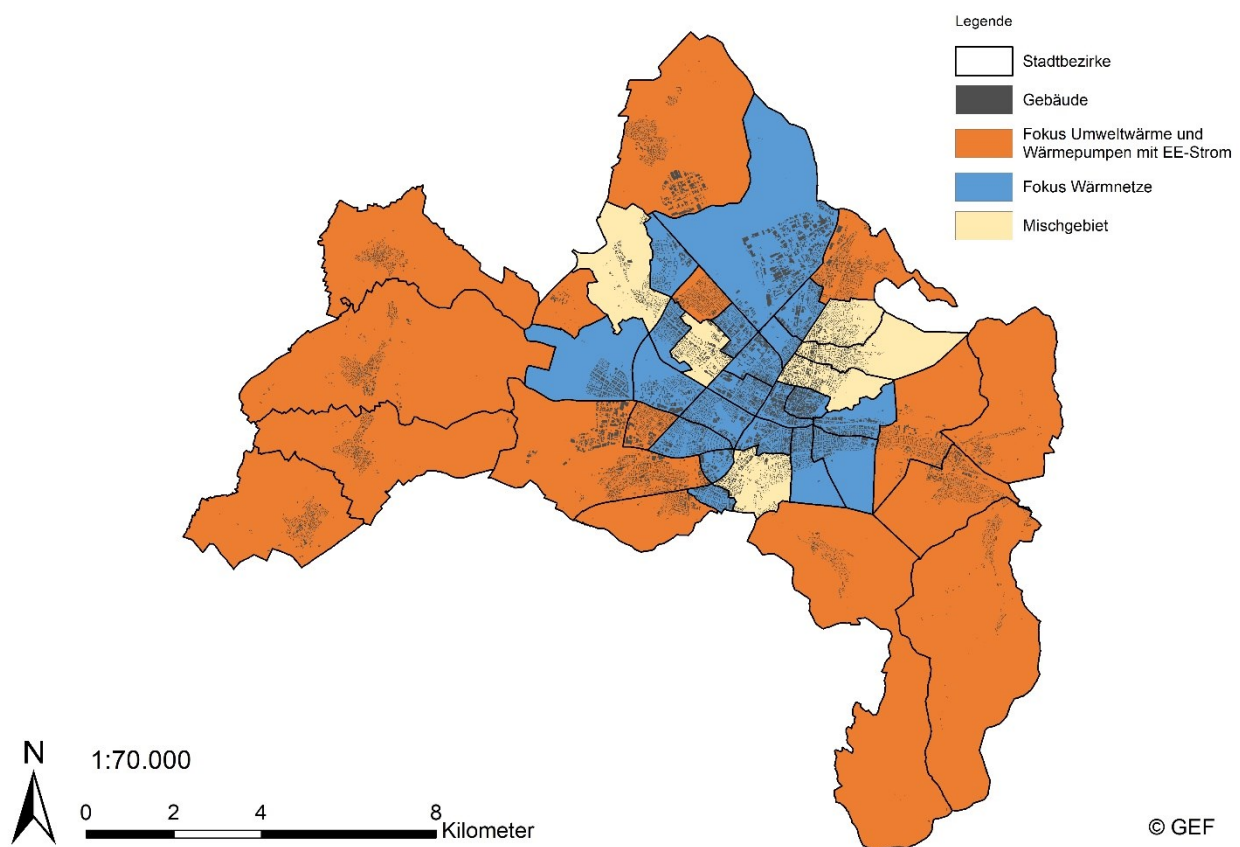


Abbildung 5-1: Einteilung Eignungsgebiete für erneuerbare Wärmeversorgung¹⁶

Quelle: Geodaten @ Stadt Freiburg, geoportal.freiburg.de

Als Entscheidungskriterien für die Definition von Eignungsgebieten werden herangezogen:

- Fokus Wärmenetze: hohe Wärmedichte im Ist-Zustand, vorherrschende Siedlungstypologie, Fernwärmestrategie, Nähe zu bestehenden Wärmenetze

¹⁵ Für die Erarbeitung von energetischen Quartierskonzepten müssen die Voraussetzungen für einer Erschließung mit Wärmenetzen in höherer Detailtiefe geprüft werden.

¹⁶ Die farbliche Darstellung der Eignungsgebiete auf Stadtbezirksebene vergrößert den Anteil der Wärmepumpen optisch, da dünn bebaute Bezirke gegenüber dicht bebauten Bezirken in der Kernstadt mehr Fläche aufweisen.

- Fokus Umweltwärme und Wärmepumpen mit EE-Strom: niedrigere Wärmedichten im Ist-Zustand, vorherrschende Siedlungstypologie, dezentrale Versorgungsoptionen.
- Mischgebiete: einige Stadtbezirke, die heute schon in Teilen über Wärmenetze versorgt werden oder im Rahmen der Fernwärmestrategie erschlossen werden sollen, jedoch auch Teilgebiete aufweisen, die von der Wärmedichte und Siedlungstypologie wenig für eine Netzerschließung geeignet sind, sind als Mischgebiete ausgewiesen.

In den Eignungsgebieten mit Fokus Umweltenergie besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Option von Nahwärmeinseln zu prüfen. Dies kann besonders dann eine sinnvolle Option sein, wenn Ab- oder Umwelt-Wärmequellen zur Verfügung stehen, deren Nutzung durch kleine Einzelgebäude zu aufwändig ist, wie z. B. Abwärme aus dem Abwasserkanal oder aus Gewerbegebieten. Auch bei der Nutzung von Erdwärme kann es sinnvoll sein, wenn benachbarte Eigentümer eine gemeinsame Strategie zur Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien entwickeln (oder von einem Versorger oder Contractor entwickeln lassen).

Die Eignungsgebiete für Wärmenetze gehen über die in der Fernwärmestrategie ausgewiesenen Bereiche hinaus. Dies betrifft u. a. die Altstadt, Oberau, Unter-, Mittel- und Oberwiehre. Hier ist die Wärmedichte i.d.R. hoch und die vorherrschenden Siedlungstypologien für dezentrale erneuerbare Wärmenutzung weniger geeignet.

Für Biomasse, Solarthermie und direkte Stromnutzung zur Wärmeerzeugung werden keine Eignungsgebiete ausgewiesen. Solarthermie und Strom-Direkt-Nutzung werden voraussichtlich schwerpunktmäßig zur Trinkwassererwärmung ergänzend zu einem Heizungssystem zum Einsatz kommen. Ihre Nutzung kann unabhängig von stadträumlichen Gegebenheiten wie Siedlungsstrukturen und Wärmedichten erfolgen. Ähnliches gilt für Biomasse, die vorrangig Gebäuden zum Einsatz kommen sollte, in denen Umweltwärme und Wärmenetze keine Option sind. Dies kann u. a. für Solitärgebäude (Kliniken, Schulen, Bäder, etc.) in Gebieten mit niedriger Wärmedichte ebenso zutreffen wie für bestimmte Gewerbe- oder Industriegebäude.

Grundsätzlich lassen sich erneuerbare Energien in Stadträumen mit niedrigen Wärmedichten leichter realisieren als in verdichteten Bereichen.

- Solarthermie: günstigeres Verhältnis von Dachfläche/Kollektorfläche zum Warmwasserverbrauch
- Erdwärme: Grundstücksfläche ausreichend für Sonden oder Kollektoren
- Grundwasser-Wärmepumpen: Grundstücksfläche ausreichend für zwei Brunnen
- Luft-Wasser-Wärmepumpen: Lärm-Immissionen bei weniger dichter Bebauung geringer
- Holz (Pellets, HS): Lagerplatz bei weniger verdichteter Bebauung eher vorhanden

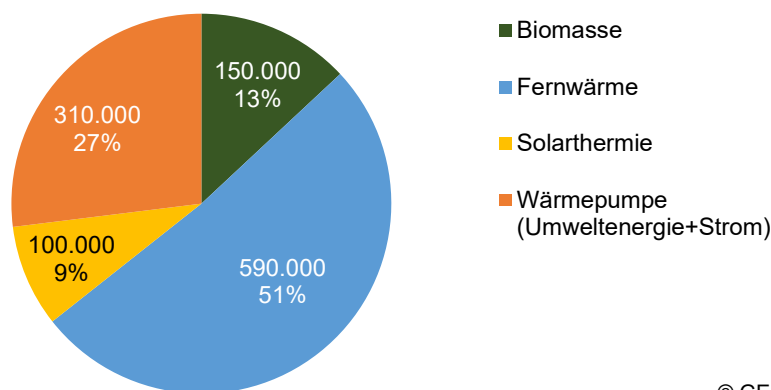
Entsprechend ist eine erneuerbare Wärmeversorgung i.d.R. mit einer Diskussion um **Flächennutzung** verbunden, auch hinsichtlich der Erschließung von Erneuerbaren Energien für Wärmenetze (Leitungen, Energiezentralen, Speicher, EE-Flächen z. B. Freiflächen-Solarthermie oder Erdsondenfelder).

5.2 Entwicklung Energieträgermix Wärme und Treibhausgas-Bilanz

Eine Abschätzung, welcher Energieträgermix und entsprechend welche Treibhausgas-Emissionen sich bei einer Transformation der Wärmeversorgung entsprechend der ausgewiesenen Eignungsgebiete ergeben würde, kann nur überschlägig erfolgen, da im Masterplan Wärme keine detaillierten technisch-wirtschaftlichen Transformationskonzepte für die Vielzahl von Wärmenetze und Quartieren erstellt wurden. Ziel des Masterplans ist eine strategische Untersuchung, wie eine klimaneutrale Wärmeversorgung in Freiburg in räumlicher Verteilung gestaltet werden kann.

Für die Nutzung von Solarthermie und Biomasse, für die räumliche Kriterien keine relevante Rolle spielen, wird in Anlehnung an das Zielszenario für Raumwärme und Warmwasser in privaten Haushalten im Klimaschutzkonzept [Öko 2019] angenommen, dass in 2050 in der dezentralen Einzelversorgung rund 13 % der Wärme durch Biomasse und 9 % durch Solarthermie bereitgestellt werden. Dieser Einsatz findet in jedem Stadtbezirk zu diesen Anteilen statt. Für die Deckung der restlichen 78 % des Wärmebedarfs im Jahr 2050 wird angenommen, dass er in Stadtbezirken mit Fokus Wärmenetzen vollständig aus Wärmenetzen gedeckt wird, in Stadtgebieten mit Fokus Umweltenergie und EE-Strom vollständig über Wärmepumpen.

Endenergieträger-Anteile 2050 Raumwärme und Warmwasser [MWh EE/a]



© GEF

Abbildung 5-2: Anteile Endenergie für Raumwärme und Warmwasser in 2050

Im Ergebnis dieser Abschätzung werden rund 50 % der zukünftigen Wärmeversorgung durch Fernwärme gedeckt und rund 30 % durch Wärmepumpen (Annahme: Rückgang des Endenergieverbrauchs für Wärmeverbrauch auf 60 % des Ist-Verbrauchs). Die in Kapitel 3 grob abgeschätzten Potentiale erscheinen für Solarthermie und Umweltwärme ausreichend, um den hier angenommenen Bedarf in 2050 zu decken (Solarthermie: 150 GWh; oberflächen-nahe Geothermie: 220 GWh plus weitere (nicht quantifizierbare) Potentiale aus Grundwasser, Luft und Abwasserkanal).

Für eine erneuerbare Bereitstellung der Fernwärme ist das angenommene Potenzial für tiefe Geothermie (400 GWh/a) ein wichtiger Baustein – es deckt etwa 2/3 der hier abgeschätzten Fernwärmemenge für 2050. Zur Deckung der verbleibenden 190 GWh Fernwärme könnte die Anzahl der Geothermie-Dubletten erhöht werden oder weitere EE-Wärmequellen genutzt werden (Luft, Freiflächen-Solarthermie, Abwärme aus dem Abwasserkanal oder aus dem Grundwasser, ggf. Klärschlammverbrennung oder Müllverbrennung).

Ohne die Nutzung der tiefen Geothermie wird eine erneuerbare Wärmeversorgung in Freiburg 2050 deutlich erschwert. Die – aktuell nicht quantifizierbaren – Potentiale im Grundwasser würden dann sowohl von dezentralen Einzelobjekten als auch für Wärmenetze nachgefragt; zu welchen Anteilen sie die tiefe Geothermie ersetzen könnten, ist unklar. Weitere Alternativen zur Geothermie könnten der Aufbau einer Müll- oder Klärschlammverbrennung sein oder zentrale große Luftwärmepumpen. Eine weitere Alternative sind verstärkte Anstrengungen im Bereich der Gebäudeeffizienz (Verbrauchsabsenkung um mehr als 40 %), so dass insgesamt weniger erneuerbare Potentiale benötigt werden.

Für die Modellierung des Transformationsprozesses wird eine lineare Entwicklung zwischen 2020 und 2030 unterstellt. Die Nutzung von Heizöl und Erdgas läuft bis 2050 schrittweise aus, die anderen Energieträger bauen ihre Anteile entsprechend aus (s. Abbildung 5-3, in dieser Darstellung ist der Rückgang des Wärmeverbrauchs durch Sanierung noch nicht überlagert).

Entwicklung Endenergieträgereinsatz Raumwärme und Warmwasser - ohne Rückgang durch Sanierung

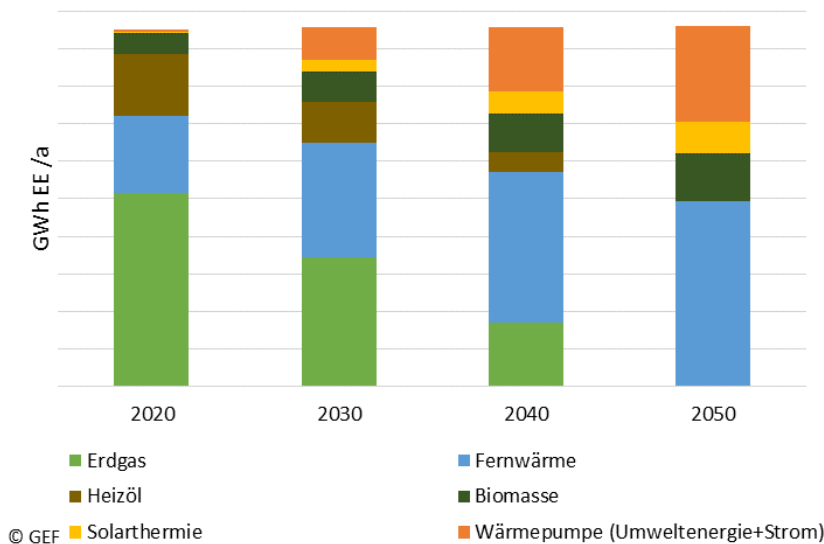


Abbildung 5-3: Endenergieträgerwechsel Wärme

Überlagert man den angenommenen Pfad Energieträgerwechsel mit den angenommenen Reduktionsfaktoren für den Wärmeverbrauch, so ergibt sich die in Abbildung 5-4 dargestellte Entwicklung.

Entwicklung Endenergieträgereinsatz für Raumwärme und Warmwasser - Wärmerückgang durch Sanierung berücksichtigt

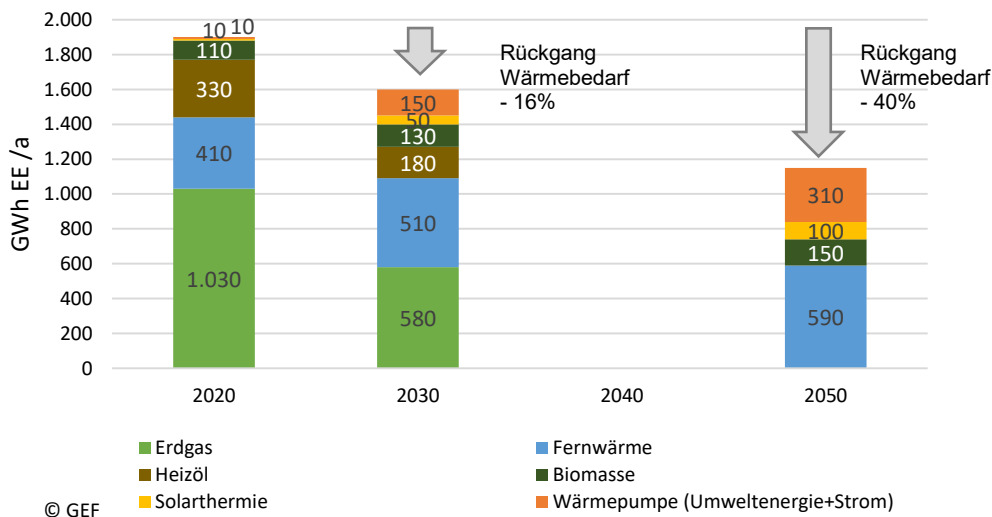


Abbildung 5-4: Entwicklung Endenergieträgereinsatz Wärme 2020 bis 2050

Diese Darstellung macht die Höhe des Transformationstempos im angenommenen Szenario bis 2030 und die damit verbundenen Herausforderungen deutlich:

- Der Verbrauch von Erdgas- und Heizöl geht bis 2030 um mehr als 40 % zurück.
- Der Einsatz von Biomasse steigt um 15 %, der Verbrauch an Fernwärme um über 20 %.
- Die Nutzung von Solarwärme erhöht sich um mehr als den Faktor 5.
- Die Wärmeerzeugung durch Wärmepumpen um mehr als den Faktor 10 (unter der Annahme von 9-12 kW pro Wärmepumpe und 1.500 Vollbenutzungsstunden, müssten pro Jahr und Stadtbezirk 20 bis 25 neue Wärmepumpen fossile Heizungen ersetzen).

Der Anteil der **erneuerbaren Energie an der dezentralen Wärmeversorgung** liegt in diesem Szenario, entsprechend der angenommenen linearen Entwicklung bis 2050, im Jahr **2030 bei ca. 30 %**. Zum Vergleich: im Klimaschutzkonzept wurde für die dezentrale Wärmeversorgung von privaten Haushalten ein Zielwert von 25 % an erneuerbaren Energien definiert.

Diese Abschätzungen sind mit Unsicherheiten behaftet.

- Methodisch handelt es sich um ein Szenario über einen langen Zeithorizont, nicht um eine Prognose. Auf Basis von Annahmen und Zielen wird im Szenario eine Entwicklung skizziert, um daraus Erkenntnisse für ein strategisches Vorgehen im kurz- und auch mittelfristigen Zeithorizont abzuleiten.
- Das Wärmekataster ist mit der Klimabilanz kalibriert, hinsichtlich der Annahmen zum Verhältnis zwischen Raumwärme+Warmwasser zu Prozesswärme in den Sektoren GHD und Industrie bestehen hier Unsicherheiten.
- Eine zusätzliche Kalibrierung mit Verbrauchsdaten für Erdgas und Fernwärme sowie mit Daten der Schornsteinfeger zu den in den Gebäuden genutzten Energieträgern ist noch nicht erfolgt. Die Verabschiedung der Novelle des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg Ende 2020 hat neue Rechtsgrundlagen für die Datenerhebung bei Versorgern und anderen geschaffen, die in das Wärmekataster nicht mehr einfließen konnten. Die neuen Daten werden aktuell von der Stadt Freiburg erhoben, sollen Laufe des Jahres 2021 vorliegen und anschließend in das Kataster eingearbeitet werden. Von dieser neuen Datengrundlage wird die gesamte Klimaschutzpolitik der Stadt profitieren, also auch die zukünftigen Klimabilanzen¹⁷ und Klimaschutzkonzepte, die das Kataster nutzen können.
- Eine Einarbeitung der neuen Datengrundlage in das Wärmekataster kann sowohl zu einer Veränderung des geschätzten Gesamtwärmebedarfs im Ist-Zustand als auch zu einer anderen räumlichen Verteilung innerhalb der Stadtbezirke führen – beides hat Auswirkungen auf die skizzierte Entwicklung der Verbräuche für Fernwärme und Umweltenergie/EE-Strom in 2050 und damit auch auf den Entwicklungsschritt 2030.

Die Unsicherheiten in den Punkten 1-4 betreffen tendenziell die kommunale Wärmeplanung, die Wärmebedarfsermittlung und die aktuelle Klimabilanzierung aller Kommunen in Baden-Württemberg. Durch die jetzt ermöglichte bessere Datengrundlage können sich Verbesserungen in der bisherigen Systematik ergeben.

- Die Annahme einer linearen Entwicklung beim Energieträgerwechsel ist ein einfaches Modell, das beim Ausstieg aus Erdgas und Heizöl das zeitnahe Handeln der Akteure unterstellt. Bei einer angenommenen technischen Nutzungsdauer von dezentralen Kesseln von 20 Jahren ist ein Austausch von 40 % der Kessel innerhalb von 10 Jahren eine plausible Annahme. Kritisch ist, dass bisher auf Bundesebene kein rechtlicher Rahmen existiert, der den beim Austausch von Erdgaskesseln eine Umstellung (oder relevanten Teil-Umstellung) auf erneuerbare Energien verpflichtend macht. Unterstützt wird die Umstellung durch

¹⁷ Solche Anpassungen aufgrund von Korrekturen in der Datenbasis kommen in der Klimabilanzierung vor. Bei der aktuellen Klimabilanz 2018 für Freiburg wurden z.B. die Faktoren für den Sektor Verkehr angepasst.

Förderprogramme, die einen Ersatz oder eine Ergänzung bestehender fossiler Heizungen um eine erneuerbare Komponente finanziell unterstützen.

Lt. Klimaschutzkonzept 2019 sollen die Treibhausgas-Emissionen in Freiburg gegenüber 1992 bis 2050 absolut um ca. 95 % zurückgehen und pro Kopf um 99 %. Orientiert am Klimaschutzkonzept wird für den Anwendungsbereich Wärme ein Emissions-Pfad abgeleitet. Der Rückgang von 2020 bis 2030 liegt dabei bei - 35 % der CO_{2e}-Emissionen, von 2020 bis 2050 bei - 95 %¹⁸. Für die Energieträger Biomasse, Solarthermie und Strom (Wärmepumpen) gehen als Annahmen die Emissionsfaktoren und Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpen aus dem Klimaschutzkonzept 2019 (Zielszenario) ein (s. Anhang 8.1). Der Emissionsfaktor für die Fernwärme wird jeweils so gewählt, dass die gewünschten Emissionsminderungen erreicht werden. Abbildung 5-5 visualisiert den resultierenden Rückgang der Emissionen.

Entwicklung Treibhausgas-Emissionen für Raumwärme und Warmwasser

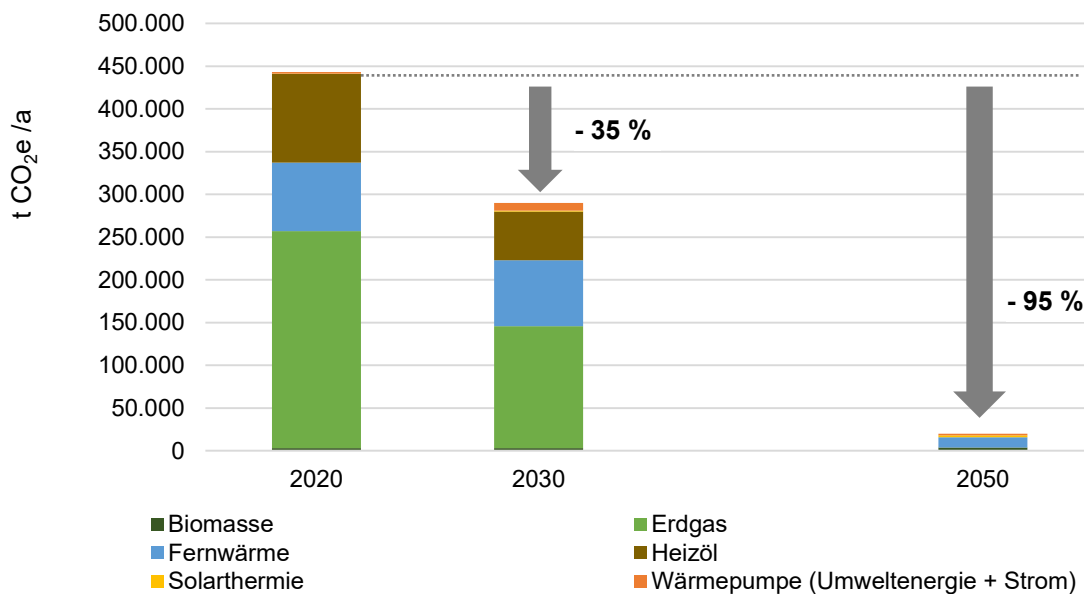


Abbildung 5-5: Entwicklung Treibhausgas-Emissionen bis 2050

Für eine vollständige Klimaneutralität ist für alle Energieträger inkl. Vorketten ebenfalls Klimaneutralität erforderlich. In diesem Rückgangspfad liegt der Emissionsfaktor der Fernwärme (Mischwert für alle Netze, Ermittlung mit exergetischer Methode) aktuell bei 193 g CO_{2e}/kWh, in 2030 bei 150 g CO_{2e}/kWh und in 2050 bis 20 g CO_{2e}/kWh. Neben der Gebäudeeffizienz und dem Auslaufen der Energieträger Gas und Heizöl leistet besonders die Dekarbonisierung der Stromerzeugung einen wichtigen Beitrag zum Rückgang der Emissionen. Der Anteil der Wärmepumpen an der Wärmeerzeugung steigt bis 2030 schon deutlich. Die Wärmepumpen tragen aufgrund des hohen Anteils an EE-Strom am Strommix und der – gegenüber einer Direktstrom-Nutzung – erhöhten Effizienz dennoch nur sehr gering zu den Emissionen bei.

¹⁸ Mit Bezug auf 1992 ist der Rückgang noch näher an 100 %.

