

BERICHT ÜBER INGENIEUR- UND BERATUNGSLEISTUNGEN

Berichtsumfang

WÄRMEVERSORGUNGSKONZEPT KLOSTERQUARTIER PREETZ

Auftraggeber

STADT PREETZ
Bahnhofstraße 24
24211 Preetz

Auftragnehmer

IPP ESN POWER ENGINEERING GMBH
Rendsburger Landstraße 196 - 198
24113 Kiel

Ansprechpartner

JERRY BECKER
Tel.: +49 431 64959-857
E-Mail: j.becker@ipp-esn.de

Bearbeitung

JERRY BECKER B.ENG., TORGE LORENZEN M.ENG., DIPL.-PHYS. JÜRGEN MEEREIS

GEFÖRDERT DURCH:

Wir fördern den ländlichen Raum



Landesprogramm ländlicher Raum: Gefördert durch
die Europäische Union - Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete



Kiel, den 2. August 2023

INHALTSVERZEICHNIS

1	Tabellenverzeichnis.....	1
2	Abbildungsverzeichnis.....	2
3	Abkürzungsverzeichnis.....	3
4	Gender-Aspekte	4
5	Redaktionsschluss.....	4
6	Zentrale Ergebnisse	5
7	Ausgangslage und Auftrag	7
8	Bestandsaufnahme.....	9
8.1	Räumliche Lage und Funktionen des Quartiers.....	9
8.2	Bevölkerung, Baufertigstellungen.....	11
8.3	Gebäude- und Heizungsbestand.....	11
8.4	Energie- und CO ₂ -Bilanz des Quartiers.....	14
8.5	Zusammenfassung Bestandsaufnahme	18
9	Versorgungsoptionen und -szenarien	19
9.1	Zentrale Versorgungsoptionen	19
9.1.1	Technische Versorgungslösungen	20
9.1.2	Entwurf Wärmenetz	22
9.1.3	Energiewirtschaftliche Ansätze	23
9.1.4	Zentrale Wärmeversorgung (Wärmenetz)	24
9.1.5	CO ₂ -Bilanz und Primärenergiefaktor	32
9.2	Betreiberkonzepte.....	34
9.3	Dezentrale Versorgungsoptionen.....	37
9.4	Vergleich zentraler und dezentraler Versorgungsoptionen	38
9.5	Sensitivitätsanalyse	39
9.6	Zusammenfassung Wärmeerzeugung	43
10	Umsetzungshemmnisse und Möglichkeiten zu ihrer Überwindung	45
10.1	Leitungsgebundene Wärmeversorgung	45
10.1.1	Technische Herausforderungen.....	45
10.1.2	Rechtliche und organisatorische Herausforderungen.....	45
10.1.3	Wirtschaftliche Herausforderungen	45
11	Öffentlichkeitsarbeit	46
11.1	Lenkungsgruppe	46

11.2	Allgemeine Öffentlichkeit.....	46
11.3	Befragung zur Nahwärmeversorgung im Quartier	47
12	Maßnahmenkatalog und Empfehlungen für die Umsetzung.....	51
13	Literaturverzeichnis	52

1 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 6-1: Bestätigung jährliche Einspareffekte.....	6
Tabelle 8-1: Wärmeenergiebedarf im Quartier im Jahr 2022	14
Tabelle 8-2: CO ₂ -Emissionsfaktoren und Primärenergiefaktoren verschiedener Energieträger	16
Tabelle 8-3: Jährliche Wärme-, Endenergie-, CO ₂ - und Primärenergiebilanz für das Klosterquartier.....	17
Tabelle 9-1: Energiewirtschaftliche Ansätze.....	24
Tabelle 9-2:Anlagendimensionierung und Energiebilanzen der zentralen Wärmeversorgung.....	26
Tabelle 9-3: Investitionen	29
Tabelle 9-4: Wärmegestehungskosten der zentralen Wärmeversorgung	31
Tabelle 9-5: Emissionsfaktoren der relevanten Energieträger CO ₂ -Emissionen der zentralen Wärmeversorgung	33
Tabelle 9-6: CO ₂ -Bilanz (jährliche Emissionen)	33
Tabelle 9-7: Primärenergiebedarf der zentralen Wärmeversorgung	34
Tabelle 9-8: Übersicht über mögliche Betreibermodelle	35
Tabelle 9-9: Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	37
Tabelle 9-10: Eingangparameter der Sensitivitätsanalyse	40
Tabelle 9-11: Legende der Diagramme zur Sensitivitätsanalyse	40
Tabelle 11-1: Auswertung der Rückmeldungen.....	49
Tabelle 12-1: Maßnahmenkatalog für Umsetzungen	51

2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 7-1: Endenergieverbrauch in Deutschland 2022 nach Strom, Wärme und Verkehr (Agentur für Erneuerbare Energien, o. J.)	7
Abbildung 7-2: Erneuerbare Energien - Anteile in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bis 2022 (UBA, 2023).....	8
Abbildung 8-1: Lage der Stadt Preetz im Kreis Plön (Schwochow, 2023).....	9
Abbildung 8-2: Das Quartier „Klosterquartier“ im Norden der Stadt Preetz, eigene Ergänzung in (Google Maps, o. J.).....	10
Abbildung 8-3: Anzahl und Leistung der Öl-, Gas- und Feststoffkessel nach Baujahr	12
Abbildung 8-4: Verteilung nach Anzahl und Leistung aller Feuerstätten.....	13
Abbildung 8-5: Anzahl und Alter der Gaskessel	13
Abbildung 8-6: Anzahl und Alter der Ölkessel	14
Abbildung 8-7: Wärmetlas des Quartiers.....	15
Abbildung 8-8: Aufteilung Heizwärmebedarf nach Energieträgern.....	16
Abbildung 8-9: Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommixes.....	17
Abbildung 9-1: Mögliche Lage einer Heizzentrale (Google LLC, o. J.).....	20
Abbildung 9-2 Mögliche Trassenführung zur Versorgung des Gesamtquartiers (Google LLC, o. J.)	22
Abbildung 9-3:Vergleich der günstigsten zentralen Versorgungslösung mit dezentralen Versorgungsoptionen - durchschnittliche Brennstoff- / Stromkosten 1. Halbjahr 2022 und Mehrkosten zum Dezember 2022	38
Abbildung 9-4 Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Strom.....	40
Abbildung 9-5: Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Erdgas.....	41
Abbildung 9-6: Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Holzpellets.....	42
Abbildung 9-7: Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Fernwärme der PreBEG	43
Abbildung 11-1: Öffentliche Veranstaltung	46
Abbildung 11-2: Herkunft der Teilnehmenden an der öffentlichen Veranstaltung	47
Abbildung 11-3: Fragebogen zur Nahwärmeversorgung im Klosterquartier.....	48
Abbildung 11-4: Straßenspezifische Interessenbekundungen zum Anschluss an ein Wärmenetz	49

3 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

SI-Einheiten und allgemeinsprachliche Abkürzungen sind nicht erläutert.

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AGEE	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
AZV	Abwasserzweckverband
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW	Blockheizkraftwerk
BISKO	Bilanzierungs-Systematik Kommunal
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
C.A.R.M.E.N.	Centrales Argrar- Rohstoff Marketing- und Energie- Netzwerk e.V.
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EWKG SH	Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig Holstein
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GIS	geographisches Informationssystem
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IfEU	Institut für Energie- und Umweltforschung
IPP ESN	IPP ESN Power Engineering GmbH
k. A.	keine Angabe
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LP	Leistungsphase
LoD1	Level of Detail 1
o. J.	ohne Jahresangabe
PreBEG	Preetzer Bürger Energie Genossenschaft eG
QGIS	Eigenname einer freien Geoinformationssoftware
SW Kiel	SW Kiel Netz GmbH
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
Zentr.	Zentral

4 GENDER-ASPEKTE

Die Autoren des vorliegenden Berichtes sind sich dessen bewusst, dass es verschiedene Geschlechter gibt. Aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung wird im Bericht in der Regel das männliche Geschlecht verwendet. Damit ist seitens der Autoren keinerlei inhaltliche Bewertung verbunden.

5 REDAKTIONSSCHLUSS

Redaktionsschluss für die im Bericht erstellten Berechnungen und die für sie verwendeten Daten war, sofern nicht im Einzelnen etwas anderes angegeben ist, Mitte Januar 2023.

6 ZENTRALE ERGEBNISSE

Im Wärmeversorgungskonzept wurden verschiedene Varianten einer zukünftigen Nahwärmeversorgung untersucht. Eine Alternative zu der bisher weitgehend dezentralen Versorgung, bei der jedes Haus über seine eigene Heizungsanlage verfügt, ist die Errichtung eines Wärmenetzes. Für die Nutzer besteht der Vorteil darin, dass sie von sämtlichen operativen Aufgaben der Heizung (Neubeschaffung, Energiebezug, Wartung / Reparatur, ggf. Schornsteinfeger etc.) entlastet werden und der Platzbedarf im Haus sich auf eine Übergabestation beschränkt. Aus energiewirtschaftlicher Sicht bietet ein Wärmenetz den Vorteil, dass Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energieträger bzw. Wärmequellen zur Verfügung stehen, die in einer Heizung eines einzelnen kleineren bis mittleren Objektes gar nicht nutzbar wären - wie etwa Holzhackschnitzel oder die Abwärme des zukünftigen Klärwerkes. Zudem werden in der Heizzentrale eines Wärmenetzes meist mehrere Technologien und Wärmequellen in Kombination genutzt, was eine höhere Flexibilität und damit Versorgungssicherheit und Preisstabilität gewährleistet.¹

Nach qualitativer Vorprüfung verschiedenster Technologien und Wärmequellen wurde mit der Lenkungsgruppe des Projektes abgestimmt, drei Varianten im Detail zu betrachten:

1. Einsatz einer Großwärmepumpe zur Nutzung der Abwärme des neuen Klärwerks sowie Bezug von auf regenerativen Energieträgern basierender Wärme aus dem geplanten Netz der PreBEG;
2. Einsatz einer Großwärmepumpe zur Nutzung der Abwärme des neuen Klärwerks sowie Einsatz eines Biomassekessels, der z. B. Holzhackschnitzel aus den Gütern des Klosters Preetz einsetzen könnte;
3. Einsatz einer Großwärmepumpe zur Nutzung der Abwärme des neuen Klärwerks, sowie den Einsatz eines Pelletkessels, wobei die Pellets als genormter Brennstoff am Markt bezogen werden müssten.

Alle Varianten setzen dabei auch einen Erdgaskessel zur Redundanzbesicherung sowie ggf. Spitzenlastabdeckung ein. Dieser kommt im Normalfall sehr selten bis gar nicht zum Einsatz und hat daher nur einen geringen Einfluss auf die CO₂-Bilanz, hält aber aufgrund der geringen Investitionskosten die Kosten in Grenzen und erhöht damit die Wahrscheinlichkeit, dass sich viele heute noch komplett auf fossiler Basis heizende Eigentümer an das weitestgehend regenerative Wärmenetz anschließen. Langfristig sollte das Erdgas durch Biomethan oder grünen Wasserstoff ersetzt werden.

Unter den aktuellen Bedingungen ist Variante 1 am wirtschaftlichsten. Zudem weist sie die bei der Bilanzierung nach BSKO geringsten CO₂-Emissionen und auch den geringsten Einsatz des Erdgaskessels auf. Daher wird diese Variante den folgenden Betrachtungen zugrunde gelegt.

¹ Als Nachteil eines Wärmenetzes wird von Hauseigentümern oder Mietern teilweise angesehen, dass man auf *einen* Versorger angewiesen ist, der dann eine Monopolstellung hat. Ob die Freiheit, über diverse Vergleichsportale z. B. einen Gasversorger zu wählen, tatsächlich vor Preissprüngen schützt, da alle gleichermaßen von einem Oligopol weniger Lieferländer abhängen, darf allerdings bezweifelt werden. Zudem ist der Wärmeversorger an seine im Vertragsangebot vorgelegte Preisgleitklausel sowie an die einschlägige Regulatorik zur Kontrolle seiner Monopolstellung gebunden. Letztlich ist jeder Eigentümer frei, nach Ablauf der ursprünglichen Vertragslaufzeit auch wieder auf eine andere Versorgungsart als Fernwärme zu wechseln.

Tabelle 6-1 enthält den Vergleich von Status quo und zukünftiger Versorgung mit einem Wärmenetz. Das dargestellte maximale Einsparpotenzial bezieht sich auf eine Anschlussquote in Höhe von 100 %, die in der Praxis bestenfalls bei Erlass eines Anschluss- und Benutzungsgebots gemäß § 17 Gemeindeordnung Schleswig-Holstein in Verbindung mit § 16 EEWärmeG erreichbar sein dürfte.

Tabelle 6-1: Bestätigung jährliche Einspareffekte

Bezeichnung	Heizenergiebedarf [MWh]	Endenergiebedarf [MWh]	Primärenergiebedarf [MWh]	CO ₂ -Ausstoß [t]
Gegenwärtige Heizsituation	13.433	13.556	15.087	3.538
Zentrale Wärmeversorgung	14.207	11.461	7.550	708

Die zentrale Versorgung wurde ergänzend mit einer Reihe dezentralen Versorgungsoptionen verglichen, die die derzeitigen Vorgaben des EWKG erfüllen. Bei einigen Varianten (z. B. Erdgaskessel mit Solarthermie) ist zu gegebener Zeit zu prüfen, ob sie noch die zu erwartenden zukünftigen bundesweiten Anforderungen an Heizungssysteme erfüllen.

Der Vergleich zwischen Wärmenetz (zentrale Versorgung) und dezentralen Versorgungsoptionen gab für ein typisches Einfamilienhaus, dass die zentrale Wärmeversorgung mit Blick auf Schwankungen der Energiepreise die höchste Preisstabilität aufweist. So war die Variante der Erdgastherme mit 15 % Solarthermie bei den Energiepreisen des ersten Halbjahres 2022 noch zwischen 500 und 1.000 € p. a. günstiger, bei denen des zweiten Halbjahres jedoch fast 2.000 € p. a. teurer. Bei den Energiepreisen des 2. Halbjahres 2022 waren nur noch die Kombinationen aus Luft- oder Erdwärmepumpe und Solarthermie günstiger als die Wärme aus dem Wärmenetz, die sich aber nicht in allen Objekten realisieren lassen dürfte (Schallemissionen bzw. Platzbedarf sowie Eignung der Dachflächen).

Ein Wärmenetz erfordert zunächst hohe Investitionen, die dann langfristig durch niedrigere laufende Kosten kompensiert werden. Insofern setzt der wirtschaftliche Betrieb eines Wärmenetzes eine möglichst hohe Anschlussquote voraus, die es ermöglicht, die notwendigen Investitionen auf möglichst viele Schultern zu verteilen. Vor diesem Hintergrund ist es sehr positiv zu sehen, dass verschiedene Großverbraucher im Quartier (Krankenhaus, Kloster, Seniorenheim, Wankendorfer Baugenossenschaft mit ihren Mehrfamilienhäusern im Quartier sowie Berufliche Schule) bereits ihr grundsätzliches Interesse an einem Anschluss an ein Wärmenetz bekundet haben. Damit würde schon mehr als die Hälfte des gesamten Wärmebedarfs des Quartiers über das Wärmenetz gedeckt. Auch die gezielte Befragung aller anderen Eigentümer im Quartier ergab ein sehr reges Interesse an einem Anschluss ans Wärmenetz.

Insofern sind nun die Planungen im Rahmen einer BEW-Machbarkeitsstudie zu konkretisieren, es ist ein Betreiber des zukünftigen Wärmenetzes zu identifizieren und dieser muss den Eigentümern im Quartier dann konkrete und verbindliche Versorgungsangebote unterbreiten, auf deren Basis die Interessenbekundungen dann konkretisiert werden können.

7 AUSGANGSLAGE UND AUFTRAG

Leitbild und Maßstab für die deutsche Klimaschutzpolitik sind die Vereinbarungen der UN-Klimarahmenkonvention und das Übereinkommen von Paris sowie die von der EU im Gesetzespaket von 2018 vorgegebenen Ziele für 2030. Im Klimaschutzplan 2050 legte die Bundesregierung zunächst erste Minderungsziele für die Treibhausgasemissionen fest. Aufgrund des Beschlusses des Bundesverfassungsgerichtes vom 24. März 2021 (Bundesverfassungsgericht, 2021) wurden weitere Verschärfungen beschlossen. So sollen nun die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 bis 2030 um 65 % (zuvor: 55 %) und bis 2040 um 88 % gesenkt werden; für das Jahr 2045 (zuvor: 2050) wird Klimaneutralität angestrebt und für 2050 eine negative CO₂-Bilanz (Bundesregierung, o. J.).

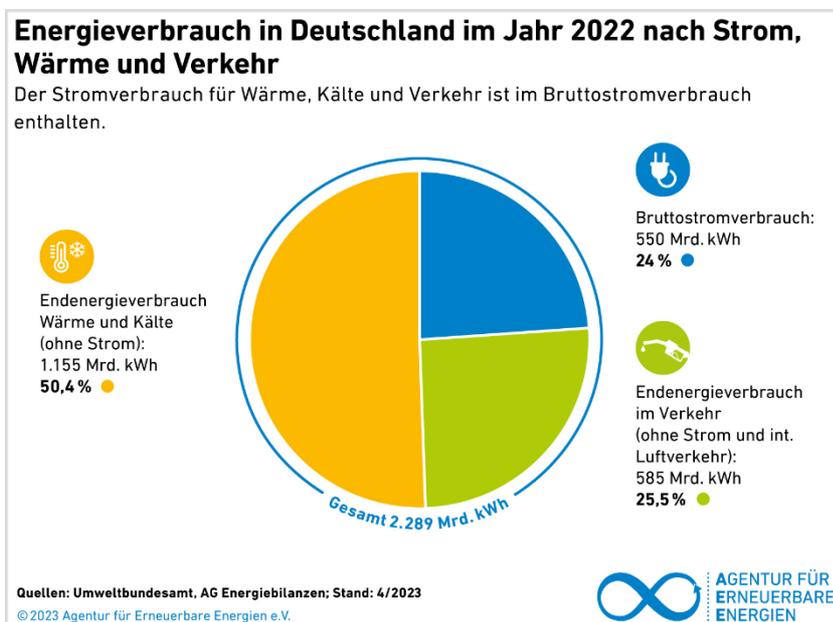


Abbildung 7-1: Endenergieverbrauch in Deutschland 2022 nach Strom, Wärme und Verkehr (Agentur für Erneuerbare Energien, o. J.)

Gut die Hälfte des Endenergieverbrauchs Deutschlands war 2022 auf Wärme- und Kältegewinnung zurückzuführen (vgl. Abbildung 7-1). Der Anteil erneuerbarer Energieträger lag 2021 im Wärmesektor bei lediglich 17,4 % (vgl. Abbildung 7-2). Insofern ist die Minderung der Treibhausgasemissionen im Wärmesektor eine der zentralen Herausforderungen der Klimaschutzpolitik in Deutschland.

Vor diesem Hintergrund hat die Stadt Preetz am 3. September 2019 beschlossen, ihren Beitrag zu leisten, indem sie bis 2030 klimaneutral wird. Als „klimaneutral“ wird Preetz angesehen, wenn die CO₂-Emissionen aller Sektoren (Verkehr, Haushalte, Wirtschaft und kommunale Einrichtungen) bei maximal 26.500 t/a liegen (Stadt Preetz, 2020, S. 1-2). Das Leitbild „Stadt Preetz - Klimaneutral bis 2030“ formuliert dabei Auftrag, strategische Ziele und Handlungsfelder zur Umsetzung und Zielerreichung der Klimaneutralität. Das Leitbild basiert auf dem integrierten Klimaschutzkonzept der Stadt Preetz (IKSK).

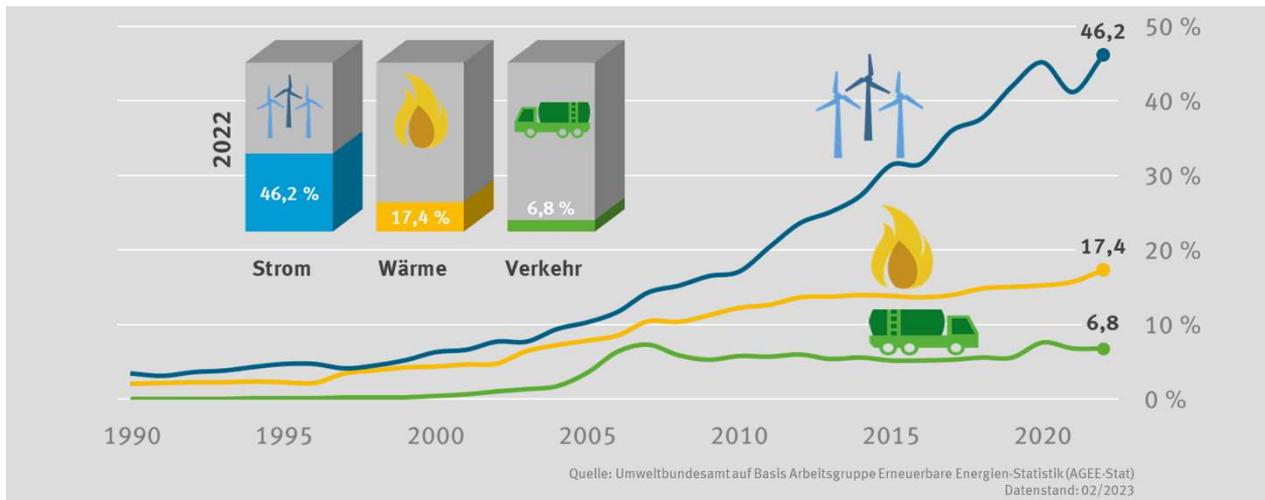


Abbildung 7-2: Erneuerbare Energien - Anteile in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr bis 2022 (UBA, 2023)

In einer Darstellung der Maßnahmen, die die Stadt Preetz zur Erreichung des Ziels „Klimaneutral bis 2030“ ergreifen kann, wird u. a. die Durchführung von energetischen Quartierskonzepten („KfW 432“) empfohlen, so auch für den Bereich des „Klosterquartiers“ (IPP ESN, 2022, S. 33). Energetische Quartierskonzepte laufen typischerweise über ein Jahr, die anschließende Umsetzung im Sanierungsmanagement über drei Jahre. Hier im Quartier ist eine überschaubare Zahl von Akteuren vorhanden, bei denen z. T. das Interesse besteht, schnellstmöglich in die Umsetzung einer innovativen und klimafreundlichen Wärmeversorgung zu kommen. Gleichzeitig möchte die Stadt im Rahmen der Arbeiten zu „Preetz klimaneutral 2030“ einen exemplarischen Umsetzungsschritt für die o. g. Empfehlungen gehen. Daher wird für das Klosterquartier statt des üblichen Prozesses der energetischen Stadtsanierung (KfW 432) eine exemplarische Vorbereitung der Realisierung einer klimafreundlichen Wärmeversorgung innerhalb weniger Monate angestrebt.