5.3 Auswirkungen auf das Stromnetz

Ein Energieträgerwechsel von Erdgas zu einer breiten Nutzung von Umweltenergie mittels Wärmepumpen führt zu einer stärkeren Beanspruchung des Stromnetzes für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser. Für eine grobe Bewertung möglicher Auswirkungen auf das (hier relevante) Niederspannungsstromnetz wird aus dem Anteil von Umweltenergie und Wärmepumpen am Gesamtwärmebedarf 2050 (ca. 310 GWh/a) der Stromverbrauch mit einer angenommenen Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4,5 ermittelt (ca. 70 GWh/a). Gegenüber dem heutigen Stromverbrauch in Freiburg auf der Niederspannungsebene würde dies lt. bnNETZE einer Erhöhung um ca. 10 % entsprechen. Der Zeitpunkt der Höchstlast liegt im Stromnetz aktuell in den frühen Abendstunden (nach 17:00 Uhr). Die Höchstlast für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser liegt dagegen am Morgen (Ende der Nachtabsenkung der Heizung, Warmwasserverbrauch durch morgendliches Duschen). Durch diesen Zeitversatz der zusätzlichen Stromnachfrage durch Wärmepumpen gegenüber der Spitze durch den restlichen Stromverbrauch sind auch im Hinblick auf die Leistung keine Netzengpässe im Niederspannungsbereich durch die Verbreitung von Wärmepumpen absehbar. Wenn Netzbetreiber mit Wärmepumpenbetreibern im Gegenzug für günstigere Stromtarife vertragliche absteuerbare Zeiten vereinbaren, in denen der Netzbetreiber die Wärmepumpe bei Bedarf absteuern oder sogar vom Stromnetz trennen kann, können Lastspitzen zusätzlich geglättet werden. Eine mögliche Absteuerung muss bereits bei der Planung der Wärmepumpen berücksichtigt werden, z. B. durch die entsprechende Auslegung von Heizungs-/Warmwasserspeichern.

Eine weitgehende Nutzung geeigneter Freiburger Dachflächen für Photovoltaikanlagen ist nach Einschätzung von bnNETZE ebenfalls netztechnisch unkritisch, der erzeugte Solarstrom kann vom Niederspannungsstromnetz aufgenommen werden. Überschussmengen, die im Niederspannungsnetz nicht zeitgleich verbraucht werden, können durch die vorhandenen Transformatoren in höhere Netzebenen eingespeist werden.

5.4 Integration Erneuerbare Wärme in Wärmenetze

Die Bandbreite und Vielzahl erneuerbarer Wärmequellen ist grundsätzlich vielfältig. Aber die Potentiale der einzelnen Quellen können lokal stark begrenzt sein. Dies wird nicht zuletzt deutlich bei Betrachtung der Flächennutzungskonkurrenz zwischen Nahrungs- und Energiepflanzen in der Landwirtschaft. Ebenso lässt sich für Wärmenetze grundsätzlich ableiten, dass keine Standardlösung zur Integration erneuerbarer Wärme, die auf alle Wärmenetze anwendbar ist, existiert. Daher sind die Netze immer im Einzelnen in entsprechend planerischer Tiefe durch die Wärmenetzbetreiber auf genau die lokal verfügbaren erneuerbaren Quellen hin zu untersuchen und zu projektieren. Diese Arbeiten umfassen in der Regel Jahre, bis tatsächlich eine Umsetzung ins Auge gefasst werden kann, da neben der technischen Machbarkeit auch die genehmigungsrechtliche Seite abgeklärt sein muss.

Um dennoch Schlüsse für den Wärmemasterplan generieren zu können, werden in diesem Kapitel theoretische Vorbetrachtungen für drei große Wärmenetze in Freiburg angestellt: Weingarten/Rieselfeld, Wärmeverbund Freiburg-Süd und UKF-Netze. Aufgrund der hohen Anzahl und Vielfalt der Wärmenetze in Freiburg kann dies im Rahmen des Masterplans nicht für alle Netze erfolgen.

5.4.1 Vorausbetrachtungen am Beispiel Weingarten/Rieselfeld

Das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld wird ausgewählt, weil es die schwierigsten Bedingungen für eine Dekarbonisierung vorhält. Einerseits ist es das größte öffentliche Fernwärmenetz der Stadt mit der größten Wärmeabnahme. Zudem ist es mit das älteste Netz, was sich auch in der höheren Vorlauftemperaturen (100 °C) in der Wärmeverteilung widerspiegelt. Hohe Temperaturen in der Wärmeverteilung verschlechtern die Integrationsmöglichkeiten von erneuerbaren Energien.

Die Wärmeerzeugung wird derzeit überwiegend in hocheffizienten KWK-Anlagen auf Erdgasbasis erzeugt, was zum heutigen Stand auch noch deutliche ökologische Vorteile gegenüber der konventionellen Erzeugung liefert. Mittelfristig muss die Rolle dieser KWK-Anlagen neu definiert werden – in einer zunehmend von erneuerbaren Quellen geprägten Strom- und auch Wärmeversorgung. Betreiber des Netzes ist die Freiburger Wärmeversorgung GmbH (Anteilseigner: 51% badenovaWÄRMEPLUS, 4% Steag New Energies).

Im Rahmen dieser Untersuchung, die sich auf den Zeithorizont bis 2030 konzentriert, wird demnach im ersten Schritt eine Auflistung aller theoretisch denkbaren erneuerbaren Wärmequellen erstellt, die im Netz Weingarten/Rieselfeld zum Einsatz kommen können. Im zweiten Schritt wird die Auswahl eingeschränkt, indem nach qualitativen Kriterien Quellen ausgeschlossen wurden, die nicht oder nicht im nennenswerten Umfang zur Dekarbonisierung des Wärmenetzes Weingarten/Rieselfeld werden beitragen können. Insbesondere die Folgenden werden aus den aufgeführten Gründen dabei nicht weiter betrachtet:

- Umweltwärme aus Abwasserkanälen (Nutzungskonkurrenz zum neuen Stadtteil Dietenbach)
- Oberflächennahe Geothermie (keine ausreichend verfügbaren Freiflächen im Untersuchungsgebiet)
- Restholzverwertung aus Grünflächenpflege (Potential bereits genutzt)
- Erneuerbarer Wasserstoff (trotz des Vorteils der „vorhandenen“ Verteilinfrastruktur mittelfristig eingeschränkte Verfügbarkeit)
- Power to Heat auf Basis erneuerbarer Stromüberschüsse (trotz Notwendigkeit im Rahmen der Sektorenkopplung mittelfristig zu erwartende geringe Verfügbarkeit)

Die nach diesem Verfahren verbleibenden erneuerbaren Wärmequellen, deren Potentialermittlung zu keinen Restriktionen in diesem Stadium führen, sind:

- Biomasse-Verbrennung (vornehmlich Holzhackschnitzel aus der umliegenden Region)
- Nutzung industrieller Niedertemperatur-Abwärme (aufgewertet durch Großwärmepumpen)
- Umweltwärme aus der Grundwassernutzung (aufgewertet durch Großwärmepumpen)
- Umweltwärme aus der Umgebungsluft (aufgewertet durch Großwärmepumpen)
- Freiflächen-Solarthermie
- Tiefe Geothermie

Natürlich bedarf es für diese Wärmequellen weiterer ingenieurtechnischer Untersuchungen, um eine Realisierung bzw. tatsächliche Machbarkeit bejahen zu können. Diese Arbeiten gehen aber über den hier möglichen Untersuchungsumfang im Wärmemasterplan hinaus. Um über diese Wärmequellen in Bezug zu der Integration in das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld dennoch eine qualitative Aussage machen zu können, wird ein Technologievergleich auf Basis tatsächlicher Referenzprojekte zur Nutzung der jeweiligen Wärmequellen des Projektpartners badenovaWÄRMEPLUS erstellt. Als Kalkulationsbasis werden die in diesem Projekt abgestimmten Kostenentwicklungen und Preisannahmen im speziellen in Bezug auf die Bepreisung von CO₂-Emissionen verwendet (siehe Tabellen im Anhang 8.2). Die sich daraus ergebenden Kostenvergleiche für die in ein Wärmenetz eingespeisten Wärmemengen sind in Abbildung 5-6 dargestellt. Ergänzt wird dieser Technologievergleich noch um konventionelle mit Erdgas befeuerte Kessel sowie strommarktdienliche Erdgas-BHKWs, um einen Vergleich mit diesen Techniken zu ermöglichen. Eine Aussage zu Kosten der tiefen Geothermie ist zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht möglich, da die Arbeiten der parallelen Studie noch nicht abgeschlossen und verarbeitet werden konnten.

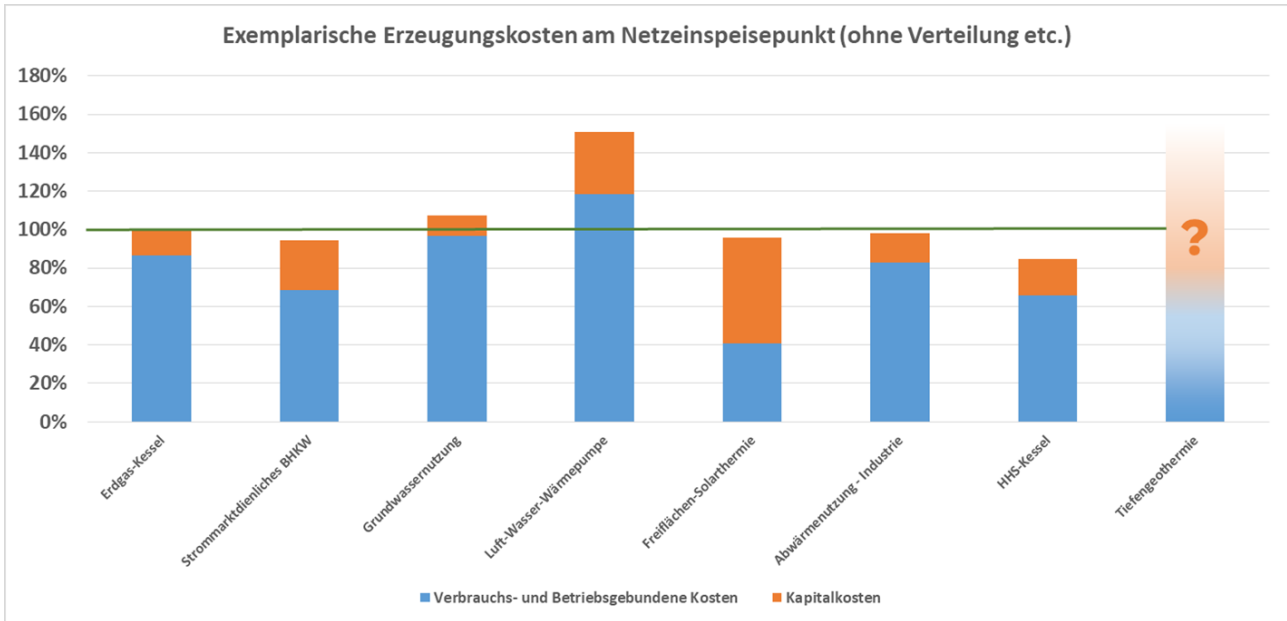


Abbildung 5-6: Exemplarische Erzeugungskosten am Netzeinspeisepunkt für erneuerbare Wärmequellen zur Integration in das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld mit Referenzvergleich

In Abbildung 5-7: sind die spezifischen CO_{2äq}-Emissionen der Technologie-Optionen vergleichend dargestellt. Die Wärmeversorgung aus Erdgaskessels weist die ungünstigsten THG-Emissionen auf.

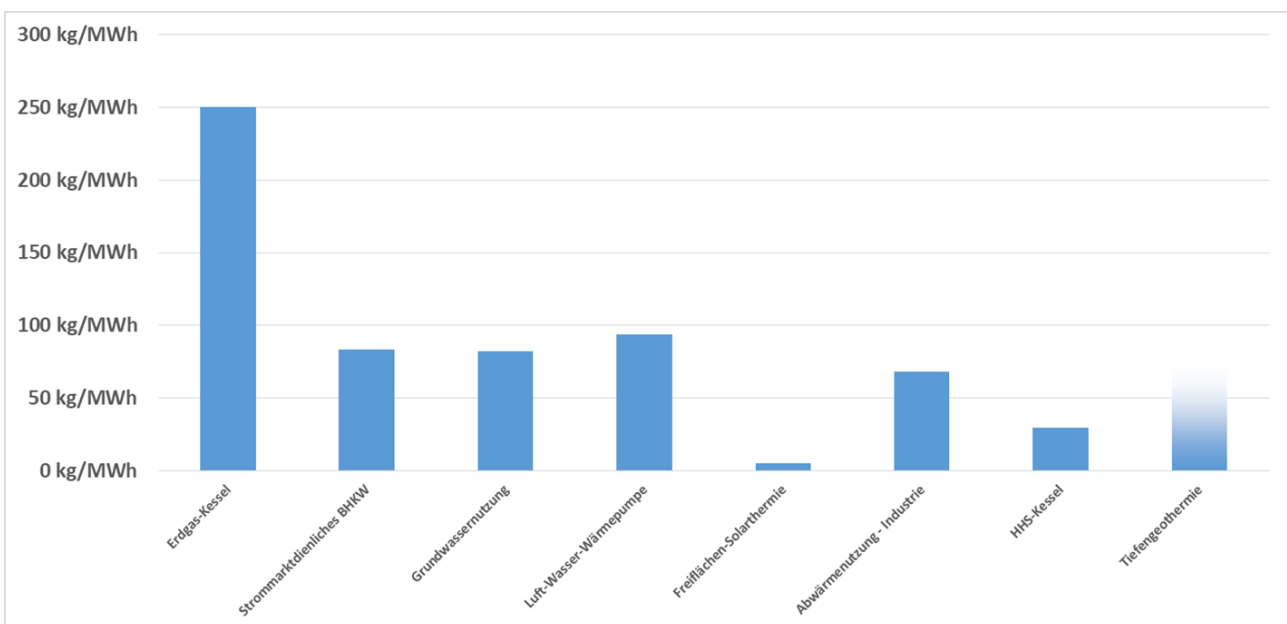


Abbildung 5-7: Spezifische CO_{2äq}-Emissionen der untersuchten erneuerbaren Wärmequellen zur Integration in das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld mit Referenzvergleich

Die wesentlichen Aussagen dieser Ergebnisse sind:

- Die untersuchten erneuerbaren Wärmequellen liegen in ihren Erzeugungskosten auf dem Niveau der fossilen Erzeugung in einem Gaskessel (Referenz).

- Ausnahme bildet hier nur eine Luft-Wasser-Großwärmepumpe zur Nutzung der Umgebungsluft als Wärmequelle, was sich durch den erhöhten Stromeinsatz bei niedrigen Außentemperaturen erklärt.
- Im Vergleich zum Erdgaskessel (Referenz) fallen die spezifischen CO_{2äq}-Emissionen bei allen untersuchten Varianten wesentlich.
- Die geringsten Emissionen verursacht eine Freiflächen-Solarthermie gefolgt von einem Holzhackschnitzel-Kessel (HHS-Kessel)
- Bei diesem allgemeinen Technologievergleich ist noch nicht berücksichtigt, dass die EE-Quellen am Standort Weingarten/Rieselfeld unterschiedlich hohe Potenziale haben und nicht alle die gleiche Wärmemenge bzw. -leistung bereitstellen können

Aus diesen Erkenntnissen heraus werden mehrere Varianten eines fiktiven Erzeugerparcs aus den betrachteten Wärmequellen für das Wärmenetz erstellt und zusammengefügt. Das wahrscheinlichste Szenario zur Erzielung eines möglichst hohen Anteils nicht-fossiler Energiequellen ist eine Kombination aus Abwärme, Grundwassernutzung, HHS-Kessel mit strommarktdienlichem BHKW¹⁹ und Spitzenlast-Erdgaskessel. Die Erzeuger sind in der Jahresdauerlinie in der Abbildung 5-8: dargestellt.

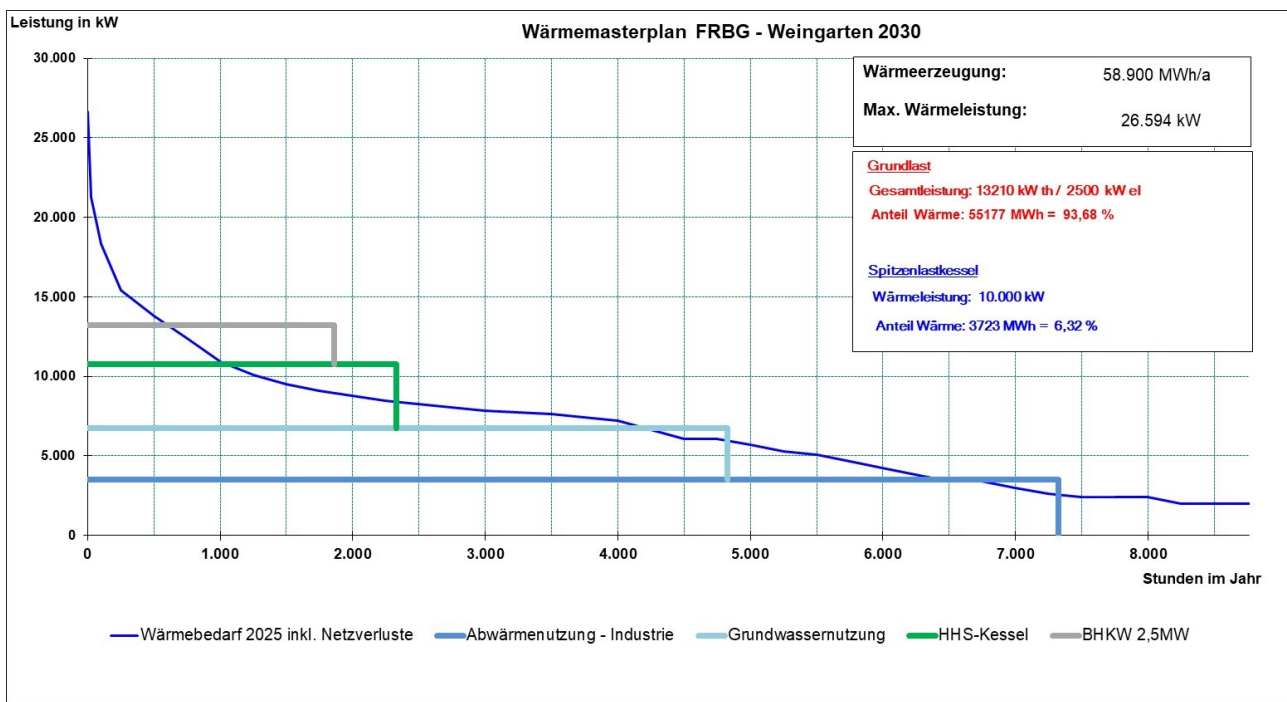


Abbildung 5-8: Jahresdauerlinie eines wahrscheinlichen Erzeugermixes mit hohen Erneuerbaren bzw. Abwärmeanteilen für das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld in 2030

In dem betrachteten Szenario wird die Niedertemperatur-Abwärme als Grundlast geführt, da sich so die wesentlichen Investitionskosten am ehesten über die große Wärmemenge amortisieren lassen. Die Grundwassernutzung sowie der HHS-Kessel decken die Mittellast ab, während das strommarktdienliche BHKW im Sinne der Sektorenkopplung stromgeführt zu Zeiten eines erhöhten Bedarfes im Stromnetz betrieben werden kann. Um die Spitzenlast zu decken und eine Redundanz in der Erzeugung zu realisieren, stellt der Erdgas-Kessel weiterhin die wirtschaftlichste Lösung dar. Am Ende erzeugt dieser aber weniger als 7 % der gesamten Wärmeezeugung. In Betrachtung der gesamten CO_{2äq}Emissionen in diesem Versorgungsszenario ergibt sich daher ein spezifischer Emissionswert von unter 80 g/kWh, vgl. Abbildung 5-9.

¹⁹ Strommarktdienliche BHKW werden nicht wärmegeführt in der Grundlast betrieben, sondern dann, wenn der Strompreis hoch ist. Das ist in der Regel der Fall, wenn fluktuierende erneuerbare Energien im Strommarkt nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Strommarktdienliche BHKW haben daher in der Regel deutlich verkürzte Einsatzzeiten und Vollbenutzungsstunden (Vbh).

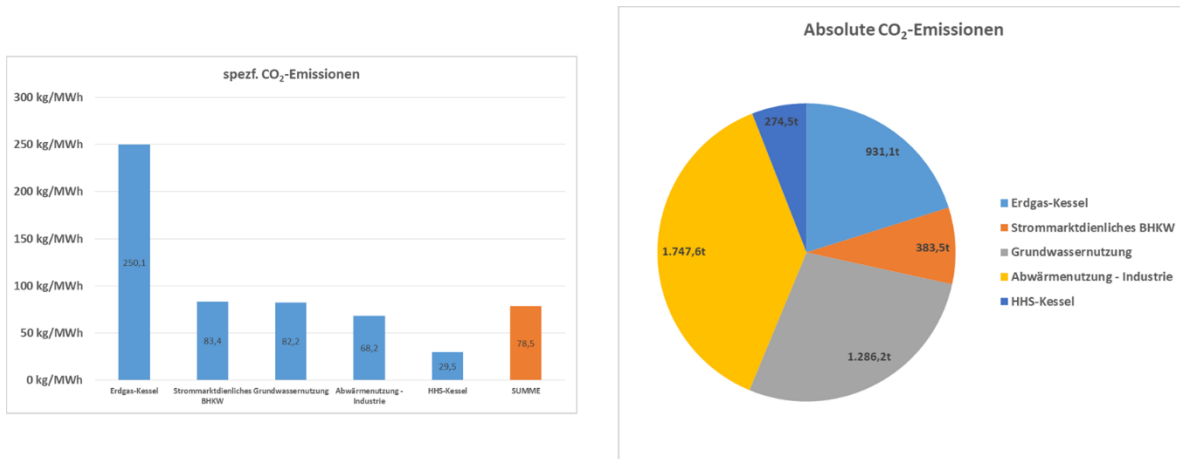


Abbildung 5-9: Spezifische und absolute CO_{2äq}-Emissionen des Erzeugermixes mit hohen Erneuerbaren bzw. Abwärmeanteilen für das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld in 2030

In Summe ist damit also aufgezeigt, dass es grundsätzlich denkbar ist, dass bis 2030 einzelne Wärmenetze die Zielwerte für die spezifischen CO_{2äq}-Emissionen von 98 g CO_{2äq}/kWh wirtschaftlich nicht nur erreichen, sondern sogar unterschreiten können (für Zielwerte s. auch Maßnahmenplan). Zur Übertragung dieser Ergebnisse auf das gesamte Stadtgebiet sind aber evtl. Nutzungskonkurrenzen zu berücksichtigen. Dies trifft einerseits bei der Nutzung des Grundwassers zu, das gerade in Stadtteilen mit geringer Bebauungsdichte durch dezentrale Sole/Wasser-Wärmepumpen als Wärmequelle genutzt werden soll. Das gesamte technisch-wirtschaftliche Potential der Freiburger Grundwasserleiter für eine gemeinsame Nutzung zur Bereitstellung regenerativer Wärme sowohl in Wärmenetzen als auch bei dezentralen Anwendungen ist noch durch detailliertere Untersuchungen bzw. Modellierungen zu bestimmen.

Eine ähnliche Nutzungskonkurrenz ist bei der Verwendung von Abwärme zu erwarten. Denn neben einer Dekarbonisierung der bestehenden Netze setzt der Wärmemasterplan einen deutlichen Ausbau der Fernwärme-Versorgungsgebiete voraus. Entsprechend kann es sinnvoller sein, die verfügbare Abwärme in neu erschlossenen Versorgungsgebieten einzusetzen.

5.4.2 Umsetzungsbeispiel eines Wärmenetzsystems der 4. Generation – „Wärmeverbund Freiburg-Süd“

Im Rahmen einer eigenständigen Machbarkeitsstudie hatte die badenovaWÄRMEPLUS die Transformation, Aufbau und Erweiterung eines Wärmenetzsystems 4.0²⁰ in den Stadtteilen Haslach und Vauban in Freiburg untersucht. Ausgangslage waren die drei Bestandsnetze Staudinger, Vauban und Schildacker. Bei der Potentialbetrachtung und Grundlagenermittlung hatte sich ergeben, dass für das Untersuchungsgebiet die Einspeisung von industrieller Abwärme das größte technische und wirtschaftliche Potential zur brennstofffreien (CO₂-armen)

²⁰ Definition laut Förderbekanntmachung zu den Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0 des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Wärmenetze der vierten Generation mit Temperaturen, die im Regelfall im Bereich von 20 °C bis 95 °C liegen, weisen eine Vielzahl von Vorteilen gegenüber der konventionellen Wärmeversorgung auf. Dazu gehören typischerweise hohe Anteile an erneuerbaren Energien und eingekoppelter Abwärme, die Einbindung saisonaler Großwärmespeicher, die Bereitstellung von Flexibilitätsoptionen für den Strommarkt und die Ermöglichung von effizienten Quartierslösungen in der Wärme- und Kälteversorgung. Zugleich können solche Systeme konkurrenzfähige Wärmegestehungskosten aufweisen, indem sie bislang nicht nutzbare erneuerbare Wärmequellen, bspw. am Stadtrand oder auf dem Nachbargebäude erschließen und mit der Wärmesenke verbinden, eine effektive Einbindung von günstiger gewerblicher Abwärme ermöglichen beziehungsweise als Entwicklungsvorhaben in der Branche Lernkurven- und Skaleneffekte zur Vorbereitung einer Markteinführung solcher Systeme befördern. Ferner wird die Bereitstellung von Flexibilität durch den Wärmemarkt für den Strommarkt erhöht, indem die Kombination von (Groß-)Wärmepumpen und saisonalen Großwärmespeichern oder auch anderen Power-to-x-Lösungen die Sektorkopplung unterstützt und befördert.“

Wärmeerzeugung bietet. In Kombination und durch Zusammenschluss der drei oben beschriebenen Netze lässt sich somit die Grundlage für die Transformation und wesentliche Erweiterung hin zu einem Wärmenetzsystem 4.0 schaffen. Für die auf Basis der Machbarkeitsstudie favorisierte Variante „Wärmeverbund Freiburg-Süd“ bedeutet dies eine Vielzahl von Maßnahmen, welche in insgesamt sieben Bauabschnitte unterteilt wurden. Wesentliche Elemente dieses Wärmenetzsystems 4.0, das **seit September 2020 umgesetzt** wird, sind:

- Einspeisung wesentlicher Anteile (über 73 % der Gesamterzeugung) von industrieller Abwärme aus der Schwarzwaldmilch und regenerativer Biomasse
- Transformation von Dauerläufer-Bestands-BHKWs zu strommarktdienlichen Kurzläufern
- Zusammenlegung der Netze Vauban und Haslach sowie Erschließung des Stadtteils Stühlinger
- Schaffung eines innovativen Wärmeverbundes aus vielen verteilten großen und kleinen Einspeisern
- Verdopplung des Versorgungsgebietes auf über 3,3 km²
- Primärenergetische Einsparung von 11.000 MWh/a
- Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionen der Wärmeerzeugung auf unter 40 kg je MWh und damit Einsparung von 5.000 t pro Jahr
- Sanierungskonzept zur Reduktion der Rücklauftemperaturen in den Bestandsnetzen

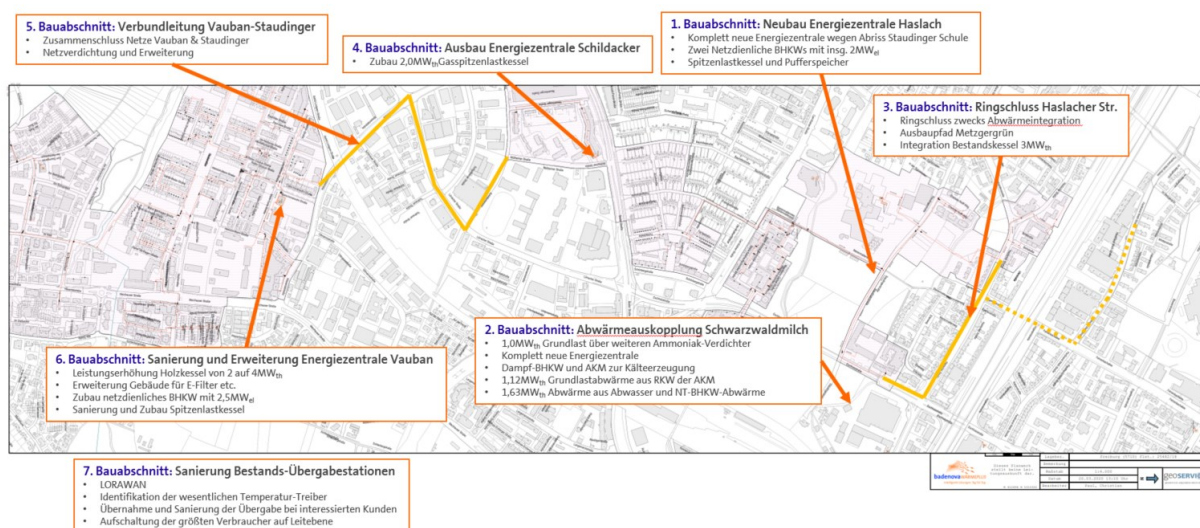


Abbildung 5-10: Übersicht über die sieben Bauabschnitte zur Umsetzung des Projektes „Wärmeverbund Freiburg-Süd“

Wesentliches Element der Erzeugerstruktur ist dabei der 2. Bauabschnitt. Hierdurch wird die Möglichkeit geschaffen, bis zu 3,75 MW industrieller Abwärme in das Wärmeverbundnetz einzuspeisen sowie ein eigenständiges kleines Prozesskältenetz sowie eine Prozessdampfversorgung aufzubauen. Dazu wird die Wärmeauskopplung und Einspeisung von industrieller Abwärme in die bestehenden Eiswasseranlage (= Kälteerzeugung) sowie dem Abwasserkreislauf der Schwarzwaldmilch GmbH Freiburg integriert. Dies geschieht, indem über zusätzliche Wärmepumpen die Rückkühlwärme des Kälteprozesses und die dem Abwasser entzogene Wärme auf ein im Wärmenetz nutzbares Temperaturniveau von bis zu 85 °C angehoben wird.

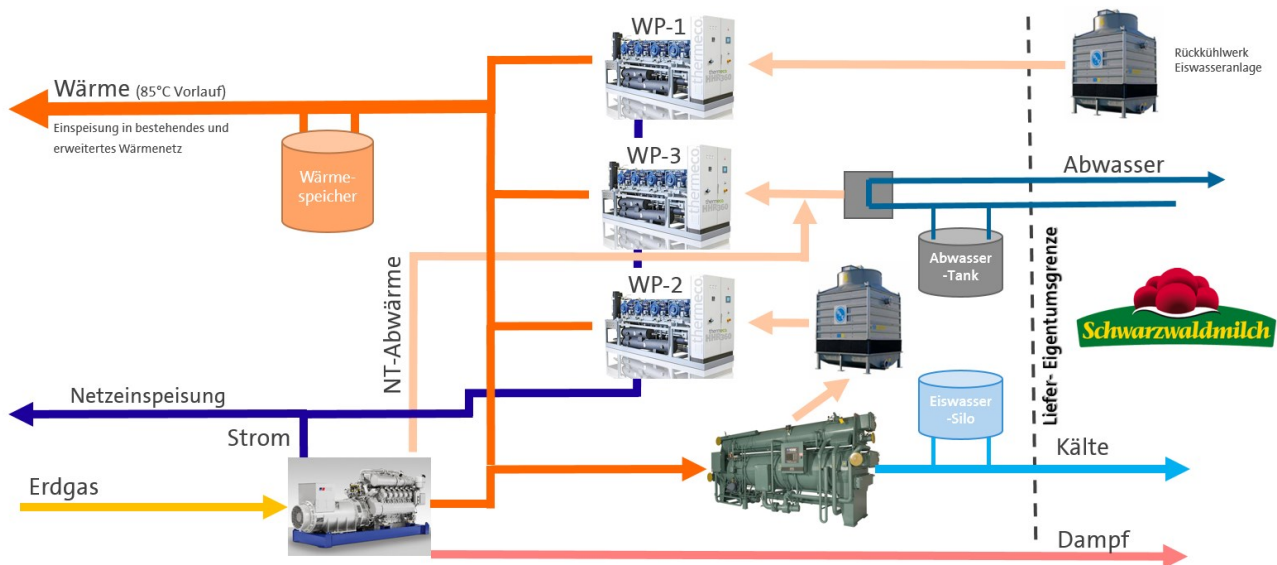


Abbildung 5-11: Prinzipschema Abwärmeauskopplung und Aufbereitung „Wärmeverbund Freiburg-Süd“

Die so vorhandene Abwärme wird in das Staudinger-Wärmenetz eingespeist. Die vorhandene Abwärmemenge und Leistung übersteigt den aktuellen Bedarf deutlich und ermöglicht so eine Erweiterung des Versorgungsgebietes. Dies erfolgt in den Bauabschnitten drei und fünf. Der Bauabschnitt drei enthält neben einem notwendigen Ringschluss zur besseren Leistungsverteilung im Bestandsnetz die Erweiterung des Netzes über die Dreisam und B31 hinaus in das Areal Metzgergrün, bei dem über 1.000 Wohneinheiten (Gebäudebestand und -Neubau) erschlossen werden sollen. Im fünften Bauabschnitt erfolgt der Zusammenschluss der Netze Staudinger und Vauban und der Anschluss weiterer Abnehmer entlang dieser Trasse sowie an den Vauban angrenzender Gebiete (Netzverdichtung und -erweiterung). So wird auch sichergestellt, dass das Bestandsnetz Vauban ebenfalls aus Abwärme gespeist werden kann.

Weitere regenerative Erzeugungsleistung wird im 6. Bauabschnitt geschaffen. Hier wird anstelle des vorhandenen kleinen Holzhackschnitzelkessels ein komplett neuer und großer HHS-Kessel mit 4 MW thermischer Leistung aufgebaut, welcher allein schon in der Lage ist, etwa 25 % der gesamten Erzeugung im Wärmeverbund erneuerbar bereit zu stellen. Im Sinne der Strommarktdienlichkeit des Wärmeverbundes wird zu dem ein netzdienliches BHKW mit 2,5 MW_{el} zugebaut. Durch den Neubau der Energiezentrale Haslach im ersten Bauabschnitt erfährt der Verbund eine noch stärkere Strommarktdienlichkeit durch den Zubau von zwei BHKWs mit insg. 2 MW_{el}. Denn die Grundlast der Wärmeversorgung wird durch die Abwärme bzw. den HHS-Kessel bereitgestellt und so können die BHKWs flexibel als sogenannte „Kurzläufer“ abhängig vom Bedarf des Stromnetzes betrieben werden.

Die Bauabschnitte eins, drei, vier und sechs enthalten zudem den Neubau von Erdgas-betriebenen Kesseln. Deren Funktion besteht einerseits in der Abdeckung der Spitzenlast, andererseits aber auch in einer Absicherung der Erzeugerleistung (Redundanz). Wesentlich ist aber, dass diese Kessel über das gesamte Netzgebiet gleichmäßig verteilt sind und somit einen Beitrag zum Ausgleich der komplexen Netzhydraulik als verteilte Erzeuger leisten können.

Wie sich im Rahmen der Ausarbeitung der Machbarkeitsstudie gezeigt hat, lassen sich die Rücklauftemperaturen in den Bestandsnetzen durch gezielte Maßnahmen reduzieren und so Vorteile in der Wärmenetzeffizienz erzielen. Gerade in den Bestandsnetzen ist hierbei die direkte Kommunikation und gemeinsame Aktion mit den Wärmekunden zwingend, da diese Eigentümer der Übergabestationen sind. Ziel des siebten Bauabschnittes ist es daher, die Übergabestationen durch LORAWAN-Funktechnik fernauslesbar zu machen, so die wesentlichen Treiber von hohen Rücklauftemperaturen in den jeweiligen Netzen zu identifizieren und mit den Kunden auf Basis der so

gewonnen Daten in die Fehlersuche und Lösungsfindung einzusteigen. Dies kann je nach Bedarf sogar die komplette Sanierung der Übergabestation mit Warmwasserbereitung sein, sofern dies zu einer wesentlichen Reduktion der Rücklauftemperaturen führt.

Mit der Transformation der Bestandsnetze leistet dieses Projekt bereits einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen der gesellschaftlichen Wärme- und Energiewende vor Ort. Dieser wird noch verstärkt durch die ambitionierte Wärmeabsatzsteigerung von 24.000 MWh im Jahr 2019 auf eine Gesamtabnahme von 41.602 MWh in 2025. Wird diese Wärmemenge durch den hier dargestellten „Wärmeverbund Freiburg-Süd“ mit dem jeweils berechneten fp-Faktor von 0,39 und spezifischen CO₂-Emissionswerten von 34,77 kg/MWh bereitgestellt, sind deutliche Reduzierungen gegenüber dem Status Quo (Bestandsversorgung) zu erwarten (Abschätzung Emissionsfaktor mit FW 309 - 6). Während sich der Primärenergieeinsatz um 35,5 % reduziert, reduzieren sich die CO₂-Emissionen sogar um 74,8 %.

5.4.3 Netz Universitätsklinikum

Das Uniklinikum Freiburg (UKF) betreibt wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben verschiedene Netze für unterschiedliche Medienformen von medizinischen Gasen, ein Kältenetz sowie ein Wärmenetz, das in weiten Teilen als Dampfnetz ausgeführt ist. In Abbildung 5-12 ist der Dampfnetzteil in dunklerem Lila dargestellt; die ältesten Netzteile wurden Mitte der 1950er Jahre realisiert. Wie in Abbildung 5-12 zu erkennen, sind dem Dampfnetz auch neuere Netzabschnitte nachgelagert, die als Heißwassernetz betrieben werden. Das sind die Flughafen-Leitung (nördlichere Leitung in pink) mit dem Temperaturniveau von unter 100 °C im Vor- und im Rücklauf; die Netzverluste werden im einstelligen Prozentbereich der eingespeisten Wärmemenge beziffert. Dieses Netz wurde ab Mitte der neunziger Jahre aufgebaut und versorgt auch die Technische Fakultät der Universität. Die Westleitung des Heißwassernetzes (südlichere Leitung in pink) wird mit denselben Temperaturen und Netzverlusten angegeben; dieser Netzteil wurde seit 2011 aufgebaut und ist über eine Wärmeüberträgerstation an das Netz Westarkaden (Betreiber WSW) angebunden.

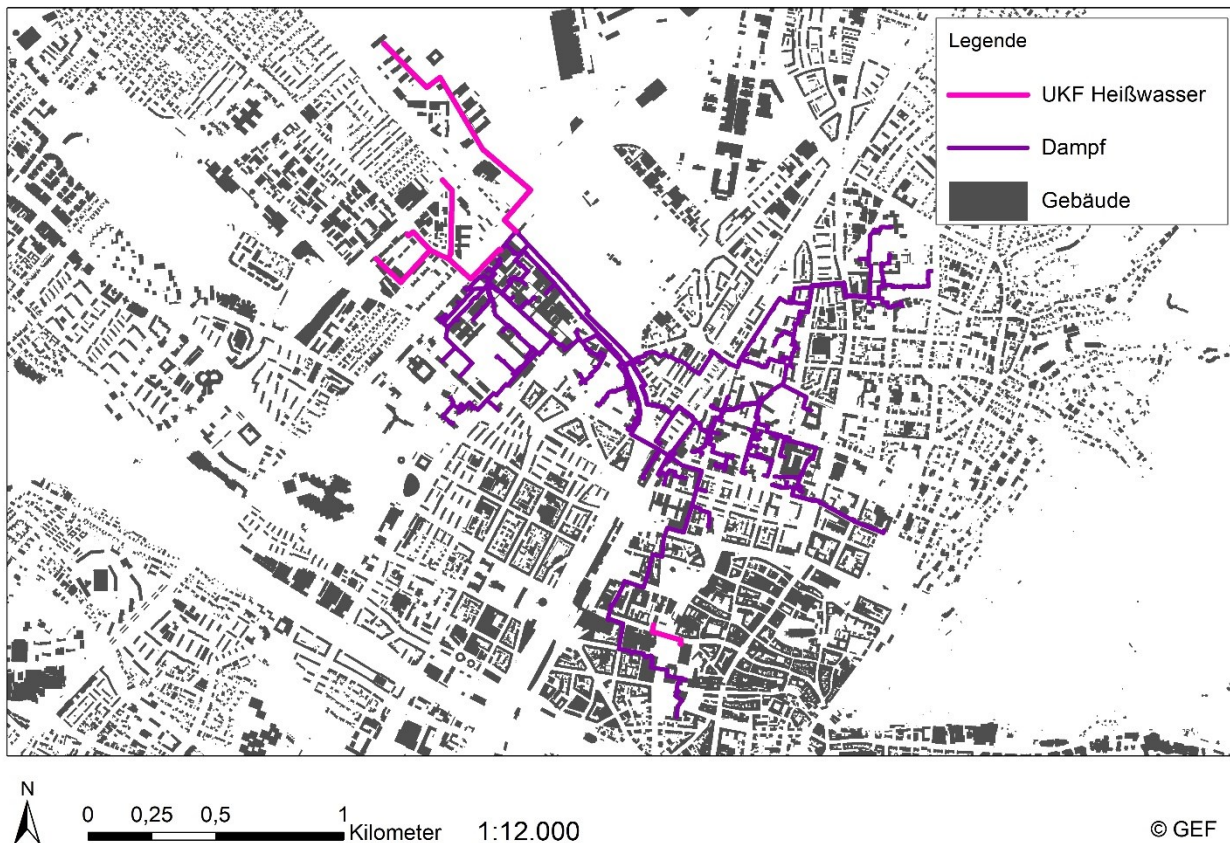


Abbildung 5-12: Darstellung der UKF-Netzstruktur mit Dampfnetz (dunkles Lila) und den nachgelagerten Heizwassernetzen (pink)

Quelle: Geodaten @ Stadt Freiburg, badenova

Das Heizkraftwerk (HKW) befindet sich in der Hartmannstraße und erfüllt laut UKF drei wesentliche Hauptziele für den Geschäftszweck der Gesundheitsversorgung des Universitätsklinikums Freiburg mit dem Auftrag der maximalen Vollversorgung:

- Versorgungssicherheit: Hierbei wird die speziell im Universitätsklinikum erforderliche hohe Verfügbarkeit der Energieversorgung sichergestellt und gewährleistet.
- Wirtschaftlichkeit: Hier liegt der Fokus auf der Sicherstellung der Versorgung des Universitätsklinikums mit preiswerter Energie durch das HKW.
- Nachhaltigkeit: Hier ist die Verminderung von Umweltbelastungen für das Universitätsklinikum mit seinem Geschäftszweck der Gesundheitsversorgung unter Beachtung wirtschaftlicher Einflussgrößen unerlässlich.

Lt. UKF wird seit Beginn des Jahres 2021 in Anlehnung einer europäischen Energienorm-Konformität gearbeitet, um die entsprechenden Forderungen hinsichtlich dieser Konformität nach dem PDCA-Zyklus (Plan, Do, Check, Act) zu erfüllen. Für die Netze hat das UKF ein Projekt identifiziert, das eine autonome Netz-, und Utilityführung in Abhängigkeit von Nutzerverhalten und Wettervorhersagen berücksichtigt und als Master-Slave-Konzept mit dem HKW des UKF arbeitet.

Das HKW des UKF ist als GuD-Anlage ausgeführt, hierbei kommen folgende Erzeugungsanlagen zum Einsatz: Gasturbine, Dampfturbinen, Gas- und Pellets-Kessel und BHKW. Der Ausstieg aus der fossilen Primärenergie

(Steinkohle) wurde 2011//2012 umgesetzt. Seit 2012 erfolgt eine Auskopplung von Wärme aus dem Rauchgas, mit dieser Energie wird ein Heißwassernetz beliefert. Die Wärme wird zu 100 % in KWK erzeugt. Ergänzt wird der Erzeugungspark seit 2019 um zwei druckbeaufschlagte Wärmespeicher mit mehreren hundert Kubikmetern Speichervolumen. Zudem wurde in 2019 ein Kältespeicher errichtet, den vorhandenen Großkältering beliefert (in den Abbildungen ohne Darstellung). Durch diese Maßnahmen hat das HKW seine Effizienz weiter gesteigert.

Die Wärmenetze des UKF dienen in erster Linie der Eigenversorgung, begründet auch durch die speziellen hohen hygienischen Standards und speziellen Anforderungen eines Klinikumsbetriebs mit Forschung und Lehre, welche mittels Wärme, Strom, Großkälte und VE-Wasser²¹ aus Erzeugungsanlagen des HKW und weiteren medizinischen Prozessanlagen für den Klinikbetrieb sichergestellt werden. Der erzeugte Dampf wird vom UKF selbst für hochkritische Anforderungen der Krankenhaushygiene für Sterilisation und Autoklaven in allen Kliniken und Instituten für die Forschung und Lehre in komplexen Laboranlagen eingesetzt. Aufgrund der örtlichen Nähe werden die Küche und die Wäscherei versorgt. Weiterhin wird ein weiteres Krankenhaus über das Dampf- und Kondensatnetz versorgt. Das UKF beliefert darüber hinaus Liegenschaften der Universität, weitere Landesliegenschaften und – wenn es ins Portfolio des UKF-HKW passt – auch private Endkunden. Eine Versorgung weiterer Quartiere oder größerer Liegenschaften in relativer Nähe zur vorhandenen Erzeugung erfolgt ausschließlich bis zu einem Übergabepunkt.

Das Land Baden-Württemberg hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2040 die Klimaneutralität zu erreichen. Durch diese klare Zielsetzung könnte ein koordiniertes Vorgehen zwischen dem UKF sowie einem Großteil der externen Wärmekunden ermöglicht werden. Eine Verzahnung mit der Fernwärme-Ausbaustrategie der Stadt Freiburg sollte ebenfalls erfolgen, wobei die speziellen Anforderungen eines Klinikbetriebs Berücksichtigung finden müssen.

Um eine Integration des UKF-Wärmesystems in den Wärmemasterplan in Freiburg zu ermöglichen, sollte im Wesentlichen das Dampfnetz betrachtet werden. Neben der Dekarbonisierung der Erzeugung am Standort Hartmannstraße ist es das Dampfnetz selbst, das diese Einbindung bestimmen könnte. So wird das Dampfnetz ganzjährig (vermutlich) mit Temperaturen über 140 °C auf der Dampfseite betrieben. Entsprechend sind die Abnahmestellen (UKF-, Uni-Liegenschaften und weitere angeschlossene Objekte) grundsätzlich auf die Belieferung mit Dampf ausgelegt. Entsprechend sind die Anwendungen – neben der Raumheizung und Trinkwassererwärmung – auf Dampfparameter ausgelegt. Das betrifft die Kälteerzeugung mit Absorptionskältemaschinen ebenso wie Sonderanwendungen (Autoklaven, Dampfküchen, Sterilisationen, Reinigungen, ...). Die zentrale Fragestellung ist demnach, inwiefern der Betrieb des Dampfnetzes mit Heißwasserparametern (gleitende Vorlauftemperaturen mit Zeiten im Jahr unter 100 °C) die genannten Anwendungen weiter ermöglicht oder ob Ersatzlösungen darstellbar sind. Diese Ersatzlösungen werden aller Voraussicht nach oftmals strombasiert sein (Kompressionskälteerzeugung etc.).

Die Darstellbarkeit ist im Wesentlichen wirtschaftlich begründet: Zwar ist allgemein die Kälteerzeugung in der Vielzahl der Fälle strombasiert wirtschaftlicher, auf das Dampfsystem als Ganzes bezogen stellt sich die Frage, welcher Anteil an der Netzlast und am Netzabsatz bei einer umfassenden Umstellung der Dampfanwendungen z. B. auf Stromlösungen mit einer einhergehenden Ablösung vom Dampfnetz folglich aus dem Dampfnetzabsatz herausfällt. Diese Frage ist eine strategische, die das UKF vor dem Hintergrund einer Asset- und Ersatzstrategie in jedem Fall betrachtet und laufend überprüft. Wesentlich werden die Dampfanwendungen erfasst und bewertet. Damit sind die Anwendungen im Einzelnen mit den jeweiligen Standorten, Anwendungszwecken, Leistungen, Jahresarbeiten und Betriebsparametern (Drücke, Temperaturen), den wesentlichen Einsatzzeitpunkten sowie dem erwarteten Ersatzzeitpunkt der konkreten Einzelanlage erfasst. Mit dieser Grundlage können Aufwand für eine Umrüstung und Auswirkungen auf das Dampfsystem als Ganzes abgeschätzt werden.

Parallel dazu ist das Dampfnetz selbst zu betrachten. Auch dort werden Ersatzinvestitionen in die Rohrleitungssysteme (Dampf und Kondensat), Bauwerke (Schächte, Kanäle) und Betriebssysteme/Kondensatwirtschaft zu

²¹ Vollentsalztes Wasser

einem Zeitpunkt anfallen. Hier sollte weiterhin zyklisch geprüft werden, wann Ersatzinvestitionen in welcher Größenordnung und wo im Netz zu erwarten sind, um die Ausgestaltung der Netzstruktur und der Betriebsparameter zukunftsfest zu klären.

Ausgehend vom heutigen Versorgungsgrundsatz ist auch für die Wärmeerzeugung eine zukunfts feste Strategie und Konzeption zu erarbeiten, die auf die zukünftigen Netzbetriebsparameter ausgelegt ist. Das heutige Grundprinzip basiert auf der Eigenversorgung mit Wärme und Strom – ausgeführt als hocheffiziente KWK, auch für die Belieferung von Dritten, die von der Lage, der Abnahme- und i.d.R. Eigentümerstruktur als günstig für das UKF-System bewertet werden. Dieses Grundprinzip wurde und wird derzeit noch durch Regelungen in der Gesetzes-, Regulierungs- und Förderlandschaft gestützt. Zukünftig werden diese energiepolitischen Rahmenbedingungen verändert bzw. sind z. T. schon verändert worden: KWK-Anlagen werden zunehmend eine stromnetzdienliche Bewertung erfahren, die schon jetzt Einfluss auf die Förderung und auch auf die Betriebszeiten der Anlagen hat. Es ist damit zumindest sehr wahrscheinlich, dass eine Eigenversorgung wie derzeit nur auf einer erneuerbaren Basis darstellbar sein wird. Im Folgenden werden dazu wesentliche Fragen aufgeworfen, die in Verbindung mit der zukünftigen Ausrichtung und Strategie des UKF zu betrachten sein werden:

- Bei der Betrachtung möglicher EE-Brennstoffe ist zumindest die Biomasse kritisch zu bewerten. Gasförmige Biomasse, die aus Fermentierung oder über EE-Strom hergestellt wird, wird sehr wahrscheinlich ebenso wie flüssige Biomasse der mobilen und der industriellen Anwendung zur Verfügung gestellt werden. In den derzeitigen Projektionen ist eine Nutzung dieser Primärenergieträger in der niederkalorischen Wärmeversorgung wenig bis gar nicht vorgesehen (s. Kapitel 4.1). Insofern ist hier zumindest mit einem deutlichen Maß an wirtschaftlichen Auswirkungen zu rechnen, die dem Konzept Eigenversorgung auf Biomassebasis tendenziell entgegenstehen. Bei fester Biomasse ist die Option für die Wärmeversorgung zwar weiterhin realistisch, allerdings wird es mit hoher Wahrscheinlichkeit einen deutlichen Wettbewerb hierum geben. Eine Beschränkung der holzartigen Biomasse mengen, die dem Wärmesektor zur Verfügung stehen, wird förderrechtlich und politisch bereits verfolgt.
- Eine in Freiburg bedeutsame Option wäre die Nutzung der Geothermie, die grob mit 110 °C Dargebot in einer Tiefe von ca. 2.500 m taxiert wird. Diese Quelle stellt eine aus wirtschaftlicher Sicht nicht risikofreie (Fündigkeits- und Bohrrisiko), aber ganzjährig verfügbare, THG-freie Option dar. Diese Option sollte für ein System wie das UKF unbedingt in die konzeptionellen Überlegungen einbezogen werden, da die Dargebote an Temperatur und Leistung durchaus versprechend sind und ggf. mittels ORC-Anlagen sogar ein Anteil an der Stromversorgung des UKF möglich wäre.
- Bei der KWK mit Kälte aus Wärme (KWKK) ist es bereits heute so, dass sich Wärme aus Kälte nur bei sehr günstigen Wärmekosten wirtschaftlich darstellen lässt. Das Konzept ist aber dort energetisch und wirtschaftlich attraktiv, wenn es hohe Dichten an Wärmebedarf im Winter und Kältebedarf im Sommer gibt bzw. die Lasten beider Versorgungsoptionen ganzjährig wenig schwanken. Dies ist im UKF vermutlich gegeben. Allerdings könnte die Wirtschaftlichkeit und das Ziel der vollständigen Dekarbonisierung eine deutliche Veränderung der Situation zulasten der KWKK nach sich ziehen. Hintergrund ist die zukünftig vermutlich ansteigende Menge an EE-Strom, die womöglich insbesondere zu Kühlzeiten (Sommer, tagsüber aus Photovoltaik) zur Verfügung steht. Damit wäre Kälte aus Strom womöglich systemdienlich, wirtschaftlich attraktiver und klimaneutral – eine Verdrängung der Kraft-Wärm-Kälte-Kopplung (KKWK) wäre damit die Folge. Dieser Aspekt fließt in die strategische Ausrichtung des UKF-Systems ein.