Sanierungsmöglichkeiten der Gebäude und eine damit verbundene mögliche Absenkung des Wärmebedarfs sind damit, anders als in einem energetischen Quartierskonzept, nicht verbunden. Für die untersuchten Optionen der Wärmeversorgung hat dies kaum Konsequenzen, da Gebäudesanierungen im Allgemeinen wenn überhaupt dann sukzessive über die Jahre und nicht für das gesamte Quartier auf einen Schlag erfolgen. Die Kapazitäten eines Wärmenetzes müssen daher ohnehin auf den aktuellen Bedarf oder ggf. auf die anfänglich zu erwartende Anschlussquote ausgelegt werden.

8 BESTANDSAUFNAHME

Jedes Quartier weist Unterschiede hinsichtlich der Nutzungs- und Siedlungsstrukturen, des Baualters, der Bauweisen, der Eigentumsverhältnisse sowie der energetischen Ausgangssituationen und Herausforderungen auf. Insofern ist eine Bestandsaufnahme des Projektgebietes ein erster essenzieller Schritt für die Entwicklung eines klimafreundlichen Wärmeversorgungskonzeptes.

8.1 RÄUMLICHE LAGE UND FUNKTIONEN DES QUARTIERS

Das Gebiet des Wärmeversorgungskonzeptes befindet sich im Norden der Stadt Preetz südöstlich von Kiel. Die Stadt Preetz liegt im schleswig-holsteinischen Kreis Plön. Sie ist Heimat von rund 16.000 Einwohnern. Das Projektgebiet wird im Norden durch die Bundesstraße 76 und im Süden und Osten durch den Fluss Alte Schwentine – der einzelne Abschnitt vor Ort wird auch Postau genannt – begrenzt. Den westlichen Abschnitt bildet die Bahnstrecke Kiel-Lübeck.

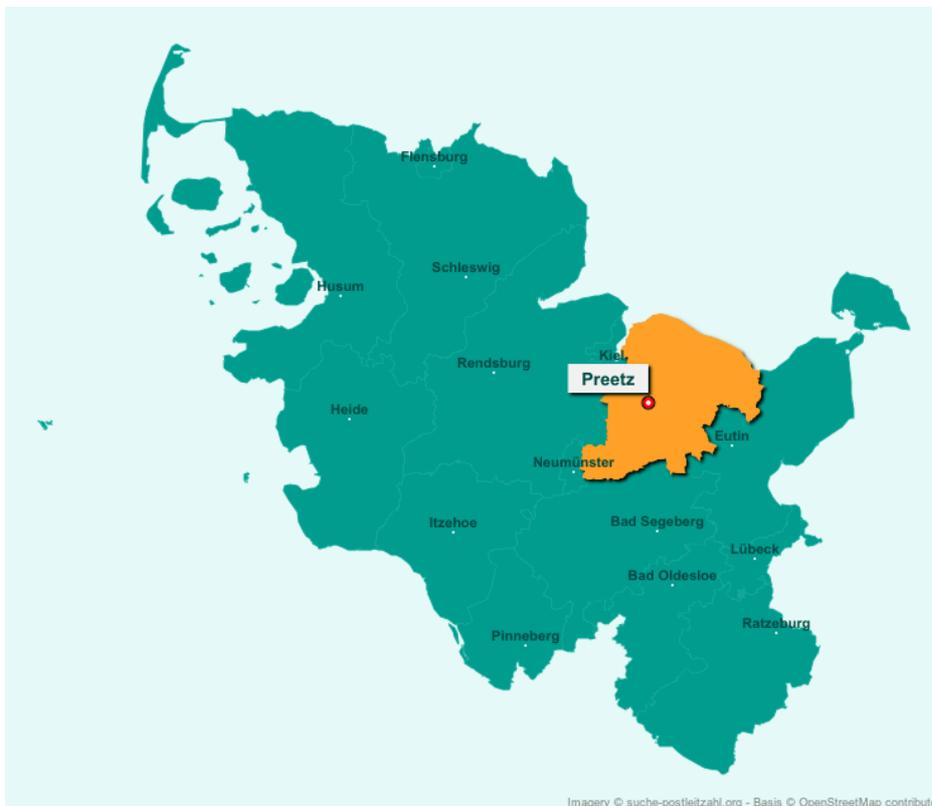


Abbildung 8-1: Lage der Stadt Preetz im Kreis Plön (Schwochow, 2023)

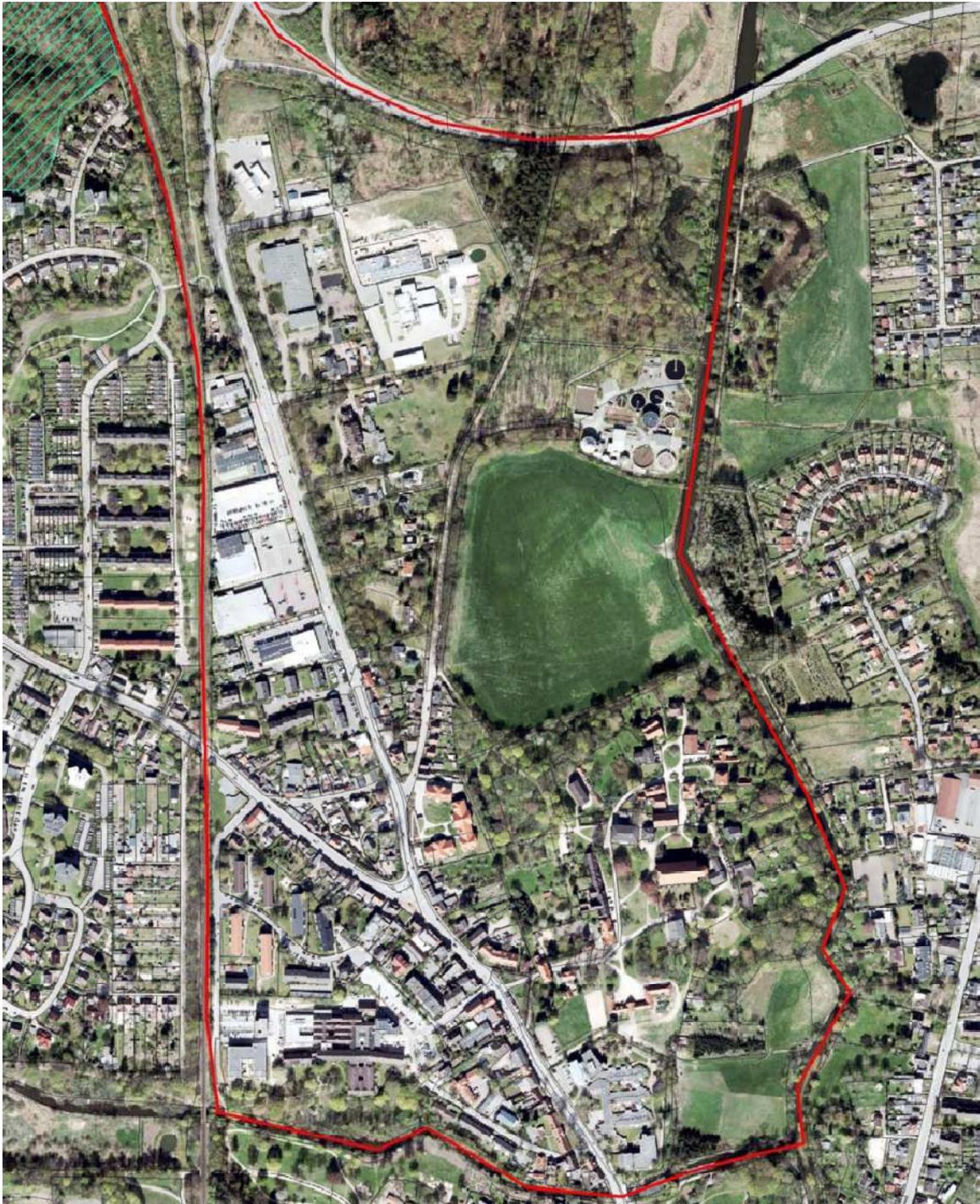


Abbildung 8-2: Das Quartier „Klosterquartier“ im Norden der Stadt Preetz, eigene Ergänzung in (Google Maps, o. J.)

Das Quartier besteht aus circa 190 beheizten Gebäuden und ist durch eine Mehrfamilienhausbebauung geprägt. Vereinzelt gibt es Einfamilienhäuser. Zudem sind eine Reihe von Einzelhandels- und Gewerbebetrieben vorhanden. An öffentlichen und öffentlich genutzten Gebäuden existieren u. a. die Feuerwehrentrale und die Berufliche Schule des Kreises Plön sowie das Jobcenter des Kreises Plön. Im Projektgebiet befindet sich außerdem das Adelige Kloster Preetz, dessen

Wärmeerzeugungsanlagen sanierungsbedürftig sind, sowie die Kläranlage des Abwasserzweckverband Preetz und Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen des Kreises Plöns. Die Kläranlage soll bis voraussichtlich 2026 durch eine derzeit in Planung befindliche neue Kläranlage ersetzt werden.

8.2 BEVÖLKERUNG, BAUFERTIGSTELLUNGEN

Da sich der Bereich des Wärmeversorgungskonzeptes nicht auf die gesamte Stadt Preetz, sondern auf ein bestimmtes Quartier bezieht, ist eine genaue Analyse der demografischen und siedlungsdemografischen Entwicklung aufgrund der fehlenden Datengrundlage nur bedingt möglich. Für die Einwohnerentwicklung wird Stadt Preetz insgesamt betrachtet. Nach Angaben des Statistischen Amtes für Hamburg und Schleswig-Holstein leben aktuell (Stand 31.12.2021) 16.005 Personen in der Stadt Preetz (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2023). Die Einwohnerzahl in Preetz ist in den Jahren 2000 bis 2021 relativ stabil geblieben.

8.3 GEBÄUDE- UND HEIZUNGSBESTAND

Die wichtigen Daten und Erhebungen für die Bestandsaufnahmen des Gebäudebestands und ihrer energetischen Kenngrößen sind insbesondere folgende:

- Wärmekataster Plus des Kreises Plön
- Gasnetz- und Gasverbrauchsdaten,
- Feuerstättendaten des Schornsteinfegers,
- Ergebnisse aus den im Quartier verteilten Fragebögen (vgl. Abbildung 11-3).

Mit Hilfe dieser Daten wurde ein Wärmeetlas für das zu untersuchende Quartier erarbeitet. Mit der frei zugänglichen Software QGIS ist dieser Atlas für die kommunale Wärmeplanung weiterhin nutzbar.

Der zuständige Bezirksschornsteinfegermeister hat die Daten der Feuerstättenschau gemäß § 7 Abs. 11 EWKG zur weiteren Bearbeitung im Wärmeversorgungskonzept anonym übergeben. Die Auswertung der Daten gibt Aufschluss über die relative Verteilung der eingesetzten Energieträger. Das betrachtete Quartier in Preetz verfügt über eine nahezu geschlossene Erdgasverrohrung. Die Beheizung erfolgt bisher dezentral überwiegend über Gas- und Ölheizungen.

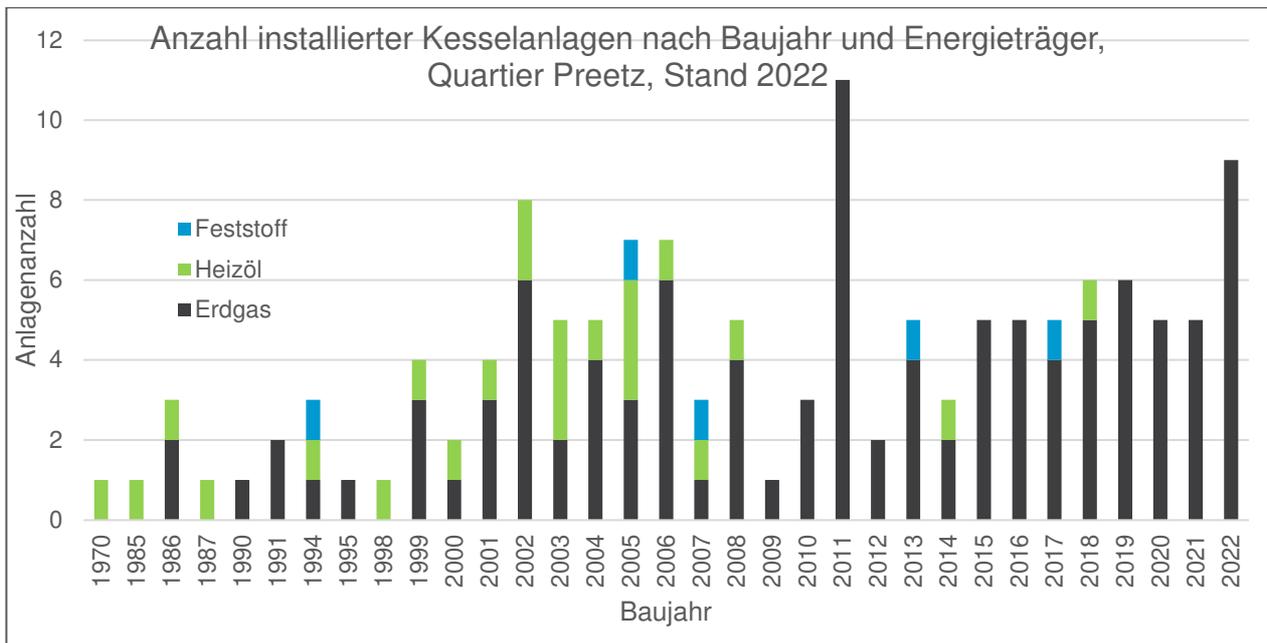
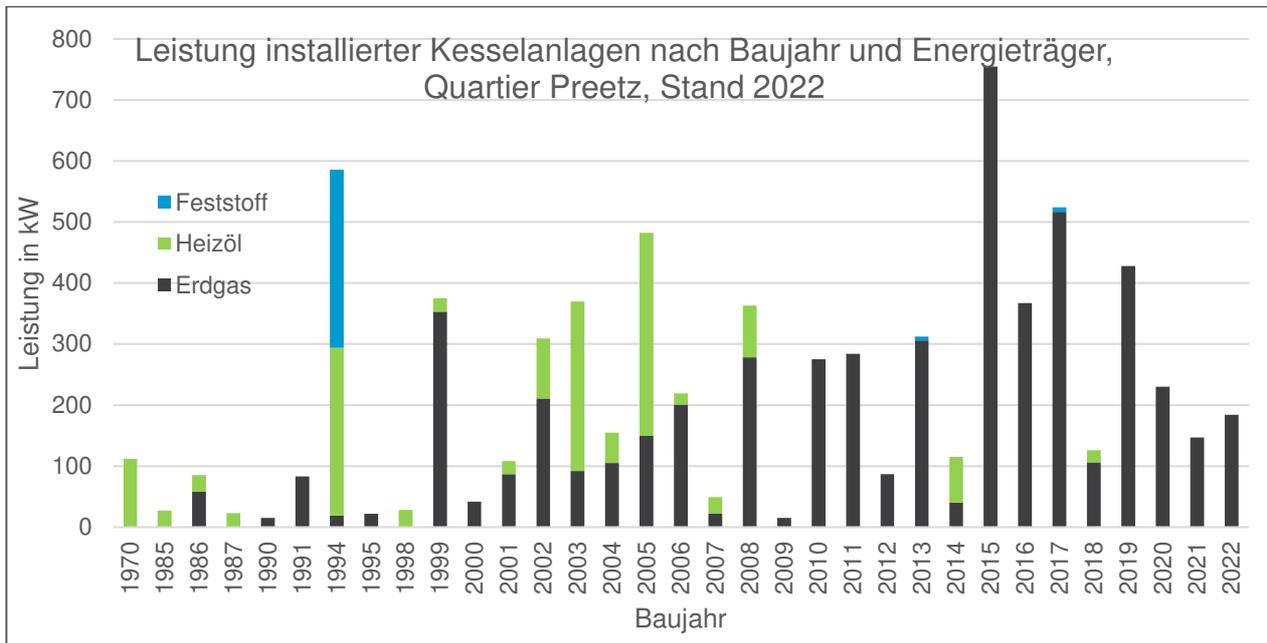


Abbildung 8-3: Anzahl und Leistung der Öl-, Gas- und Feststoffkessel nach Baujahr

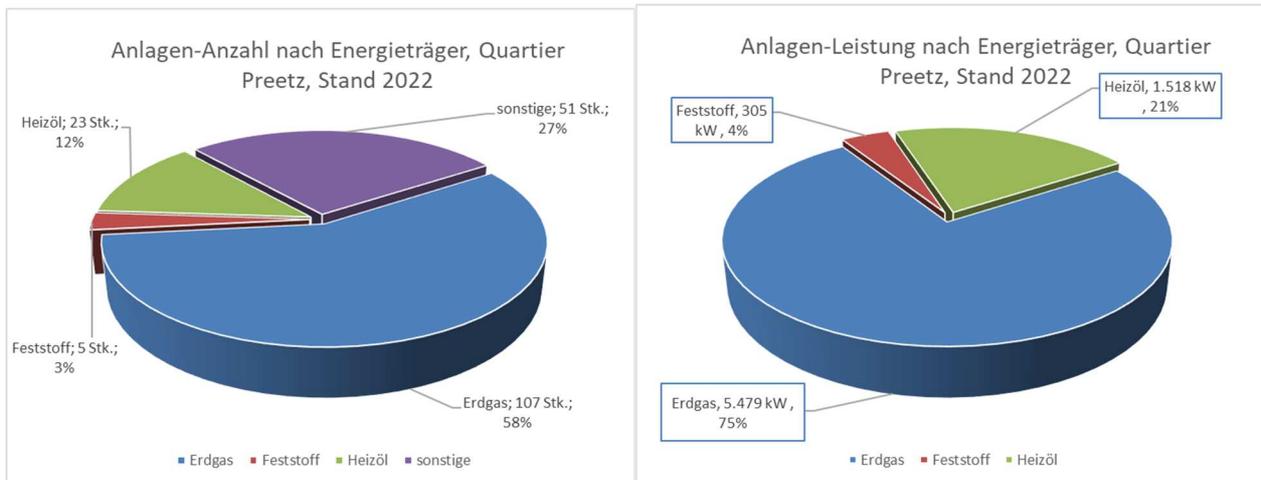


Abbildung 8-4: Verteilung nach Anzahl und Leistung aller Feuerstätten

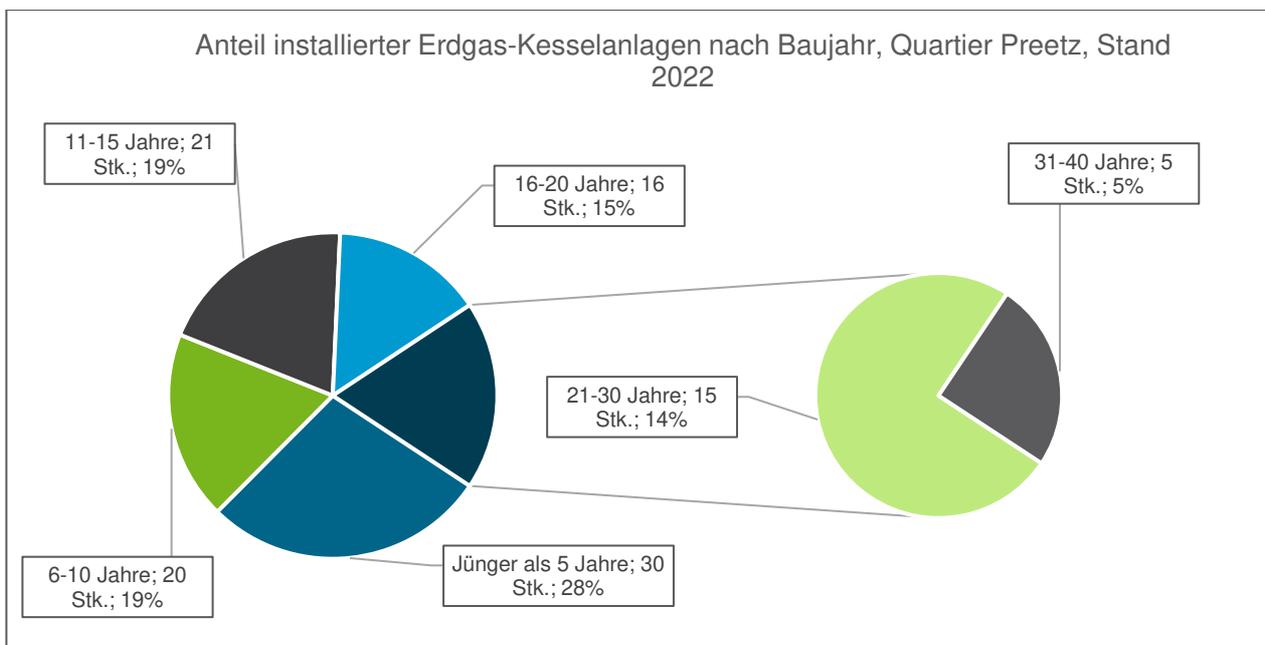


Abbildung 8-5: Anzahl und Alter der Gaskessel

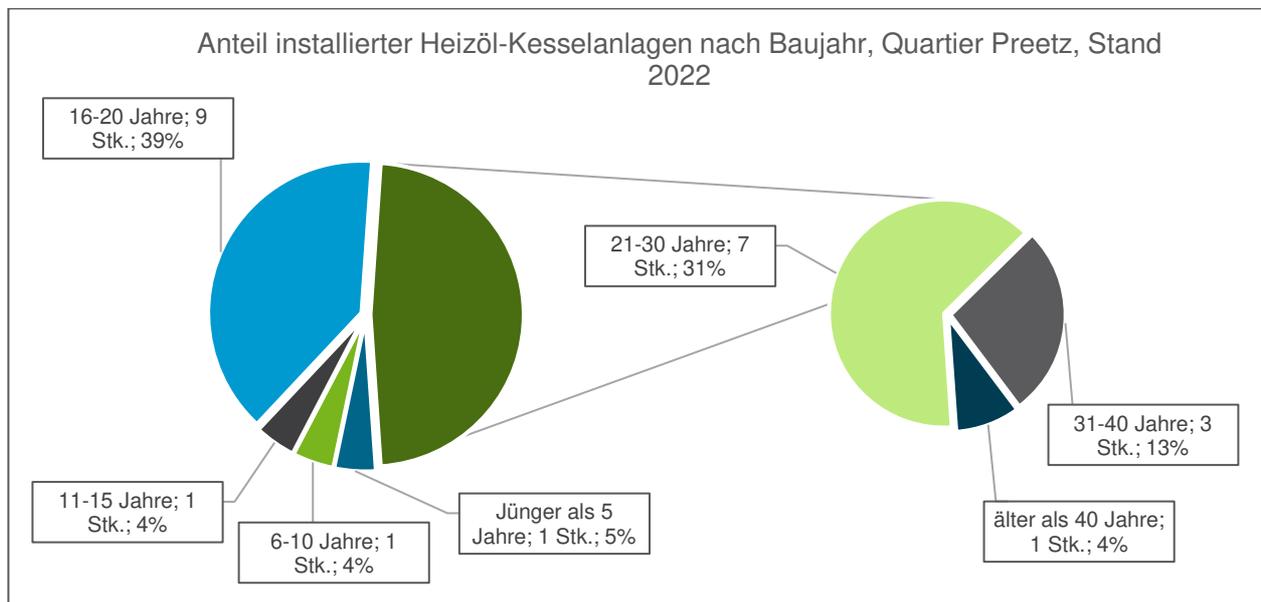


Abbildung 8-6: Anzahl und Alter der Ölkessel

Abbildung 8-3 bis Abbildung 8-6 stellen alle Feuerungsanlagen zur Raumwärme- und Warmwassererzeugung im Quartier dar. Lokale Feuerstätten (z. B. offene Kamine) bleiben in der Betrachtung außen vor.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass sowohl bei der Neuanlagenanzahl als auch bei der Wärmeleistung die erdgasbetriebenen Feuerstätten diejenigen auf Basis von Heizöl überholt haben. Der Großteil der Haushalte wird mit erdgasbetriebenen Kesselanlagen und Thermen beheizt (rund 107 Stk. bzw. 58 % der Hauptkessel). Dies spiegelt auch die hohe Verrohrungsdichte mit Erdgas im Quartier wider. Die verbliebenen Haushalte werden hauptsächlich mit heizölbasierten Kesselanlagen (rd. 23 Stk. bzw. 12 % der Hauptkessel) versorgt. Weiterhin wird in rund 5 Haushalten über Holzkessel ein Teil des Heizwärmebedarfs gedeckt.