Auch wenn das HKW des UKF eine besondere Versorgungsaufgabe für das UKF wahrnimmt (maximale Vollversorgung), muss es als Wärmeversorgungssystem berücksichtigt werden, um das Dekarbonisierungsziel in Freiburg erreichen zu können. Seitens des UKF ist eine entsprechende Strategie in Arbeit, die sich im ersten Schritt auf die Erzeugung der speziellen Medien mittels z. B. Wasserstoff konzentriert. Technische Änderungen im HKW sind im Jahr 2020 bereits mit Wasserstoffanwendungen ausgebaut und für einen Systemwechsel vorbereitet worden.

Hinsichtlich der Einschätzung der Verfügbarkeit von Wasserstoff/EE-Gasen für Anwendungen im Bereich Raumwärme und Warmwasser besteht ein Dissens zwischen dem UKF sowie den Gutachtern GEF und ifeu. GEF und ifeu schätzen die Verfügbarkeit von EE-Gasen für die Raumwärme auch im Zeithorizont bis 2050 wenig positiv ein (s. Kapitel 4). Sie empfehlen, die Zukunftsfähigkeit des Dampfnetzes im Rahmen einer Assetstrategie zu bewerten. Im Ergebnis können der Weiterbetrieb des Dampfsystems ebenso wie eine Teil- und Komplettablösung resultieren. Wenn im Ergebnis ein (Teil-)Weiterbetrieb des Dampfsystems verfolgt werden soll, sollte eine konkrete Beschaffungsstrategie für grünen Wasserstoff unter Berücksichtigung der UKF-Kriterien (Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit) erarbeitet und der Realisierungsfortschritt mit Blick auf die Klimaneutralitätsziele des Landes regelmäßig überprüft werden.

5.5 Herausforderungen

Der Ausstieg aus den fossilen Energieträgern und der Einstieg in eine nachhaltige Wirtschafts- und Lebensweise ist eine Herausforderung, die von den Kommunen alleine nicht bewältigt werden kann. Verhaltensänderungen bei den Bürgerinnen und Bürgern sind notwendig, um die Treibhausgasemissionen im notwendigen Maße zu verringern, bzgl. der Wärmeversorgung stehen hier insbesondere Fragen der Wohnfläche pro Kopf und sowie Einsparungen bei Raumheizung und Warmwasser im Fokus. Auf nationaler und internationaler Ebene sind Rahmenseetzungen notwendig, um für die Akteure zusätzliche Handlungsanreize – über das Wissen um die Folgen des Klimawandels hinaus – zu schaffen. Hier sollte die Stadt Freiburg, wenn möglich gemeinsam mit anderen Kommunen, Initiativen ergreifen, um politisch bei den vorgelagerten Ebenen die notwendigen Rahmenseetzungen zu erreichen (s. auch Maßnahmenplan).

Im Fokus stehen hierbei u. a.

- **Novelle GEG:** das GEG setzt für Bestandsgebäude in der aktuellen Fassung keine ausreichenden Vorgaben, um die notwendigen Sanierungsraten und Sanierungstiefen im Gebäudesektor zu erreichen. Hier sollte auf eine zeitnahe Novelle gedrängt werden (u. a. Verbot von „Pinselsanierungen“ von Außenwänden, Sanierungsfahrpläne).
- **Verlässlicher Preispfad für CO₂-Abgabe:** Auch für den Zeitraum über 2025 hinaus sollte ein verlässlicher Preispfad für CO₂ einen wirtschaftlichen Anreiz zum Umstieg auf erneuerbare Energieträger bieten. Eine niedrige Nachfrage nach Erdgas (ob durch die Corona-Pandemie oder durch Effizienzmaßnahmen) wird erwartbar kaum zu Preissignalen führen, die einen Umstieg auf erneuerbare Energien motivieren.
- **Ausstieg aus fossilem Öl und Gas:** Alte Ölheizungen in Bestandsgebäuden gegen neue auszutauschen ist ab 2026 i.d.R. nicht mehr zulässig²². Auch für Erdgaskessel sollte auf nationaler Ebene ein entsprechendes Ausstiegsdatum festgelegt werden, um den Umstieg auf erneuerbare Wärmeerzeugung voranzutreiben. Für Neubauten sollten Erdgaskessel kurzfristig keine Option mehr sein.
- **Gasnetz-Regulierung:** Die Regulierung der Gasnetze sollte mittelfristig so angepasst werden, dass die Voraussetzungen für eine (partielle) Stilllegung von Verteilnetzen ebenso geschaffen werden wie für die Transformation von überregionalen Transportnetzen zu höheren Anteilen Wasserstoff.

²² Ausnahmen sind u.a. Ölkessel als Hybridsysteme.

- Nationales Gebäude-Register: Zur Verbesserung der Datenbasis für die kommunale Wärmeplanung wäre ein nationales Gebäuderegister nach dänischem Vorbild in wichtiger Baustein. Relevanten Daten für Gebäude (z. B. Nutzung, beheizte Fläche, Baualtersklasse, Heizungssystem, Energieträger) werden in einem solchen Register zentral und datenschutzkonform gespeichert.

Mit der im Mai 2021 erfolgten Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes hat Deutschland sich verpflichtet, das Ziel der Klimaneutralität bereits bis 2045 zu erreichen. Dieser Beschluss unterstützt die Stadt Freiburg in ihren Bemühungen und lässt erwarten, dass auf Bundesebene die notwendigen Rahmenseetzungen erfolgen. Von besonderer Bedeutung für den Masterplan Wärme Freiburg ist dabei, dass die Dekarbonisierung der Stromversorgung in Deutschland und Europa in den nächsten Jahrzehnten erfolgreich realisiert wird. Ein massiver Ausbau erneuerbarer Energien ist notwendig, damit erneuerbarer Strom zukünftig nicht nur im Wärmebereich, sondern auch im Bereich Mobilität eine zentrale Rolle spielen kann.

Die Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung kann nur gelingen, wenn es im Zusammenspiel aller Akteure gelingt, die erheblichen Hürden zu überwinden:

- Eigentümer von mehreren zehntausend beheizten Gebäude in Freiburg müssen – möglichst zeitnah – Entscheidungen über einen Fahrplan für Sanierungsmaßnahmen und die Art der zukünftig erneuerbaren Wärmeversorgung treffen. Die hohe Anzahl denkmalgeschützter Gebäude vergrößert die Herausforderung.
- In verdichteten Gebieten mit (Gründerzeit)-Blockrandbebauung (z. B. Wiehre) sind in vielen Fällen Gas-Etagen-Heizungen realisiert. Für einen Umstieg auf eine erneuerbare Wärmeversorgung ist – unabhängig davon, ob dies dezentral oder durch ein Wärmenetz erfolgt – i. d. R. die Umstellung auf eine Zentralheizung notwendig.
- Lt. Ergebnis des Forschungsprojektes „Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude“ [IWU 2021] sind fast 60 % aller Nichtwohngebäude Altbauten, die vor der 1. Wärmeschutzverordnung errichtet wurden. Bei diesen Altbauten weisen rund 70 % der Außenwandflächen keine Dämmung auf. Während beim Neubau (ab 2010) von Wohngebäuden bereits fast 40 % mit Wärmepumpen beheizt werden, dominiert bei Nichtwohngebäuden nach wie vor die Brennstoff-basierte Wärmeerzeugung vor der Fernwärme. Diese Ergebnisse zeigen, dass im Bereich GHD und Industrie erheblicher Handlungsbedarf besteht. Die Studie zeigt jedoch auch, dass statistisch gesehen fast alle Heizungen von Nichtwohngebäuden vor 2050 noch einmal erneuert werden – diese Chance gilt es zu nutzen.
- Ebenso gilt es, die Möglichkeiten, die sich durch das Verbot des Austausches von Heizölkesseln ab 2026 ergeben, für einen vollständigen Umstieg auf erneuerbare Wärmequellen zu nutzen. Wo dies nicht möglich ist, kann eine Kombination (Hybrid-Systeme) aus Heizkesseln und Wärmepumpen für eine Übergangszeit realisiert werden.
- Der Umstieg von einem fossilen Heizkessel auf eine Wärmepumpe in Bestandsgebäuden erfordert i. d. R. eine Optimierung der Heizungs- und Warmwasserbereitung. Wärmepumpen haben eine höhere Effizienz (d. h. einen niedrigeren Stromverbrauch) bei niedrigeren Vorlauftemperaturen der Heizung. Ideal sind dafür Fußbodenheizungen (Vorlauftemperaturen < 30 °C) wie sie im Neubau üblich sind. In teilsanierten Bestandsgebäuden ist der Einsatz von Wärmepumpen jedoch ebenfalls mit Jahresarbeitszahlen von 3-4 möglich [FhG ISE 2020]. Ggf. können Heizflächen bei einer Heizkörpermodernisierung vergrößert werden, um das Vorlauf-temperaturniveau abzusenken (zu den ökologischen Vorteilen von Wärmepumpen siehe auch Anhang 8.7).
- Der Ausbau der Wärmenetze ist besonders in verdichteten Bereichen wie der Innenstadt mit Hürden konfrontiert. Tiefbaumaßnahmen zum Trassenbau sollten koordiniert mit anderen Maßnahmen erfolgen.
- Knappe Kapazitäten an Fachkräften und Handwerkern können Bau- und Sanierungsmaßnahmen verteuern und verzögern.

- Bei der Realisierung von Wärmeversorgungssystemen mit oberflächennaher Geothermie ist bereits heute darauf zu achten, dass die Anlagen auf dem eigenen Grundstück eine Nutzung auf dem Nachbargrundstück nicht beeinträchtigen. Je mehr Gebäude diese Energieform nutzen, desto wichtiger wird eine korrekte Auslegung der Anlagen, um die Ressource Erdwärme nicht zu übernutzen.
- Das Grundwasser kann als Wärmequelle nur begrenzt genutzt werden. Temperaturfahlen einer Grundwasser-Nutzung stromaufwärts können weitere Nutzungen stromabwärts beeinträchtigen oder verhindern. Hier ist ggf. bei einer Ausweitung der Nutzung ein kriterienbasiertes Priorisierungssystem zu etablieren.
- Die Stadt Freiburg will bis 2030 Klimaneutralität für die Verwaltung erreichen, das Land Baden-Württemberg hat sich dieses Ziel für 2040 gesetzt. Stadt und Land beziehen in Freiburg Fernwärme aus Netzen, für die heute nicht abzusehen ist, dass eine vollständige Dekarbonisierung bis 2030 bzw. 2040 realisiert sein wird. Hier stellt sich die Frage, ob in der Konsequenz davon auszugehen ist, dass Gebäude der öffentlichen Hand – grundsätzlich wichtige Kunden der Fernwärme – den Bezug von Fernwärme beenden und in eine eigene dezentrale erneuerbare Wärmeversorgung investieren. Alternativ könnte die Klimaneutralität durch Kompensationsmaßnahmen erreicht werden.

Auch der Prozess der kommunalen Wärmeplanung selbst ist für Kommunen in Deutschland weitgehend Neuland. Der Masterplan Wärme 2030 ist hier für Freiburg ein Baustein einer Entwicklung, die in den nächsten Jahren fortgesetzt und verfeinert wird – und nur gemeinsam mit einer Vielzahl von Akteuren gelingen kann.

6. Maßnahmenplan

Für die Umsetzung des Masterplans werden Einzelmaßnahmen in Steckbriefen aufbereitet. Dabei werden zwei Arten von Steckbriefen unterschieden: Maßnahmen für Stadtbezirke und übergreifenden Maßnahmen.

6.1 Maßnahmen für Stadtbezirke

Für die 43 Stadtbezirke wird je ein Steckbrief erstellt, in dem relevante Eckdaten der Bestandsaufnahmen ebenso dargestellt werden wie die Nutzungsoptionen für eine erneuerbare Wärmeversorgung, die in diesem Bezirk vorhanden sind. Der Steckbrief bietet eine erste Orientierung über

- räumliche Verteilung von Siedlungstypen
- räumliche Verteilung von Wärmedichten 2020 und 2050
- räumliche Verteilung von Potenzialen für Erdwärmesonden und Abwärme aus dem Abwasserkanal
- Informationen zur Verfügbarkeit von Netzinfrastrukturen Gas und Fernwärme
- Informationen zum Eignungsgebiet
- grundsätzlich verfügbare Optionen für eine erneuerbare Wärmeversorgung für die wichtigsten Siedlungstypen:
 - monovalente Versorgung: diese Optionen ermöglichen i.d.R. einen 100 % erneuerbare Wärmeversorgung (z.B. durch Wärmepumpen mit Nutzung von Luft, Grundwasser oder oberflächennaher Geothermie, durch Holzhackschnitzel oder Pellets, durch den Anschluss an ein mit erneuerbarer Wärme gespeistes Wärmenetz. Für Heizungserneuerungen nach 2025 (speziell Ersatz von Heizkesseln) sollten monovalent erneuerbare Systeme gewählt werden, da die Festlegung eines neuen bundesdeutschen Ziels einer Klimaneutralität bis 2045 bedeutet, dass nach 2025 eingebaute fossile Kessel voraussichtlich nicht mehr für ihre volle technische Nutzungsdauer von 20 Jahren betrieben werden können.
 - bivalente Versorgung: für Gebäude, deren Gas-Heizung noch relativ neu ist und eine technische Nutzungsdauer von mehr als 10-15 Jahren aufweist, kann eine bivalente Heizung („Hybrid“-System) eine Option zur schrittweisen Reduzierung von CO₂-Emissionen sein. Hier wird der bestehende Gas-Kessel durch eine Wärmepumpe oder eine Solarthermie-Anlage ergänzt, um relevante erneuerbare Deckungsanteile zu erreichen (mind. 25 % der Heizlast). Im langfristigen Zeithorizonte bis 2050 müssen solche Lösungen parallel zur Gebäudedämmung realisiert werden, um Klimaneutralität zu erreichen.
- Informationen zu möglichen Ankerkunden für den Aufbau von Nahwärmeinseln
- Handlungsoptionen im Bezirk zur Erschließung der erneuerbaren Potenziale im Wärmebereich

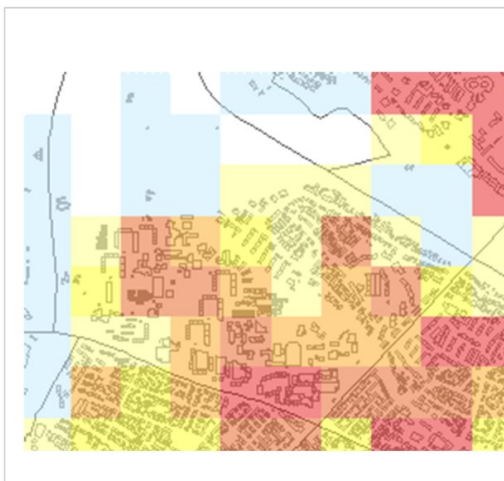
In Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2 ist ein Steckbrief für den Stadtbezirk Weingarten dargestellt. Die gesamten Steckbriefe finden sich in Anlage 1.

Stadtbezirk Weingarten

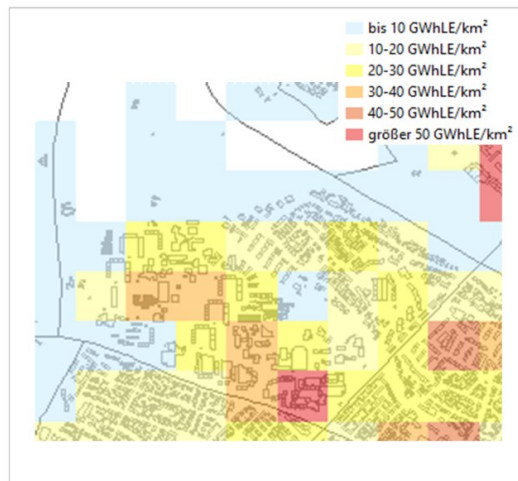


Gebäudetypologie Stadtbezirk

- Blockrandbebauung
- Campusbebauung
- Ein- und Zweifamilienhäuser in verdichteter Bauweise
- Freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser
- Geschosswohnungsbau nach 1990
- Gewerbe
- Großwohnsiedlung
- Historische Stadt- und Dorfkerne 14.-19. Jahrhundert
- Kleingartenbebauung
- Offene Landwirtschaftliche Bebauung
- Punkthäuser 60er / 70er Jahre
- Solitärbebauung
- Stadtvillen Gründerzeit
- Zeilenähnlicher Geschosswohnungsbau 1950 – 1990



Wärmedichte 2020 (Quelle: WK 3.0)



Wärmedichte 2050 (Quelle: WK 3.0)

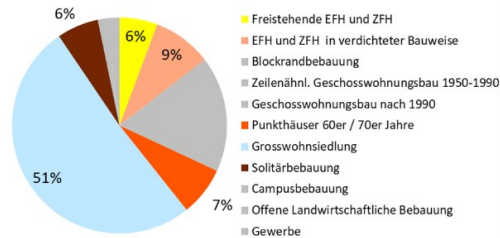
vorherrschende Siedlungstypen
 Großwohnsiedlung
 Geschosswohn.-Bau 1950-90
 EFH und ZFH verdichtet

Wärmebedarf [MWh_{LE}/a]
 2020 40.000
 2030 35.000
 2050 24.000

Wärmenetzinfrastruktur: z.T. Gasnetz
 Fernwärmenetz (FWV)

Eignungsgebiet: Fokus Wärmnetze

Anteil Siedlungstypen am Wärmebedarf 2020 (MWh_{LE}/a)



(Siedlungstypen im Diagramm oben sind zur Anonymisierung z.T. ausgegraut)

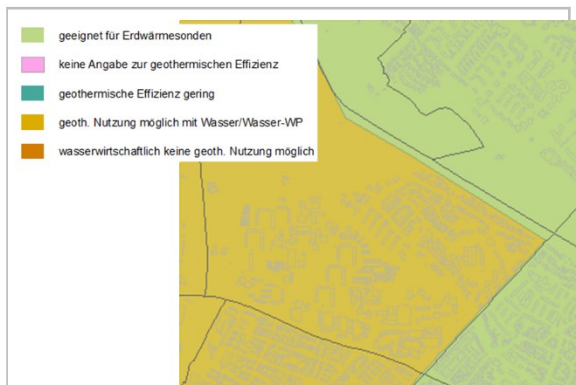
Abbildung 6-1: Steckbrief Weingarten – Seite 1

Eignung für erneuerbare Wärmeversorgung mit

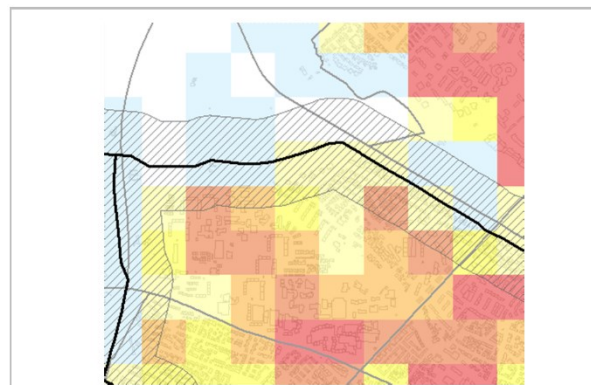
Großwohnsiedlung / Punkthäuser, Geschosswohnungsbau	monoalent EE	Anschluss an Wärmenetze bereits weitgehend vorhanden (langfristig mit erneuerb. Wärme)
	monoalent EE	Holz hackschnitzel, Pellets, Wärmepumpen (Luft, Erdwärme, Grundwasser, Kanal)
freistehende EFH und ZFH	bivalent (fossil + EE) als Übergangslösung	wenn Gas bereits vorhanden: Gas+Solarthermie, Gas+Wärmepumpen
	monoalent EE	Pellets, Wärmepumpen (Luft, Erdwärme, Grundwasser)
EFH und ZFH verdichtet	bivalent (fossil + EE) als Übergangslösung	wenn Gas bereits vorhanden: Gas+Solarthermie, Gas+Wärmepumpen
	monoalent EE	Pellets, Wärmepumpen (Luft, Erdwärme)
	bivalent (fossil + EE) als Übergangslösung	wenn Gas bereits vorhanden: Gas+Solarthermie, Gas+Wärmepumpen

Hinweise zur räumlichen Verfügbarkeit von erneuerbaren Potenzialen

Erdwärmesonden	grundsätzliche Eignung für oberflächennahe Geothermie mit Erdwärmesonden (Abb. unten links)
Grundwasser	Nutzung von Grundwasser möglich (Einzelfallbetrachtung - wie überall in Freiburg - notwendig)
Abwasserkanal	Verlauf Kanal s. Abbildung unten rechts - Option für Nutzung als Umweltwärmequelle für größere Objekte (mind. 100 kW Heizlast, 100 - 300 m Abstand zum Kanal)



Effizienz für Nutzung oberflächennaher Geothermie
Quelle: ISONG



Kanal mit Wärmennutzungspotenzial (schwarze Linie)
200 m Abstand beidseitig vom Kanal schraffiert

Handlungsoptionen

- Umsetzung/Erweiterung der Fernwärme-Strategie
- Transformationsplan für Dekarbonisierung bestehender Wärmenetze
- Netztemperaturen absenken
- prüfen, ob der Anschluss weiterer Teilgebiete mit EFH/ ZFH/RH an das Wärmenetz wirtschaftlich machbar ist
- EFH/ ZFH /RH mit langfristig dezentraler Wärmeversorgung: Nutzung von Wärmepumpen vorantreiben (Luft, oberfl. Geothermie, Grundwasser)

Abbildung 6-2: Steckbrief Weingarten – Seite 2

6.2 Maßnahmen für Handlungsfelder

In Ergänzung zu den Bezirkssteckbriefen werden Maßnahmen für fünf thematische Handlungsfelder vorgeschlagen.

- Erneuerbare Energien (EE)
- Wärmenetze (W-Netze)
- Gas
- Gebäude
- Begleitmaßnahmen

Alle Maßnahmen sind einer Prioritätsstufe zugeordnet (1 = hohe Priorität, 2= mittlere Priorität), der zeitliche Rahmen, in dem die Realisierung stattfinden soll, wird ebenfalls angegeben (kurzfristig = 2020 – 2025, mittelfristig = 2025 - 2030). Aufgrund des einerseits hohen Zeitdrucks bei der Bekämpfung des Klimawandels und der Zeit, die die Umsetzung vieler Maßnahmen in Anspruch nehmen wird, sollte der überwiegende Teil der Maßnahmen im kurzfristigen Zeithorizont begonnen werden. In Tabelle 6-1 sind die übergreifenden Maßnahmen zusammengefasst.

Tabelle 6-1: Liste übergreifender Maßnahmen

Priorität	Handlungsfeld	Nr.	Initiator	Zeithorizont	Maßnahme
Maßnahmen mit Priorität 1					
1	Ern. Energie	EE 1	UWSA	kurz	Erneuerbare Wärmeerzeugung im Neubau <i>Prüfung kommunaler Optionen für Verbot fossiler Brennstoffe im Neubau</i>
1	Ern. Energie	EE 2	UWSA	kurz	Erneuerbare Wärmeerzeugung im Bestand - Perspektive ab 2030 <i>Prüfung kommunaler Handlungsmöglichkeiten für Dekarbonisierung Bestand ab 2030 (verlässliches Ausstiegsszenario)</i>
1	Ern. Energie	EE 3	UWSA	kurz	Solarpflicht in Neubau und Bestand <i>Prüfung kommunaler Handlungsmöglichkeiten für PV oder Solarthermie im Neubau oder (z. B. bei Dachsanierung) im Bestand</i>
1	Ern. Energie	EE 4	WÄRMEPLUS	kurz - mittel	Tiefe Geothermie vorantreiben <i>Grund- und Mittellastoption für erneuerbare Versorgung Freiburger Wärmenetze</i>
1	Ern. Energie	EE 5	UWSA	kurz	Nutzung Abwärme Cerdia <i>Grund- und Mittellastoption für Freiburger Wärmenetze</i>
1	Ern. Energie	EE 6	UWSA	kurz	Aufbau eines Abwärmekatasters <i>Werkzeug zur Identifikation weitere Abwärmequellen als Grund- und Mittellastoption für Freiburger Wärmenetze</i>
1	Ern. Energie	EE 7	UWSA	kurz	Zwischenziele Klimaschutzkonzept beschließen und monitoren <i>Verbesserung Controlling</i>

Priorität	Handlungsfeld	Nr.	Initiator	Zeithorizont	Maßnahme
1	Wärme-Netze	WN 1	Wärmenetz-Betreiber	kurz	Transformationspläne für die Freiburger Wärmenetze <i>Strategieentwicklung für Dekarbonisierung der Nah- und Fernwärme durch die Netzbetreiber</i> <i>Definition von THG-Zielwerten für Fernwärmesysteme</i>
1	Wärme-Netze	WN 2	Wärmenetz-Betreiber	kurz - mittel	Ausbau der Wärmenetze <i>Ziel: erneuerbare Wärmeversorgung in dicht bebauten Gebieten von Freiburg ermöglichen</i>
1	Wärme-Netze	WN 3	FWV / WÄRMEPLUS	kurz	Integration erneuerbarer Wärme / Abwärme ins Wärmenetz Rieselfeld / Weingarten <i>Machbarkeit in großem Wärmenetz prüfen und bei wirtschaftlich aussichtsreichem Ergebnis vorantreiben</i>
1	Wärme-Netze	WN 4	UWSA	kurz	Monitoring Wärmenetzstrategie <i>Austausch Umweltschutzamt und Wärmenetzbetreiber zum Fortschritt und zur Koordination der Dekarbonisierung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung</i>
1	Wärme-Netze	WN 5	UKF, Land BW	kurz	Zukunft Dampfnetz bis 2050 <i>Untersuchung von Umstellungsoptionen und Transformationsschritten zur Prüfung einer perspektivischen Umstellung des Dampfnetzes des Uniklinikums auf Heißwasser.</i> <i>Niedrigere Netztemperaturen erleichtern die Integration erneuerbarer Energien und Abwärme</i>
1	Wärme-Netze	WN 6	Wärmenetz-Betreiber	kurz	Temperaturabsenkung in Heizwassernetzen <i>Auch in Heißwassernetzen gilt es, Rücklauf- und Vorlauftemperaturen abzusenken. Niedrigere Netztemperaturen erleichtern die Integration erneuerbarer Energien und Abwärme</i>
1	Gas	G 1	UWSA, bnNETZE	mittel	Aktualisierung der Bewertung der Perspektiven des Gasverteilnetzes <i>Gemeinsame Bewertung der Perspektiven des Weiterbetriebs des Gasverteilnetzes für eine dekarbonisierte Wärmeversorgung</i>
1	Gebäude	GB 1	UWSA	kurz	Klimaneutrale Gebäude - Masterplanerstellung durch zentrale Akteure <i>Koordination und Austausch zentraler Akteure im Gebäude-Bereich über Dekarbonisierungsstrategien und -fortschritt</i>
1	Gebäude	GB 2	Stadtplanungsamt	kurz	Ausweisung von Sanierungsgebieten prüfen <i>Ziel: Erhöhung der Sanierungsrate in Freiburg</i>
1	Gebäude	GB 3	UWSA	kurz	Förderprogramm klimafreundliches Wohnen - Auslaufen Förderung für KfW 85-Standard - Auslaufen von Förderung fossiler Optionen - Verstärkte Förderung von Wärmepumpen
1	Gebäude	GB 4	UWSA	kurz	Pilotprojekte für übertragbare Lösungen für die Wärmewende <i>Jährliche Workshops für Planer und Realisierer zum Erfahrungsaustausch, Auswahl von Pilotprojekten für die die Stadt mit Öffentlichkeitsarbeit unterstützt</i>

Priorität	Handlungsfeld	Nr.	Initiator	Zeithorizont	Maßnahme
1	Gebäude	GB 5	UWSA	kurz	Pilotprojekte für die Blockversorgung <i>Finanzielle Unterstützung von drei Pilotprojekten für erneuerbare Mini-Wärmenetze (Betrieb durch Nachbarn)</i>
1	Gebäude	GB 6	UWSA	kurz	Erhaltungssatzungen und Denkmalschutz klimafreundlich gestalten <i>Abstimmung der Anforderungen von Denkmalschutz und Klimaschutz</i>
1	Gebäude	GB 7	bnNETZE	kurz	Energiekonzept "Auf der Haid" <i>Erhöhung der Energieeffizienz und Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in einem Quartier</i>
1	Begleit	B 1	UWSA	kurz	Initiativen zur Verbesserung des übergeordneten politischen Rahmens für die Wärmewende <i>Verbesserung der kommunalen Handlungsoptionen durch Rahmenänderung auf Bundes- und Landesebene</i>
1	Begleit	B 2	UWSA	kurz	Ergänzung Datengrundlage Wärmekataster <i>Kontinuierliche Verbesserung der Datenbasis für die kommunale Wärmeplanung</i>
2	Begleit	B 3	UWSA	kurz	Einbindung von Handwerk, Fachplanung und Berufsschulen in die Wärmewende <i>Know-how-Transfer und Nachwuchsgewinnung</i>
2	Begleit	B 4	UWSA	Kurz	Vertiefung Klimabianzierung <i>Integration von Daten aus dem Wärmekataster in die Klimabilanz</i>
2	Wärme-Netze	WN 7	UWSA	kurz	Platzbedarf für letigungsgebundene Wärme in Planungsverfahren frühzeitig berücksichtigen <i>Berücksichtigung des Flächenbedarfs für Energiezentralen und Wärmetrassen</i>
2	Wärme-Netze	WN 8	UWSA	kurz	Portal Wärmenetze mit Netztrassen der Wärmenetzgebiete schaffen <i>Verbesserung der Informationsmöglichkeiten für Gebäudeeigentümer, wo ein Anschluss an ein Wärmenetz (z.B. als Ersatz fossiler Heizung) möglich ist.</i>

Die ausführliche Fassung der Steckbriefe findet sich im Anhang 8.6.

7. Ausblick

Die Stadt Freiburg treibt seit langem Klimaschutzmaßnahmen mit hohem Engagement und überdurchschnittlicher finanzieller und personeller Ausstattung voran. Dieses Engagement gilt es weiter auszubauen und zu intensivieren, wenn das neue nationale Ziel einer Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden soll. Auch bei der Wärmemasterplanung hat die Stadt die Initiative ergriffen, bevor eine gesetzliche Verpflichtung in Kraft trat und konnte daher das vorhandene Know-how bereits in die Erstellung des Leitfadens zur kommunalen Wärmeplanung einbringen [UMBW 2020b].

Eine **Steigerung der Effizienz im Wärmebereich** durch Erhöhung von Sanierungsraten und Sanierungstiefen ist jedoch auch in Freiburg weiterhin notwendig, um die Klimaziele zu erreichen. Die kommunalen Spielräume im Bereich Neubau müssen weiter konsequent genutzt werden. Im Gebäudebestand gilt es, für Gebäude der Kommune und der kommunalen Gesellschaften in den nächsten fünf Jahren Fahrpläne zu erarbeiten, wie die Klimaneutralität erreicht werden soll. Weitere Akteure mit größeren Gebäudebeständen wie das Land, der Bund, die Kirchen oder die gewerbliche Wohnungswirtschaft sollten motiviert werden, ihre Anstrengungen zur Steigerung der Gebäudeeffizienz ebenfalls zu intensivieren. Wenn keine Vollsanierungen durchgeführt werden, ist es sinnvoll, Maßnahmen an der Gebäudehülle zeitlich vor der Umstellung der Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser durchzuführen, um beim Anlagentausch bereits von den reduzierten Verbräuchen und niedrigerem Temperaturniveau profitieren zu können. Jede Maßnahme an der Gebäudehülle, die vor 2030 durchgeführt wird, erbringt eine höhere Klimaschutzdividende als später durchgeführte Maßnahmen. Auch für die hohe Anzahl denkmalgeschützter Gebäude in Freiburg gilt es Lösungen zu finden, die mit dem Klimaschutz vereinbar sind. Hier können Modellprojekte einen Beitrag leisten.

Die **Erschließung von Potenzialen zur erneuerbaren Wärmebereitstellung** ist eine zentrale Herausforderung für die Zukunft. Viele der erneuerbaren Wärmeoptionen benötigen Fläche – eine Ressource, die in (speziell in wachsenden) Großstädten knapp ist. Während bei der dezentralen Einzelversorgung die benötigte Fläche oft auf dem Grundstück vorhanden ist, können im verdichtet bebauten Bereich Wärmenetze einen wichtigen Beitrag zur Entschärfung der Flächenproblematik leisten. Große – und in Zukunft wachsende – Wärmenetze benötigen in der Grund- und Mittellast ausreichende Leistungen an erneuerbarer Wärmeerzeugung. Neben industrieller Abwärme kann mittel- und langfristig die tiefe Geothermie im Raum Freiburg eine Möglichkeit sein, diese Wärme bereitzustellen. Die Untersuchungen zur Erschließung der tiefen Geothermie sollten angesichts des hohen Potenzials deshalb intensiv vorangetrieben werden. Als Alternative könnte die Verlagerung der Müllverbrennung nach Freiburg in Frage kommen, so dass die dort entstehende Abwärme in vollem Umfang genutzt werden kann. Die Nutzung von Solarenergie als Dachanlagen (PV und/oder Solarthermie) ist eine flächenschonende erneuerbare Option. Auch wenn Solarenergie i.d.R. keine Vollversorgung mit Wärme (oder Strom) bereitstellen kann, kann sie über weite Teile des Jahres einen wichtigen Beitrag leisten und sollte bis 2030 deutlich ausgebaut werden.

Bei der **zentralen Wärmeversorgung** gilt es, die Umsetzung der Ausbaupläne in Abstimmung mit den verschiedenen Netzbetreibern und der Stadtplanung voranzubringen. Um zukünftig klimaschonende Wärmeoptionen wie Geothermie oder Abwärme, die große Wärmemengen bereitstellen können, einzubinden, sollten Netzzusammenschlüsse geprüft werden. Die Absenkung der Rücklauftemperaturen – und beim UKF die Zukunft des Dampfnetzes – sind zentrale Themen, die im nächsten Jahrzehnt bearbeitet werden sollten. Die bereits begonnene Integration von erneuerbaren Energien und Abwärme in die Freiburger Wärmenetze muss weiter intensiv vorangetrieben werden. Die begonnene Erkundung der tiefen Geothermie wird wichtige Ergebnisse für erneuerbare Wärmeversorgung in Freiburg liefern. Die Erarbeitung von Transformationsplänen für die einzelnen Netze, in denen diese Schritte zusammengeführt werden, stellt die zentrale Aufgabe der Netzbetreiber für die nächsten Jahre dar.

Die **dezentrale Wärmeversorgung** steht ebenfalls vor großen Transformationen – statt auf (vorwiegend) importiertes Erdgas oder Heizöl zu setzen, müssen zügig erneuerbare Quellen vor Ort erschlossen werden. Hier stehen Wärmepumpen im Fokus, mit denen Umweltenergie nutzbar gemacht werden kann (z. B. Luft, oberflächennahe

Geothermie, Grundwasser). Für Bestandsgebäude können bivalente Wärmeerzeugungssysteme (so genannte Hybrid-Lösungen), in denen Wärmepumpen mit bestehenden fossilen Kesseln kombiniert werden, ein sinnvoller Zwischenschritt auf dem Weg zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung sein. Bei einem notwendigen Kessel-austausch ist ein vollständiger Umstieg auf Wärmepumpen (und falls das nicht möglich ist auf Biomasse) klima-politisch zu empfehlen. Die trifft besonders auf Heizölkessel zu, die nach dem aktuellen GEG nicht mehr ersetzt werden dürfen. Die Festlegung eines neuen bundesdeutschen Ziels einer Klimaneutralität bis 2045 bedeutet, dass **nach 2025 eingebaute fossile Kessel voraussichtlich nicht mehr für ihre volle technische Nutzungsdauer von 20 Jahren betrieben** werden können. Vor diesem Hintergrund sind ein Direktumstieg auf eine Wärmepumpe oder ein Anschluss an ein Wärmenetz nachhaltigere Optionen.

Freiburg und Baden-Württemberg sind Vorreiter bei der verpflichtenden **kommunalen Wärmeplanung**. Dieser Prozess steht am Anfang, die Planungen – so auch dieser Masterplan – werden zukünftig in regelmäßigen Abständen überprüft und aktualisiert. Anzustreben ist eine zunehmend gemeinsame Strategieentwicklung und ein abge-stimmtes Vorgehen der beteiligten Akteure.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Stadtgliederung Freiburg	8
Abbildung 2-2: Siedlungstypologie Freiburg.....	9
Abbildung 2-3: Bilanzgrenzen im Gebäude	10
Abbildung 2-4: Wärmedichtekarte Freiburg 2020.....	12
Abbildung 2-5: Entwicklung Endenergiebedarf Raumwärme und Warmwasser bis 2050.....	14
Abbildung 2-6: Wärmedichtekarte Freiburg 2030.....	14
Abbildung 2-7: Wärmedichtekarte Freiburg 2050.....	15
Abbildung 2-8: Anteile der Endenergieträger am Wärmeverbrauch	16
Abbildung 2-9: Gasnetzinfrastruktur in Freiburg.....	17
Abbildung 2-10: Wärmenetzinfrastruktur in Freiburg.....	18
Abbildung 2-11: Untersuchungsgebiete Fernwärmestrategie	19
Abbildung 2-12: Treibhausgas-Emissionen Raumwärme und Warmwasser 2020.....	20
Abbildung 3-1: Ventilator-Einheiten für große Luft-Wärmepumpe	25
Abbildung 3-2: Potenzielle Freiflächen für Solaranlagen	26
Abbildung 3-3: Untergrundtemperaturen Baden-Württemberg 2500 m unter Gelände	27
Abbildung 3-4: Bohrungen am Oberrhein	27
Abbildung 3-5: Aufsuchungsgebiet zur Erkundung der tiefen Geothermie	28
Abbildung 3-6: Eignungsgebiete Erdwärmesonden	29
Abbildung 3-7: Übersichtskarte Umweltenergie-Nutzung (grün – Grundwasser, gelb – Erdwärmesonden)	30
Abbildung 3-8: Eignungsgebiete für thermische Grundwassernutzung (Raumbezug: Stadtbezirk)	31
Abbildung 3-9: Potenzialgebiete für die Nutzung von Abwärme aus dem Abwasserkanal (300 m Abstand).....	33
Abbildung 4-1: Wirkungsgradverluste bei PtG-Verfahren.....	38
Abbildung 4-2: geplante und in Betrieb befindliche PtG-Anlagen in Deutschland.....	39
Abbildung 4-3: Roadmap Gasinfrastruktur.....	41
Abbildung 4-4: Gesteigungskosten für EE-Gas in Abhängigkeit der Volllaststundenzahl der Anlage	43
Abbildung 4-5: Strömungsgeschwindigkeiten im Hochdruckgasnetz	47
Abbildung 4-6: Reinvestitionsbedarf Gasnetz bis 2030.....	48
Abbildung 4-7: Erneuerungsanteile Gasnetz bis 2030.....	48
Abbildung 4-8: Reinvestitionsbedarf Gasnetz 2030 bis 2050	49
Abbildung 4-9: Erneuerungsanteile Gasnetz 2030 bis 2050.....	49
Abbildung 4-10: Materialanteile im Gasnetz.....	50
Abbildung 4-11: Gebiete mit Fernwärmeversorgung gemäß Fernwärmestrategie	51
Abbildung 4-12: SWOT-Analyse Gasnetz-Szenario "stark EE-Gas-basierte Wärmeversorgung"	53
Abbildung 4-13: SWOT-Analyse Gasnetz-Szenario "Umweltwärme- und EE-Strom-orientierte Wärmeversorgung"	54
Abbildung 5-1: Einteilung Eignungsgebiete für erneuerbare Wärmeversorgung	60
Abbildung 5-2: Anteile Endenergie für Raumwärme und Warmwasser in 2050	62
Abbildung 5-3: Endenergieträgerwechsel Wärme	63
Abbildung 5-4: Entwicklung Endenergieträgereinsatz Wärme 2020 bis 2050	63
Abbildung 5-5: Entwicklung Treibhausgas-Emissionen bis 2050.....	65

Abbildung 5-6: Exemplarische Erzeugungskosten am Netzeinspeisepunkt für erneuerbare Wärmequellen zur Integration in das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld mit Referenzvergleich..... 68

Abbildung 5-7: Spezifische CO_{2äq}-Emissionen der untersuchten erneuerbaren Wärmequellen zur Integration in das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld mit Referenzvergleich 68

Abbildung 5-8: Jahresdauerlinie eines wahrscheinlichen Erzeugermixes mit hohen Erneuerbaren bzw. Abwärmeanteilen für das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld in 2030 69

Abbildung 5-9: Spezifische und absolute CO_{2äq}-Emissionen des Erzeugermixes mit hohen Erneuerbaren bzw. Abwärmeanteilen für das Wärmenetz Weingarten/Rieselfeld in 2030 70

Abbildung 5-10: Übersicht über die sieben Bauabschnitte zur Umsetzung des Projektes „Wärmeverbund Freiburg-Süd“ 71

Abbildung 5-11: Prinzipschema Abwärmeauskopplung und Aufbereitung „Wärmeverbund Freiburg-Süd“ 72

Abbildung 5-12: Darstellung der UKF-Netzstruktur mit Dampfnetz (dunkles Lila) und den nachgelagerten Heizwassernetzen (pink)..... 74

Abbildung 6-1: Steckbrief Weingarten – Seite 1..... 81

Abbildung 6-2: Steckbrief Weingarten – Seite 2..... 82

Abbildung 8-1: Strommix, Primärenergiefaktor und CO₂-Emissionsfaktor von Strom..... 123

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Vergleich Abschätzung Energieverbrauch Raumwärme u. Warmwasser Klimabilanz und WAD 2.0 ..	11
Tabelle 2-2: Annahmen zu Randbedingungen für die Wärmebedarfsentwicklung aus dem Klimaschutzkonzept.	13
Tabelle 2-3: Faktoren der Wärmebedarfsreduktion.....	13
Tabelle 3-1: Erneuerbare Energiequellen und ihre Eignung für die zentrale Wärmeversorgung	21
Tabelle 3-2: Erneuerbare Energiequellen und ihre Eignung für die dezentrale Wärmeversorgung	24
Tabelle 3-3: Übersicht Potenziale zur erneuerbaren Wärmeversorgung.....	35
Tabelle 4-1: Begriffsabgrenzung erneuerbarer Gase.....	36
Tabelle 4-2: Unterscheidung der Bezeichnungen für Wasserstoff nach Produktionsverfahren	37
Tabelle 4-3: EE-Gas-Einsatzfelder und Dekarbonisierungsalternativen	44
Tabelle 4-4: Vergleich zentraler Annahmen und Rolle PtG in Studien	44
Tabelle 4-5: Modellrechnung Elektrolyseleistung zur Deckung des kompletten Gasbedarfs	45
Tabelle 5-1: Monovalente erneuerbare Optionen für dezentrale Wärmeversorgung.....	58
Tabelle 5-2: Siedlungstypen und ihre Eignung für zentrale Wärmeversorgung.....	59
Tabelle 6-1: Liste übergreifender Maßnahmen.....	83
Tabelle 8-1: Ökologischer Vergleich Erdgaskessel, Wärmepumpe und Strom-Direktheizung.....	124

Literaturverzeichnis

- badenova 2018 badenova: Dokumentation zur Entwicklung einer Fernwärmestrategie für die Stadt Freiburg i. Br. Freiburg, Juli 2018
- BMWi 2017 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland*. Module 0-3. Studie erstellt durch FhG-ISI, Consentec, ifeu. Berlin, 2017
- BMWi 2020 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWi*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.html>. Abgerufen 22.10.2020
- DiaG 2019 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: *Dialogprozess Gas 2030 – Erste Bilanz*. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/C-D/dialogprozess-gas-2030-erste-bilanz.html> Abgerufen am 26.03.2021
- DVGW 2020 Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: *Übersicht der Power-to-Gas-Anlagen in Deutschland*. <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/energiewende/bilder/karte-power-to-gas-anlagen.pdf> Abgerufen am 26.03.2021
- ET 2016 Brunner, C., Michaelis, J.: *Wirtschaftliche Perspektiven für Power-to-Gas im zukünftigen Energiesystem*. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 3, 2016
- EARFR 2012 Energieagentur Regio Freiburg: *Energiebilanz für die Region Freiburg – Verbrauch und Potenziale – Endbericht*. Freiburg, 2012
- EWE 2017 Götze, T.: *Die AUDI-e-gas-Anlage in Werlte – ein P2G-Projekt am Standort einer Biogasanlage*. https://www.efzn.de/fileadmin/documents/Niedersaechsische_Energietage/Vortr%C3%A4ge/2017/Goetze.pdf Abgerufen am 26.03.2021
- FhG ISE 2020 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme: *Wärmepumpen in Bestandsgebäuden*. Marek Miara, Vortrag beim Informationsabend der Stadt Freiburg Klimafreundlich Wohnen. Oktober 2020
- FMBW 2020 Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg: *Energie- und Klimaschutzkonzept für landeseigene Liegenschaften*. Stuttgart, Februar 2020. https://fm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-fm/intern/Publikationen/200219_zusammenfass_klimaschutzkonzept.pdf. Abgerufen am 16.02.2021
- HVZ 2021 Hochwasservorhersagezentrale: *Hydrologische Kennwerte – Dreisam, Ebnet*. <https://www.hvz.baden-wuerttemberg.de/>. Abgerufen 18.03.2021
- ifeu 2019a ifeu, GEF, geomer, indevo: *Netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA)*. Verbundprojekt im Förderprogramm EnEff:Wärme, FKZ 03ET1302A und B., Heidelberg, 2019.
- ifeu 2019b ifeu: *BISKO – Bilanzierungssystematik Kommunal. Empfehlung zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Kurzfassung (Aktualisierung 11/2019). Heidelberg, November 2019
- ifeu 2020a ifeu: *Datensatz Endenergie Energie 2016 für Klimabilanz. Sektoren GHD, Industrie, Haushalte, witterungskorrigierte Endenergie*. Heidelberg, Oktober 2020
- ifeu 2020b ifeu: *CO₂-Bilanz Energie und Verkehr für die Stadt Freiburg von 1992 bis 2018*. Präsentation von Hans Hertle. Freiburg, November 2020
- IWU 2021 Institut für Wohnen und Umwelt: *Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten*. Institut für Wohnen und Umwelt. April 2021. <https://www.datanwg.de/downloads/abschlussstagung/> Abgerufen am 04.05.2021

- Klinger 2010 Klinger und Partner: *Potenzialstudie zur Abwasserwärmenutzung*. Bericht im Auftrag des Abwasserzweckverbandes Breisgauer Bucht. November 2010
- LGRB 2020a Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau: *Informationssystem für oberflächennahe Geotherme für Baden-Württemberg (ISONG)*. Freiburg. <https://isong.lgrb-bw.de/> Abgerufen am 15.07.2020
- LGRB 2020b Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau: *Geothermie – Untergrundtemperaturen in Baden-Württemberg*. Freiburg. https://maps.lgrb-bw.de/?view=lgrb_uek350_geothermie. Abgerufen am 07.01.2020
- LGRB 2021 Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.) (2019): *LGRB-Kartenviewer - Layer Temperaturen in 2500 m unter Gelände*. <https://maps.lgrb-bw.de/>. Abgerufen am 11.03.2021
- LUBW 2018 Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg: *Energieatlas*. <https://www.energieatlas-bw.de/>. Abgerufen 24.02.2021
- Öko 2019 Öko-Institut, ifeu: *Fortschreibung Klimaschutzkonzept Freiburg 2019*. Freiburg, Januar 2019.
- Paulus 2017 Paulus, J.: *Power-to-Gas – Erhöhung der Wasserstofftoleranz im Gasnetz – Machbarkeit und Chancen*. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kommunaler_Umweltschutz/Sadtwerke-Wettbewerb/Downloads/Votr%C3%A4ge_WS-II_Hassfurt/WS-II_Vorreiter_Energiewende_Paulus.pdf. Abgerufen 25.03.2021
- Plazzo 2017 Plazzo, M.: *Fernwärme für Losan Pharma im Gewerbepark Breisgau*. <https://www.euwid-energie.de/fernwaerme-fuer-losan-pharma-im-gewerbepark-breisgau/>. Abgerufen 19.03.2021
- STFR 2010 Stadt Freiburg: *Solarpotentialkataster FreeSun 2010*. Freiburg. <https://geodaten.freiburg.de/geonetwork/srv/ger/catalog.search#/metadata/cdfec8dc-976c-4657-9f11-350474bcd9dc>. Abgerufen am 24.02.2021
- STFR 2017 Stadt Freiburg: *Freiburg klimaneutral bis 2050 – Standortbestimmung*, Anlage 3 Zur Drucksache G-17/157, Freiburg, 2017.
- STFR 2018 Stadt Freiburg: *Die Geodaten des Perspektivplans Freiburg – Methodenbeschriebe und Metadaten*. Freiburg, 2018
- STFR 2019 Stadt Freiburg: *Energiebericht für den Gebäudebestand des Gebäudemanagements Freiburg*. https://www.freiburg.de/pb/site/Freiburg/get/params_E-1248640230/1630590/Energiebericht%202019.pdf. zuletzt abgerufen am 11.8.1021
- STFR 2020 Stadt. Freiburg: *Neuer Stadtteil Dietenbach: Verwaltung legt Rahmenplan vor*. Pressemitteilung vom 26.11.2020. <https://www.freiburg.de/pb/1631850.html>. Abgerufen 23.03.2021
- STMUG 2011 Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit: *Leitfaden Energienutzungsplan*. München, Februar 2011
- TBE 2021 TREA Breisgau Energieverwertung GmbH. Energie. <http://www.tbe-waerme.de/energie/energie.html>. Abgerufen 19.03.2021
- UBA 2019a Umweltbundesamt: *Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE-Studie*. 36/2019. Dessau-Roßlau, 2019
- UBA 2019b Umweltbundesamt: *Roadmap Gas für die Energiewende – nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors*. Studie erstellt von FhG-ISI und KIT. Dessau-Roßlau, April 2019 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-04-15_cc_12-2019_roadmap-gas_2.pdf Abgerufen 23.03.2021

- UBA 2021 Umweltbundesamt: *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990- 2020, 45/2019*. Dessau-Roßlau, 2021
- UMBW 2020a Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: *Auf dem Weg in die klimaneutrale Landesverwaltung. Zweiter Fortschrittsbericht zur CO₂-Bilanz 2010 – 2018* nach dem Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg. Stuttgart, 30.06.2020. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Klima/Zweiter-Fortschrittsbericht-klimaneutrale-Landesverwaltung-300620_01.pdf. Abgerufen am 15.02.2021
- UMBW 2020b Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: *Kommunale Wärmeplanung – Leitfaden*. Stuttgart, Dezember 2020
https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/Leitfaden-Kommunale-Waermeplanung-barrierefrei.pdf. Abgerufen am 21.06.2021
- VKUE 2017 Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU): *Erdgasinfrastruktur in der Zukunft: Darauf können wir aufbauen*. Berlin, 2017
- VKUP 2015 Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU): *POWER TO GAS – Chancen und Risiken für kommunale Unternehmen*. Berlin, 2015
- VÖG 2019 Vögtle, F.: *Warum das Heizkraftwerk der Uniklinik Freiburg aufrüstet*. Südkurier. Konstanz, 20.01.2019. <https://www.suedkurier.de/region/nachbarschaft/freiburg/Warum-das-Heizkraftwerk-der-Uniklinik-Freiburg-aufruestet;art372515,10022830>. Abgerufen am 16.02.2021
- WI 2015 Wuppertal-Institut: *Konsistenz und Aussagefähigkeit der Primärenergie-Faktoren für Endenergieträger im Rahmen der EnEV*. Wuppertal, Dezember 2015

8. Anhänge

8.1 Rahmendaten Treibhausgas-Projektion

Treibhausgas-Emissionsfaktoren (CO ₂ -Äquivalent mit Vorkette)	Quelle	Einheit	2020	2030	2050
Biomasse	[ifeu 2019b]	t/MWh CO ₂ e	0,025	0,025	0,025
Erdgas (Endverbraucher)	[ifeu 2019b]	t/MWh CO ₂ e	0,247	0,247	0,247
Erdgas (Großverbraucher)	[ifeu 2019b]	t/MWh CO ₂ e	0,233	0,233	0,233
Strom (Zielszenario)	[Öko 2019]	t/MWh CO ₂ e	0,412	0,222	0,030
Heizöl	[ifeu 2019b]	t/MWh CO ₂ e	0,318	0,318	0,318
Solarthermie	[ifeu 2019b]	t/MWh CO ₂ e	0,024	0,024	0,024
Fernwärme (Mischfaktor)	Projektion auf Basis Klimabilanz [ifeu 2020a]	t/MWh CO ₂ e	0,193	0,150	0,020

In Freiburg existiert eine hohe Anzahl von Fern- und Nahwärmenetzen mit unterschiedlichem Erzeugungsmix und entsprechend unterschiedlichen Treibhausgasemissionen. Im Rahmen der Klimabilanzierung wird für die wichtigsten Fernwärmeerzeugungen ein THG-Emissionsfaktor ermittelt und zu einem Mischfaktor zusammengefasst²³. Dieser Mischfaktor wurde für die Ermittlung der THG-Emissionen verwendet, um Konsistenz mit der Klimabilanz herzustellen. Bei den Dampfnetzen der Cerdia und des UKF liegen die Faktoren deutlich höher (0,205 t/MWh CO₂e und 0,189 t/MWh CO₂e für 2020) als bei den Heißwassernetzen (0,155 t/MWh CO₂e). Bei der Cerdia wird die in KWK erzeugte Wärme vorwiegend als Prozesswärme und nicht als klassische Fernwärme für Raumwärme und Warmwasser eingesetzt. Auch beim UKF-Netz wird Dampf z. T. als Prozesswärme eingesetzt (Hygiene, Wäscherei, etc.). Hier ist zu überlegen, ob es bei zukünftigen Klimabilanzen möglich ist, die Anwendungsbereiche Prozesswärme und klassische Fernwärme stärker zu trennen und unterschiedliche THG-Faktoren zu bestimmen.