Von den Erdgaskesseln sind etwa 19 % älter als 20 Jahre und damit kurzfristig ersatzbedürftig. Weitere 34 % der Gas-Feuerungsanlagen werden voraussichtlich in den nächsten 10 Jahren ersatzbedürftig sein. Heizölkessel sind zumeist langlebiger als Erdgaskessel. Etwas weniger als die Hälfte der Heizölkessel sind bereits älter als 20 Jahre und könnten damit kurzfristig ersatzbedürftig sein.

8.4 ENERGIE- UND CO₂-BILANZ DES QUARTIERS

Der gemäß Kapitel 8.3 ermittelte Wärmenergiebedarf der Gebäude im Quartier ist im Wärmeatlas (vgl. Abbildung 8-7) dargestellt. Er teilt sich gemäß Tabelle 8-1 auf die verschiedenen Gebäudearten auf.

Tabelle 8-1: Wärmenergiebedarf im Quartier im Jahr 2022

Wohngebäude		Nichtwohngebäude		Gesamt
Anzahl	MWh/a	Anzahl	MWh/a	MWh/a
154	7.108	32	6.325	13.433

Abbildung 8-8 zeigt die Verteilung der Energieträger im Quartier auf Basis der Auswertungen der Feuerstättendaten und der ergänzenden Plausibilitätsprüfungen aus Gasverbrauch und statistischen Annahmen. Es verdeutlicht den hohen Erdgasanteil des Energieträgersplits der Kesselanlagen (ca. 70 %, bezogen auf den Heizenergiebedarf).

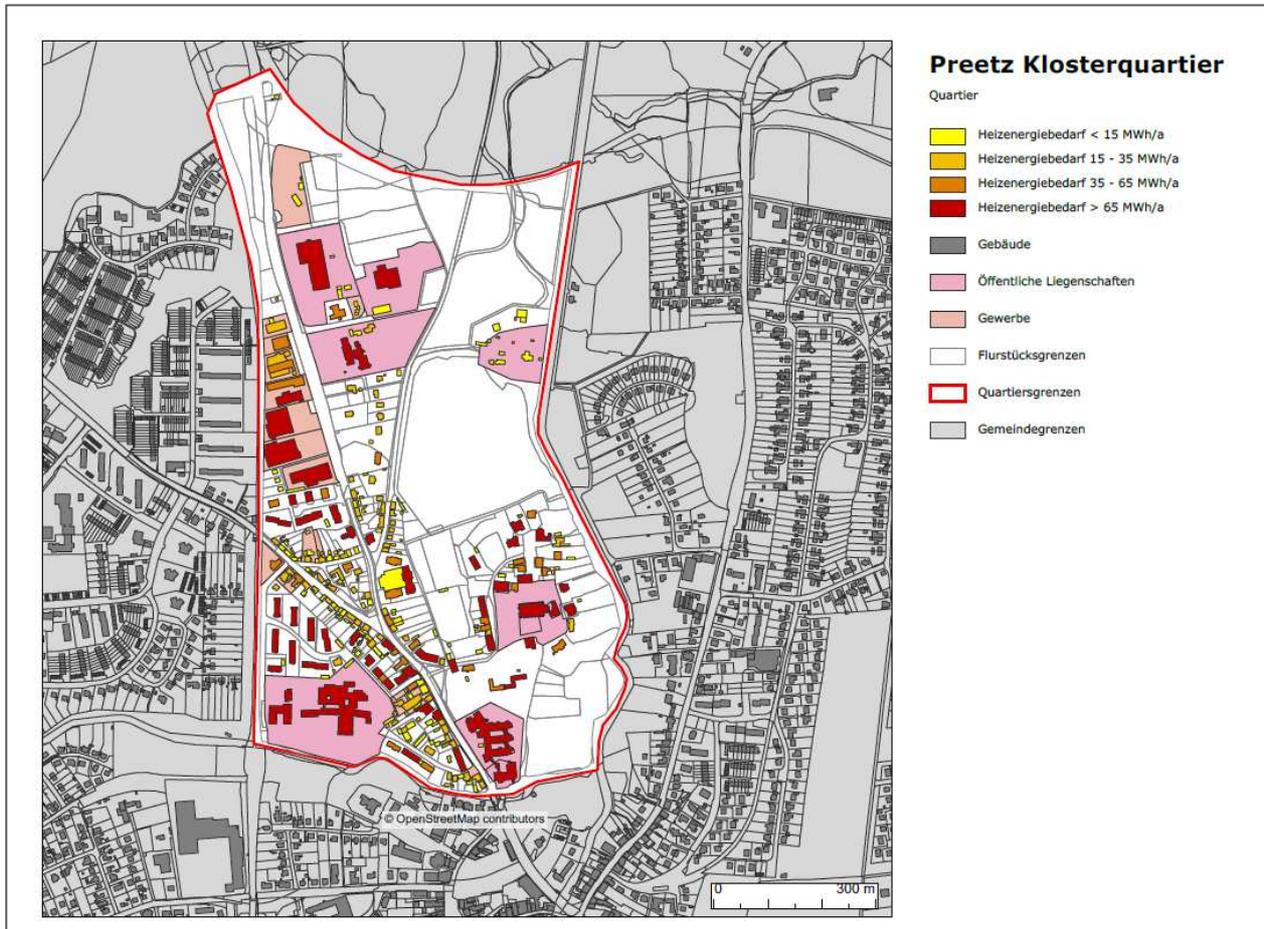


Abbildung 8-7: Wärmetatlas des Quartiers

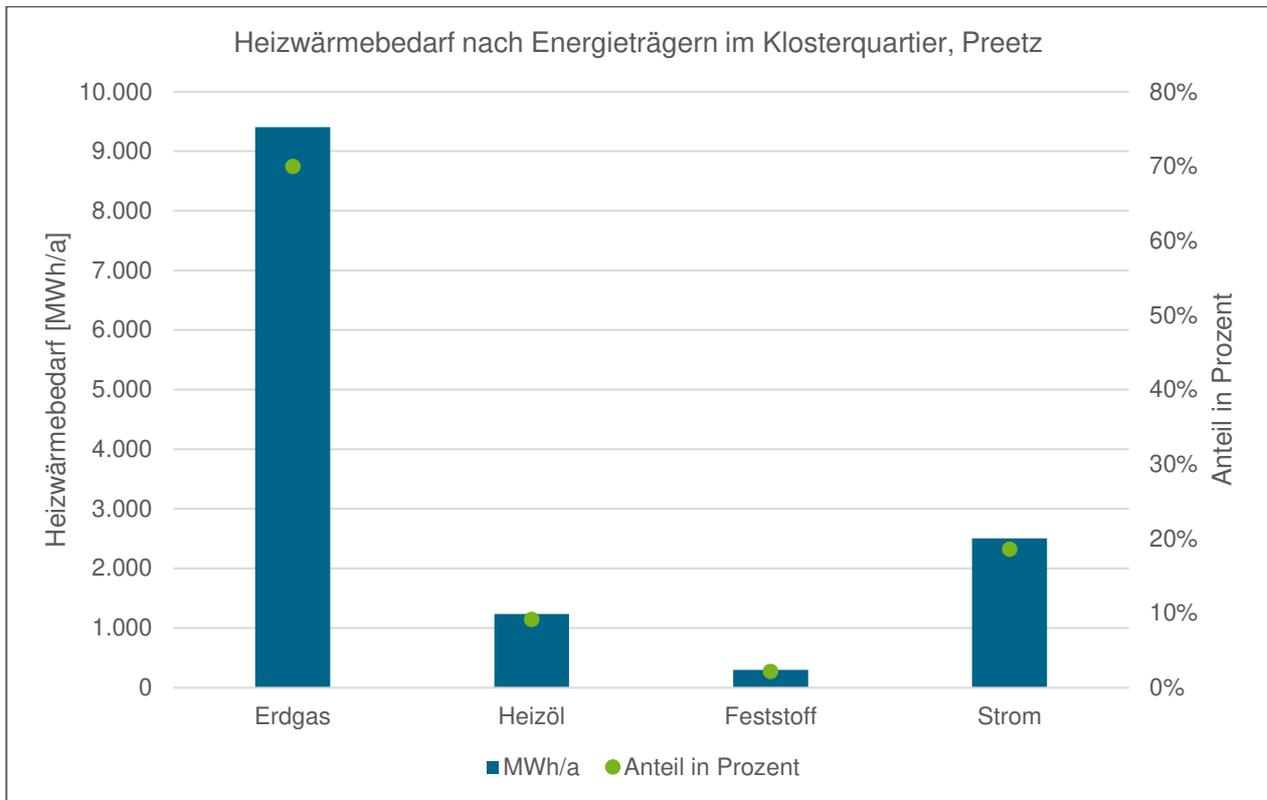


Abbildung 8-8: Aufteilung Heizwärmebedarf nach Energieträgern

Die Bestimmung der CO₂-Emissionen des Quartiers erfolgt durch die Multiplikation der ermittelten Energieverbräuche mit den zugrunde gelegten spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren aus Tabelle 8-2.

Tabelle 8-2: CO₂-Emissionsfaktoren und Primärenergiefaktoren verschiedener Energieträger

ENERGIETRÄGER	SPEZIFISCHE EMISSIONEN	QUELLE	PRIMÄRENERGIE-FAKTOREN	QUELLE
Erdgas	247 g/kWh	(IfEU, 2019)	1,1	GEG
Heizöl	318 g/kWh		1,1	
Flüssiggas	276 g/kWh		1,1	
Holzpellets	25 g/kWh		0,2	
Solarthermie	24 g/kWh		0,0	
Strom	485 g/kWh	(UBA, 2021)	1,8 bzw. 2,8	

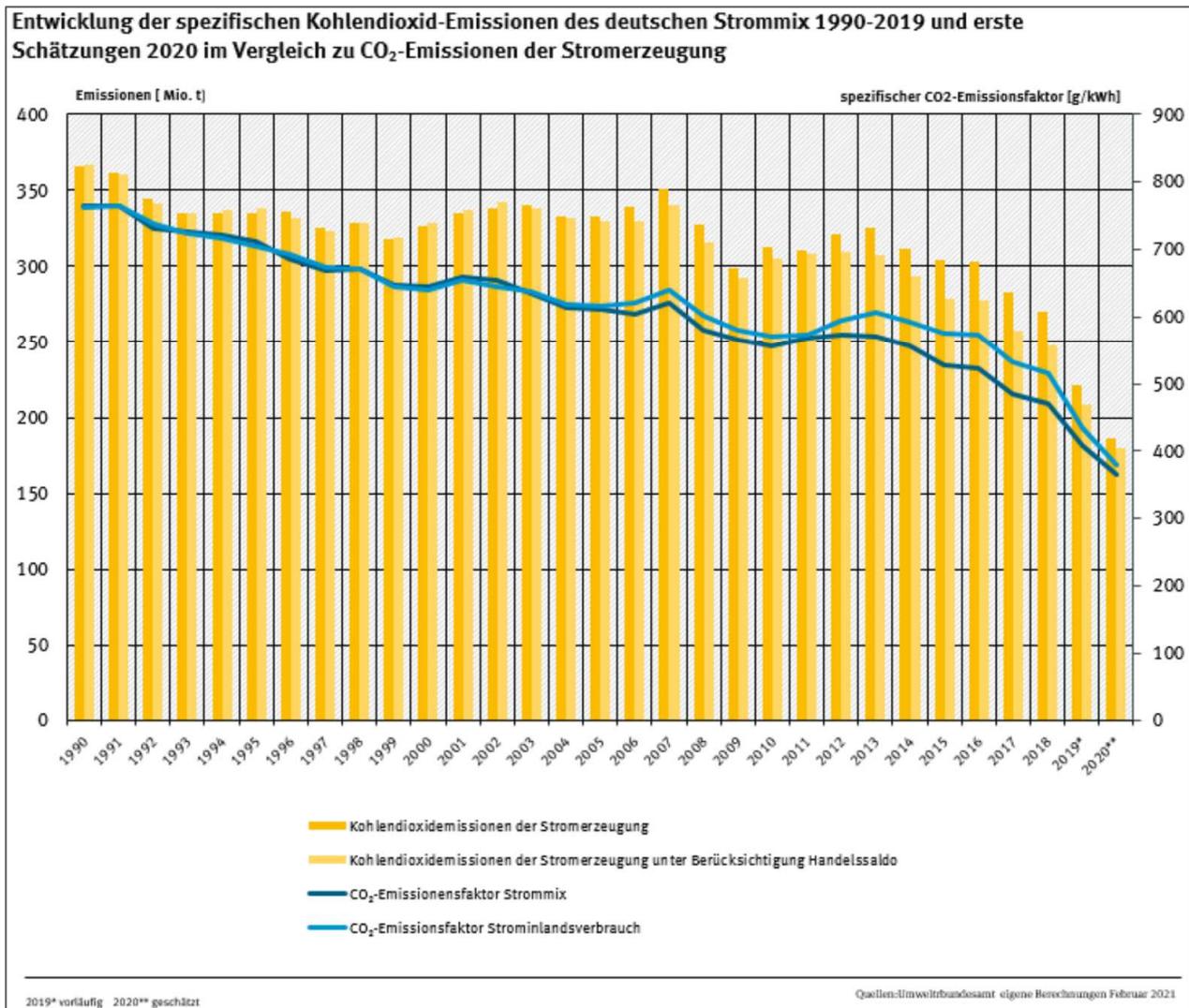


Abbildung 8-9: Entwicklung der spezifischen Emissionen des deutschen Strommixes

Tabelle 8-3: Jährliche Wärme-, Endenergie-, CO₂- und Primärenergiebilanz für das Klosterquartier

ENERGIETRÄGER	WÄRME BEDARF [MWH]	ENDENERGIEBEDARF [MWH]	PRIMÄRENERGIE- BEDARF [MWH]	CO ₂ -AUSSTOß [T]
Erdgas	9.404	11.063	12.169	2.733
Heizöl	1.234	1.452	1.598	462
Holz	294	346	69	7
Strom	2.501	695	1.250	337
Summe	13.433	13.556	15.086	3.538

Tabelle 8-3 stellt die aktuelle Bilanz des Endenergiebedarfs, der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs des Quartiers dar.

8.5 ZUSAMMENFASSUNG BESTANDSAUFNAHME

Im Quartier werden vorwiegend Gas- und Ölheizungen zur Wärmeversorgung verwendet. Holzheizungen sowie Wärmepumpen sind ebenfalls vorhanden. Einige Haushalte nutzen Kaminöfen als zusätzliche (zweite) Wärmequelle. Ein kleiner Teil des Wärmeenergiebedarfs wird bereits im Berliner Ring über ein Wärmenetz gedeckt, das durch eine Kombination aus BHKW und Spitzenlastkessel mit Energie versorgt wird. Ein großer Teil des Wärmebedarfs im Quartier entsteht im Kloster, den Gesundheits- und Pflegeeinrichtungen des Kreises Plön und den Liegenschaften der Wankendorfer.

9 VERSORGUNGSOPTIONEN UND -SZENARIEN

In diesem Kapitel erfolgt die ganzheitliche Untersuchung der Versorgungsoptionen des Quartiers.

Es wird bei der Wärmeversorgung zwischen einer dezentralen, also gebäudeindividuellen Wärmeversorgung und einer zentralen Versorgung mit Nah- oder Fernwärme (Pfnür, Winiewska, Mailach, & Oschatz, 2016) unterschieden. Eine eindeutige Abgrenzung zwischen Nah- und Fernwärme existiert dabei nicht, so dass beide Begriffe synonym verwendet werden können. Bei der dezentralen Versorgung, wie sie im Quartier aktuell üblich ist, wird im jeweiligen Gebäude selbst Wärme erzeugt; dies geschieht im Quartier bisher überwiegend auf Erdgas- und Ölbasis. Bei der zentralen Wärmeversorgung wird die Wärme in einer (oder ggf. auch mehreren) Heizzentrale(n) erzeugt und durch erhitztes Wasser in Wärmeleitungen zu den Abnehmern transportiert. In Neubau- oder sanierten Bestandsgebieten kann auch „kalte Nahwärme“ eingesetzt werden. Dabei wird lediglich eine Wärmequelle mit niedrigerem Temperaturniveau benötigt. Das ungedämmte Wärmenetz wirkt u. U. noch als Erdwärmekollektor und liefert Wasser an die Gebäude. Dem Wärmenetz wird dezentral in den einzelnen Gebäuden durch eine Wasser-Wärmepumpe Wärme entzogen. Wasser-Wärmepumpen arbeiten effizienter als Luftwärmepumpen.

9.1 ZENTRALE VERSORGUNGSOPTIONEN

Vor dem Hintergrund der aus Klimaschutzgründen gebotenen Senkung der CO₂-Emissionen sowie mit Blick auf die Versorgungssicherheit wird zunächst auf eine zentrale und weitestgehend regenerative Wärmeversorgung des Quartiers fokussiert.

Die Struktur des Quartiers spielt eine wesentliche Rolle, da größere Entfernungen zwischen potenziellen Abnehmern aufgrund höherer Investitionskosten für die Leitungen sowie höherer Wärmeverluste innerhalb des Netzes zur wirtschaftlichen Verschlechterung führen. Das Klosterquartier weist sehr gute Voraussetzungen durch die zentralisierte Anordnung der Wohngebäude auf, sodass eine leitungsgebundene Wärmeversorgung des Gesamtquartiers anhand ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Kriterien auf Realisierbarkeit geprüft wurde.

Die Preetzer Bürger Energie Genossenschaft (PreBEG) plant die Errichtung eines Nahwärmenetzes zur Versorgung von ca. 530 Haushalten in den Wohngebieten Glindskoppel und Wundersche Koppel westlich angrenzend an das Quartier mit Wärme aus regenerativer Energie (PreBEG, o. J. a). Das Nahwärmesystem verfügt über eine ausreichende Kapazität, um zukünftig einen Teil des Wärmebedarfs des Klosterquartiers zu decken.

Die Tischlerei Mare, welche sich im Norden des Quartiers befindet, zerspannt Holzreste aus dem Betrieb der Tischlerei und betreibt damit einen Holzofen, welcher die Gebäude der Tischlerei versorgt. Es besteht aktuell ein Wärmeüberschuss, jedoch ist dieser verhältnismäßig niedrig, so dass er derzeit nicht sinnvoll und wirtschaftlich in einem Wärmenetz einsetzbar wäre. Eine gezielte

Erweiterung der Wärmeleistungskapazitäten könnte die Integration der Wärmeerzeugungsanlage in eine zentrale Wärmeversorgungsvariante sinnvoll machen.

Die Betrachtung von zentralen Versorgungsoptionen fokussiert auf das gesamte Quartier. Es wird eine Netzvariante untersucht, welche ein Verbundnetz zur Versorgung des gesamten Quartiers beinhaltet.

Die Planung des Wärmeverteilsystems setzt die Festlegung eines Netzaufbaus voraus. Hierbei muss neben der Darstellung der Struktur von Wärmeverteilungsnetzen und deren Betriebstemperaturen auch auf die Netzdimensionierung und die Wärmeverluste eingegangen werden. Die notwendige Energiezentrale sollte insbesondere bei einer Nutzung anzuliefernder Brennstoffe (z. B. Holzhackschnitzel) möglichst nahe an einer Straße mit hohem Verkehrsaufkommen verortet werden, da so innerörtliche Störungen von Wohngebieten durch Emissionen, Brennstofflieferungen u. a. minimiert werden können. Im Quartier bietet sich dafür u. a. das Gelände des Abwasserzweckverbandes an, welches abseits der Wohngebiete liegt und einen relativ kurzen Anfahrtsweg von der Bundesstraße 76 aufweist (vgl. Abbildung 9-1).