Für die Ermittlung der THG-Emissionen für mit Wärmepumpen beheizten Gebäuden ist den neben den THG-Faktoren für Strom die folgende Entwicklung bei den Jahresarbeitszahlen angenommen worden:

einheitlich für alle Typen von Wärmepumpen	2020	2030	2050
Jahresarbeitszahlen Wärmepumpen	3,4	3,7	4,5

²³ Allokation von Koppelprodukten mit der exergetische Methode gemäß [ifeu 2019b]

8.2 Rahmendaten Untersuchung Weingarten/Rieselfeld

Parameter Wirtschaftlichkeit alle Preise netto		
Kalkulatorischer Zinssatz		3 %
Strompreis – Technikstrom	€/MWh	230
Strompreis – Großwärmepumpen	€/MWh	180
Strompreis – Verkauf	€/MWh	36,60
Erdgas-Mischpreis (Hs) inkl. NNE und Energiesteuer	€/MWh	38
Holzpellets	€/MWh	40
CO ₂ -Preis (ETS)	€/t	20
Förderung		Stand 1.6.2020

Allokation von Koppelprodukten mit der exergetische Methode gemäß [ifeu 2019b].

8.3 Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren

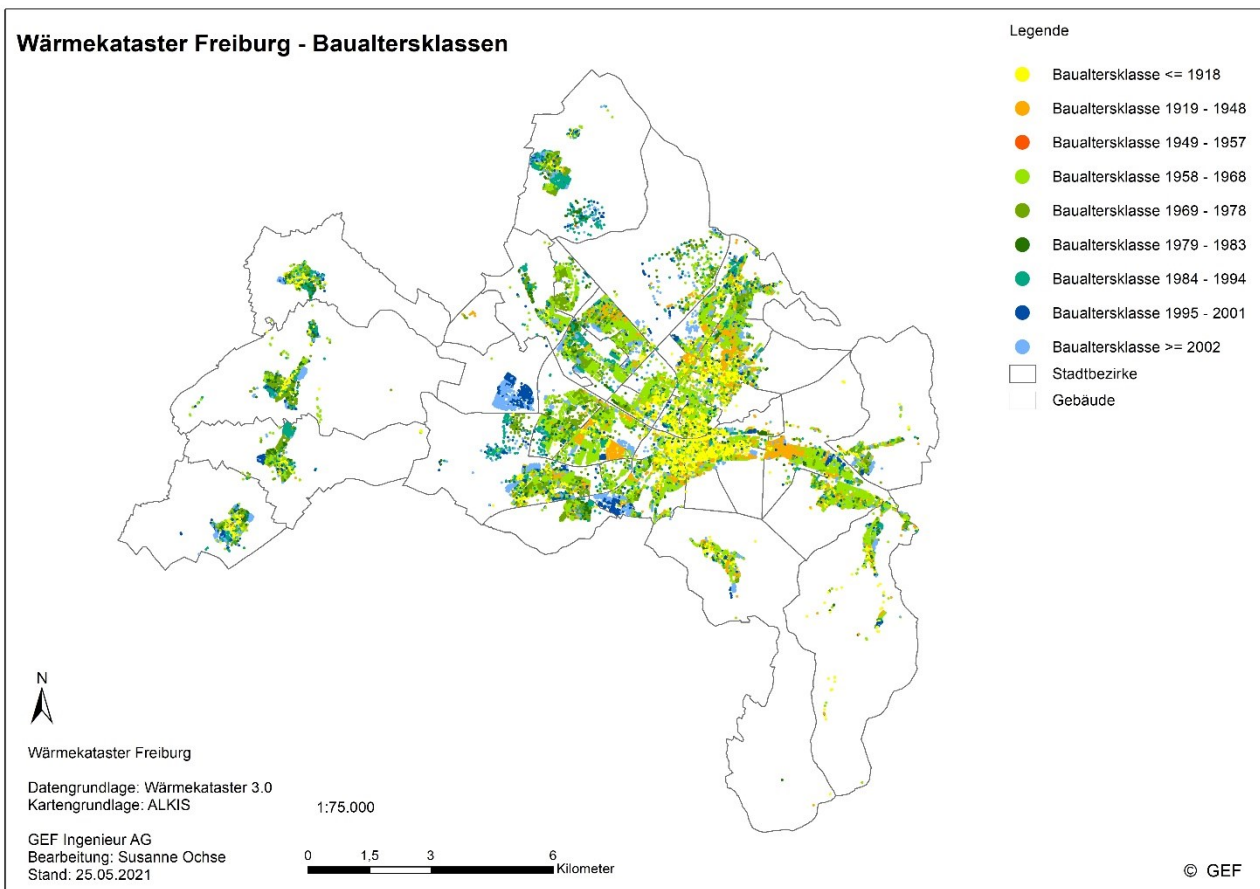
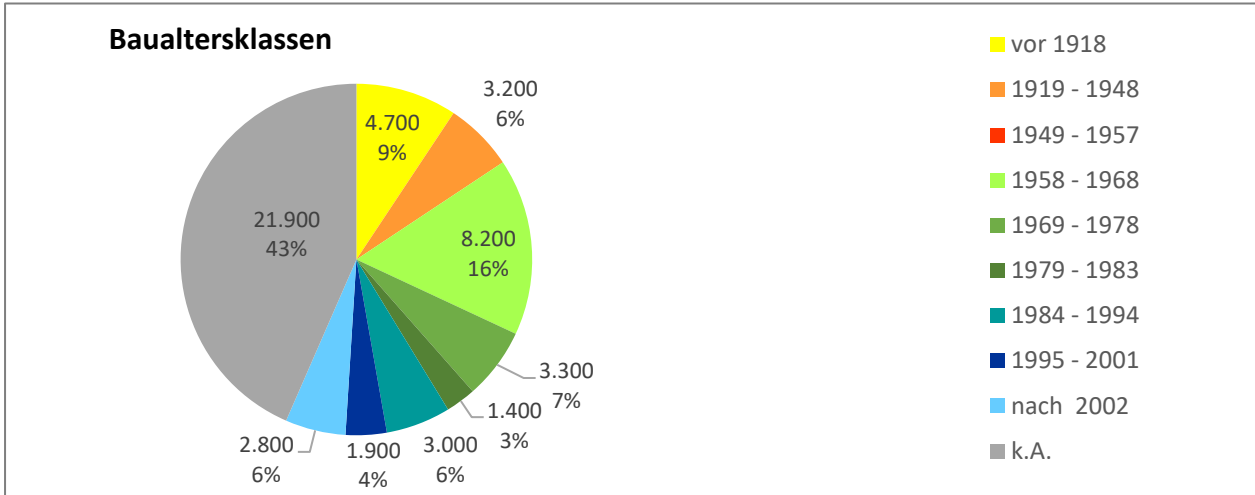
Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt auf Sektoren (gerundet)	GWh	2020	2030	2050
Private Haushalte	GWh/a	1.000	910	620
GHD	GWh/a	830	640	490
davon kommunale Gebäude ²⁴	GWh/a	47	36	28
Industrie	GWh/a	70	50	40
Summe		1.900	1.600	1.150

Jahresendenergiebedarf für die Wärmeversorgung aufgeteilt auf Energieträger (gerundet)	GWh	2020	2030	2050
Erdgas	GWh/a	1.030	580	0
Heizöl	GWh/a	330	180	0
Direkt-Strom	GWh/a	-	-	-
Wärmepumpe	GWh/a	10	150	310
Erneuerbare Energien	GWh/a	120	180	250
Wärmenetz	GWh/a	410	510	590
PtX	GWh/a	-	-	-
Wasserstoff	GWh/a	-	-	-
Summe	GWh/a	1.900	1.600	1.150

²⁴ Lt. [STFR 2019], für 2020 als Ist-Zustand angenommen, fast ausschließlich Gebäude im Sektor GHD, Bedarfsentwicklung analog zu GHD-Gebäuden in die Zukunft projiziert.

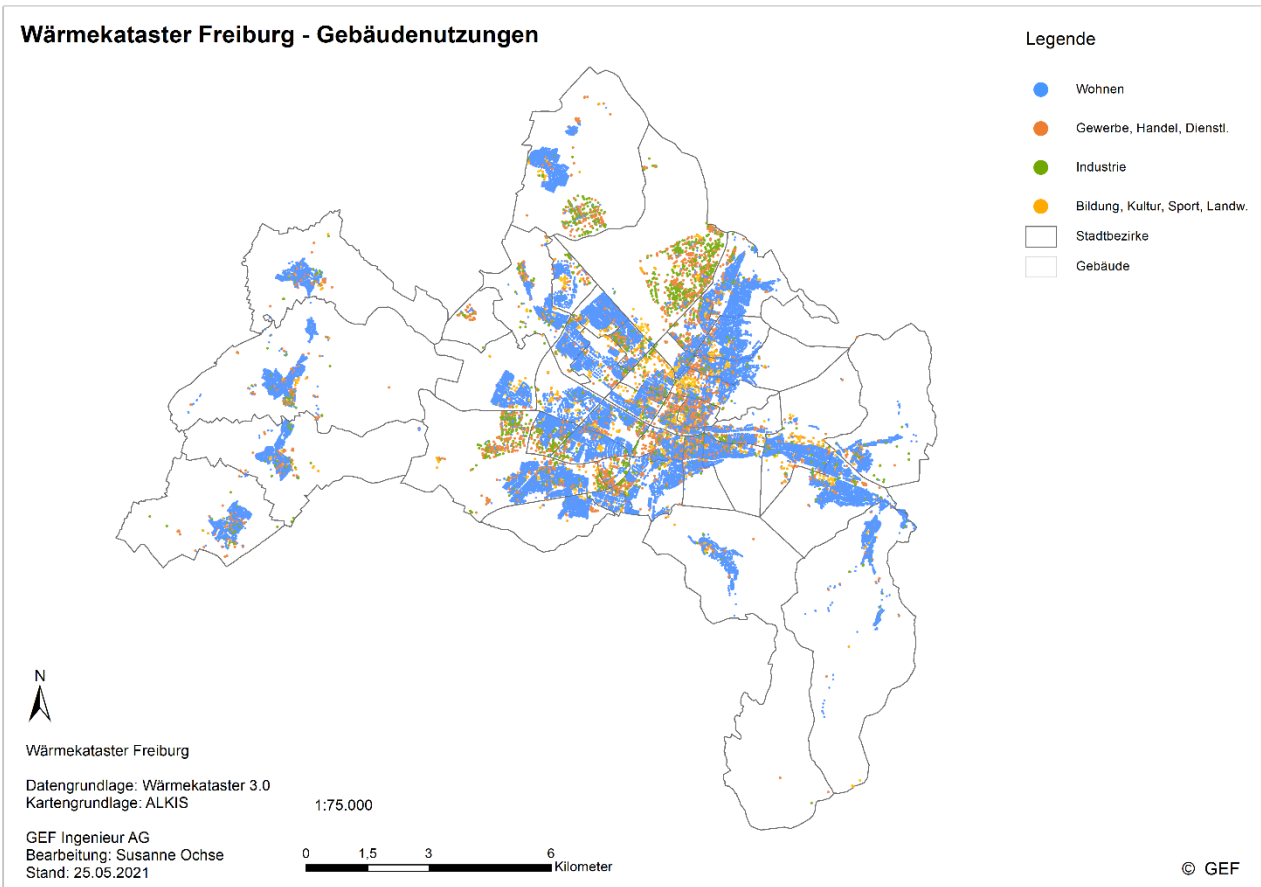
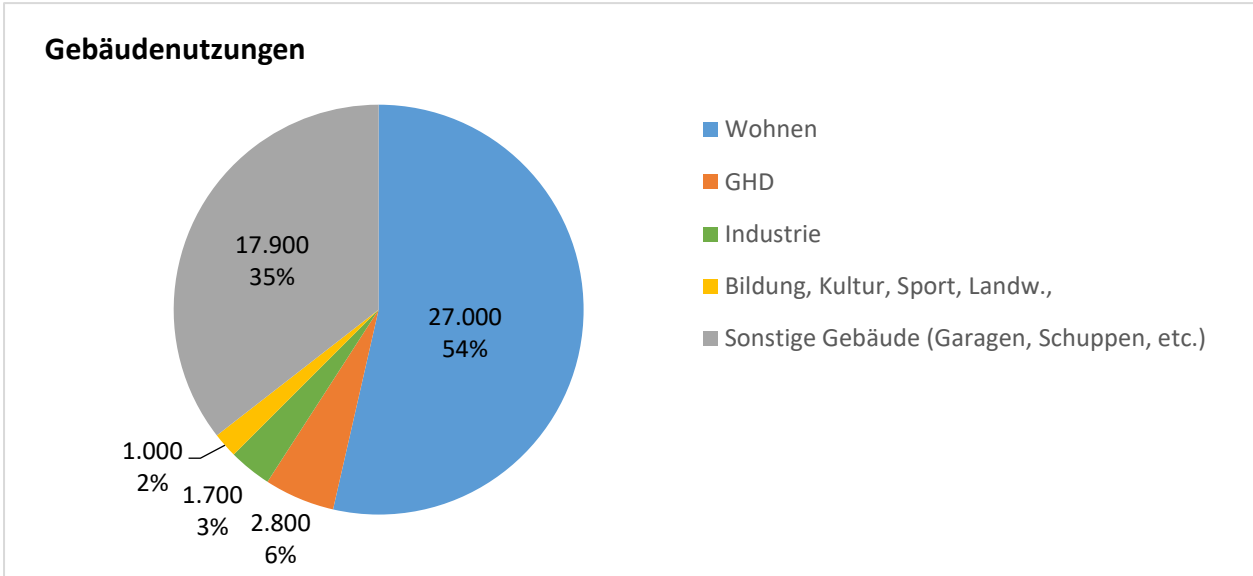
8.4 Gebäude nach Baualtersklassen

Prozentuale und räumliche Verteilung der Gebäude nach Baualtersklassen



8.5 Gebäude nach Nutzungstypen

Prozentuale und räumliche Verteilung der Gebäude nach Nutzungstypen



8.6 Maßnahmen-Steckbriefe

Für fünf thematische Handlungsfelder werden Maßnahmen vorgeschlagen.

- Erneuerbare Energien (EE)
- Wärmenetze (WN)
- Gas (G)
- Gebäude (GB)
- Begleitmaßnahmen (B)

Alle Maßnahmen sind einer Prioritätsstufe zugeordnet (1 = hohe Priorität, 2= mittlere Priorität), der zeitliche Rahmen, in dem die Realisierung stattfinden soll, wird ebenfalls angegeben (kurzfristig = 2020 – 2025, mittelfristig = 2025 – 2030). Aufgrund des einerseits hohen Zeitdrucks bei der Bekämpfung des Klimawandels und der Zeit, die die Umsetzung vieler Maßnahmen in Anspruch nehmen wird, sollte der überwiegende Teil der Maßnahmen im kurzfristigen Zeithorizont begonnen werden.

Handlungsfeld Erneuerbare Energien und Abwärme

EE 1	Erneuerbare Wärmeerzeugung im Neubau		
Beschreibung			
<p>In Ergänzung zum Klimaschutzgesetz des Landes Baden-Württemberg sollte geprüft werden, inwiefern im Rahmen der Umsetzung der Ergebnisse der Wärmeplanung ein baurechtliches Verbot für fossil befeuerte Heizungssystem (Kohle, Gas, Heizöl) im Neubau ausgesprochen werden kann. Ein Instrument im kommunalen Befugnisbereich könnte z. B. eine mit dem Klimaschutz begründete Bausatzung sein. Vorrangig sollen lokal vorhandene brennstofffreie erneuerbare Energiequellen (Umweltwärme) oder Abwärme zum Einsatz kommen, um knappe Biomasse-Ressourcen zu schonen.</p> <p>Es kann sinnvoll sein, für Neubaugebiete und Neubau-Einzelobjekte unterschiedliche Regelungen zu treffen. Für Härtefälle (Nichtumsetzbarkeit aufgrund technischer oder baulicher Randbedingungen, unbillige Härte, etc.) werden Ausnahmen definiert.</p> <p>Für große Neubau-Einzelobjekte (> 100 kW) und für Neubaugebiete, die durch ein neues Wärmenetz versorgt werden, kann ein Anteil von max. 25 % des Jahreswärmebedarfs aus fossilen Verbrennungsprozessen zugelassen werden.</p> <p>Sollen Neubauten aus Bestandswärmenetzen versorgt werden, muss der Wärmenetzbetreiber anhand eines Transformationsplans nachweisen, wie der Anteil an erneuerbarer Wärme zukünftig erhöht wird und das Netz bis 2050 dekarbonisiert werden soll.</p>			
Beginn	Kurzfristig	Dauer	Unbefristet
Initiator	Umweltschutzamt	Akteure	Umweltschutzamt, Verwaltung, Gemeinderat

EE 1	Erneuerbare Wärmeerzeugung im Neubau			
Zielgruppen	Bauherren			
Priorität	1			
Kosten	Personal	gering	Investition	./ . €

EE 2	Erneuerbare Wärmeversorgung im Bestand – Perspektive ab 2030			
Beschreibung				
<p>Wärmeerzeugungsanlagen, die nach 2030 installiert werden, müssen bei einer angestrebten Nutzungsdauer von 20 Jahren bereits als vollständig dekarbonisierte Anlagen errichtet werden, wenn eine klimaneutrale Wärmeversorgung ab spätestens 2050 gelingen soll.</p> <p>Die Stadt Freiburg initiiert oder unterstützt Initiativen, die sich auf übergeordneten politischen Ebenen (Land, Bund, EU) dafür einsetzen, dass bis spätestens 2030 ein verlässliches Ausstiegsszenario aus der Nutzung fossiler Energieträger wie Heizöl und Erdgas für den Wärmebereich definiert und regulatorisch untersetzt wird. Dies schafft sowohl für Gebäudeeigentümer als auch für die Energiewirtschaft einen zuverlässigen Rahmen für Investitionsentscheidungen im Wärmeerzeugungs- und im Gasnetzbereich.</p> <p>Parallel wird geprüft, welche kommunalen Handlungsmöglichkeiten bestehen, um ab 2030 die Wärmeerzeugung zu dekarbonisieren (z. B. Verbrennungsverbote).</p>				
Beginn	kurzfristig	Dauer	10 Jahre	
Initiator	Umweltschutzamt	Akteure	Umweltschutzamt, OB	
Zielgruppen	Land, Bund, EU			
Priorität	1			
Kosten	Personal	gering	Investition	30 T€ Konzeptkosten, plus Investitionen bei den städtischen Liegenschaften

EE 3 Solarpflicht in Neubau und Bestand

Beschreibung

Da zukünftig verstärkt Umweltenergie und Strom mittels Wärmepumpen zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser eingesetzt werden sollen, kann neben der Solarthermie auch die Photovoltaik einen Beitrag zur erneuerbaren Wärmeerzeugung leisten.

In Ergänzung zu §8a des novellierten Klimaschutzgesetzes des Landes-Baden-Württemberg soll auf kommunaler Handlungs- und Befugnisebene eine erweiterte Pflicht zur Installation und Nutzung von Solaranlagen sowohl im Neubau als auch im Bestand vorgeschrieben werden. Ziel ist es, das Solardargebot – gleich ob strom- oder wärmeseitig – optimal zu nutzen. Im Rahmen der Umsetzung werden Mindestflächen oder Leistungen festgelegt (z. B. bei PV-Anlagen im Neubau mindestens 35 % der Gebäudegrundfläche).

Neubau: Ergänzend zur Solarpflicht für Nichtwohngebäude im Klimaschutzgesetz des Landes wird in Freiburg eine Solarpflicht auch für neue Wohngebäude umgesetzt. Das kann z. B. durch baurechtliche Auflagen oder Satzungen sowie durch städtebauliche Verträge (sofern zutreffend) umgesetzt werden.
 Bestand: Eine Durchsetzung im Bestand ist im Rahmen der kommunalen Befugnisse wahrscheinlich schwieriger. Grundsätzlich ist die Solarpflicht im Bestand womöglich nur in Verbindung mit einem anderen, auslösenden Tatbestand wie einer Dachsanierung möglich. In der Umsetzung ist zu prüfen, welche möglichst genehmigungspflichtige Maßnahme ein Auslösungstatbestand im Gebäudebestand sein kann.

Ergänzend bleibt die städtische Solarförderung im Bestand (Förderprogramm und Kampagne „Dein Dach kann mehr“) bestehen. Für Gebäude, deren Eigentümer die Solaranlage nicht selbst planen und betreiben möchte, bieten Dienstleister Pachtmodelle an (i.d.R. für Großanlagen).

Für die kommunalen Gebäude und die Gebäude städtischer Gesellschaften wird eine Strategie für die Umsetzung der Solarpflicht entwickelt. Dies dient auch dazu, das in Freiburg schon vom Gemeinderat beschlossene Ziel einer klimaneutralen Stadtverwaltung bis 2030 zu realisieren. Falls eine Eigeninvestition aus Haushaltsmitteln nicht realisiert werden kann, sind auch Investitionen als Betreibermodelle zu prüfen.

Beginn	Kurzfristig	Dauer	Unbefristet
Initiator	Umweltschutzamt	Akteure	Umweltschutzamt, GMF, Verwaltung, Gemeinderat
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer		
Priorität	1		
Kosten	Personal	gering	Investition ggf. Folgekosten für Solaranlagen für kommunale Bestandsgebäude

EE 4	Tiefe Geothermie weiter vorantreiben		
Beschreibung			
<p>Im Rahmen der bundesweiten bzw. globalen Dekarbonisierung der Anwendungsbereiche Raumwärme und Warmwasser kommt jeder Region die Verantwortung zu, lokal vorhandene Ressourcen bestmöglich zu nutzen. In der Region Freiburg gibt es im Vergleich mit anderen Teilen Deutschlands erhebliche Potenziale für die Nutzung der tiefen Geothermie. Um diese Potenziale nutzbar zu machen,</p> <ul style="list-style-type: none"> - werden die begonnenen Untersuchungen fortgesetzt und ausgewertet (Zeitraum bis 2023) - werden die Potenziale bei positivem Ergebnis erschlossen und in die leitungsgebundene Wärmeversorgung in Freiburg integriert (Zeitraum 2024 – 2030) - wird für die Wärmenetze ein Verbundkonzept entwickelt und realisiert, um die geothermische Wärme für viele Gebäude nutzbar zu machen (Entwicklung 2020 - 2025, erste Realisierungsschritte 2020 - 2030). In dieses Verbundkonzept werden alle Wärmenetzbetreiber in ausreichender Nähe zum Standort der Geothermie-Erschließung einbezogen. <p>Für den Zeitraum nach 2030 wird die Rolle der Geothermie in der langfristigen Wärmeversorgung in Freiburg bewertet und die Nutzung der tiefen Geothermie ggf. ausgeweitet (Abteufung weiterer Dubletten).</p>			
Beginn	2020	Dauer	10 Jahre
Initiator	Badenova WÄRMEPLUS	Akteure	UWSA, weitere Wärmenetzbetreiber
Zielgruppen	Wärmenetzbetreiber		
Priorität	1		
Kosten	Personal	Bei WÄRMEPLUS	Investition Bei Umsetzung (wenn Wirtschaftlichkeit gegeben ist) hohe Mio.-Beträge

EE 5	Nutzung Abwärme Cerdia		
Beschreibung			
<p>Bei der Cerdia GmbH steht möglicherweise ein Abwärmepotenzial (> 20 MW) auf Nieder-Temperaturniveau (< 50 °C) zur Verfügung. Cerdia prüft gemeinsam mit Wärmenetzbetreibern, ob und wie eine Nutzung dieser Abwärme in Wärmenetzen realisiert werden kann.</p>			
Beginn	2021	Dauer	2025
Initiator	Wärmenetzbetreiber, Cerdia	Akteure	Ggf. weitere Unternehmen mit

EE 5	Nutzung Abwärme Cerdia			
				Abwärmepotenzialen, UWSA
Zielgruppen	Wärmenetzbetreiber			
Priorität	1			
Kosten	Personal	Bei Cerdia und Wärmenetzbetreibern	Investition	Erst bei Umsetzung

EE 6	Aufbau eines Abwärmekatasters			
<p>Die Stadt Freiburg erstellt ein Abwärmekataster. Zur Datenerhebung können Informationen aus der kommunalen Wärmeplanung (Auskunftspflicht der Unternehmen), aus energetischen Quartierskonzepten, und aus der Luftreinhaltung (Berichtspflichten BImSch) genutzt werden. Auch Förderprogramme zur gewerblichen Energieeffizienz (wie Ökoprotit, Ecofit) können Hinweise zu Abwärmepotenzialen erbringen. Ziel ist, Akteure zur Identifizierung und Meldung von Abwärmepotenzialen zu motivieren, um die Option zu schaffen, mehrere Potenziale ggf. zu bündeln und so eine externe Nutzung zu ermöglichen.</p> <p>Die Daten werden beim Umweltschutzamt gesammelt, mit den relevanten Parametern (Medium, Temperaturniveau Abwärme, geschätzte Wärmemenge pro Jahr, Leistung, etc.) in einer Datenbank erfasst und im GIS als Karte aufbereitet. Die Daten werden innerhalb der Kommunalverwaltung zur kommunalen Wärmeplanung genutzt.</p> <p>Wenn ein Einverständnis der Unternehmen/Institutionen, in denen die Abwärme anfällt, erzielt werden kann, ist es sinnvoll, die GIS-Darstellung der Abwärmepotenziale im Internet zu veröffentlichen, um weiteren Akteure die Möglichkeit zu geben, bei der Hebung der Abwärmepotenziale mitzuwirken.</p>				
Beginn	Kurzfristig	Dauer	5 Jahre	
Initiator	UWSA	Akteure		
Zielgruppen	Industrie, Gewerbe, Betreiber von Kühlanlagen			
Priorität	1			
Kosten	Personal	gering	Investition	20 T€, finanziert über den laufenden Haushalt