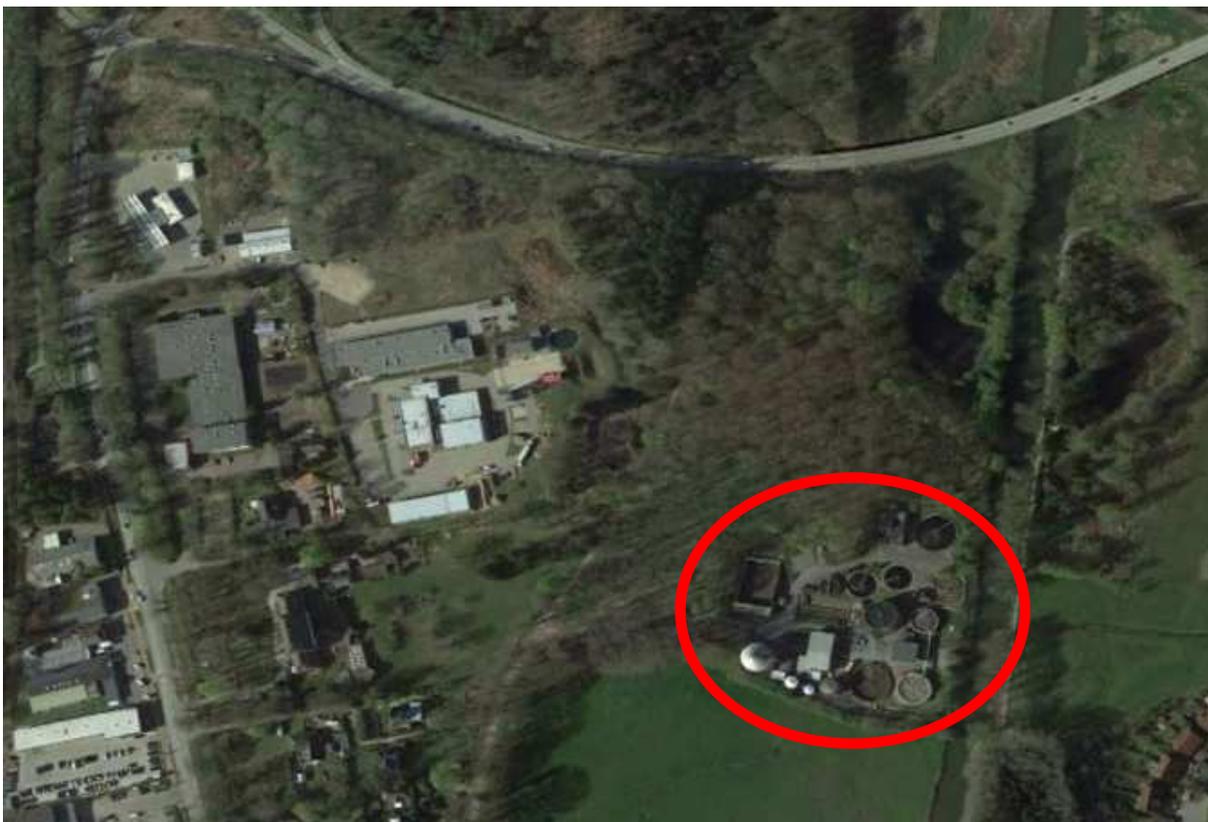


Abbildung 9-1: Mögliche Lage einer Heizzentrale (Google LLC, o. J.)

9.1.1 TECHNISCHE VERSORGUNGS-LÖSUNGEN

In welcher Form sich eine zentrale Wärmeversorgung im Quartier zukünftig gestalten ließe, wird basierend auf den zur Verfügung stehenden Informationen über die Gebäude und die Gegebenheiten des Quartiers untersucht. In Abstimmung mit der Lenkungsgruppe wurden mögliche Wärmequellen anhand ökologischer, technischer und wirtschaftlicher Kriterien qualitativ auf Realisierbarkeit im Quartier geprüft. Nach dieser mit der Lenkungsgruppe (vgl. 11.1) abgestimmten

Abwägung wurden folgende Energieerzeuger und Energiequellen für den Ausbau einer zentralen Wärmeversorgung weiter berücksichtigt:

- Wesentliche Versorgungsanteile von Öl- und Erdgaskesseln sind aus Klimaschutzgründen und zunehmend auch aus Kostengründen sowie der Versorgungssicherheit für eine zentrale Wärmeversorgung nicht akzeptabel, werden jedoch zur Redundanzbesicherung und ggf. zur Spitzenlastabdeckung mit berücksichtigt.
- Das Abwärmepotential des gereinigten Abwassers der Kläranlage des AZV Preetz steht ganzjährig ohne Einschränkungen zur Verfügung und kann mit Hilfe von einem Abwasserwärmetauscher und Wärmepumpentechnik Wärme für Fernwärmeanwendungen zur Verfügung stellen. Die anfallende Abwasserabwärme wird derzeit nicht genutzt und in die Schwentine eingeleitet; sie kann eine Belastung für die Schwentine darstellen. Die Kläranlage befindet sich nördlich im Quartier (vgl. Abbildung 9-1) und ist ein potentieller Standort für eine mögliche Heizzentrale. Die neu zu errichtende Kläranlage wird direkt angrenzend an dem aktuellen Standort der Kläranlage errichtet, sodass Teile der bisherigen Kläranlage in Zukunft weiter genutzt werden können.
- Holzvorkommen des Adeligen Klosters Preetz können in einem Biomassekessel verbrannt werden, um Wärme für eine Fernwärmeanwendung zur Verfügung zu stellen.
- Die PreBEG errichtet angrenzend an das Quartier ein Fernwärmenetz, welches in der zweiten Ausbaustufe Wärmekapazitäten für einen Teil des Quartiers vorsieht. Die PreBEG erzeugt die Wärme auf Basis erneuerbarer Energien in Biomassekesseln, Holzhackschnitzel-Pyrolyse-Anlagen, sowie Solarthermieanlagen.

Es werden drei Versorgungsvarianten, welche aus der Kombination der vorstehenden Energiequellen und Energieerzeuger bestehen, betrachtet:

- Versorgungsvariante 1 sieht die zentrale Wärmebereitstellung mittels einer Abwasserwärmepumpe in Kombination mit den geplanten Kapazitäten aus dem Fernwärmenetz der PreBEG vor. Die erzeugte Wärme aus der Abwasserwärmepumpe wird in das Wärmeverteilsystem eingespeist und speichert ggf. momentan überschüssige Wärme in einem Pufferspeicher, wodurch die Wärmeversorgungsanteile der Abwasserwärmepumpe optimiert werden können. Die Fernwärme der PreBEG wird mittels einer Wärmeübergabestation in das Wärmeverteilsystem des Klosterquartiers eingespeist. Der Strom zum Betrieb der Gesamtanlage wird aus dem öffentlichen Netz bezogen.
- Versorgungsvariante 2 sieht die zentrale Wärmebereitstellung mittels einer Abwasserwärmepumpe vor, wie in der Versorgungsvariante 1 beschrieben, jedoch in Kombination mit einem Biomassekessel. Der Biomassekessel speist die erzeugte Wärme in das Wärmeverteilsystem und speichert ggf. momentan überschüssige Wärme in einem Pufferspeicher, wodurch der Nutzungsgrad, die Lebensdauer und die Emissionen des Biomassekessels positiv beeinflusst werden. Die Vorratshaltung an Holzhackschnitzeln wird durch einen maßgeschneiderten Bunker gewährleistet. Der Strom zum Betrieb der Gesamtanlage wird aus dem öffentlichen Netz bezogen.

Bei der Beschaffung von Holzhackschnitzeln wird auf eine regionale Herkunft aus den Wäldern des Klosters Wert gelegt. Eine Trocknung der Holzhackschnitzel des Klosters könnte

eventuell mit überschüssiger Wärme aus umliegenden Biogasanlagen erfolgen.² Die Wertschöpfung würde in diesem Falle noch stärker in der Region verbleiben.

- Versorgungsvariante 3 sieht die zentrale Wärmebereitstellung aus einer Kombination der Abwasserwärmepumpe und einem Biomassekessel mit Holzpellets vor. Holzpellets als genormter Brennstoff sind dabei am Markt zu beschaffen.

Für alle Varianten wurde zunächst noch ein Erdgaskessel bei den Investitionen berücksichtigt, der jedoch nur selten bis gar nicht zum Einsatz kommt: bei vereinzelt Lastspitzen, wie sie an extrem kalten Tagen auftreten können, oder wenn andere Anlagen für kurze Zeit wegen Wartung und Reparatur außer Betrieb sind, um die Versorgung des Wärmenetzes zur jedem Zeitpunkt zu gewährleisten.

9.1.2 ENTWURF WÄRMENETZ

Für die Ermittlung der Gesamtinvestitionen sowie der Wärmenetzverluste ist die Bestimmung der Trassenlängen der untersuchten Wärmenetze erforderlich. Diese wurden anhand luftbildfotografischen Abbildungen näherungsweise ermittelt. Die Wärmenetzverluste sind hierbei exemplarisch für ein gut gedämmtes und zu empfehlendes Netz sogenannter Twin-Rohren mit gemeinsamem Vor- und Rücklauf in einem Mantel und gemeinsamer Isolierung betrachtet worden.

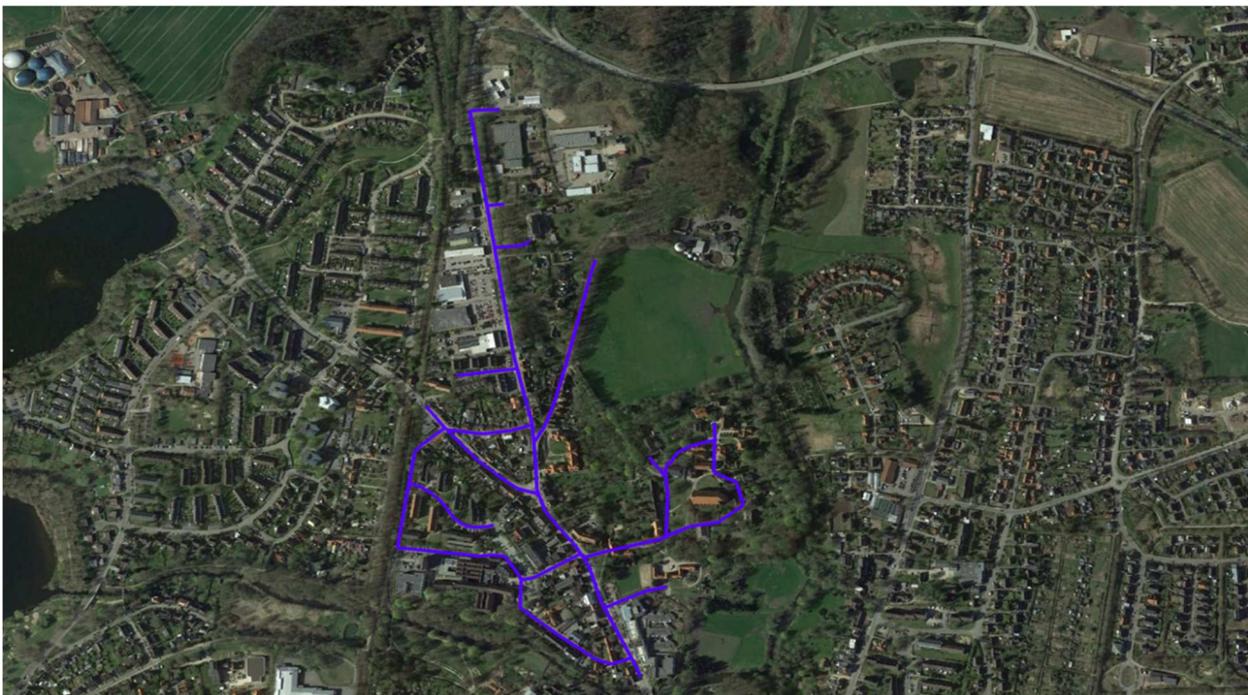


Abbildung 9-2 Mögliche Trassenführung zur Versorgung des Gesamtquartiers (Google LLC, o. J.)

Die Auslegung der Wärmenetze erfolgte nach den aktuellen Wärmebedarfen der Gebäude. Grundlage der Berechnungen ist angesichts der hier gegebenen Netz- bzw. Nutzerkonstellationen eine Anschlussquote von 80 %, so dass mit den berechneten Kapazitäten langfristig ein Wärmeanschluss für jeden Haushalt gewährleistet werden kann. Alle Wärmeerzeugungsanlagen wurden

² Diese Möglichkeiten könnten ggf. im Rahmen einer auf das vorliegende Konzept folgenden Machbarkeitsstudie nach der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) näher geprüft werden.

auf den aktuellen Wärmebedarf bei einer Anschlussquote in Höhe von 80 % ausgelegt. Langfristig ist mit einer Sanierung einer Vielzahl von Gebäuden zu rechnen. Die Sanierungen werden jedoch nicht auf einen Schlag realisiert, sondern sukzessive über viele Jahre verteilt. Dadurch werden weitere Kapazitäten frei, die es wiederum ermöglichen, weitere Gebäude anzuschließen. Einige Wärmeerzeugungsanlagen haben eine Lebensdauer von 10 bis 20 Jahren; hier kann dann die Dimensionierung bei der Erneuerung an die jeweilige Verbrauchsentwicklung angepasst werden. Außerdem wird durch eine Gebäudesanierung die Heizlast nur bedingt beeinflusst, da sich der Leistungsbedarf für das Trinkwarmwasser nicht verändern wird.

Abbildung 9-2 stellt die mögliche Trassenführung des untersuchten Wärmenetzes zur Versorgung des gesamten Quartiers dar.

Der Wärmebedarf des gesamten Quartiers beträgt 13.433 MWh/a und setzt sich aus dem Bedarf an Heizwärme der Gebäude und dem Wärmebedarf für Warmwasserbereitung der Gebäudebewohner / -nutzer zusammen. Das Wärmenetz für das gesamte Quartier besteht aus einer Haupttrasse von ca. 4.028 Trassenmeter (siehe Abbildung 9-2). Die benötigte jährliche Wärmemenge (der Netzwärmebedarf) setzt sich aus der Summe des Wärmebedarfs im gesamten Quartier und den Wärmenetzverlusten zusammen. Der Netzwärmebedarf wird durch eine technische Versorgungslösung in einer Heizzentrale bereitgestellt. Dabei kommen die in Kapitel 9.1.1 diskutierten Varianten in Frage.

Um die Wärmenetze im Hinblick auf Netzverluste bzw. Wärmeverteilung qualitativ bewerten zu können, müssen die zwischen Heizzentrale und Abnehmern verloren gehenden Wärmemengen mit betrachtet werden. Diese sind hauptsächlich von der Netzlänge und damit der Siedlungsstruktur abhängig und liegen bei einer Anschlussquote von 80 % zwischen 5 und 6 %. Die Wärmeverluste beeinflussen die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes und sollten daher möglichst geringgehalten werden. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn die Wärme nicht (nur) aus ohnehin vorhandener und bisher nicht genutzter Abwärme stammt. Bei einer niedrigeren Netzanschlussquote bleiben die absoluten Wärmeverluste in etwa gleich, die relativen steigen somit. Dies würde die Wirtschaftlichkeit und die ökologische Effizienz des Gesamtsystems verschlechtern.

9.1.3 ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE ANSÄTZE

Um die im nächsten Schritt untersuchten Szenarien wirtschaftlich bewerten zu können, wurden energiewirtschaftlich relevanten Rahmenparameter (Stand: Januar 2023) definiert. Neben einem Kapitalzins von 5 % p. a. wurden aktuelle Kosten für Energieeinkauf, Wartung und Instandhaltung angesetzt sowie eine CO₂-Bepreisung von 74 €/t angenommen, wie sie aufgrund des sukzessiven und über 2025 hinaus hier angenommenen linearen Anstiegs der CO₂-Bepreisung mit einer Steigung von 7,5 €/t p. a. im Mittel in den nächsten zehn Jahren bis 2032 anfallen sollte (Bundesregierung, 2019). Die Ansätze für Wartungs- und Reparaturkosten wurden bei den Herstellern angefragt oder stammen aus vergleichbaren Projekten.

Die angenommenen Kosten der Abwasserwärme in Höhe von 50 €/MWh enthalten die kompletten Gesteungskosten für die Wärmeauskopplung auf der Kläranlage einschließlich des Abwasserwärmetauschers. Die Belieferung mit Holzhackschnitzeln sollte möglichst durch regionale Lieferanten erfolgen. Hier wurde der Marktpreis von etwa 29 €/MWh angesetzt.

Die Arbeitspreise von 95 €/MWh und der Leistungspreis von 12 €/kW im Monat für den Wärmebezug von der PreBEG entsprechen den veröffentlichten Preisen (PreBEG, o. J.). Inwiefern für

eine so große Abnahmemenge wie hier andere Konditionen zur Anwendung kommen könnten, wäre zu gegebener Zeit zu verhandeln.

Tabelle 9-1 gewährt einen Überblick über die energiewirtschaftlichen Ansätze, die der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt wurden. Für die wirtschaftliche Bewertung der zentralen Versorgungsvarianten wurde der Preis für Erdgas, Strom und Hackschnitzeln der Monate November und Dezember des Jahres 2022 angesetzt. Um die Preisänderungen im Laufe des Jahres 2022 darzustellen, wurden zusätzlich die durchschnittlichen Energiepreise für Erdgas, Strom und Hackschnitzel aus dem 1. Halbjahr 2022 herangezogen.

Tabelle 9-1: Energiewirtschaftliche Ansätze

Energiewirtschaftliche Ansätze (netto)		
Kapitalzins		5,00% p. a.
Wartung und Instandhaltung		
Fernwärme PreBEG		1,00% p. a./Invest
Hackschnitzelkessel		2,50% p. a./Invest
Kesselanlage		1,50% p. a./Invest
Wärmepumpen		2,00% p. a./Invest
Anlagentechnik und Installation		1,50% p. a./Invest
Wärmenez		0,25% p. a./Invest
Grundstücke & Gebäude		0,25% p. a./Invest
Versicherung/Sonstiges		0,50% p. a./Invest
technische Betriebsführung		1,00% p. a./Invest
kaufmännische Betriebsführung		1,00% p. a./Invest
kaufmännische Betriebsführung		130 € p. P./p. a.
Energiekosten		
Wärmepreis Abwärme Klärwerk	Dez 22	5,00 ct/kWh _{th}
Leistungspreis Fernwärme PreBEG	Dez 22	9,50 ct/kWh _{th}
Grundpreis Fernwärme PreBEG	Dez 22	12,00 €/kW
Wärmepreis Abwärme Tischlerei	Dez 22	5,00 ct/kWh _{th}
Mischpreis Erdgas	Ø 1. Halbjahr 2022	8,08 ct/kWh _{Hi}
	Nov 22	25,04 ct/kWh _{Hi}
Mischpreis Hackschnitzel	Ø 1. Halbjahr 2022	2,90 ct/kWh _{Hi}
	Dez 22	3,74 ct/kWh _{Hi}
Mischpreis Holzpellets	Ø 1. Halbjahr 2022	7,35 ct/kWh _{Hi}
	Dez 22	12,02 ct/kWh _{Hi}
Mischpreis Strom	Ø 1. Halbjahr 2022	31,59 ct/kWh _{el}
	Nov 22	49,32 ct/kWh _{el}
CO ₂ -Bepreisung	Ø 2021 -2032	74,00 €/t CO ₂

9.1.4 ZENTRALE WÄRMEVERSORGUNG (WÄRMENETZ)

9.1.4.1 ANLAGENDIMENSIONIERUNG UND ENERGIEBILANZEN

Im ersten Schritt wurden zunächst die Wärmeerzeuger dimensioniert und die unterschiedlichen Energieflüsse bilanziert. Hierfür wurden Erzeuger und Verbraucher, bzw. deren Lastgänge, in ein Simulationstool eingebettet und analysiert. Tabelle 9-2 stellt die Energiebilanzen der einzelnen Versorgungsszenarien für die untersuchten Wärmenetze dar.

Die benötigte jährliche Wärmemenge aller Gebäude im Quartier liegt bei etwa 13.433 MWh. Bei einer Anschlussquote von 80 % beträgt der Wärmeabsatz im zukünftigen Nahwärmenetz ca. 10.747 MWh/a. Obwohl die Wärmeverluste des Netzes durch moderne, gut gedämmte Wärmeleitungen verringert werden können, würde durch die Verteilung eine Wärmeenergie von 725 MWh pro Jahr verloren gehen, die dem zukünftigen Nahwärmenetz zusätzlich zugeführt werden muss. Die Verluste betragen somit etwa 5 % des gesamten Netzwärmebedarfs.

Die Energie des geklärten Abwassers im Kläranlagenablauf dient als Wärmequelle für die Abwasserwärmepumpe und kann mittels eines Abwasserwärmetauschers nutzbar gemacht werden. Aufgrund von Mindesttemperaturanforderungen für das in die Kläranlage einfließende Abwasser wurde entschieden, nicht den Kläranlagenzulauf, sondern den Ablauf der Kläranlage zu nutzen. Durch die stundengenauen Werte, welche durch den AZV Preetz zur Verfügung gestellt wurden, konnte eine Abwasserwärmepumpe ausgelegt werden. Die Abwasserwärmepumpe kann über 45 % des Netzwärmebedarfs aus der Abwasserenergie decken. Auf der Kläranlage wandeln des Weiteren zwei BHKW das Faulgas, welches durch die anaerobe Gärung organischer Stoffe in der Kläranlage produziert wird, in Strom und Wärme um. Im Winter benötigt die Kläranlage die gesamte erzeugte Wärme zum Betrieb der Kläranlage. Im Sommer dagegen besteht ein Wärmeüberschuss der im BHKW erzeugten Wärme, welche für die Fernwärmeanwendung zur Verfügung steht. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage konnten die Wärmeerzeugungslastgänge der beiden Klärgas-BHKW für die Fernwärmeversorgung nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 9-2: Anlagendimensionierung und Energiebilanzen der zentralen Wärmeversorgung

Energiebilanzen	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Dimension
	Fernwärme PreBEG+ Großwärmepumpe + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Hackschnitzelkessel + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Pelletkessel + Erdgaskessel	
Anschlussnehmer	149	149	149	Stk
Wärmebedarf	10.746.543	10.746.543	10.746.543	kWh _{th}
davon Wohngebäude	5.686.248	5.686.248	5.686.248	kWh _{th}
davon Nichtwohngebäude	5.060.295	5.060.295	5.060.295	kWh _{th}
Anschlussleistung	5.040	5.040	5.040	kW _e
davon Wohngebäude	2.708	2.708	2.708	kW _e
davon Nichtwohngebäude	2.332	2.332	2.332	kW _e
Wärmenetz				
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,70	0,70	0,70	
Trassenlänge Hauptstraße	4.028	4.028	4.028	m
Trassenlänge Hausanschluss	1.488	1.488	1.488	m
Netzverlustleistung	83	83	83	kW _e
Netzverluste	724.802	724.802	724.802	kWh _e
Netzverluste	6%	6%	6%	%
Netzwärmebedarf	11.471.345	11.471.345	11.471.345	kWh _{th}
Netzleistungsbedarf	3.849	3.849	3.849	kW _e
Vollbenutzungstunden	2.980	2.980	2.980	Std
Strombedarf Netzpumpen	172.070	172.070	172.070	kWh _{el}
Anschlussdichte	1,9 MWh/(m a)	1,9 MWh/(m a)	1,9 MWh/(m a)	
Fernwärme PreBEG				
installierte thermische Leistung	2.388			kW _{th}
erzeugte thermische Energie	6.293.877			kWh _{th}
Deckungsanteil von Wärmeinspeisung	55%			
Wärmepumpen				
Thermische Leistung	1.304	1.304	1.304	kW _{th}
Vollbenutzungstunden	3.815	5.918	5.918	Std
erzeugte thermische Energie	4.974.117	7.717.345	7.717.345	MWh _{th}
Jahresarbeitszahl	2,60	2,62	2,62	
Strombedarf	1.916.268	2.945.718	2.945.718	MWh _{el}
Wärmeentzug Klärwerk	3.057.849	4.771.628	4.771.628	MWh _{th}
Strombedarf Netzpumpen	45.868	71.574	71.574	MWh _{el}
Deckungsanteil von Wärmeinspeisung	43%	67%	67%	
Holzackschnitzelkessel				
installierte thermische Leistung		1.000		kW _{th}
erzeugte thermische Energie		3.002.301		kWh _{th}
Wirkungsgrad		85%		
zusätzlich erforderliche Brennstoffarbeit		3.532.118		kWh _{th}
Hackschnitzelvolumen pro Jahr		4.266		m ³ /a
max. Hackschnitzelvolumen pro Woche		239		m ³ /Woche
Anzahl LKW-Ladungen (Schubboden LKW)		2,6		Ladungen/Woche
Deckungsanteil von Wärmeinspeisung		26%		
Betriebsstrom (System+Erzeuger)		30.023		kWh _{el}
Pelletkessel				
installierte thermische Leistung			1.000	kW _{th}
erzeugte thermische Energie			3.002.301	kWh _{th}
Wirkungsgrad			85%	
zusätzlich erforderliche Brennstoffarbeit			3.532.118	kWh _{th}
Pelletvolumen pro Jahr			1.132	m ³ /a
max. Pelletvolumen pro Woche			63	m ³ /Woche
Anzahl LKW-Ladungen (Schubboden LKW)			3,2	Ladungen/Woche
Deckungsanteil von Wärmeinspeisung			26%	
Betriebsstrom (System+Erzeuger)			30.023	kWh _{el}
Wärmespeicher				
Speichervolumen	56	99	99	m ³
Speicherkapazität	1.304	2.304	2.304	kWh _{th}
Erdgaskessel				
installierte thermische Leistung	1.500	2.900	2.900	kW _{th}
erzeugte thermische Energie	22.957	571.018	571.018	kWh _{th}
Wirkungsgrad	93%	93%	93%	
zusätzlich erforderliche Brennstoffarbeit	24.685	613.998	613.998	kWh _{th}
Deckungsanteil von Wärmeinspeisung	0%	5%	5%	
Betriebsstrom (System+Erzeuger)	230	5.710	5.710	kWh _{el}

Um den Wärmebedarf auch dann sicherzustellen, wenn die Abwasserwärmepumpe keine ausreichende Wärme liefert, wird am Übergabepunkt zum Wärmenetz der PreBEG eine Wärmeübergabestation mit einer thermischen Leistung von 2,4 MW angesetzt, die über 55 % des Netzwärmebedarfs abdecken kann. Die restliche erforderliche fossile Wärmeerzeugung zur Abdeckung von Spitzenlasten aus dem Erdgaskessel an kalten Wintertagen macht dann weniger als 1 % des gesamten Netzwärmebedarfs aus.

Die Option der „fossilen Spitzenlastabdeckung“ stellt einen Kompromiss dar: Einerseits handelt es sich bei Erdgas noch um einen fossilen Energieträger, der mittelfristig zu ersetzen ist. Andererseits sind aufgrund der sehr begrenzten Einsatzzeiten die CO₂-Emissionen begrenzt und die rela-

tiv geringen Investitionskosten eines solchen Kessels halten die Kosten des Gesamtsystems in Grenzen. So kann eine möglichst hohe Anschlussquote erreicht werden, d. h. es wird vermieden, dass sich sehr preissensible Haushalte nicht anschließen und bei ihrer derzeitigen, komplett fossilen Versorgung verbleiben.

Ebenfalls ist eine zentrale Belieferung des Quartiers mit Wärme durch Biomassekessel mit einer thermischen Gesamtleistung von 1.000 kW denkbar, wodurch etwa 26 % des Netzwärmebedarfs gedeckt werden könnten. Die verbleibende benötigte Wärmemenge wird in je nach Versorgungsvariante durch die Abwasserwärmepumpe zur Verfügung gestellt, In Abhängigkeit von der jeweils aktuellen Preissituation kann flexibel entschieden werden, welche Wärmequelle vorrangig eingesetzt wird.³ Zur Redundanzzwecken wird der Erdgaskessel auch in dieser Variante mit berücksichtigt.

9.1.4.2 INVESTITIONSSCHÄTZUNG

Für die grobe Ermittlung der Investitionskosten wurden Ausgaben für Wärmepumpen-, Holzhack-schnitzel- und Kesselanlage, Wärmeübergabestationen, Anlagentechnik und Installation sowie Infrastrukturmaßnahmen kalkuliert, die auf Erfahrungswerten von IPP ESN aus entsprechenden aktuellen Planungsarbeiten basieren und auf die projektspezifischen Gegebenheiten abgestimmt wurden.

Die Aufstellung der Investitionen ist Tabelle 9-3 zu entnehmen. Auf die in den einzelnen Ausgabekategorien ermittelten Zwischensummen wurde ein spezifischer Aufschlag für Unvorhergesehenes und Planungsleistungen sowie eine pauschale Preissteigerung 2021/22 abhängig von der Preisentwicklung der technischen Anlagen und Komponenten in Höhe von 5 % addiert, um einer für die Konzeptphase angemessenen konservativen Investitionskalkulation Rechnung zu tragen.

Die Investitionen gehen als jährlich gleichbleibende Zahlung in die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein. Die kapitalgebundenen Kosten orientieren sich an der Nutzungsdauer der technischen Anlagen gemäß VDI-Richtlinie 2067 – Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen (Bundesfinanzministerium, 2000).

Folgende Abschreibungszeiträume wurden angenommen:

- Holzkessel: 20 Jahre
- Photovoltaik: 20 Jahre
- Wärmepumpe: 20 Jahre
- Erdgaskessel: 20 Jahre
- Fernwärmeübergabestation: 10 Jahre
- Anlagentechnik und Installation: 15 Jahre
- Bautechnik (inkl. Wärmenetz): 40 Jahre
- Gebäude und Außenanlagen: 50 Jahre

Um die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes erneuerbarer Energieträger im Wärmebereich zu verbessern, können in der Regel Fördermittel auf Landes- und Bundesebene in Form von zinsgünstigen Krediten und direkten Zuschüssen in Anspruch genommen werden. Die staatliche Förderung

³ Aus ökologischer Sicht sollten vorrangig Energiequellen genutzt werden, die ohnehin vorhanden sind. Dies wäre als Letztes der Erdgas-Spitzenlastkessel, und auch Biomasse als begrenzte Ressource nur dann, wenn andere Wärmequellen nicht oder nur bedingt zur Verfügung stehen (Meereis, 2023).

erfolgt derzeit nach den Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt und besteht aus einem Investitionszuschuss über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Mit der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) wird der Neubau von Wärmenetzen und Heizzentralen mit hohen Anteilen erneuerbaren Energien sowie die Dekarbonisierung von bestehenden Netzen gefördert. Das Förderprogramm sieht sowohl eine systematische Förderung für erneuerbare und klimaneutrale Neubaunetze mit maximal 40 % der förderfähigen Ausgaben für die Investitionen in Erzeugungsanlagen und Infrastruktur vor, als auch eine Betriebskostenförderung für Solarthermieanlagen und Wärmepumpen (BAFA, 2022). Die Gesamtförderung wird auf die Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt. Hierfür muss aufgezeigt werden, dass „die beantragte Förderung unter Berücksichtigung sämtlicher Kosten-, Erlös- und Förderkomponenten über die Lebenszeit des zu fördernden Projekts sowie eines plausiblen kontrafaktischen Falls für die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens erforderlich ist“ (BMWK, 2022).

Die maximal möglichen Förderungen über die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) liegen entsprechend den Versorgungsvarianten und den tatsächlich zu verlegenden Leitungslängen hier zwischen ca. 3 und 3,5 Mio. € für die investiven Maßnahmen. Des Weiteren wurde eine Betriebskostenförderung für strombetriebene Wärmepumpen nach BEW berücksichtigt. Die Betriebskostenförderung liegen entsprechend den Versorgungsvarianten und der verbrauchten Strommengen in den Wärmepumpen jährlich zwischen ca. 131 Tsd. und 205 Tsd. €.

Neben den bereits genannten Förderprogramm, welches sich dadurch auszeichnen, dass sie bei Einhaltung der technischen und organisatorischen Vorgaben durch den Fördermittelgeber im Rahmen der Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln gesichert zur Verfügung stehen, gibt es weitere investive Förderprogramme, bei denen die Mittel im Bewerbungsverfahren vergeben werden. Insbesondere der Förderaufruf für investive Kommunale Klimaschutz Modellprojekte im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) bietet mit bis zu 80 % Förderung ein hohes Förderpotential (BMU, 2021).

Da diese genannten Förderprogramme nicht gesichert zur Verfügung stehen, wurden sie in den nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht berücksichtigt. Dies gilt auch für das bis Anfang Januar 2023 noch nicht konkretisierte neue Landesprogramm Wirtschaft 2021-2027 - Nachhaltige Wärmeversorgungssysteme. Ggf. kann sich die Wirtschaftlichkeit weiter verbessern.

Tabelle 9-3: Investitionen

Investitionen	Variante 1 Fernwärme PreBEG+ Großwärmepumpe + Erdgaskessel	Variante 2 Großwärmepumpe + Hackschnitzelkessel + Erdgaskessel	Variante 3 Großwärmepumpe + Pelletkessel + Erdgaskessel	Dimension
Wärmespeicher				
Volumen Pufferspeicher	56,2	99,2	99,2	m³
Pufferspeicher	73.060	178.560	178.560	€
Zwischensumme	73.060	178.560	178.560	€
Unvorhergesehenes	3.653	8.928	8.928	€
Preissteigerung	0	18.749	18.749	€
Planung, Gutachten etc.	11.507	30.936	30.936	€
Investition Wärmespeicher	88.220	237.172	237.172	€
Biomassekessel				
thermische Leistung		1.000	1.000	kW _{th}
Kesselanlage inkl. Pheripherie und Silo		670.000	670.000	€
Zwischensumme		670.000	670.000	€
Unvorhergesehenes		33.500	33.500	€
Preissteigerung		70.350	70.350	€
Planung, Gutachten etc.		116.078	116.078	€
Investition Biomassekessel		889.928	889.928	€
Erdgaskessel				
thermische Leistung	1.500	2.900	2.900	kW _{th}
Kesselanlage	60.000	120.000	120.000	€
Zubehör	20.000	30.000	30.000	€
Zwischensumme	80.000	150.000	150.000	€
Unvorhergesehenes	8.000	15.000	15.000	€
Preissteigerung	0	0	0	€
Planung, Gutachten etc.	13.200	24.750	24.750	€
Investition Erdgaskessel	101.200	189.750	189.750	€
Wärmepumpe				
thermische Leistung	1.304	1.304	1.304	kW _{th}
Wärmepumpe	490.000	490.000	490.000	€
Zubehör	155.000	155.000	155.000	€
Zwischensumme	645.000	645.000	645.000	€
Unvorhergesehenes	64.500	64.500	64.500	€
Preissteigerung	0	0	0	€
Planung, Gutachten etc.	106.425	106.425	106.425	€
Investition Wärmepumpe	815.925	815.925	815.925	€
Fernwärme PreBEG				
Anschluss inkl. Anlagen	60.000			€
Zwischensumme	60.000			€
Unvorhergesehenes	6.000			€
Planung, Gutachten etc.	9.900			€
Investition Fernwärme PreBEG	75.900			€
Elektro- und Anlagentechnik				
Druckhaltung und Wasseraufbereitung	100.000	100.000	100.000	€
Pumpen	120.000	120.000	120.000	€
Steuer- und Regelungstechnik	80.000	80.000	80.000	€
elektrische Einbindung	200.000	200.000	200.000	€
hydraulische Einbindung	90.000	90.000	90.000	€
Anlagenbau	150.000	150.000	150.000	€
Hausübergabestation (<= 50 kW)	586.800	586.800	586.800	€
Hausübergabestation (>120 kW)	108.800	108.800	108.800	€
Hausübergabestation (>150-200 kW)	72.800	72.800	72.800	€
Brennstoffversorgung	10.000	10.000	10.000	€
Abgasanlage	40.000	100.000	100.000	€
Zwischensumme	1.558.400	1.618.400	1.618.400	€
Unvorhergesehenes	155.840	161.840	161.840	€
Planung, Gutachten etc.	257.136	267.036	267.036	€
Investition Elektro- & Anlagentechnik	1.971.376	2.047.276	2.047.276	€
Wärmenetz				
Lange Transportleitungen	4.028	4.028	4.028	m
Lange Hausanschlussleitungen	1.488	1.488	1.488	m
Transportleitungen	2.618.200	2.618.200	2.618.200	€
Hausanschlussleitungen	446.400	446.400	446.400	€
Zwischensumme	3.064.600	3.064.600	3.064.600	€
Unvorhergesehenes	306.460	306.460	306.460	€
Planung, Gutachten etc.	505.659	505.659	505.659	€
Investition Wärmenetz	3.876.719	3.876.719	3.876.719	€
Grundstücke & Gebäude				
Heizhaus (Gebäude)	400.000	400.000	400.000	€
Außenanlage	50.000	50.000	50.000	€
Zwischensumme	450.000	450.000	450.000	€
Unvorhergesehenes	67.500	67.500	67.500	€
Planung, Gutachten etc.	77.625	77.625	77.625	€
Investition Grundstücke & Gebäude	595.125	595.125	595.125	€
Summe	7.524.465	8.651.895	8.651.895	€
Unvorhergesehenes	611.953	657.728	657.728	€
Preissteigerung	0	89.099	89.099	€
Planung, Gutachten etc.	981.452	1.128.508	1.128.508	€
Summe (inkl. Förderung)	4.500.759	5.236.637	5.236.637	€

9.1.4.3 WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNGEN

Für die untersuchten Szenarien wurde auf Basis der Investitionsschätzungen und der Energiebilanzen eine statische Wirtschaftlichkeitsberechnung anhand der Ein- und Auszahlungen in den Kategorien Kapitalkosten, Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungskosten und Energiebezugskosten durchgeführt (vgl. Tabelle 9-4). Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfolgt über die Berechnung der Wärmegestehungskosten des Wärmeerzeugersystems. Hierbei wurde eine Anschlussquote von 80 % angenommen.

Tabelle 9-4: Wärmegestehungskosten der zentralen Wärmeversorgung

Wirtschaftlichkeit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Dimension
	Fernwärme PreBEG+ Großwärmepumpe + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Hackschnitzelkessel + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Pelletkessel + Erdgaskessel	
Investitionen				
Wärmespeicher	88.220	237.172	237.172	€
Biomassekessel	0	889.928	889.928	€
Erdgaskessel	101.200	189.750	189.750	€
Wärmepumpe	815.925	815.925	815.925	€
Fernwärme PreBEG	75.900	0	0	€
Elektro- und Anlagentechnik	1.971.376	2.047.276	2.047.276	€
Wärmenetz	3.876.719	3.876.719	3.876.719	€
Grundstücke & Gebäude	595.125	595.125	595.125	€
Investitionssumme	7.524.465	8.651.895	8.651.895	€
Kapitalkosten				
Wärmespeicher	7.079	19.031	19.031	€
Biomassekessel	0	71.410	71.410	€
Erdgaskessel	8.121	15.226	15.226	€
Wärmepumpe	65.472	65.472	65.472	€
Fernwärme PreBEG	9.829	0	0	€
Elektro- und Anlagentechnik	189.927	197.239	197.239	€
Wärmenetz	225.928	225.928	225.928	€
Grundstücke & Gebäude	32.599	32.599	32.599	€
jährliche Kapitalkosten	538.955	626.906	626.906	€
Förderung				
Wärmespeicher	2.832	7.613	7.613	€
Biomassekessel	0	28.564	28.564	€
Erdgaskessel	0	0	0	€
Wärmepumpe	26.189	26.189	26.189	€
Fernwärme PreBEG	3.932	0	0	€
Elektro- und Anlagentechnik	74.044	74.657	74.657	€
Wärmenetz	94.707	94.707	94.707	€
Grundstücke & Gebäude	13.040	13.040	13.040	€
jährliche Förderung	214.743	244.769	244.769	€
Betrieb und Wartung				
Fernwärme PreBEG	660	0	0	€
Biomassekessel	0	19.346	19.346	€
Erdgaskessel	1.320	2.475	2.475	€
Wärmepumpen	14.190	14.190	14.190	€
Anlagentechnik und Installation	25.714	26.704	26.704	€
Wärmenetz	8.428	8.428	8.428	€
Grundstücke & Gebäude	1.294	1.294	1.294	€
Versicherung/Sonstiges	32.715	37.617	37.617	€
technische Betriebsführung	65.430	75.234	75.234	€
kaufmännische Betriebsführung	19.344	19.344	19.344	€
jährliche Betriebs- und Wartungskosten	169.094	204.631	204.631	€
Energiekosten				
Fernwärme PreBEG Arbeitspreis	597.918	0	0	€
Fernwärme PreBEG Grundpreis	22.051	0	0	€
Erdgas	6.182	153.758	153.758	€
Holz hackschnitzel	0	132.143	0	€
Holzpellets	0	0	424.448	€
Strom	1.052.689	1.590.595	1.590.595	€
Abwärme Klarwerk	161.973	238.581	238.581	€
CO ₂ -Bepreisung	450	11.185	11.185	€
jährliche Energiebezugskosten	1.841.263	2.126.262	2.418.567	€
Gutschriften				
Betriebskostenförderung Wärmepumpe (öfftl. Strom)	131.352	204.969	204.969	€
jährliche Energiebezugskosten	1.841.263	2.126.262	2.418.567	€
jährliche Energiebezugskosten abzgl. Förderung	1.709.910	1.921.293	2.213.598	€
Wirtschaftlichkeit				
jährliche Wärmegestehungskosten	2.203.216	2.508.061	2.800.366	€
jährliche spezifische Wärmegestehungskosten	21	23	26	ct/kWh

Von den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsberechnung ausgehend lässt sich grundsätzlich festhalten, dass die Wärmegestehungskosten der verschiedenen Versorgungsvarianten angesichts der in einem Quartierskonzept unvermeidbaren Planungsunsicherheiten und möglichen Schwankungen von Energie- und Baukosten in einer vergleichbaren Größenordnung liegen. Die Abwasserwärmepumpe in Kombination mit der Fernwärme der PreBEG und fossiler Spitzenlastabdeckung zur Versorgung des gesamten Quartiers weist zunächst die beste Wirtschaftlichkeit der drei

untersuchten zentralen Versorgungsvarianten auf. Dies liegt an den geringeren Kapital- und Betriebskosten sowie dem geringen Anteil an fossilem Erdgas und damit verbundenen CO₂-Kosten.

Die Wirtschaftlichkeit der alternativen zentralen Versorgungsvariante, in der ein großer Teil der Versorgung auf Wärmepumpen basiert, hängt entscheidend von der Entwicklung des sich verändernden Preises des erforderlichen Bezugs von Netzstrom ab. Die maßgebliche Ursache für die starke Kostendifferenz liegt in den hohen Kosten für den Netzstrom, der für den verbleibenden Betrieb der Wärmepumpen benötigt wird, sowie für den Erdgasbezug für die Spitzenlastkessel begründet.

9.1.5 CO₂-BILANZ UND PRIMÄRENERGIEFAKTOR

Auf Basis der CO₂-Emissionsfaktoren aus Tabelle 8-2 wurden für die einzelnen Versorgungsszenarien die CO₂-Bilanzen erstellt. Hierbei wurde das Methodenpapier „BISKO“ – Bilanzierungsstandard Kommunal zu Grunde gelegt, das vom Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH entwickelt wurde und für Energie- und Treibhausgasbilanzen Bilanzierungsregeln für Kommunen in Deutschland liefert (IfEU, 2019).

Bei der Verbrennung von Holzpellets und Hackschnitzeln werden im Gegensatz zu Heizöl und Erdgas nur die beim Herstellungs- und Veredelungsprozess sowie die beim Transport entstandenen Emissionen bilanziert. Bei der Verwendung von Strom entstehen Treibhausgasemissionen - in erster Linie durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie zum Beispiel Kohle - am Stromerzeugungsstandort, die dem Stromverbraucher am Verbrauchsort zugerechnet und durch die Auswahl der Stromherkunft wesentlich beeinflusst werden. Die auf dem Weg der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gewonnene Wärme aus Klärgas, die als „Nebenprodukt“ der Stromerzeugung in den Klärgasanlagen bereits heute entsteht und bisher z. T. ungenutzt bleibt, wird als CO₂-neutral angesehen.⁴ Sollte sich also zu einem späteren Zeitpunkt (aktuell waren dazu noch keine Angaben verfügbar) herausstellen, dass auch überschüssiges Klärgas der neuen Kläranlage zur Bereitstellung von Wärme genutzt werden kann, würde dies die Emissionsbilanz weiter verbessern.

Aktuell betragen die CO₂-Emissionen von dezentralen Öl-, Gas-, Strom- und Feststoffheizungen im Quartier aus der Wärmeversorgung (Heizung + Warmwasser) 3.538 t/a. Bei der Umsetzung einer zentralen Wärmeversorgung auf Basis von Abwasserwärme, Wärmelieferung der PreBEG und fossilem Spitzenlastkessel ergeben sich im Vergleich zu den gegenwärtigen Heizsituationen bei einer Anschlussquote von 80 % Einsparungen der CO₂-Emissionen von etwa 65 %, bei verbleibenden CO₂-Emissionen von 1.230 t/a.

Erfolgt die zentrale Wärmeversorgung des Quartiers alternativ durch einen Hackschnitzelkessel und die Abwasserwärmepumpe, erhöhen sich die Emissionen insbesondere aufgrund des zeitweise erforderlichen Bezugs von Erdgas auf 1.804 t/a im Vergleich zur vorstehenden Variante. Trotz der aktuell noch fossilen Erzeugungsanteile des deutschen Strommix ist die CO₂-Bilanz vergleichsweise gut und liegt somit deutlich unter dem Status quo. Hier könnte angesichts der in Schleswig-Holstein bilanziell bei über 100 % liegenden Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern allerdings kontrovers diskutiert werden, wie der Bezug von „echtem“ Ökostrom, bei

⁴ Auch wenn sich die (i. W. prozessbedingten) CO₂-Emissionen des Klärgas-BHKW auf die Strom- und Wärmeproduktion aufteilen ließen, steht doch hier fest, dass das Gas auf jeden Fall produziert würde und mit der Nutzung der überschüssigen Wärme gegenüber dem Status quo keine zusätzlichen CO₂-Emissionen verbunden sind.

dem Herkunftsnachweise und Bezugsquelle gekoppelt sind (Zerger, 2020), zu bewerten wäre um somit eine weitere Verbesserung gegenüber dem Status quo zu erreichen.

Tabelle 9-5 stellt die CO₂-Bilanzen der Versorgungsvarianten für das untersuchte Wärmenetze dar. In den Varianten wird aufgrund der Anschlussquote von 80 % nur ein Teil des Quartiers über ein Wärmenetz versorgt. Es wird unterstellt, dass die Beheizung der nicht versorgten Liegenschaften wie bisher bestehen bleibt.