EE 7	Zwischenziele Klimaschutzkonzept/Masterplan beschließen und monitoren		
Beschreibung			
<p>Die im Klimaschutzkonzept 2019 festgelegten Zwischenziele zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien werden als Zielvorgabe vom Gemeinderat beschlossen und in einem Monitoringprozess (z. B. Klimabilanz und eea) regelmäßig überprüft:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kontinuierliche Steigerung der Sanierungsrate bis 2030 auf über 2 % pro Jahr - PV-Ausbauziel bis zum Jahr 2030 Stromerzeugung durch PV 100 GWh/a - Wind-Ausbauziel bis zum Jahr 2030 100 GWh/a - Anteil dezentraler erneuerbarer Energien an der Raumwärmebereitstellung bis 2030 30 % - Anteil erneuerbarer Fernwärme an der Raumwärmebereitstellung bis 2030 lt. Wärmemasterplan (s. Maßnahme Wärmenetze Transformationsplan: mindestens 30 % für Heißwassernetze, mindestens 20 % für Dampfnetz UKF, mindestens 15 % für Dampfnetz Cerdia) 			
Beginn	Kurzfristig	Dauer	unbefristet
Initiator	UWSA	Akteure	Gemeinderat, Verwaltung
Zielgruppen	GMF, Gebäude-eigentümer, Energieversorger		
Priorität	1		
Kosten	Personal	gering	Investition Finanziert über den laufenden Haushalt (European Energy Award)

Handlungsfeld Wärmenetze

WN 1	Transformationspläne für die Freiburger Wärmenetze		
Beschreibung			
<p>Für die Bestandsfernwärmenetze in Freiburg werden durch die jeweiligen Netzbetreiber innerhalb von fünf Jahren Transformationspläne bis zur vollständigen Dekarbonisierung ihrer Netze mit dem Zeithorizont bis 2050 erarbeitet. Dabei soll soweit wie möglich auf lokal vorhandene erneuerbare Energieträger oder Abwärme zurückgegriffen werden.</p> <p>Kernpunkte der Transformationsstrategien sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ist-Analyse Netze und Erneuerbare Potenziale für die Nutzung in Wärmenetzen • Entwicklungspfad Wärmenetz (Absatzentwicklung, Netzausbau und -Verdichtung in Anlehnung an den Wärmemasterplan, Temperaturentwicklung) • Konzeption erneuerbare Wärmeerzeugung 2050 und Zwischenschritte • Definition von Einzelschritten inkl. technischer Ausarbeitung der Einzelschritte bis 2050 <p>Ziel ist, die THG-Emissionsfaktoren der Freiburger Wärmenetze bis 2030 deutlich abzusenken (bzw. bis 2028 zur Erreichung des vorgezogenen Klimaneutralitätsziel 2045):</p>			
	THG-Faktor 2020*	Ziele 2030*	
Dampfnetz Uniklinik Freiburg	0,205 t CO ₂ e/ MWh	THG-Emissionsfaktor*: erneuerbarer Anteil:	0,148 t CO ₂ e/ MWh 15 %
Dampfnetz Wärme-Verbundkraftwerk	0,189 t CO ₂ e/ MWh	THG-Emissionsfaktor*: erneuerbarer Anteil:	0,136 t CO ₂ e/ MWh 20 %
Heißwassernetze	0,155 t CO ₂ e/ MWh	THG-Emissionsfaktor*: erneuerbarer Anteil:	0,098 t CO ₂ e/ MWh 30 %
*jeweils für Berechnung THG-Faktoren mit exergetischer Methode, s. [ifeu 2019b]			
Bis 2050 muss der THG-Faktor für Klimaneutralität auf nahe Null sinken.			
<p>Machbarkeitsstudien für eine Transformation werden aktuell durch das Bundesprogramm Wärmenetze 4.0 und zukünftig voraussichtlich auch durch das geplante Bundesprogramm Effiziente Wärmenetze (BEW) gefördert. Die genannten Programme bieten auch Förderung für Umsetzungsmaßnahmen.</p> <p>Die Netzbetreiber stimmen sich bei der Strategieentwicklung untereinander und mit der Stadt Freiburg ab, um Synergien z. B. bei der Erschließung und Nutzung erneuerbarer Energiequellen (z. B. Geothermie) zu nutzen.</p>			
Beginn	kurzfristig	Dauer	5 Jahre
Initiator	Wärmenetzbetreiber	Akteure	Wärmenetzbetreiber, Umweltschutzamt, Stadtplanungsamt,

WN 1	Transformationspläne für die Freiburger Wärmenetze		
			Fernwärme-Großkunden
Zielgruppen	Wärmenetzbetreiber		
Priorität	1		
Kosten	Personal	gering	Investition
			Pro Transformationsplan fünf- bis sechsstelliger Betrag, je nach Untersuchungstiefe und Größe Netz

WN 2	Ausbau der Wärmenetze
Beschreibung	
<p>In den verdichtet bebauten Bereichen in der Innenstadt, in Mehrfamilienhausgebieten und Großwohnsiedlungen können lokal verfügbare erneuerbare Energiequellen wie Grundwasser, oberflächennahe Geothermie oder Solarthermie zur Wärmeversorgung für Bestandsgebäude nur schwierig oder in nicht ausreichenden Mengen erschlossen werden. Hier können Wärmenetze einen zentralen Beitrag leisten, um Abwärme oder erneuerbare Wärme an geeigneten Standorten zu erschließen und in die verdichteten Bereiche zu transportieren.</p> <p>Der Ausbau der Wärmenetze erfolgt bis 2030 in Anlehnung an die Fernwärmestrategie. Diese sieht eine intensive Nachverdichtung in den Bestandsgebieten vor sowie einen Ausbau in den Stadtbezirken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Haslach (Schildacker, Gartenstadt, Egerten) • St. Georgen (Nord) • Altstadt (Ring, Mitte) • Stühlinger (Alt-Stühlinger, Eschholz) • Neuburg • Herdern (Nord, Süd) • Betzenhausen (Bischofslinde) • Brühl (Industriegebiet) • Dietenbach sowie weitere Neubaugebiete <p>Angestrebt wird, den Wärmeabsatz von heute ca. 400 GWh_{EE}/a bis 2030 auf ca. 500 GWh_{EE}/a und bis 2050 auf rund 600 GWh_{EE}/azu erhöhen. Im Rahmen des Monitorings Wärmenetzausbau werden Ausbaufortschritt und -ziele regelmäßig abgeglichen und die Fernwärmestrategie ggf. angepasst. Beim Ausbau wird parallel der Transformationspfad hin zu klimaneutralen Netzen verfolgt (vgl. Maßnahme Wärmenetze Transformationspläne). Der Ausbau der Wärmenetze ohne gleichzeitige Reduktion der Treibhausgase alleine ist keine zielführende Maßnahme im Sinne des Klimaschutzes.</p>	

WN 2 Ausbau der Wärmenetze			
<p>Hierzu erfolgt eine Koordination mit weiteren Akteuren (Sanierung Straßen, Breitbandausbau, Quartiersentwicklungen, Heizungserneuerung potenzielle Ankerkunden, etc.), um günstiges Zeitfenster für den Ausbau zu nutzen (s. Maßnahme Monitoring Wärmenetzstrategie).</p> <p>Im Rahmen der Transformationspläne werden die Ausbau- und Nachverdichtungspläne für die im Wärmemasterplan ausgewiesenen potenziellen Eignungsgebiete für Fernwärme konkretisiert und ein Ausbauplan für den Zeitraum nach 2030 entwickelt.</p> <p>Ggf. ist es für eine vollständige Dekarbonisierung der Fernwärme in Freiburg zielführend, Einzelnetze zu einem Netzverbund zusammenzuführen, um z. B. Wärmequellen wie Abwärme oder tiefe Geothermie effizient und möglichst vollständig nutzen zu können. Entsprechende Überlegungen werden in die Entwicklung der Ausbaustrategie einbezogen.</p> <p>In den Eignungsgebieten für die dezentrale Versorgung wird geprüft, ob eine Realisierung von Nahwärmelösungen punktuell in Teilgebieten mit stärker verdichteter Bebauung sinnvoll ist.</p>			
Beginn	Kurzfristig	Dauer	2050
Initiator	Wärmenetzbetreiber	Akteure	Umweltschutzamt, Tiefbauamt, Ankerkunden
Zielgruppen			
Priorität	1		
Kosten	Personal	Vorwiegend bei den Wärmenetzbetreibern	Investition hohe Mio. Beträge verteilt über Jahrzehnte, dem stehen zeitversetzt Einnahmen aus dem Wärmeverkauf gegenüber

WN 3 Integration erneuerbarer Wärme / Abwärme ins Wärmenetz Rieselfeld/Weingarten			
Beschreibung			
<p>Die grobe Machbarkeitsuntersuchung aus dem Masterplan zur Integration von erneuerbarer Wärme ins Wärmenetz Rieselfeld/Weingarten wird vertieft. Bei wirtschaftlich aussichtsreichem Ergebnis wird die Realisierung (ggf. schrittweise) vorangetrieben.</p> <p>Mögliche Synergien mit der Wärmeversorgung im neuen Stadtteil Dietenbach werden mit den relevanten Akteuren ermittelt und genutzt.</p>			
Beginn	Kurzfristig	Dauer	5 Jahre

WN 3		Integration erneuerbarer Wärme / Abwärme ins Wärmenetz Rieselfeld/Weingarten		
Initiator	Wärmenetzbetreiber (= FWV)		Akteure	Umweltschutzamt, Projektgruppe Dietenbach, Stadtplanungsamt
Zielgruppen				
Priorität	1			
Kosten	Personal	Beim Wämenetzbetreiber (FWV)	Investition	bei Umsetzung (wenn Wirtschaftlichkeit gegeben ist) ggf. mehrere Mio. €, dem stehen zeitversetzt Einnahmen aus dem Wärmeverkauf gegenüber

WN 4		Monitoring Wärmenetzstrategie		
Beschreibung				
<p>Die Wärmenetzbetreiber und das Umweltschutzamt tauschen sich regelmäßig über die Fortentwicklung der kommunalen Wärmeplanung und die Wärmenetzstrategien der jeweiligen Unternehmen aus. Ziele des Austausches sind</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abgleich zwischen dem realisierten Netzausbau und der fortschreitenden Dekarbonisierung der Netze und der kommunalen Wärme- und Klimaschutzplanung. • Koordination (ggf. mit weiteren Akteuren), um günstige Zeitfenster für den Ausbau zu nutzen (Sanierung Straßen, Breitbandausbau, Quartiersentwicklungen, Heizungserneuerung potenzieller kommunaler Ankerkunden, Erschließung Neubaugebiete, etc.). <p>Es finden mindestens zwei Termine pro Jahr statt.</p>				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	10 Jahre
Initiator	UWSA		Akteure	Wärmenetzbetreiber (Wärmeplus, UKF, FWV, WSW, EVB, GETEC, etc.)
Zielgruppen				
Priorität	1			
Kosten	Personal		gering	Investition ./. €

WN 5 Zukunft Dampfnetz bis 2050				
Beschreibung				
<p>Das Uniklinikum Freiburg ist einer der großen Wärmenetzbetreiber in Freiburg und versorgt neben den eigenen Liegenschaften und neben Universitätsliegenschaften auch Dritte mit Wärme. Das System ist entsprechend den Anforderungen der Uniklinik ausgelegt (Hygiene, Versorgungssicherheit) und versorgt viele Objekte mit hohen Temperaturen (z. T. Dampf). Eine Umstellung des Mediums auf Heißwasser und deutlich geringere Temperaturen ist ein wesentlicher Schritt zur Einbindung Treibhausgas-ärmerer oder -freier Wärmequellen. Allerdings ist zu befürchten, dass eine solche Umstellung nicht leicht oder kurzfristig gelingen kann. Dennoch bietet die Umstellung – wenn auch nur in Teilen – weitere Optionen wie den Zusammenschluss von Netzen und womöglich auch weitere Ausbauoptionen. Vor dem Hintergrund, dass das Dampfnetz den ältesten Teil des Wärmenetzsystems des UKF ausmacht, ist eine Untersuchung von Umstellungsoptionen und Transformationsschritten im Rahmen von ohnehin anstehenden Erneuerungen angezeigt, selbst, wenn die Umsetzung nur perspektivisch sein kann.</p>				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	2 Jahre
Initiator	UKF, Land Baden-Württemberg		Akteure	UKF, Universitätsbauamt, Vermögen und Bau BW, UWSA
Zielgruppen	UKF			
Priorität	1			
Kosten	Personal	Beim Wärmenetzbetreiber (= UKF)	Investition	bei Umsetzung (wenn Wirtschaftlichkeit gegeben ist), ggf. mehrere Mio. €

WN 6 Temperaturabsenkung in Heizwassernetzen	
Beschreibung	
<p>Die Absenkungen von Rücklauftemperaturen in Wärmenetzen ist ein wichtiges Element des Transformationsprozesses, um Voraussetzungen zur Integration von erneuerbaren Energien und Abwärme in Wärmenetze zu verbessern. Ein niedriges Rücklauftemperatur-Niveau verbessert die Effizienz bei der Einbindung von Niedertemperatur-Quellen (Abwärme, Umweltwärme, etc.) ebenso wie bei der Nutzung von Geothermie. Auch die weitere Absenkung der Vorlauftemperaturen wird durch niedrige Rücklauftemperaturen erleichtert und verbessert die Randbedingungen für die Einbindung von EE-Wärme.</p>	

WN 6 | Temperaturabsenkung in Heizwassernetzen

Die Rücklauf­temperatur wird von der Kundenanlage bestimmt, eine maximal zulässige Temperatur in den Technischen Anschlussbedingungen festgeschrieben. Folgendes Vorgehen kann zur Absenkung von Rücklauf­temperaturen angewendet werden:

- Einrichtung eines Bearbeitungsteams zum Thema Temperaturabsenkung beim Versorger
- Stufenweises Vorgehen: Identifikation von relevanten „Rücklauf­temperatur-„Verschmutzern“ (hohe Temperaturen und hohe Massenströme) über die Fernauslesung oder bei der jährlichen Verbrauchsablesung. Die relevantesten „Verschmutzer“ haben Priorität.
- Identifikation der Ursachen für die zu hohen Rücklauf­temperaturen gemeinsam mit dem Zuständigen für die Kundenanlage (zeitaufwändig). Bei Kunden mit großen Wassermengenbezügen und hohen Rücklauf­temperaturen sind grundlegende Maßnahmen zu prüfen und i.d.R. wirtschaftlich umsetzbar. Auch bei Kunden mit eigenen ambitionierten Klimaschutzzielen kann Kooperationsbereitschaft erwartet werden.
- Absenkung der Rücklauf­temperatur bei einzelnen, reinen Heizkunden durch kundenseitige Maßnahmen wie hydraulischem Abgleich oder ähnliche geringinvestive Maßnahmen. Für den hydraulischen Abgleich können Gebäudeeigentümer Förderung beantragen.
- Umstellung der Trinkwarmwasserbereitung auf Fernwärme-Durchflusssysteme und Rückbau von Speicherladesystemen.

Beginn	Kurzfristig		Dauer	10 Jahre
Initiator	Stadtplanungsamt		Akteure	Wärmenetzbetreiber, UWSA
Zielgruppen	Wärmenetzbetreiber, Planer			
Priorität	1			
Kosten	Personal	Bei den Wärmenetzbetreibern	Investition	Durchführung im Rahmen der langfristigen Austauschzyklen, z. T. auch bei vorzeitiger Realisierung bereits wirtschaftlich

WN 7 | Platzbedarf für leitungsgebundene Wärme in Planungsverfahren frühzeitig berücksichtigen

Beschreibung

In den im Stadtgebiet als Vorranggebiete für Fernwärmenetze vorgesehenen Gebieten sind in B-Plan-Verfahren in einem sehr frühzeitig Planungsstadium Wärmenetze und Energiezentralen mit einzuplanen.

In laufenden Flächennutzungsplan-Verfahren ist ebenfalls Platzbedarf für Infrastruktureinrichtungen für die Energie- und Wärmeversorgung mit zu berücksichtigen.

WN 7 Platzbedarf für leitungsgebundene Wärme in Planungsverfahren frühzeitig berücksichtigen

Energiezentralen: Hier ist zunächst der voraussichtliche Leistungsbedarf der Energiezentrale abzuschätzen (40 W Leistung pro Quadratmeter Wohn- bzw. beheizte Nutzfläche). Für die Gebäudegrundfläche der Energiezentrale sind 100 m² pro 1 Megawatt Leistung anzusetzen, jedoch mindestens 250 m².

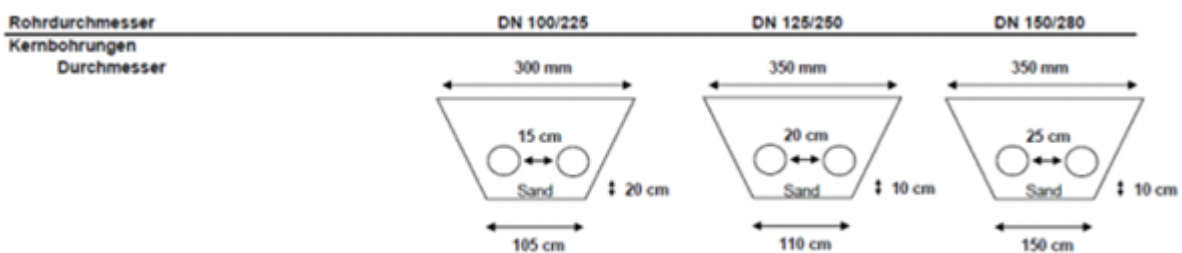
Trassenkorridor: Für die Hauptleitung ausgehend von der Energiezentrale sind anzusetzen (Annahme Heißwassernetze mit Spreizung Vorlauf/Rücklauf 35 K, Dämmserie II):

Leistung Energiezentrale 1 MW: Werte für DN 100/225 aus TAB badenovaWÄRMEPLUS (s. auch Grafik)

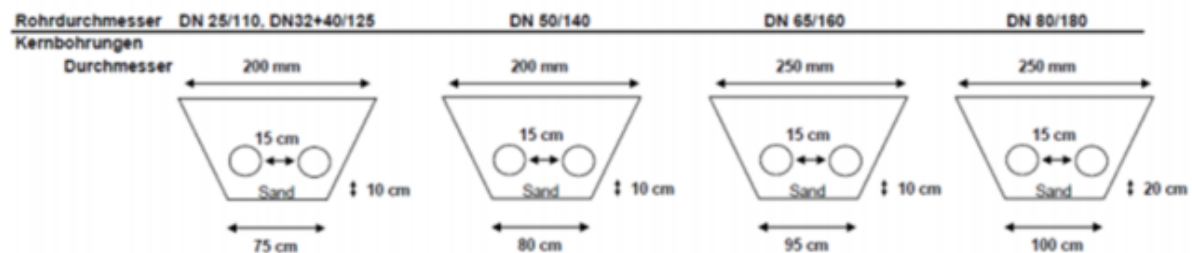
Leistung Energiezentrale 3 MW: Werte für DN 150/225 aus TAB badenovaWÄRMEPLUS (s. auch Grafik)

Für größere Leistungen ist eine Absprache mit dem potenziellen Netzbetreiber oder Netzplaner erforderlich.

Technische Anschlussbedingungen badenovaWÄRMEPLUS, Anlage 4 Grabenprofil und Kernbohrungen:



Für Verteilleitungen mit kleineren Nennweiten sind folgende Werte anzusetzen:



Beginn	Kurzfristig	Dauer	unbefristet
Initiator	UWSA	Akteure	UWSA, Stadtplanungsamt, Wärmenetzbetreiber, Netzplaner
Zielgruppen	Planungsbeteiligte		
Priorität	1		
Kosten	Personal	gering	Investition ./.€

WN 8	Portal Wärmenetze mit Netztrassen der Wärmenetzgebiete schaffen			
Beschreibung				
<p>Betreiber von Wärmenetzen – auch wenn sie keine ausdrückliche Gestattung/Konzession mit der Stadt vereinbart haben und damit nicht zur allgemeinen Versorgung dienen – sollten z. B. über die Wege-nutzungsvereinbarungen verpflichtet werden, Leitungsverläufe ihrer Netztrassen allgemein öffentlich zu machen. So soll es Interessierten leichter möglich werden, den Anschluss an ein Netz zu erfragen/zu beantragen. In Erweiterung dazu könnte ein online-Portal <i>Wärmenetze Freiburg</i> durch eine Interessen-gemeinschaft der Wärmenetzbetreiber eine zentrale Anlaufstelle sein. Dort könnten die Trassenverläufe veröffentlicht werden und mögliche Anschlussanträge verfügbar gemacht werden.</p> <p>Die Stadt unterstützt im Rahmen ihrer Möglichkeiten durch Information von Grundstückseigentümern über die Lage der bestehenden Wärmenetze.</p>				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	Unbefristet
Initiator	Umweltschutzamt		Akteure	Umweltschutzamt, Wärmenetz-betreiber
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer, Wärmenetzbetreiber			
Priorität	2			
Kosten	Personal	Gering, vorwiegend beim Wärmenetz-betreiber	Investition	./€.€

Handlungsfeld Gas

G 1 Aktualisierung der Bewertung der Perspektiven des Gasverteilnetzes				
Beschreibung				
<p>Stadt und badenova/bnNETZE bewerten jeweils 2024 und 2028 die Perspektiven des Gasverteilnetzes für die klimaneutrale Wärmerversorgung in Freiburg. In die Bewertung einbezogen werden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestandsaufnahme Entwicklung Wärmemarkt Freiburg (Entwicklung des Wärmebedarfs, der Energieträgeranteile in der Wärmeversorgung in Freiburg, Entwicklung der CO₂e-Emissionen im Wärmebereich) • nationale/internationale Entwicklungen im Bereich erneuerbare Gase/Wasserstoff (speziell Anteil am nationalen Gasmix) • nationale Perspektive der Rolle von Gas zur Wärmeversorgung • anstehende Investitionsentscheidungen im Gasnetz (zur Vermeidung von Fehlinvestitionen) <p>Die Ergebnisse der Bewertung fließen in die kommunale Wärmeplanung ein. Auf Grundlage der Bewertung ist der Weiterbetrieb des Gasnetzes gebiets- und zeitbezogen zu bewerten. Entscheidungen für eine Stilllegung des Gasnetzes könnten erforderlich werden, falls perspektivisch für die Wärmeversorgung erneuerbares Gas nicht im erforderlichen Umfang bereit steht.</p>				
Beginn	2025		Dauer	2028
Initiator	UWSA, bnNETZE		Akteure	UWSA, badenova, bnNETZE, badenovaWärmeplus
Zielgruppen	bnNETZE			
Priorität	1			
Kosten	Personal	gering	Investition, Gutachten	30 T€ für Konzept, Änderungen im Gasgeschäft können die Gewinnerwartung von badenova ggf. deutlich reduzieren

Handlungsfeld Gebäude

GB 1	Klimaneutrale Gebäude – Erstellung akteurspezifischer Masterpläne durch Akteure			
Beschreibung				
<p>Die Stadt Freiburg will bis 2030 Klimaneutralität für ihre Verwaltung erreichen, der Bund und die Erzdiözese Freiburg streben dieses Ziel ebenfalls an. Das Land Baden-Württemberg hat sich dieses Ziel für 2040 gesetzt, die Evangelische Landeskirche Baden bis 2040 bzw. 2050. In der Konsequenz müssen für eine Vielzahl öffentlicher Gebäude in Freiburg akteurspezifische Masterpläne entwickelt werden, die sowohl die Gebäudeeffizienz (Gebäudehülle und Gebäudetechnik) als auch die erneuerbare Energieversorgung (Wärme, Strom, ggf. Kälte) umfassen.</p> <p>Das UWSA initiiert einen halbjährlichen Erfahrungsaustausch der Akteure, um Musterlösungen zu verbreiten und Synergieeffekte zu nutzen – sowohl für Lösungen mit dezentraler Versorgung als auch für Versorgungslösungen mit Nah- oder Fernwärme (ggf. separate Struktur für den Austausch Gebäudehülle, über dezentrale Wärmeerzeugungslösungen und für Koordination mit Wärmenetzausbau).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kick-Off mit Impulsreferat und Vorstellung der Strategien jedes teilnehmenden Akteurs • ½-jährlich ein ganztägiger Workshop, in denen jeder Teilnehmer anhand eines aktuellen Projektes Probleme und Lösungen vorstellt. <p>Ggf. werden weitere Akteure mit einen relevanten Gebäudebestand in den Erfahrungsaustausch einbezogen (Kliniken, Freiburger Stadtbau, gewerbliche Wohnungswirtschaft, etc.) bzw. externe Partner wie z.B. Energiereferat Frankfurt mit ihren „Leitlinien wirtschaftliches und nachhaltiges Bauen“.</p>				
Beginn	Kurzfristig			2030
Initiator	UWSA	Akteure	GMF, Verwaltung, VBBW, Uni-Bauamt, Bund, Kirchen (ggf. weitere Akteure)	
Zielgruppen				
Priorität	1			
Kosten	Personal	ca. 0,5 - 1 Personenmonate pro Jahr	Investition, Gutachten	gering

GB 2		Ausweisung von Sanierungsgebieten prüfen	
Beschreibung			
<p>Die Ausweisung von Sanierungsgebieten nach § 136 BauGB kann eine Maßnahme sein, um Missstände zu beseitigen hinsichtlich der energetischen Beschaffenheit, der Gesamteffizienz der vorhandenen Bebauung und der Versorgungseinrichtungen des Gebietes unter Berücksichtigung der allgemeinen Anforderungen an den Klimaschutz. Neben städtebaulichen Missständen sind auch die Mitwirkungsbereitschaft der Grundeigentümer und die soziale Betroffenheit der Bewohner wichtige Voraussetzung für die Ausweisung von Sanierungsgebieten.</p> <p>Die Stadt Freiburg untersucht, ob die Ausweisung von Sanierungsgebieten ein Weg sein kann, um die Sanierungsquote in ausgewählten Teilbereichen der Stadt zu erhöhen. Hierbei könnten beispielsweise Quartiere in den Stadtbezirken Landwasser, Zähringen oder Unterwiehre geprüft werden.</p>			
Beginn	Kurzfristig	Dauer	2 Jahre, dann Realisierung
Initiator	Stadtplanungsamt	Akteure	Amt für Projektentwicklung und Stadterneuerung, Wohnungsbau-gesellschaften, UWSA
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer		
Priorität	1		
Kosten	Personal	1-2 Personenjahre bei der Stadt-planung	Investition, Gutachten
			Dem stehen ggf. erhebliche Förder-mittel gegenüber

GB 3		Förderprogramm Klimafreundliches Wohnen	
Beschreibung			
<p>Das Förderprogramm „Klimafreundlich Wohnen“ (www.freiburg.de/klimawohnen) wird angepasst und inklusive seiner Beratungsangebote intensiver beworben.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● KfW-Effizienzhaus 100 als Standard für Förderung der Sanierung denkmalgeschützter Gebäude ● Streichung der Förderung für Gebäude mit Standard KfW-Effizienzhaus 85 ● Für die Förderbausteine im Bereich „Heizung und Lüftung“ werden folgende Änderungen vorgeschlagen: <ul style="list-style-type: none"> ■ Erstellung einer Expertenliste für Wärmepumpen-basierte Energieversorgung, Umbenennung der Liste „BHKW-Berater“ in z.B. „Wärmewende-Berater“ 			

GB 3 Förderprogramm Klimafreundliches Wohnen

- Vor-Ort-Check-Heizung:
 - keine Einbeziehung von Heizöl- oder Erdgaskesseln (auch nicht „Renewable Ready“) in den Variantenvergleich
 - bei Varianten mit Gas-Hybridheizungen muss der erneuerbare Anteil mindestens 55 % betragen
- Variantenvergleich Heizung für Gebäude mit mehr als drei Wohneinheiten:
 - der Variantenvergleich muss weiterhin die Verwendung erneuerbarer Energien prüfen und sollte – es sei denn es gibt Ausschlussgründe – mindestens eine Wärmepumpen-Lösung umfassen
 - die Pflicht zur Untersuchung einer erdgasbasierten BHKW-Variante entfällt
- Integration eines Angebotes eines „Wärmepumpen-Doktors“ zur Effizienzerhöhung von Bestandswärmepumpen
- Heizungsaustausch erneuerbar
 - Ausweitung der Förderung auf Heizkessel mit Brennwertnutzung, die älter als 15 Jahre sind
- Konzeption und Durchführung von Öffentlichkeitsarbeit, um Eigentümer von Heizöl-Kesseln zu einem Umstieg auf 100 % erneuerbare Optionen, speziell Wärmepumpen, zu motivieren.
- Für Gebäude, deren Raumwärme aktuell mit Heizöl erzeugt wird, wird die Förderung um einen Aufschlag erhöht.