Tabelle 9-5: Emissionsfaktoren der relevanten Energieträger CO₂-Emissionen der zentralen Wärmeversorgung

Emissionsfaktoren	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Dimension
	Fernwärme PreBEG+ Großwärmepumpe + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Hackschnitzelkessel + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Pelletkessel + Erdgaskessel	
Emissionsfaktor des zugeführten Energieträgers Fernwärme PreBEG	30	30	30	g CO ₂ /kWh
jährliche CO ₂ -Emissionen für Fernwärme PreBEG	189	0	0	t CO ₂
Emissionsfaktor des zugeführten Energieträgers Holz	25	25	25	g CO ₂ /kWh
jährliche CO ₂ -Emissionen für Holz	0	88	88	t CO ₂
Emissionsfaktor des zugeführten Energieträgers Strom	485	485	485	g CO ₂ /kWh
jährliche CO ₂ -Emissionen für Strom	1.035	1.564	1.564	t CO ₂
Emissionsfaktor des zugeführten Energieträgers Erdgas	247	247	247	g CO ₂ /kWh
jährliche CO ₂ -Emissionen für Erdgas	6	152	152	t CO ₂
CO₂-Emissionsfaktor	114	168	168	g CO₂/kWh
jährliche CO₂-Emissionen	1.230	1.804	1.804	t CO₂

In der Gesamtbilanz werden die Emissionen der nicht angeschlossenen Gebäude, bei denen unterstellt wird, dass die Beheizung wie bisher bestehen bleibt, berücksichtigt.

Tabelle 9-6: CO₂-Bilanz (jährliche Emissionen)

CO ₂ -Emissionbilanz	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Dimension
	Fernwärme PreBEG+ Großwärmepumpe + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Hackschnitzelkessel + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Pelletkessel + Erdgaskessel	
CO ₂ -Emissionen der zentralen Versorgung	984	1.443	1.443	t CO ₂
CO ₂ -Emissionen der dezentralen Versorgung	708	708	708	t CO ₂
Summe CO₂-Bilanz	1.692	2.151	2.151	t CO₂

Für die Ermittlung der Emissionen durch den Einsatz von Strom, welcher für den Betrieb der Anlagentechnik benötigt wird (z. B. Steuer- und Regelungstechnik der Wärmeerzeuger, Hochleistungspumpen zur Förderung des Wassers im Wärmenetz) wurde der spezifische Emissionsfaktor für den deutschen Strommix verrechnet. Dieser betrug im Jahr 2021 etwa 485 g/kWh. Aufgrund der jährlichen Zunahme des Erneuerbare-Energien-Anteils an der Stromerzeugung in Deutschland werden die Emissionen des deutschen Strommix in Zukunft niedriger ausfallen.

Kritisch bei der Bewertung des Einsatzes von Erdgas im Spitzenlastheizwerk ist der Methanschluß, d. h. der Teil des Erdgases, das unverbrannt durch den Verbrennungsraum von Erdgaskesseln schlüpft (Traber & Fell, 2019). Diese ist in den üblichen Emissionsfaktoren gemäß BSKO-Bilanzierung wie in Tabelle 8-2 dargestellt noch nicht enthalten. Die Klimawirkung von Methan ist dabei etwa 25-mal so hoch wie die von CO₂. Hier gibt es jedoch bisher keine abschließenden quantitativen Bewertungen; so dürfte die Höhe des Methanschlusses auch von der konkreten Anlagentechnik abhängen.

Da eine komplette kurzfristige Umsetzung der Gebäudesanierungen als sehr unwahrscheinlich erscheint, werden die Primär- und Endenergiebedarfe für den aktuellen Gebäudebestand angegeben.

Der Primärenergiebedarf der einzelnen Versorgungsvarianten für die untersuchten Wärmenetze ergibt sich aus dem Nutzwärmebedarf multipliziert mit dem berechneten Primärenergiefaktor. Tabelle 9-7 stellt die Primärenergiebedarfe der Versorgungsvarianten für die untersuchten Wärmenetze bei einer Anschlussquote von 80 % dar. Es zeigt sich, dass die Variante mit der Fernwärme der PreBEG, welche mit einem Emissionsfaktor von 0,2 bewertet wird, den zusammen mit Holz niedrigsten Primärenergiefaktor besitzt. Zudem ist in dieser Variante ein geringer Anteil an Strom und Erdgas enthalten. Dementsprechend weisen die Varianten mit einem höheren Anteil von Erdgas und Strom einen höheren Primärenergiefaktoren auf.

Tabelle 9-7: Primärenergiebedarf der zentralen Wärmeversorgung

Primärenergiefaktor	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Dimension
	Fernwärme PreBEG+ Großwärmepumpe + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Hackschnitzelkessel + Erdgaskessel	Großwärmepumpe + Pelletkessel + Erdgaskessel	
Primärenergiefaktor des zugeführten Energieträgers Fernwärme PreBEG	0,2	0,2	0,2	
Primärenergiebedarf Fernwärme	1.258.775	0	0	kWh _{Hi}
Primärenergiefaktor des zugeführten Energieträgers Holz	0,2	0,2	0,2	
Primärenergiebedarf Holz	0	706.424	706.424	kWh _{Hi}
Primärenergiefaktor des zugeführten Energieträgers Strom	1,8	1,8	1,8	
Primärenergiebedarf Strom	3.841.984	5.805.172	5.805.172	kWh _{Hi}
Primärenergiefaktor des zugeführten Energieträgers Erdgas	1,1	1,1	1,1	
Primärenergiebedarf Erdgas	27.154	675.398	675.398	kWh _{Hi}
Primärenergiefaktor	0,48	0,67	0,67	
Primärenergiefaktor nach Kappung (§ 22 Abs. 3 GEG)	0,48	0,67	0,67	
Primärenergiebedarf gesamt	5.127.913	7.186.993	7.186.993	kWh_{Hi}

9.2 BETREIBERKONZEPTE

Sollte im Quartier ein Wärmenetz errichtet werden, stellt sich die Frage nach dem Betreiber. Grundsätzlich sind verschiedene Funktionen zu erfüllen:

- Aufbau des Wärmenetzes,
- Eigentum am Wärmenetz,
- Betrieb des Wärmenetzes,
- Aufbau zusätzlicher Wärmeerzeugungsanlagen,
- Betrieb der Wärmeerzeugungsanlagen,
- administrative Tätigkeiten (Abrechnungen etc.).

Tabelle 9-8: Übersicht über mögliche Betreibermodelle

MODELL	VORTEILE	NACHTEILE
BÜRGERENERGIEGENOSSENSCHAFT	<ul style="list-style-type: none"> • Abnehmer als Miteigentümer (identitätsstiftend!) • ggf. auch andere Versorgungen (Strom etc.) möglich • Wertschöpfung verbleibt zu großen Teilen in der Kommune • keine Gewinnmargen 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwand für Gründung und Aufbau der institutionellen und technischen Infrastruktur⁵ • Hohes Engagement von „Treibern“ nötig • Erfahrung mit Wärmenetzen und Wärmeerzeugung abhängig von Kompetenz der „Treiber“
KOMMUNE / NEU ZU GRÜNDENDES KOMMUNALES EVU	<ul style="list-style-type: none"> • auch andere Versorgungen (Strom etc.) möglich • ggf. Kommunalkreditkonditionen • Wertschöpfung verbleibt zu großen Teilen in der Kommune 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwand für Gründung und Aufbau der institutionellen und technischen Infrastruktur • Erfahrung mit Wärmenetzen und Wärmeerzeugung wie mit Abrechnung fehlt i. d. R. zunächst
EVU AUS DER REGION	<ul style="list-style-type: none"> • Know-how zu Errichtung, Betrieb i. d. R. vorhanden • Infrastruktur für Abrechnungen u. ä. vorhanden • ggf. Kommunalkreditkonditionen • ggf. kostengünstiger Einkauf (Mengen!) und Effizienzvorteile • Wertschöpfung verbleibt in (größerer) Region 	<ul style="list-style-type: none"> • ggf. Interessenkonflikte wg. Gasverkauf • Erfahrung mit Wärmenetzen und den hier vorgesehenen Wärmequellen im Einzelfall zu prüfen
EVU AUS ANDEREN REGIONEN (CONTRACTOR)	<ul style="list-style-type: none"> • Know-how zu Errichtung, Betrieb i. d. R. vorhanden • Infrastruktur für Abrechnungen u. ä. vorhanden • ggf. kostengünstiger Einkauf (Mengen!) und Effizienzvorteile • Umfangreiche Erfahrungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrung mit den hier vorgesehenen Wärmequellen zu prüfen • Gewinnmarge fließt aus der Region ab

Diese Funktionen können grundsätzlich von unterschiedlichen Unternehmen wahrgenommen werden. Auch der Betrieb von Wärmeerzeugungsanlagen kann sich wiederum auf verschiedene Anbieter verteilen. Selbst wenn die Gesamtverantwortung in einer Hand liegt, können Teilfunktionen an externe Dienstleister vergeben werden oder Kooperationen (Joint Venture) aus lokalen Akteuren und externen Dienstleistern gegründet werden. Kriterien für die Entscheidung sind unter anderem

- Erfahrung, Effizienz, Professionalität;

⁵ falls nicht schon vorhanden

- Skaleneffekte / Preis;
- Maximierung der regionalen Wertschöpfung;
- Vermarktung / Identitätsstiftung bei den potenziellen Kunden.

Eine Übersicht über verschiedene Modelle zeigt Tabelle 9-8.

Für eine Bürgerenergiegenossenschaft, wie sie in Preetz mit der PreBEG bereits besteht, spricht vor allem der auch unter Vermarktungseffekten wichtige Effekt, dass die Bürger ihre Energieversorgung in die eigene Hand nehmen, nicht mehr von Entscheidungen Dritter abhängen, mögliche Gewinne an die Nutzer zurückfließen und die Wertschöpfung in der Region gehalten werden kann. Die regionale Wertschöpfung und der Rückfluss von Gewinnen ist dabei jedoch nur in dem Umfang möglich, indem die Wertschöpfung auch tatsächlich innerhalb der Genossenschaft erfolgt. Sie sinkt in dem Umfang, in dem Leistungen von außen eingekauft werden, wenn die Genossenschaft nicht selbst über die nötigen Arbeitskapazitäten oder Kompetenzen verfügt. Ihr Aufbau erfordert auf jeden Fall bürgerschaftliches Engagement und erfahrungsgemäß auch einige lokale „Treiber“, die sich der Gründung und des Aufbaus annehmen.

Grundsätzlich ähnlich gelagert ist die Situation, wenn die Kommune, ggf. über ein neu zu gründendes kommunales EVU, die Leistungen erbringt, nur dass die Kommune an die Stelle der Genossen tritt. Ein Vorteil könnten hier, gerade bei Investitionen in das Netz und auch in Erzeugungsanlagen, die Kommunalkreditkonditionen sein. Zudem kann die Kommune die Refinanzierung des Netzes über die gesamte Lebensdauer von etwa 40 Jahren kalkulieren. Contractoren könnten sich dagegen möglicherweise, wenn sie Unsicherheiten hinsichtlich der langfristigen Nutzung sehen und keine Übergabvereinbarungen mit der Kommune bestehen, bei ihrer Kalkulation an den anfänglichen Vertragslaufzeiten von 10 oder 15 Jahren orientieren, was zu höheren Kapitalkosten führt.

Konkret im Klosterquartier bieten sich verschiedene Konstellationen an. So besteht bereits die PreBEG, welche ein Wärmenetz und ein Heizwerk nordwestlich der Stadt plant. Auch der Ausbau der Wärmeversorgung des Klosterquartiers könnte durch die Bürgerenergiegenossenschaft erfolgen. Dies setzt voraus, dass die PreBEG bereit und in der Lage ist, auch die Investitionen in den weiteren Netzausbau zu tätigen sowie die zusätzlichen Anlagen zur Wärmeerzeugung zu bauen und zu betreiben.

Sollte dies nicht der Fall sein, könnte der Ausbau auch durch die Kommune selbst erfolgen. Dies muss nicht zwangsläufig dazu führen, dass die Kommune die Netze auch betreibt, denn sie könnte sie wiederum langfristig an die PreBEG oder weitere potenzielle Betreiber verpachten, so dass sie keinerlei Belastung durch operative Aufgaben (Betrieb, Sicherung der Redundanz, Abrechnungen etc.) hätte. Die Abwasserwärmepumpe könnte von der Preetzer AZV oder denselben Akteuren, die für das Wärmenetz infrage kommen, installiert und betrieben werden. Inwiefern die Stadtwerke Kiel als bisheriger Grundversorger von Strom und Gas in Preetz sowie als Betreiber eines kleineren Insel-Wärmenetzes in einem anderen Teil der Stadt bereit wären, hier eine Rolle zu übernehmen, wäre zu klären.

Denkbar sind auch gemischte Verantwortlichkeiten. Beispielsweise könnte der PreBEG in das Wärmenetz einspeisen, das von einem anderen Akteur betrieben wird. Dieser Akteur kauft die Fernwärme der PreBEG an und ist für den Weiterverkauf an die Nutzer sowie die Sicherung der Redundanz und Betrieb der Abwasserwärmepumpe verantwortlich. Der Betreiber des

Wärmenetzes könnte das Wärmenetz selbst besitzen oder von der Kommune gepachtet haben. Eine höhere Komplexität der Konstruktion könnte aber auch zu höheren administrativen Kosten führen.

9.3 DEZENTRALE VERSORGUNGSOPTIONEN

Als Kostenvergleich zu einer zentralen Wärmeversorgung sowie ggf. für die Teile des Quartiers, in denen aus unterschiedlichen individuellen Gründen kein Fernwärmeanschluss in Frage kommt, wurde für ein quartierstypisches Einfamilienhaus verschiedene dezentrale Wärmeversorgungsoptionen gegenübergestellt. Die Berechnungen berücksichtigen dabei die seit Mitte August des Jahres 2022 geltenden Fördermöglichkeiten für den Heizanlagentausch aus der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BAFA, 2021), die in Tabelle 9-9 dargestellt sind.

Tabelle 9-9: Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Einzelmaßnahmen zur Sanierung von Wohngebäuden (WG) und Nichtwohngebäuden (NWG)		Fördersatz	Fördersatz mit Heizungs-Tausch-Bonus	Fachplanung
Gebäudehülle ¹	Dämmung von Außenwänden, Dach, Geschossdecken und Bodenflächen; Austausch von Fenstern und Außentüren; sommerlicher Wärmeschutz	15 %		50 %
Anlagentechnik ¹	Einbau/Austausch/Optimierung von Lüftungsanlagen; WG: Einbau „Efficiency Smart Home“; NWG: Einbau Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Raumkühlung und Beleuchtungssysteme	15 %		
Heizungsanlagen	Solarthermieanlagen	25 %		
	Wärmepumpen ²	25 %	35 %	
	Biomasseanlagen ²	10 %	20 %	
	Innovative Heizanlagen auf EE-Basis	25 %	35 %	
	EE-Hybridheizungen mit Biomasseheizung ^{2,3}	20 %	30 %	
	EE-Hybridheizungen ohne Biomasseheizung ³	25 %	35 %	
	Errichtung, Erweiterung, Umbau eines Gebäudenetzes Mindestens 55 % Anteil EE im Wärmemix	25 %		
	Anschluss an ein Gebäudenetz Mindestens 25 % Anteil EE im Wärmemix	25 %	35 %	
	Anschluss an ein Wärmenetz Mindestens 25 % Anteil EE im Wärmemix oder Primärenergiefaktor höchstens 0,6	25 %	35 %	
Heizungsoptimierung ¹		15 %		

¹ ISFP-Bonus: Bei Umsetzung einer Sanierungsmaßnahme als Teil eines im Förderprogramm „Bundesförderung für Energieberatung für Wohngebäude“ geförderten individuellen Sanierungsfahrplanes (ISFP) ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.

² Innovationsbonus Biomasse: Bei Einhaltung eines Emissionsgrenzwertes für Feinstaub von max. 2,5 mg/m³ ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.

³ Wärmepumpen-Bonus: Wenn als Wärmequelle Wasser, Erdreich oder Abwasser erschlossen wird, ist ein zusätzlicher Förderbonus von 5 % möglich.

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

Entscheidend für die Förderquote einer Erneuerung der Heizungsanlage ist, ob die bisherige Heizung eine Gas- oder Ölheizung war. Da sich auf Grundlage der Schornsteinfegerdaten ein hoher Anteil an Gasheizungen im Quartier abschätzen lässt, wurde in den Berechnungen von einer dezentralen Gasheizung als aktuelle Versorgungsvariante ausgegangen. Abbildung 9-3 zeigt die Jahreskosten mit Berücksichtigung eines CO₂-Preises von 74 € pro Tonne, wie sie aufgrund des sukzessiven und über 2025 hinaus linearen Anstiegs der CO₂-Bepreisung im Mittel in den nächsten zehn Jahren bis 2032 möglich ist.

Beim Austausch eines (vorhandenen) Gaskessels wurde davon ausgegangen, dass zusätzlich eine Solarthermieanlage errichtet wird, um so die Anforderungen von § 9 Abs. 1 EWKG zu erfüllen.⁶

⁶ „Beim Austausch oder dem nachträglichen Einbau einer Heizungsanlage ab dem 1. Juli 2022 sind die Eigentümerinnen und Eigentümer der betroffenen Gebäude, die vor dem 1. Januar 2009 errichtet wurden, verpflichtet, mindestens 15 Prozent des jährlichen Wärme- und Kälteenergiebedarfs durch Erneuerbare Energien zu decken. ...“

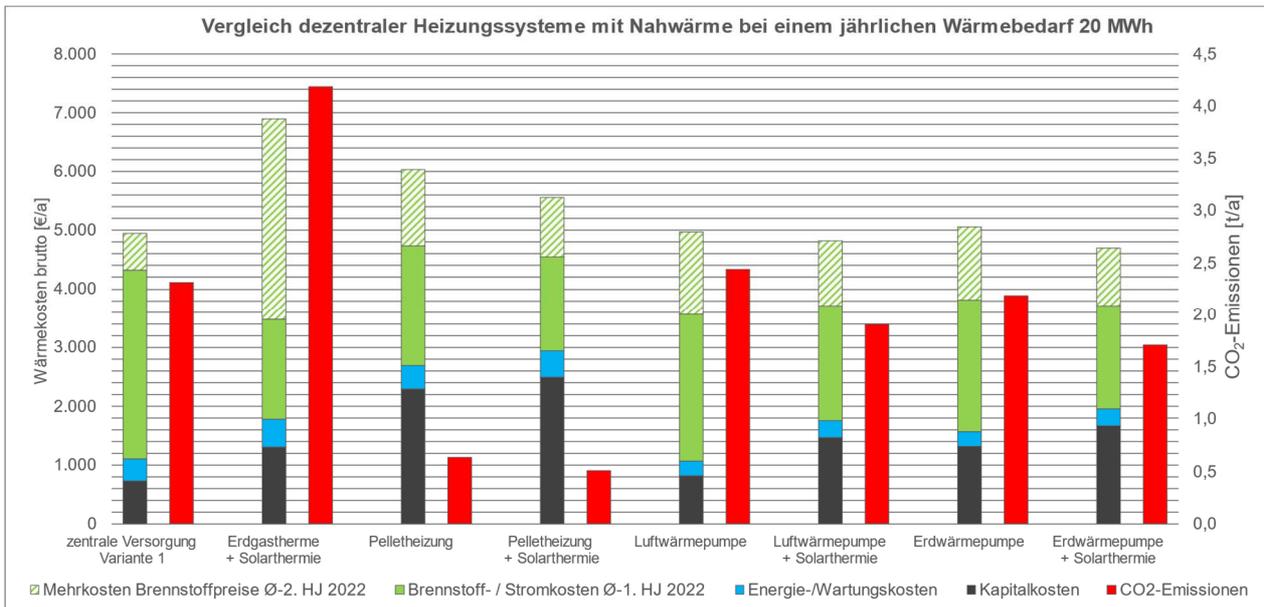


Abbildung 9-3: Vergleich der günstigsten zentralen Versorgungslösung mit dezentralen Versorgungsoptionen - durchschnittliche Brennstoff- / Stromkosten 1. Halbjahr 2022 und Mehrkosten zum Dezember 2022

9.4 VERGLEICH ZENTRALER UND DEZENTRALER VERSORGUNGSOPTIONEN

Die Berechnungen (siehe Abbildung 9-3) haben gezeigt, dass der Aufbau einer zentralen Wärmeversorgungslösung zur Versorgung des gesamten Quartiers unter den getroffenen Annahmen und einer maximalen Förderung von 40 % der förderfähigen Ausgaben ca. 5 bis 9 % günstiger ist als die dezentralen Beheizungsmöglichkeiten mit einer Pelletheizung und 13 bis 27 % teurer als die restlichen dezentralen Versorgungsoptionen.

Um die Auswirkungen von Preisschwankungen von Energie zu verdeutlichen, wurde zum Vergleich neben den durchschnittlichen Preisen von Gas, Strom und Holzpellets vom ersten Halbjahr 2022 auch die Mehrkosten durch die Preise vom November und Dezember 2022 ausgewiesen. Mit steigenden Energiepreisen, wie sie in dem 2. Halbjahr 2022 zu verzeichnen waren, sind die Wärmekosten der Nahwärmelösung ca. bis zu 37 % günstiger als die dezentralen Heizungssysteme. Insbesondere die Gasheizung ist nicht nur am klimaschädlichsten, sondern dann auch am teuersten. Eine dezentrale Versorgung mittels einer Wärmepumpe ist auch mit den Preisen zum zweiten Halbjahr 2022 bis zu 5% günstiger als die Nahwärmeversorgung. Jedoch gilt bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen zu beachten, dass ein Aufstellort für die Außeneinheit der Wärmepumpe gegeben sein muss, der die Bedingungen an Schallemissionen erfüllen muss. Bei der Erdwärmepumpe muss ein geeigneter Ort für eine Bohrung vorhanden sein. Die weiteren Entwicklungen der Energiepreise, insbesondere des Pellets-, Gas- und Strompreises, verschieben die in der Abbildung dargestellten Verhältnisse zugunsten der zentralen Versorgung.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der Nahwärmeversorgung zunächst eine Anschlussquote von 80 % angenommen wurde und sich durch eine niedrigere / höhere Anschlussquote die Wirtschaftlichkeit zentraler Lösungen verschlechtert / verbessert.

Da in allen Berechnungen Annahmen eingeflossen sind und Brennstoffpreise ebenso wie Investitionskosten sich weiter ändern werden, ist die heute seriös zu treffende Aussage vor allem die,

- dass die Kosten für eine Nahwärmeversorgung über ein Wärmenetz derzeit in einer ähnlichen Höhe liegen wie die dezentraler Beheizungsmöglichkeiten,
- dass aber eine Nahwärmeversorgung aufgrund der Nutzung ohnehin anfallender Abwärme sowie aufgrund der Verbundlösung mit mehreren Wärmequellen voraussichtlich den Vorteil einer deutlich höheren Preisstabilität aufweist.

Da in diesen getroffenen Annahmen im Rahmen eines Quartierskonzeptes systembedingt noch Ungenauigkeiten liegen, wurden im Kapitel 9.5 unterschiedlichste Sensitivitätsanalysen durchgeführt, indem die Kosten beeinflussende Parameter variiert wurden.

Die ökologische Betrachtung hat gezeigt, dass trotz nicht zu vernachlässigbarer Netzverluste durch den Aufbau eines zentralen Wärmenetzes erhebliche Einsparpotentiale im Bereich der CO₂-Emissionen und des Primärenergieeinsatzes zu erreichen sind. Dezentral sind diese lediglich mit einer Pelletheizung erreichbar, die jedoch mit einem zumindest bei den Einfamilienhäusern des Quartiers teilweise problematischen Platzbedarf für Kessel und insbesondere für die Pellets sowie mit einem deutlich höheren Aufwand der Nutzer für die Bestellung von Brennstoff, die Entsorgung von Asche, Wartung / Reparatur und zu gegebener Zeit Neubeschaffung verbunden ist.

Die vergleichsweise hohen CO₂-Emissionen der Wärmepumpen sind darauf zurückzuführen, dass hier die Emissionen des deutschen Strommix angesetzt wurden. Zum einen werden diese mit zunehmendem Umstieg von fossilen auf regenerative Energieträger weiter sinken. Zum anderen könnte hier auch argumentiert werden, dass gerade in Schleswig-Holstein der Strom weit überwiegend regenerativ ist und aktuell zu bestimmten Zeiten sogar Anlagen abgeregelt werden müssen. Wird bei den Wärmepumpen „echter“ Ökostrom angesetzt (Zerger, 2020), fallen nur noch minimale CO₂-Emissionen an.

9.5 SENSITIVITÄTSANALYSE

Anhand eines typischen Einfamilienhauses mit einem jährlichen Wärmebedarf von 20 MWh im Quartier wurden die jährlichen Wärmekosten unter Veränderung von jeweils einem wesentlichen Berechnungsparameter variiert und interpoliert. Dabei wurde keine Inflation unterstellt. Diese Systematik zeigt Chancen und Risiken eines Projektes auf und lässt auch eine Nutzung der zuvor erstellten Berechnungen unter geänderten Rahmenbedingungen zu. Anhand der Grafiken kann die Auswirkung u. a. von Energiepreisänderungen auf das Projekt überschlägig ermittelt werden.

Wichtig ist vor allem, ob sich bei der Variation die Rangfolge der Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten verändert, d. h. die Entscheidung für eine bestimmte Versorgungsvariante bei sich ändernden Bedingungen ab einem bestimmten Punkt unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten anders ausfallen könnte.

Zur Abschätzung wirtschaftlicher Chancen und Risiken durch sich verändernde Energiepreise bedarf es zunächst der Quantifizierung möglicher Energiepreisentwicklungen.

Tabelle 9-10 gibt einen Überblick über die Eingangsparameter der Sensitivitätsanalyse. Tabelle 9-11 zeigt die Legende der Diagramme zur Sensitivitätsanalyse. Für die wirtschaftliche Bewertung der zentralen Versorgungsvarianten wurde der durchschnittliche Preis von Gas, Strom, Holzhackschnitzeln und Holzpellets angesetzt, der im zweiten Halbjahr eingetreten ist.

Tabelle 9-10: Eingangsparmeter der Sensitivitätsanalyse

PREISCHANCEN / -RISIKEN	
Erdgaspreise	10 ct/kWh bis 40 ct/kWh
Strompreise	30 ct/kWh bis 100 ct/kWh
Holzpelletspreise	0 ct/kWh bis 30 ct/kWh
Wärmebezug von der PreBEG	0 ct/kWh bis 15 ct/kWh

Tabelle 9-11: Legende der Diagramme zur Sensitivitätsanalyse

DZ	Dezentrale Versorgung	PH	Pelletheizung
EWP	Erdwärmepumpe	LWP	Luftwärmepumpe
GH	Gasheizung	ST	Solarthermie
HSH	Hackschnitzelheizung	Z	Zentrale Versorgung (Wärmenetz)
FW	Fernwärme Pre BEG	WP	Abwasserwärmepumpe

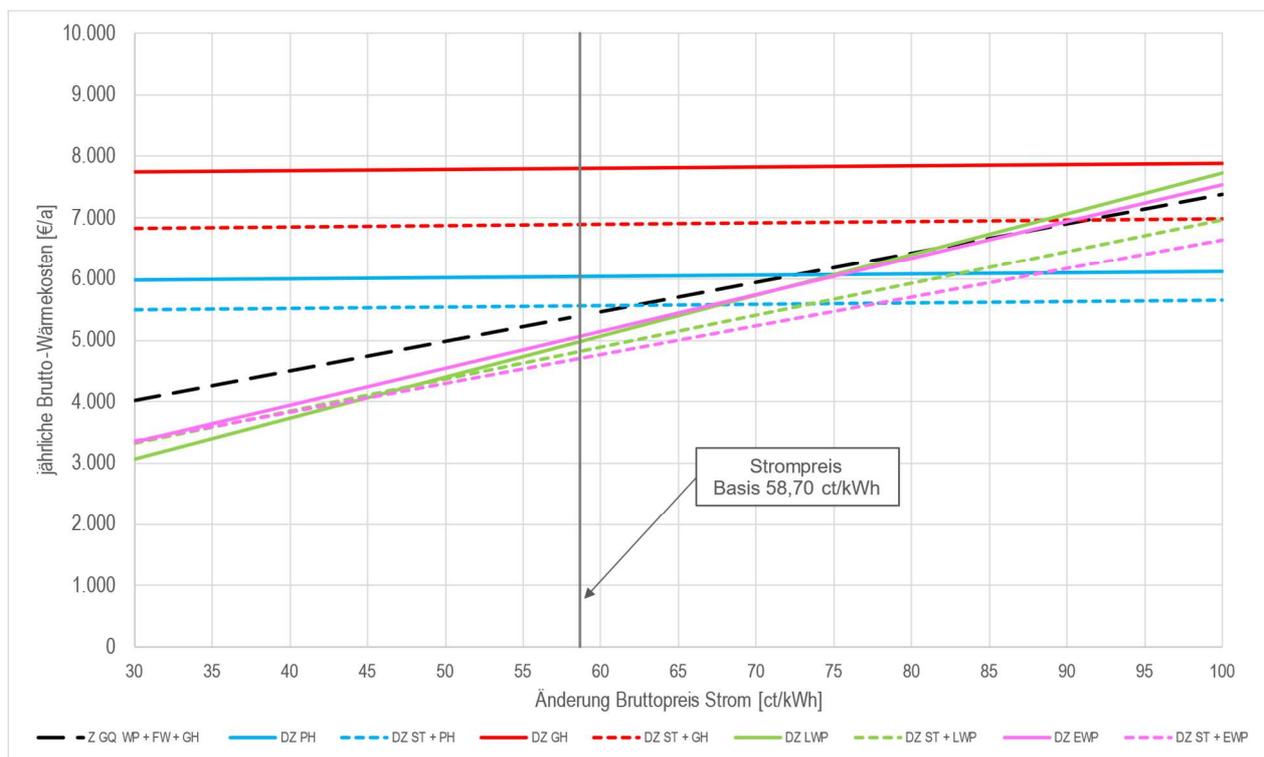


Abbildung 9-4 Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Strom

Da der Preis für Strom bisher noch stark an die Entwicklung des Gaspreises gekoppelt ist, gilt eine ähnlich große Preisspanne von 30 bis 100 ct/kWh wie für den Energieträger Erdgas. Die Kosten der dezentralen Variante, welche Wärmepumpen beinhalten, steigen im Vergleich zu den Varianten ohne Wärmepumpen am stärksten, da der Energieträger Strom in den Wärmepumpen als einzige kostenpflichtige Energiequelle neben der kostenlosen Umweltenergie eingesetzt wird. Die zentrale Versorgungsoption unterliegt den geringsten Schwankungen im Vergleich zu den Wärmepumpen-Varianten.

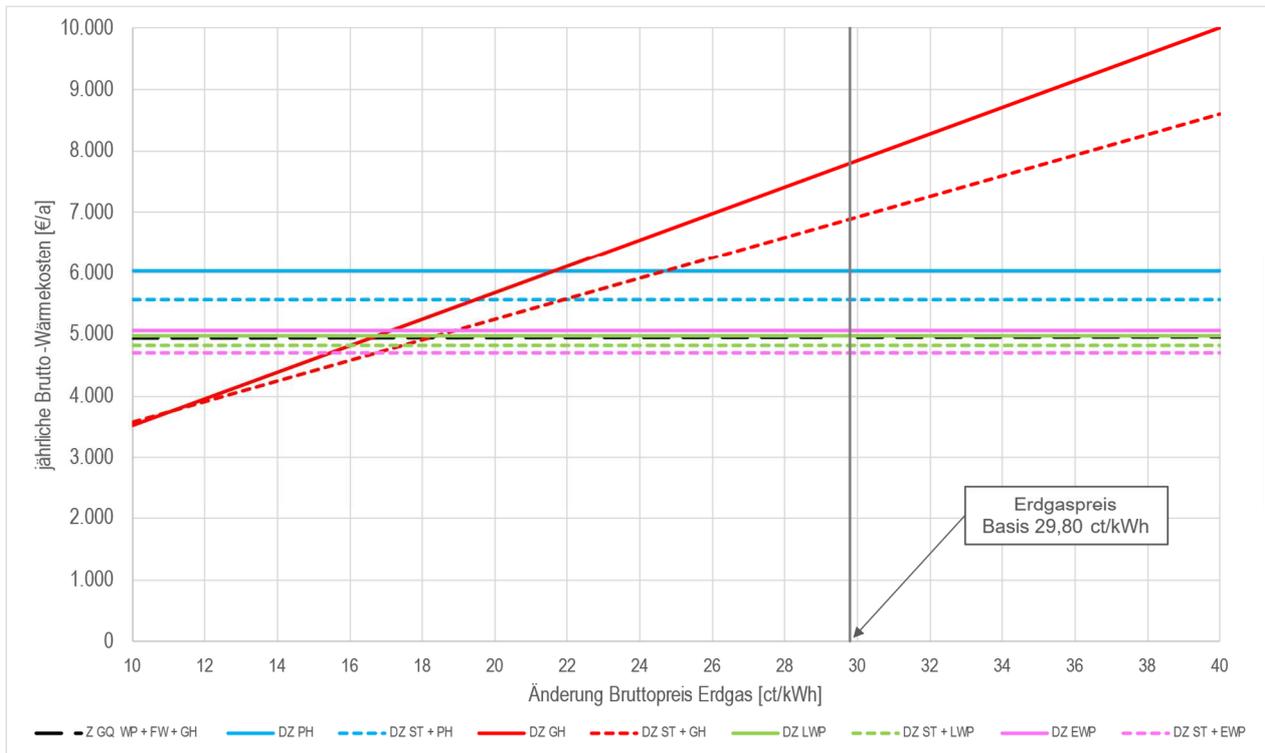


Abbildung 9-5: Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Erdgas

Für den fossilen Energieträger Erdgas werden die Wärmepreise der Versorgungsvarianten innerhalb einer Preisspanne von 10 bis 40 ct/kWh ermittelt, was auch sehr stark schwankende Kosten, wie sie u. a. durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine verursacht wurden, berücksichtigt. Die Wärmekosten der dezentralen Variante mit einem Erdgaskessel in Verbindung mit Solarthermie steigt im Vergleich zu den anderen Varianten, da diese Variante anteilig Erdgas für die Wärmeerzeugung einsetzt. Sobald der Erdgaspreis über 18 ct/kWh brutto liegt, ist die zentrale Versorgungsoption günstiger als die Variante mit Erdgaskessel in Verbindung mit Solarthermie ist.

Auch die zentrale Variante setzt punktuell Erdgas ein. Der Anteil ist jedoch mit etwa 1 % der Wärmegewinnung so gering, dass die Auswirkungen praktisch nicht erkennbar sind.

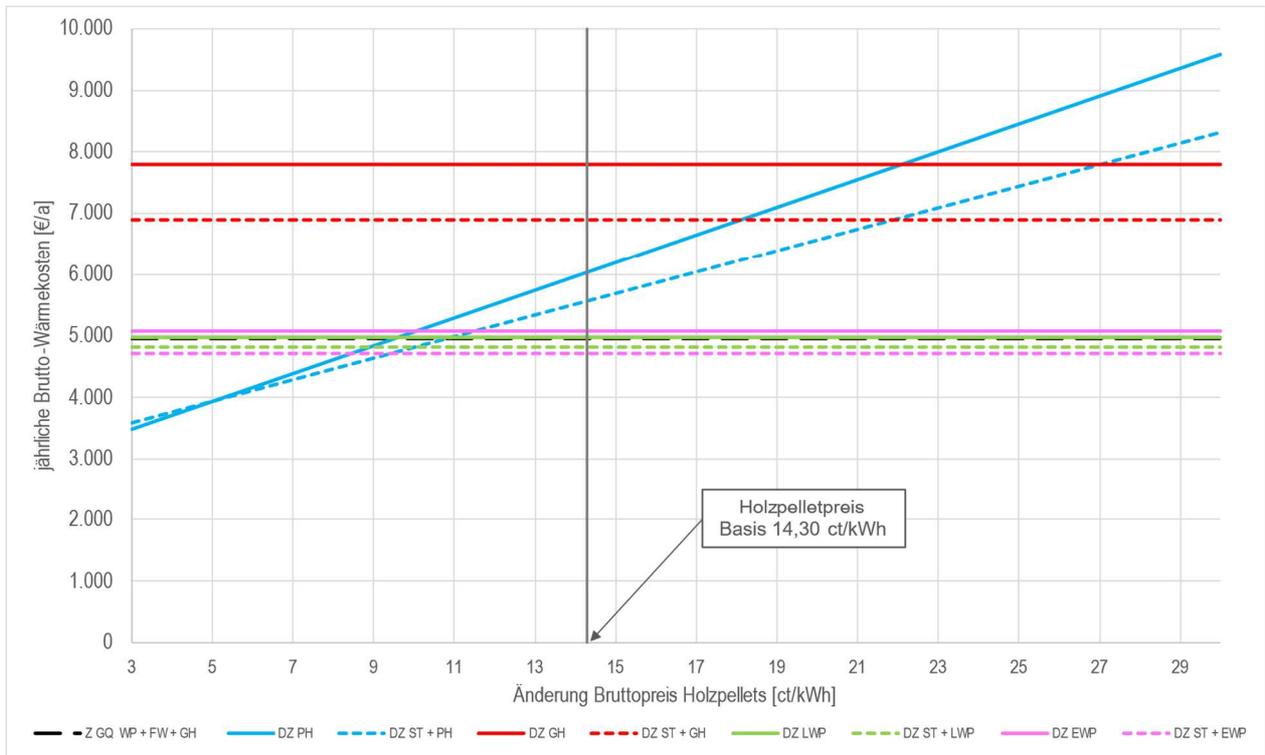


Abbildung 9-6: Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Holzpellets

Der Preis für Holzpellets stieg von Januar 2022 bis Dezember 2022 um über 70 % (C.A.R.M.E.N., o. J.). Sollten zukünftig viele neue Holzpelletheizungen installiert werden, ohne dass zusätzliche Angebote auf den Markt kommen, dürfte der Pelletpreis steigen. Falls der Holzpelletpreis eine negative Entwicklung am Markt nimmt, z. B. aufgrund eines Überangebotes von auch importierten Pellets, dann sind die Wärmekosten der Holzpelletkessel - Varianten ab einem Holzpelletsbruttopreis von 10 ct/kWh vergleichbar mit den dezentralen Wärmepumpen-Varianten und der zentralen Variante.

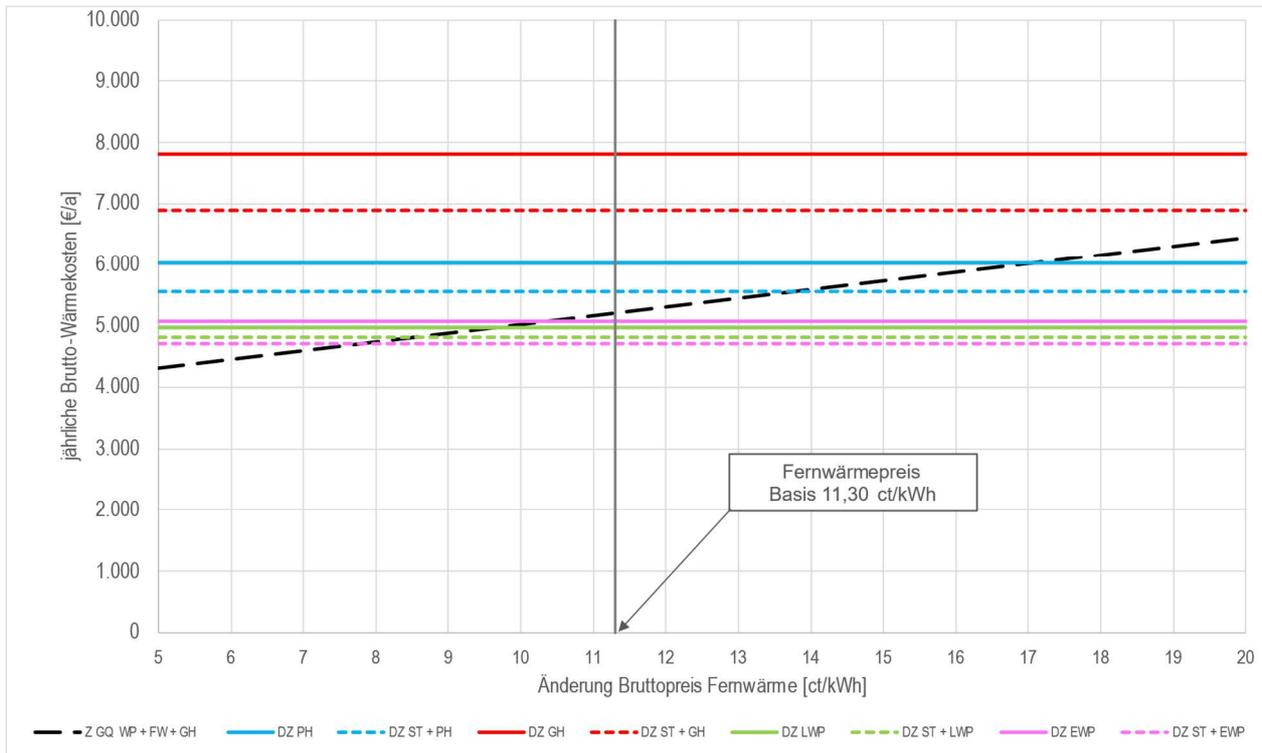


Abbildung 9-7: Wärmekosten bei Preissteigerungsraten für Fernwärme der PreBEG

Die Wärme zur Fernwärmeversorgung der PreBEG basiert auf erneuerbaren Energien durch solothermische Anlagen sowie Pyrolyse. Die Fernwärmeversorgung bietet stabile Wärmepreise, die auf Basis der Beschaffungskosten von Holzhackschnitzeln aus der Region variieren. Die Preisbildung hängt maßgeblich von den vereinbarten Preissteigerungsformeln und deren Indizes ab. Diese werden in einem Wärmeliefervertrag vereinbart.

9.6 ZUSAMMENFASSUNG WÄRMEERZEUGUNG

Die Berechnungen haben gezeigt, dass der Aufbau einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung sehr stark zur Senkung der CO₂-Emissionen beitragen kann. Durch Nutzung von Wärme des Abwassers der Kläranlage könnten rund 45 % der im Quartier benötigten Wärmemenge durch regenerativ erzeugte Wärme bereitgestellt werden. Die Fernwärmeversorgung der PreBEG kann rund 55 % der benötigten Wärme bereitstellen. Ein Erdgaskessel wurde zur Redundanzbesicherung berücksichtigt. Der Erdgaskessel liefert zudem zur Spitzenlastabdeckung weniger als 1 % der benötigten Wärme.

Die Berechnungen haben ferner gezeigt, dass die Vergleiche verschiedener Energiesysteme sehr stark von der Entwicklung der Energiepreise abhängen. Eine besonders hohe Preisstabilität weist dabei die Nahwärmeversorgung im Vergleich zu dezentralen (jeweils hauseigenen) Heizanlagen auf, auch aufgrund der Verbundlösungen mit mehreren Wärmequellen (Strom, Holz, Erdgas, Umwelt).

In Entscheidungen sind neben den aktuellen Preisen und den CO₂-Emissionen weitere Faktoren mit einzubeziehen, wie etwa der höhere Komfort einer leitungsgebundenen Nah- / Fernwärmeversorgung. So besteht keine Notwendigkeit mehr, sich um Reparatur, Wartung, Brennstoffbeschaf-

fung etc. der dezentralen Anlagen zu kümmern und, im Gegensatz zu Öl- oder Pelletheizungen, Platz für die Brennstoffbevorratung in den einzelnen Gebäuden vorzusehen.

In Bereichen mit niedriger Wärmeabnahmedichte, insbesondere bei alleinstehenden Liegenschaften, lohnt sich die Versorgung über ein Wärmenetz wegen der hohen Investitionen und Wärmeverluste der Leitungen oft nicht. Im Klosterquartier in Preetz weist die leitungsgebundenen Nah- / Fernwärmeversorgung mit 1,9 MWh/Tm je Jahr eine sehr hohe Wärmeliniendichte auf, somit sind die Voraussetzungen für die Umsetzung einer leitungsgebundenen Nah- / Fernwärmeversorgung gegeben. Die dezentrale Variante Pelletheizung in Verbindung mit Solarthermie bietet im Vergleich zu den betrachtenden Varianten die niedrigsten CO₂-Emissionen. Aus wirtschaftlicher Sicht ist die dezentrale Lösung mit Erdwärmepumpe und Solarthermie im Vergleich die kostengünstigste. Jedoch gilt zu berücksichtigen, dass die Bedingung zur Umsetzung der Variante ein geeigneter Bohrplatz ist.

10 UMSETZUNGHEMMNISSE UND MÖGLICHKEITEN ZU IHRER ÜBERWINDUNG

10.1 LEITUNGSGEBUNDENE WÄRMEVERSORGUNG

10.1.1 TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Bei den im vorliegenden Konzept untersuchten Versorgungsvarianten handelt es sich um bereits vorhandene und ausgereifte Technologien. Besondere technische Herausforderungen sind nicht zu erkennen.

10.1.2 RECHTLICHE UND ORGANISATORISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Es muss ein Betreiber des Wärmenetzes gefunden werden. Sofern der Betreiber des Netzes nicht mit dem Wärmeerzeugern identisch ist, sind Verträge zu schließen, aus denen auch hervorgeht, wer für die Besicherung der Wärmeleistungen (Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Erzeugung von Redundanz) verantwortlich ist.