Die Wirksamkeit des Programms wird nach drei Jahren evaluiert und ggf. Anpassungen vorgenommen.

Beginn	Kurzfristig	Dauer	10 Jahre
Initiator	UWSA	Akteure	UWSA, Energieberater, Architekten
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer		
Priorität	1		
Kosten	Personal	gering	Investition, Gutachten
			Zusätzlicher Mittelbedarf im Haushalt schon enthalten

GB 4 Pilotprojekte für übertragbare Lösungen für die Wärmewende

Beschreibung

Die Stadt Freiburg initiiert Pilotprojekte zur Entwicklung übertragbarer Lösungen für die Wärmewende. Der Fokus der Projekte umfasst sowohl die Gebäudesanierung als auch die Umstellung der Gebäudeheizung auf erneuerbare Wärme.

Die Pilotprojekte sollten z .B. umfassen

GB 4 Pilotprojekte für übertragbare Lösungen für die Wärmewende				
<ul style="list-style-type: none"> je ein Gebäude/Gebäudekomplex der Kommune, des Landes, des Bundes (vorzugsweise Nicht-Wohngebäude) fünf denkmalgeschützte Gebäude (z.B. je eines von Kommune, Land und Bund sowie zwei in privatem Eigentum) je ein typisches Bestandsgebäude von drei großen Wohnungsbaunternehmen je ein Bestandsgebäude pro Stadtbezirk <p>Die Kommune organisiert dazu einen Wettbewerb und anschließenden Erfahrungsaustausch (jährliche Workshops zum Erfahrungsaustausch) unter Umsetzern und Planern und finanziert eine begleitende Öffentlichkeitsarbeit, um die Sichtbarkeit der Projekte zu verbessern.</p>				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	5-10 Jahre
Initiator	UWSA		Akteure	UWSA, GMF, Land, Bund, Wohnungsbaunternehmen, Haus- und Grund, Planer, Architekten
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer, Architekten, Planer			
Priorität	1			
Kosten	Personal	Ca. 1 Personen-Monat pro Jahr	Investition, Gutachten	Niedriger sechs-stelliger Betrag

GB 5 Pilotprojekte für Blockversorgung				
Beschreibung				
<p>Bei der Umstellung auf eine erneuerbare Wärmeversorgung kann es je nach Randbedingungen sinnvoll sein, dies für mehrere Gebäude gemeinsam vorzunehmen. Diese so genannte Blockversorgung von drei oder mehr Gebäuden wird – im Gegensatz zur Nahwärme – nicht von einem Versorger/Contractor organisiert, sondern von den Gebäudeeigentümern selbst.</p> <p>Die Stadt Freiburg unterstützt die Umsetzung von drei Projekten finanziell mit bis zu 10.000 Euro pro Projekt (je nach Größe, Vergabe im Wettbewerb) sowie bei der Erarbeitung rechtlicher Randbedingungen für den gemeinsamen Anlagenbetrieb (z.B. Mustervertrag). Sie finanziert eine begleitende Öffentlichkeitsarbeit, um die Sichtbarkeit der Projekte zu verbessern.</p>				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	5 Jahre
Initiator	UWSA		Akteure	UWSA, Haus- und Grund, Planer

GB 5	Pilotprojekte für Blockversorgung			
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer, Planer, Handwerk			
Priorität	1			
Kosten	Personal	gering	Investition, Gutachten	Mittlerer fünfstelliger Betrag

GB 6	Erhaltungssatzungen und Denkmalschutz klimafreundlich gestalten			
Beschreibung				
<p>Ein relevanter Anteil der Gebäude in Freiburg steht unter Denkmalschutz oder ist durch Erhaltungssatzungen geschützt, bzw. liegen in Erhaltungssatzungen im Verfahren: Stand März 2021 fallen hierunter ca. 20 % der Wohngebäude bzw. 25 % der beheizten Flächen der Wohngebäude der Stadt. Um die Klimaschutzziele bis 2050 zu erreichen, ist es wichtig, den Wärmebedarf auch in diesen Gebäuden deutlich zu senken. Bestehende und geplante Regelungen sind so zu treffen, dass vorhandene Spielräume im Sinne des Klimaschutzes genutzt werden. Bestehende Erhaltungssatzungen sind auf Konvergenz mit den Klimaschutzzielen zu überprüfen. Langfristig für Nutzer und Eigentümer wirtschaftliche Investitionen in die Energieeffizienz sind möglich, auch wenn diese über die aktuellen energetischen Mindeststandards hinausgehen. Bei der Ausweisung neuer Erhaltungssatzungen werden die Auswirkungen und die Vereinbarkeit mit den Klimaschutzzielen geprüft.</p>				
Beginn	Kurzfristig	Dauer	10 Jahre	
Initiator	UWSA	Akteure	UWSA, Stadtplanungsamt, APS	
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer			
Priorität	1			
Kosten	Personal	Gering	Investition, Gutachten	./ . €

GB 7	Energiekonzept „Auf der Haid“		
Beschreibung			
<p>Für das Quartier Auf der Haid wurde im Jahr 2016 im Rahmen einer Mehrfachbeauftragung ein städtebauliches Rahmenkonzept erarbeitet. Dabei wurden die Entwicklungen im Quartier für die nächsten 10 bis 15 Jahre unter Bürgerbeteiligung geplant.</p> <p>Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele der Stadt Freiburg erarbeitet bnNetze GmbH (unter Leitung des Teams integrierte Infrastrukturplanung) ein an diese Maßstäbe angepasstes Quartierskonzept für das Zielgebiet „Auf der Haid“. Dabei werden Varianten für die energetische Entwicklung im Bestand und bei den geplanten Neubauprojekten mit Hinsicht auf die Klimaschutzziele der Stadt Freiburg erarbeitet und auf ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit betrachtet. Weitere wichtige Faktoren bei der Bewertung der Varianten sind die Nutzung von Synergieeffekte aus der städtebaulichen Entwicklung, die Übertragbarkeit auf weitere Quartiere im Stadtgebiet und die Vorbildfunktion.</p> <p>Zusätzlich wird die effiziente Wärmeversorgung des Quartiers über ein Fernwärmesystem betrachtet. Das Quartier Auf der Haid grenzt im Norden an den Stadtteil Weingarten, der bereits seit über 20 Jahre überwiegend über ein Fernwärmenetz versorgt wird. Im Rahmen des Energiekonzepts wird überprüft, ob ein Anschluss des Quartiers Auf der Haid an das bestehende Fernwärmenetz in Weingarten technisch und wirtschaftlich machbar ist. Dies würde den Eigentümern im Quartier eine weitere Möglichkeit zur Erfüllung der Anforderungen des EWärmeG anbieten und gleichzeitig zu einer deutlichen Senkung der CO₂-Emissionen im Quartier führen.</p> <p>Kernziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von erneuerbare Energien im Quartier erhöhen • Senkung des Energieverbrauchs durch Sanierung der Bestandsgebäude • Effiziente Energieversorgung der Bestandsgebäude • Effiziente Energieversorgung der Neubauten • Verstärkte Sektorkopplung • Nutzung von Synergieeffekte 			
Beginn	kurzfristig	Dauer	6 bis 12 Monaten
Initiator	bnNetze GmbH – integrierte Infrastrukturplanung	Akteure	Stadtplanungsamt, Freiburger Stadtbau, badenovaWärmePlus
Zielgruppen	Gebäudeeigentümer, Wohnungsbaugesellschaften		
Priorität	1		
Kosten	Personal	gering	Investition, Gutachten
			Mittelbedarf wird Ergebnis des Projektes sein und dabei vorgestellt

Handlungsfeld begleitende Maßnahmen

B 1 Initiativen zur Verbesserung des übergeordneten politischen Rahmens für die Wärmewende				
Beschreibung				
<p>Auf nationaler und internationaler Ebene sind Rahmensetzungen notwendig, um für die Akteure zusätzliche Handlungsanreize – über das Wissen um die Folgen des Klimawandels hinaus – zu schaffen. Hier sollte die Stadt Freiburg, wenn möglich gemeinsam mit anderen Kommunen, Initiativen ergreifen, um politisch bei den vorgelagerten Ebenen die notwendigen Rahmensetzungen zu erreichen. Im Fokus stehen hierbei u.a.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Novelle Gebäude-Energie-Gesetz (GEG): das GEG setzt für Bestandsgebäude in der aktuellen Fassung keine ausreichenden Vorgaben, um die notwendigen Sanierungsraten und Sanierungstiefen im Gebäudesektor zu erreichen. Hier sollte auf eine zeitnahe Novelle gedrängt werden (u. a. Verbot von „Pinsel-Sanierungen“ von Außenwänden, Sanierungsfahrpläne). ▪ Verlässlicher Preispfad für CO₂-Abgabe: Auch für den Zeitraum über 2025 hinaus sollte ein verlässlicher Preispfad für CO₂ einen wirtschaftlichen Anreiz zum Umstieg auf erneuerbare Energieträger bieten. Eine niedrige Nachfrage nach Erdgas (ob durch die Corona-Pandemie oder durch Effizienzmaßnahmen) wird erwartbar kaum zu Preissignalen führen, die einen Umstieg auf erneuerbare Energien motivieren. ▪ Gasnetz-Regulierung: Die Regulierung der Gasnetze sollte mittelfristig so angepasst werden, dass die Voraussetzungen für eine (partielle) Stilllegung von Verteilnetzen ebenso geschaffen werden wie für die Transformation von überregionalen Transportnetzen zu höheren Anteilen Wasserstoff. ▪ Nationales Gebäude-Register: Zur Verbesserung der Datenbasis für die kommunale Wärmeplanung ist ein nationales Gebäuderegister nach dänischem Vorbild in wichtiger Baustein. Relevante Daten für Gebäude (z. B. Nutzung, beheizte Fläche, Baualtersklasse, Heizungssystem, Energieträger) werden zentral (z. B. Bundesebene) und datenschutzkonform zur Nutzung in der Wärmeplanung gespeichert. 				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	unbefristet
Initiator	UWSA		Akteure	UWSA, Klimabündnis, Städtetag Baden-Württemberg, politische Parteien
Zielgruppen	Land, Bund			
Priorität	1			
Kosten	Personal		gering	Investition, Gutachten ./ . €

B 2 Ergänzung Datengrundlage Wärmekataster				
Beschreibung				
<p>Für die Fortentwicklung des Wärmekatasters werden zusätzliche Daten erhoben und integriert.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Daten lt. Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg 2020 von Bezirksschornsteinfegern, Gemeindeverwaltung, Gewerbe- und Industriebetrieben, Energieversorgungsunternehmen und Netzbetreibern • Daten Landes- und Bundesgebäude • Daten zur Abwärmepotenziale • weitere <p>Die Daten werden kontinuierlich eingearbeitet, so dass für die Fortschreibung des kommunalen Klimaschutzkonzeptes, der Klimabilanzen und kommunalen Wärmeplanung kontinuierlich eine verbesserte Datenbasis in räumlicher Auflösung geschaffen wird.</p> <p>Das Wärmekataster wird entsprechend den Vorgaben aus dem Klimaschutzgesetzes des Landes unter Beachtung des Datenschutzes veröffentlicht.</p>				
Beginn	Kurzfristig		Dauer	10 Jahre
Initiator	UWSA		Akteure	Schornsteinfeger, Versorger, Netzbetreiber
Zielgruppen				
Priorität	1			
Kosten	Personal	1 Personenmonat pro Jahr	Investition, Gutachten	Niedriger fünfstelliger Betrag, kann aus laufenden Haushaltsmitteln finanziert werden

B 3 Einbindung von Handwerk, Fachplanung und Berufsschulen in die Wärmewende			
Beschreibung			
<p>Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung erfordert einen Umbau sowohl in den Gebäuden (Gebäudehülle, Heizung, Trinkwarmwasser-Erwärmung) als auch bei der Infrastruktur der leitungsgebundenen Wärme.</p> <p>Die Stadt Freiburg setzt hier Impulse für einen Dialog der Akteure (z. B. Handwerkskammer, Innungen, Gewerbeakademie, Berufsschulen, Fachplanung), um einen Know-how-Transfer zu den Anforderungen einer erneuerbaren Wärmeversorgung zu fördern, die Bedeutung der entsprechenden Berufe für den Klimaschutz zu verdeutlichen und einem Fachkräftemangel entgegenzuwirken.</p> <p>Optionen hierfür können sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nutzung der Spielräume als Schulträger der Berufsschulen, um erneuerbare Energien im Wärmebereich und ihre Bedeutung für Klimaschutz in den Fokus zu rücken 			

B 3 Einbindung von Handwerk, Fachplanung und Berufsschulen in die Wärmewende				
<ul style="list-style-type: none"> • Lokale Öffentlichkeitsarbeit zur Unterstützung der Nachwuchsfindung für das SHK-Handwerk, in dem die Bedeutung der Fachkenntnisse für den Klimaschutz hervorgehoben wird in Kooperation mit Handwerkskammer, Gewerbeakademie und Berufsschulen • Integration von Handwerk und TGA-Planern in den Erfahrungsaustausch zu den Pilotprojekten <p>Ziel ist, für die neuen Anforderungen (z. B. mono- und bivalente Heizungssysteme mit Wärmepumpen im Bestand, niedrige Rücklauftemperaturen für Wärmenetze, etc.) effiziente und kostengünstige Lösungen zu identifizieren und zu verbreiten.</p>				
Beginn	Kurzfristig	Dauer	Unbefristet	
Initiator	UWSA	Akteure	UWSA, Schulamt, Handwerkskammer, Innungen, Fachverbände, Gewerbe-Akademie, Wärme-Netzbetreiber	
Zielgruppen	Planungsbeteiligte, Handwerk, Berufsschulen, Schüler			
Priorität	2			
Kosten	Personal	gering	Investition, Gutachten	Niedriger fünfstelliger Betrag, kann aus laufenden Haushaltsmitteln finanziert werden

B 4 Vertiefung Klimabilanzierung				
Beschreibung				
<p>Die Stadt Freiburg lässt regelmäßig alle zwei Jahre eine Klimabilanz erstellen, um die Wirkung der Klimaschutzmaßnahmen zu verfolgen. Relevante Einzelakteure (z. B. Wärmenetze, Liegenschaften in öffentlicher Hand, relevante Industriebetriebe) werden dabei detaillierter abgebildet, um die Datenqualität der Bilanz zu verbessern. Ebenso fließen die Informationen aus der Überarbeitung des Wärmekatasters in die Klimabilanz ein.</p>				
Beginn	Kurzfristig	Dauer	2030	
Initiator	UWSA	Akteure	UWSA	
Priorität	2			
Kosten	Personal	Ca. 1 Personenmonat/a, wird mit bestehendem Personal gedeckt	Investition, Gutachten	Ca. 15-20 T€ pro Klimabilanz

8.7 Stromwende und Wärmewende

Strom ist ein exergetisch hochwertiger Energieträger, der vielseitig einsetzbar ist (Beleuchtung, elektrische Antriebe, EDV, Wärme, Kälte, u.a.). Bis Anfang der 2000er Jahre wurde rund 90 % des Stroms in fossilen oder nuklearen Großkraftwerken erzeugt, bei denen bei der Umwandlung der Primärenergie (Kohle, Gas, Uran) in den Endenergieträger Strom in der Regel hohe Verluste auftraten. Um eine Einheit Strom zu erzeugen, mussten lt. EnEV noch 2002 rund drei Einheiten (nicht erneuerbare) Primärenergie eingesetzt werden (Primärenergiefaktor (PEF)= 3,0).

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Zusammensetzung des Stroms deutlich verändert: ineffiziente Anlagen wurden stillgelegt, der Anteil der Erneuerbaren ist auf 44 % gestiegen. Der Einsatz nicht erneuerbarer Primärenergie für die Stromerzeugung ist um 40 % gesunken, die CO₂-Emissionen haben sich halbiert (s. Abbildung 8-1).

Strommix [UBA 2021]	Primärenergiefaktor lt. EnEV²⁵ CO₂-Emissionsfaktor²⁶
Bruttostromerzeugung 1990 <ul style="list-style-type: none"> ■ nuklear ■ fossil ■ erneuerbar ■ Müll 	PEF: EnEV noch nicht in Kraft Annahme: 3,0 CO ₂ -Faktor: 763 g/kWh
Bruttostromerzeugung 2002 <ul style="list-style-type: none"> ■ nuklear ■ fossil ■ erneuerbar ■ Müll 	PEF: 3,0 CO ₂ -Faktor: 646 g/kWh
Bruttostromerzeugung 2010 <ul style="list-style-type: none"> ■ nuklear ■ fossil ■ erneuerbar ■ Müll 	PEF: 2,6 CO ₂ -Faktor: 570 g/kWh
Bruttostromerzeugung 2020 <ul style="list-style-type: none"> ■ nuklear ■ fossil ■ erneuerbar ■ Müll 	PEF: 1,8 CO ₂ -Faktor: 380 g/kWh

Abbildung 8-1: Strommix, Primärenergiefaktoren und CO₂-Emissionsfaktoren von Strom 1990 - 2020

²⁵ Primärenergiefaktor Strom (nicht erneuerbarer Anteil) lt. jeweils gültiger Energie-Einsparverordnung [WI 2015]

²⁶ CO₂-Emissionsfaktor Inlandsstromverbrauch [UBA 2021]

Aufgrund des ökologisch bereits deutlich verbesserten Strommixes kann Strom schon heute – bei effizienter Nutzung mit einer Wärmepumpe – einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmesektors und damit zur Wärmewende leisten.

In Tabelle 8-1 werden der Primärenergieeinsatz und die CO₂-Emissionen eines Erdgaskessels mit denen einer Wärmepumpe und einer Strom-Direktheizung (z. B. Nachtspeicherheizung) für das Jahr 1990 und für das Jahr 2020 verglichen, um deutlich zu machen, warum die Stromnutzung zu Heizzwecken mit Wärmepumpen 2020 unter ökologischen Gesichtspunkten positiver zu beurteilen ist als 1990.

Um 100 kWh Heizenergie aus dem Heizungssystem ins Gebäude abzugeben, müssen bei einem **Erdgaskessel** 116 kWh Primärenergie eingesetzt werden, dabei werden rund 21 kg CO₂ frei. Dieses Heizsystem ist im Vergleich die Basisvariante, mit dem die Wärmepumpe und die Strom-Direktheizung verglichen werden.

Von 1990 bis 2020 hat sich die Primärenergieeffizienz des Stroms in Deutschland erheblich verbessert. Weil ein hoher Anteil an erneuerbaren Energien ins Netz einspeist wird, müssen heute lt. EnEV zur Erzeugung einer kWh Strom nur noch 1,8 kWh nicht erneuerbare Primärenergie aufgewendet werden. Auch der CO₂-Emissionsfaktor des Stroms ist von 0,763 kg/kWh im Jahr 1990 auf nur noch 0,380 kg/kWh im Jahr 2020 gesunken.

Während eine **Wärmepumpe** im Jahr 1990 4 % mehr Primärenergie zur Bereitstellung der gleichen Menge an Heizenergie benötigt hat als ein Erdgaskessel und dabei 44 % höhere CO₂-Emissionen verursachte, verbraucht sie 2020 im Vergleich zum Erdgaskessel nur 62 % der Primärenergie und ist nur für 72 % des CO₂ verantwortlich.

Für die **Strom-Direktheizung** fällt der Vergleich mit dem Erdgaskessel jedoch negativ aus: Strom-Direktheizungen haben einen deutlich schlechteren Nutzungsgrad als Wärmepumpen (Wärmepumpen nutzen neben Strom auch Umweltenergie z. B. aus Luft oder Erdwärme zum Heizen). Strom-Direktheizungen weisen auch 2020 einen Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen auf, die deutlich höher liegen als bei Erdgaskessel oder Wärmepumpe (s. Tabelle 8-1).

Tabelle 8-1: Ökologischer Vergleich Erdgaskessel, Wärmepumpe und Strom-Direktheizung

Heizsystem	Energie-träger	Heiz-energie	Nutzungs-grad Heizsystem	End-energie	Primär-energie-Faktor	Primär-energie	Vergleich Primär-energie	CO ₂ -Faktor	CO ₂ -Emis-sion	Vergleich CO ₂
					[WI 2019]			[UBA 2021]		
		kWh		kWh		kWh		kg/kWh	kg	
1990										
Erdgaskessel	Erdgas	100	0,95	105	1,1	116	100%	0,201	21	100%
Wärmepumpe	Strom	100	2,5	40	3	120	104%	0,763	31	144%
Strom-Direktheizung	Strom	100	0,98	102	3	306	264%	0,763	78	368%
2020										
Erdgaskessel	Erdgas	100	0,95	105	1,1	116	100%	0,201	21	100%
Wärmepumpe	Strom	100	2,5	40	1,8	72	62%	0,380	15	72%
Strom-Direktheizung	Strom	100	0,98	102	1,8	184	159%	0,380	39	183%

Für die Wärmepumpen wird bei diesem Vergleich konservativ eine niedrige Jahresarbeitszahl von 2,5 angenommen²⁷. Moderne Wärmepumpen, die in Neubauten oder gut gedämmten Altbauten eingesetzt werden, können deutlich höhere Jahresarbeitszahlen von 4 oder mehr erreichen, dadurch vergrößert sich der ökologische Vorsprung der Wärmepumpen. Auch ein steigender Anteil der Erneuerbaren am Strommix verbessert die Werte für Primärenergie und CO₂-Emissionen für strombasierte Wärmeerzeugung.

²⁷ In der Praxis sollten Wärmepumpensysteme – auch aus wirtschaftlichen Gründen – mit möglichst hohen Arbeitszahlen betrieben werden. Zur Effizienz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden siehe [Fhg ISE 2020].

8.8 Wärme-Netzbau - Einflussfaktoren

Die folgenden Aspekte können aus Versorgersicht eine Rolle spielen können bei einer Entscheidung für/gegen den (Aus)-Bau von Wärmenetzen (kein Anspruch auf Vollständigkeit).

erschließbare Nachfrage-Potenziale

- Wärmedichte eines Gebietes (aktuell und Zukunft)
- Liniendichte in den Straßen (Leistung/Arbeit)
- anschlusswillige Großkunden („Ankerkunden“)
- Akquisechancen (besteht z. B. Konkurrenz zu Erdgas? Erschweren Gas-Etagenheizungen die Chancen?), Satzungsgebiet
- Akquiseaufwand (z. B. nur Kunden mit Anschlusswert > x)
(mittlere Leistung/Hausanschluss in den Straßen)
- ...

Hydraulik, Erzeugungskapazität, Trassenführung

- Räumliche Nähe zu bestehenden Netzen
- Bestands-FW-Netz (Hydraulik) hat freie Kapazitäten
- FW-Erzeugungsanlagen haben freie Kapazitäten
- Trassenführung unproblematisch/problematisch
- ...

Wirtschaftlichkeit

- Anzahl Hausanschlüsse pro Trassenmeter
- Wärmegestehungskosten inkl. Netzausbau
- erzielbarer Wärmepreis (Marktposition)
- Auswirkungen des FW-Ausbaus auf kurz-/mittelfristige Gewinnsituation
- Auswirkungen des FW-Ausbaus auf Liquidität des Unternehmens
- Renditeerwartungen des Unternehmens/der Anteilseigner
- ...

Ökologie

- Klimaschutz (Ersatz fossiler Anlagen mit niedrigem Nutzungsgrad durch FW mit gutem THG-Faktor)
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Wärmebereich

- Abwärmenutzung möglich (benachbarte Kraftwerke, Müllverbrennung, Industrie, ...)
- Reduzierung von Feinstaub in bestimmten Stadtteilen durch Ersatz von Einzelheizungen durch FW
- ...

Sonstiges

- Fernwärme-Eignungsgebiet lt. kommunaler Planung
- Erhöhung KWK-Stromanteil (Vergütung, Erhöhung Eigenstromanteil, etc.)
- günstiger Zeitpunkt (z. B. Netz erneuerungsbedürftig, Erzeugungsanlagen am Ende der Lebensdauer, geplante Straßensanierung, anschlusswilliger Großkunde)
- erhöhte Kundenbindung bei Fernwärme gegenüber Erdgas
- unternehmensinterne Strategie hinsichtlich Parallelversorgung Erdgas/Fernwärme
- unternehmensinterne Kapazität zur Umsetzung des Ausbaus
- Haltung der Anteilseigner zum Fernwärmeausbau
- Öffentlichkeitswirkung von Fernwärmeausbau
- ...