Außerdem muss für die Inbetriebnahme des Wärmenetzes und besonders der Heizzentralen auf den Zeitplan und die Genehmigungsverfahren der neu zu bauenden Kläranlage, auf die Bahnquerung der Leitung zur Wärmelieferung durch die PreBEG sowie auf den Realisierungszeitplan des Gesamtprojekts der PreBEG geachtet werden.

Sollte die Zeitpläne eine Wärmeversorgung zum geplanten Zeitpunkt der Wärmenetzeinbetriebnahme nicht gewährleisten können, sollte eine Übergangslösung (z. B. Erdgasspitzenlastkessel) mit betrachtet und geplant werden.

10.1.3 WIRTSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN

Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes hängt entscheidend von der Anschlussquote ab. Insofern besteht eine entscheidende Herausforderung darin, eine ausreichende Anzahl von Anschlussnehmern zu gewinnen. In der Lenkungsgruppe haben bereits die maßgeblichen Großverbraucher im Quartier teilgenommen (vgl. Kapitel 11.1) und ihr Interesse an den Anschluss an ein Wärmenetz bekundet. Auch das Interesse weiterer Haus – und Wohnungseigentümer im Quartier wurde abgefragt; es zeigte sich eine positive Resonanz (vgl. Kapitel 11.3).

11 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

11.1 LENKUNGSGRUPPE

Die Lenkungsgruppe des Projektes bestand aus dem Bürgermeister (Björn Demmin), dem Bauamtsleiter der Stadt Preetz (Jan Steingraber), dem Klimaschutzmanager der Stadt Preetz (Klaus Czittrich), dem Klimaschutzmanager des Kreises Plön (Stefan Reißig), der Energiemanagerin des Kreises Plön (Linh Nguyen), der Denkmalschützerin des Kreises Plön (Dr. Silke Hunzinger), einer Vertreterin des Abwasserzweckverband Preetz (Claudia Röttger), einem Vertreter der PreBEG (Hans Eimansberger), einem Vertreter der Wankendorfer Baugenossenschaft (Matthias Jäck), Vertreter/innen des Adligen Klosters Preetz (Erika und Dr. Detlev von Bülow), einem Vertreter der Bundesimmobilien (Heiko Grams), der Geschäftsführerin der Mare Tischlerei (Birgit Müller) und einem Vertreter der Gesundheits- und Pflegeeinrichtung (Wilfried Radig). Geschäftsführend war IPP ESN vertreten.

Die Lenkungsgruppe hat zwischen November 2022 und Januar 2023 insgesamt zwei Mal in Präsenz getagt. Auf den Sitzungen wurden das Vorgehen sowie maßgebliche inhaltliche Weichenstellungen abgestimmt und beschlossen. Zudem diente die Lenkungsgruppe als Multiplikator ins Quartier sowie als Resonanzgruppe für Rückmeldungen aus dem Quartier.

11.2 ALLGEMEINE ÖFFENTLICHKEIT

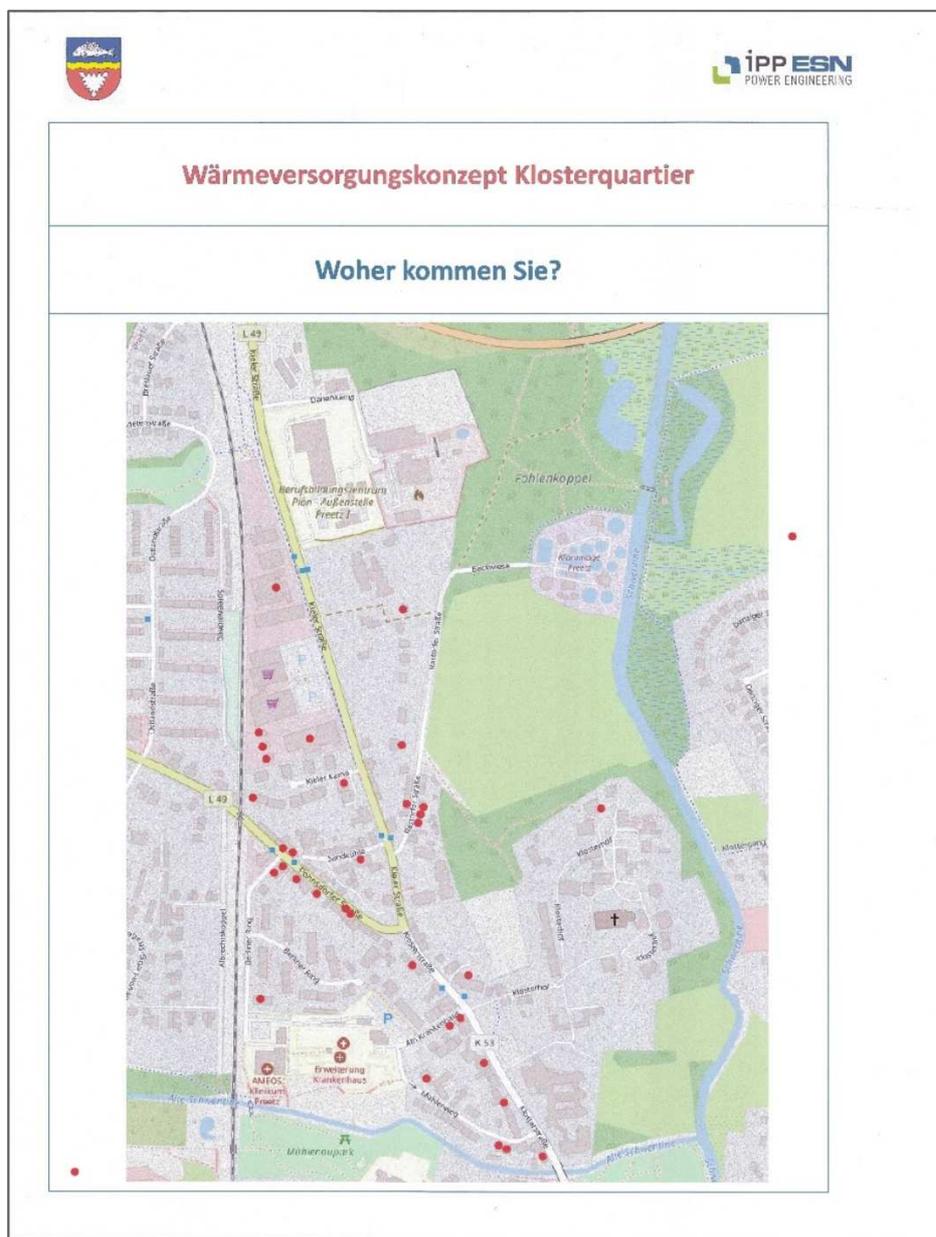
Für die Öffentlichkeit des Quartiers wurde eine Informationsveranstaltungen angeboten. Auf der Veranstaltung am 30. März 2023 wurden die Ergebnisse und die Möglichkeiten einer klimafreundlichen und regionalen leitungsgebundenen Wärmeversorgung für das Quartier vorgestellt und mit dezentralen Wärmeversorgungsoptionen verglichen.



Abbildung 11-1: Öffentliche Veranstaltung

Zu der Veranstaltung wurden im gesamten Quartier Einladungen verteilt, auf der Webseite der Stadt geworben und zusätzlich Pressemitteilungen herausgegeben. Die Verteilung der Wohnorte der Teilnehmenden im Quartier zeigt Abbildung 11-2.

Abbildung 11-2: Herkunft der Teilnehmenden an der öffentlichen Veranstaltung



11.3 BEFRAGUNG ZUR NAHWÄRMEVERSORGUNG IM QUARTIER

Die Großverbraucher im Quartier (Krankenhaus, Kloster, Seniorenheim, Wankendorfer Baugenossenschaft mit ihren Mehrfamilienhäusern sowie die Berufliche Schule) waren bereits in der Lenkungsgruppe (vgl. Kapitel 11.1) vertreten und hatten alle ihr grundsätzliches Interesse an einem Anschluss an ein Wärmenetz bekundet. Damit würde schon etwa 7,2 GWh/a, d. h. ca. 54 % des Gesamtwärmebedarfs des Quartiers, über das Wärmenetz gedeckt. Eine solch hohe

Wärmeabnahme durch „Ankerkunden“ bietet eine sehr gute Basis für ein wirtschaftlich zu betreibendes Wärmenetz.

Um das Interesse aller anderen Eigentümer im Quartier an einer klimafreundlichen zentralen Wärmeversorgung abzufragen, und um die Abschätzung des Wärmebedarf möglichst genau zu überprüfen, wurde ein Fragebogen erstellt (vgl. Abbildung 11-3). Dieser wurde an alle Haus- und Wohnungseigentümer des Quartiers verteilt.

Abbildung 11-3: Fragebogen zur Nahwärmeversorgung im Klosterquartier



Fragebogen zur Nahwärmeversorgung im Klosterquartier

Bitte abgeben auf der Veranstaltung am 30.03.2023 oder bei der Stadt Preetz, Klimaschutzmanagement, Bahnhofstraße 27, 24211 Preetz - oder einscannen und senden an klaus.czittrich@preetz.de

Absender/in:
 Name: _____
 Straße / Hausnr / Ort: _____
 Tel.: _____
 E-Mail: _____

Nur falls vom Absender abweichend, Lage des Grundstücks in Preetz:
 Straße / Hausnr.: _____

Ich bin damit einverstanden, bei Rückfragen oder mit weiteren Informationen angesprochen zu werden:
 ja nein

Ich bin grundsätzlich an einem Nahwärmeanschluss *interessiert*. Ich gehe dabei keine Verpflichtungen ein.
 Wann hätten Sie voraussichtlich Interesse an einem Anschluss?
 Schnellstmöglich Später, möglicherweise im Jahr _____

Der Anschluss an ein Nahwärmenetz kommt für mich *nicht* in Frage.

Sie helfen uns, wenn Sie auch folgende Fragen beantworten (selbstverständlich können Sie den Bogen auch ohne diese Antworten abgeben):

Wie heizen Sie heute?
 Erdgas Heizöl Wärmepumpe
 Sonstiges: _____

Wie ist ihr jährlicher Strom- oder Brennstoffverbrauch (2022)?
 _____ Menge _____ Einheit

Was ist das Baujahr Ihrer jetzigen Heizungsanlage? _____

Datenschutzhinweis:
 Die Teilnahme an der Befragung ist freiwillig. Sie erklären sich damit einverstanden, dass die Daten im Rahmen dieser Erhebung durch die Stadt Preetz verarbeitet und auf den Servern der Stadt Preetz gespeichert werden dürfen. Die Einwilligung zur Verarbeitung und Speicherung Ihrer personenbezogenen Daten können Sie jederzeit widerrufen. Eine Verarbeitung der Daten erfolgt nur im Zusammenhang mit der Nahwärmeversorgung Klosterquartier. Es erfolgt eine Weitergabe der Daten an das von der Stadt Preetz beauftragte Ingenieurbüro IPPESN POWER ENGINEERING GMBH, Kiel.

 Datum, Unterschrift

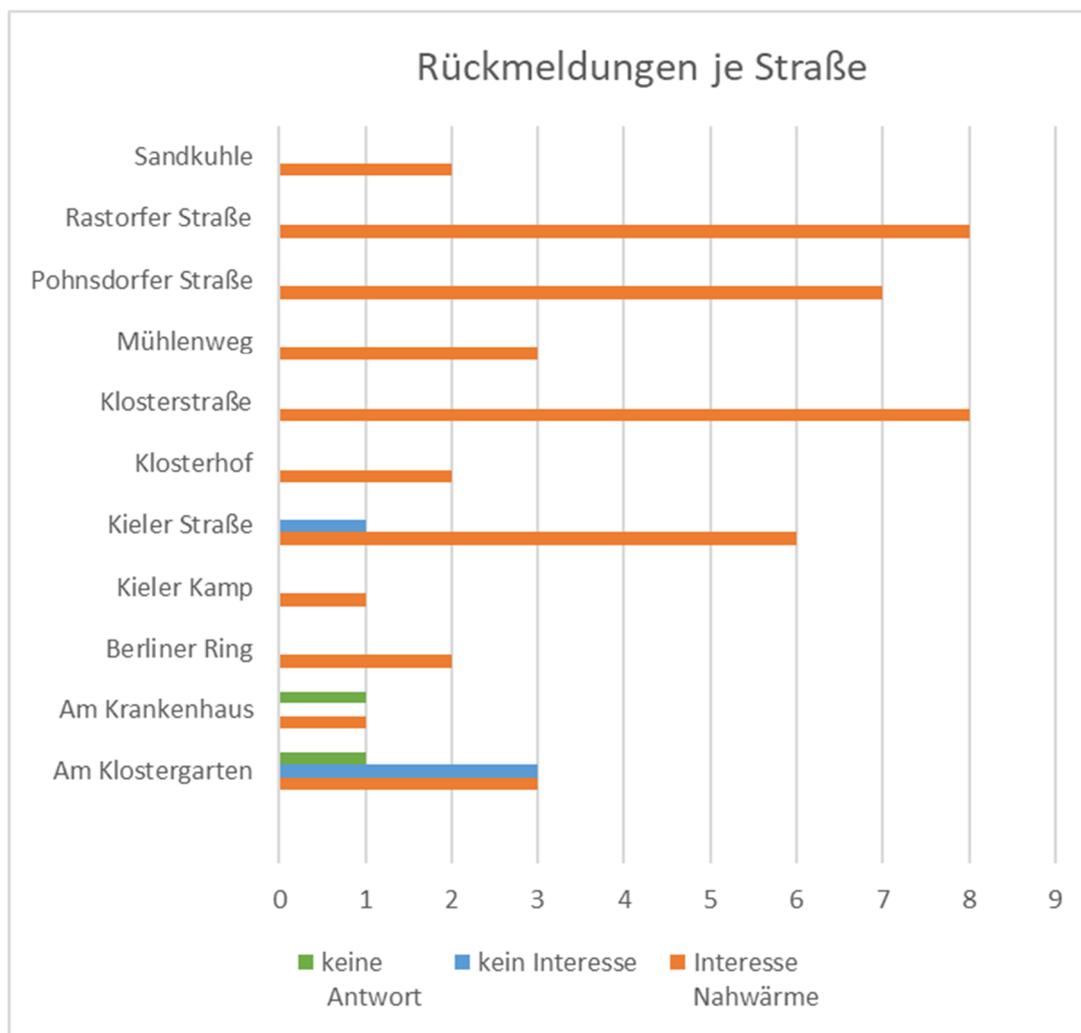
Insgesamt wurden 263 Fragenbögen im Quartier an die Gebäude- und Wohnungseigentümer verteilt. Es gab 49 Rückmeldungen, das bedeutet eine Rücklaufquote von ca. 19 %. Da noch kein konkretes Angebot eines Wärmenetzbetreibers vorliegt, sondern nur ein grundsätzliches

Interesse abgefragt wurde, und da auch nur eine öffentliche Veranstaltung angeboten wurde, kann eine solche Rücklaufquote als normal angesehen werden. Die Auswertung der abgegebenen Fragebögen zeigt auch bei diesen Eigentümern Interesse an einer klimafreundlichen zentralen Wärmeversorgung: Von den 49 Rückmeldungen haben 43 Eigentümer ihr grundsätzliches Interesse zum Anschluss an eine Nahwärmeversorgung bekundet. Vier Eigentümer haben kein Interesse und zwei haben zu ihrem Interesse keine Angaben gemacht.

Tabelle 11-1: Auswertung der Rückmeldungen

	ANZAHL	
ABGEGEBENE FRAGEBÖGEN	49	
INTERESSE AN ZENTRALER WÄRMEVERSORGUNG	43	Ja
	4	Nein
	2	k. A.

Abbildung 11-4: Straßenspezifische Interessenbekundungen zum Anschluss an ein Wärmenetz



In Abbildung 11-4 sind die Rückmeldung je Straße aufgezeigt, um zu zeigen, welche Straßen bei der Erschließung und weiteren Betrachtung ggf. priorisiert werden können. Diese Entscheidung

sollte jedoch erst nach einer Konkretisierung des Vertragsangebotes und weiterer Bewerbung durch den zukünftigen Betreiber getroffen werden.

12 MAßNAHMENKATALOG UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE UMSETZUNG

Für die weitere Umsetzung der hier beschriebenen Optionen ergeben sich die in Tabelle 12-1 dargestellten Haupt-Maßnahmenstränge. Diese können idealerweise im Rahmen des Förderprogramms BEW der KfW durchgeführt werden. Die BEW-Förderung begleitet die Umsetzung der bereits konzeptionierten Maßnahmen und fördert die Überbrückung einer möglichen Wirtschaftlichkeitslücke.

Dabei sollte es einen Verantwortlichen geben, welcher vor Ort für Fragen zur Verfügung steht und die Projektsteuerung mit angemessener Verfügbarkeit übernimmt. Dies kann ein Mitarbeiter der Stadt oder ein beliebiger Dritte sein.

Tabelle 12-1: Maßnahmenkatalog für Umsetzungen

AUFGABEN	PRIORITÄT, ABLAUF / AKTEUR
Antrag BEW-Fördermodul 1 <ul style="list-style-type: none"> • Machbarkeitsstudie angelehnt an die HOAI LP 1 • Planungsleistungen angelehnt an die HOAI LP 2-4 	hoch, kurzfristig / Stadt Preetz
Ausschreibung und Vergabe gemäß BEW- Fördermodul 1	hoch, nach zuvor genanntem Punkt / Stadt Preetz
Durchführung der Leistungen gemäß BEW- Fördermodul 1	genanntem Punkt / Planungs- büro
Erstellung eines Finanzierungsplans gemäß BEW- Fördermodul 1	hoch, nach Zuwendungsbe- scheid BEW Modul 1 / Fördermittel-Antragsteller
Wärmenetzbetreiber identifizieren und verpflichten	hoch, nach HOAI LP 1 / Stadt Preetz
Vorlage konkreter Vertragsentwürfe an mögliche Anschluss- nehmer des Wärmenetzes unter Vorbehalt der Förderzusage BEW Modul 2	hoch, nach zuvor genanntem Punkt/ Wärmenetzbetreiber
Akquisition weiterer Anschlussnehmer im Quartier	mittel, nach zuvor genanntem Punkt/ Wärmenetzbetreiber
Antrag BEW-Fördermodul 2 <ul style="list-style-type: none"> • Planungsleistungen angelehnt an die HOAI LP 5-8 	hoch, Durchführung der Leis- tungen BEW Modul 1 / Wär- menetzbetreiber
Ausschreibung, Vergabe und Durchführung der Planungsleis- tungen angelehnt an die HOAI LP 5-8	hoch, nach Zuwendungsbe- scheid BEW Modul 2 / Wär- menetzbetreiber

13 LITERATURVERZEICHNIS

- Agentur für Erneuerbare Energien. (o. J.). *Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2022 nach Strom, Wärme und Verkehr*. Abgerufen am 5. Juli 2023 von https://www.unendlich-viel-energie.de/media/image/78701.AEE_Endenergieverbrauch_Strom_Waerme_Verkehr_2022.jpg
- BAFA. (2021). *Bundesförderung für effiziente Gebäude*. Abgerufen am 9. März 2021 von https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Sanierung_Wohngebaeude/sanierung_wohngebaeude_node.html
- BAFA. (2022). *Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)*. Abgerufen am 11. Oktober 2022 von [bafa.de: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html)
- BMU. (2021). *Förderaufruf Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte*. Abgerufen am 25. März 2021 von <https://www.klimaschutz.de/modellprojekte>
- BMWK. (1. August 2022). *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze - BEW*. Abgerufen am 15. September 2022 von <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?2>
- Bundesfinanzministerium. (15. Dezember 2000). *AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter*. Abgerufen am 9. März 2021 von https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weiterer_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_AV.html
- Bundesregierung. (19. Dezember 2019). *CO₂-Bepreisung*. Abgerufen am 19. März 2021 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/co2-bepreisung-1673008>
- Bundesregierung. (o. J.). *Generationenvertrag für das Klima*. Abgerufen am 20. Mai 2022 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>
- Bundesverfassungsgericht. (29. April 2021). *Pressemitteilung Nr. 31/2021: Verfassungsbeschwerden gegen das Klimaschutzgesetz teilweise erfolgreich*. Abgerufen am 20. Mai 2022 von <https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/bvg21-031.html>
- C.A.R.M.E.N. (o. J.). *Marktpreisvergleich*. Abgerufen am 15. Dezember 2022 von <https://www.carmen-ev.de/service/marktueberblick/marktpreise-energieholz/marktpreisvergleich/>
- Google LLC. (o. J.). *Google Earth*. Abgerufen am 29. Dezember 2022 von https://www.google.com/intl/de_de/earth/
- Google Maps. (o. J.). *Google Maps*. Abgerufen am 9. Januar 2023 von maps.google.de

- IfEU. (November 2019). *Bilanzierungs-Systematik Kommunal*. Abgerufen am 13. März 2021 von https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/BISKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf
- IPP ESN. (17. August 2022). Preetz klimaneutral 2030 - Teilaspekte Energie, Wirtschaft, Bauen. Kiel / Hamburg.
- Meereis, J. (Juni 2023). Wärmeeerzeugung: Immer Pest oder Cholera? *Die Gemeinde*, S. 159 - 163.
- Pfnür, A., Winiewska, B., Mailach, B., & Oschatz, B. (2016). *Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt*. Dresden.
- PreBEG. (o. J.). *Fernwärme für Preetz: regional - regenerativ - innovativ*. Abgerufen am 9. Januar 2023 von <https://www.prebeg.info/>
- PreBEG. (o. J. a). *Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energien in Preetz*. Abgerufen am 25. Januar 2023 von <https://www.prebeg.info/das-projekt/>
- Schwochow, M. (2023). *Suche Postleitzahl*. Abgerufen am 9. Januar 2023 von <https://www.suche-postleitzahl.org/impressum>
- Stadt Preetz. (Januar 2020). *Leitbild für die Stadt Preetz - Klimaneutral bis 2030*. Abgerufen am 1. Juni 2023 von [preetz.de: https://www.preetz.de/media/custom/2942_1528_1.PDF?1581594565](https://www.preetz.de/media/custom/2942_1528_1.PDF?1581594565)
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein. (2023). Abgerufen am 9. Januar 2023 von <https://region.statistik-nord.de/detail/00100000000000000000/1/350/894/>
- Traber, T., & Fell, H.-J. (September 2019). *Erdgas leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz*. Energy Watch Group. Abgerufen am 24. März 2021 von http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_Erdgasstudie_2019.pdf
- UBA. (Mai 2021). *Climate Change 45/2021: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2020*. Abgerufen am 21. Mai 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-26_cc-45-2021_strommix_2021_0.pdf
- UBA. (17. März 2023). *Erneuerbare Energien in Zahlen*. Abgerufen am 5. Juli 2023 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>
- Zerger, C. (8. Oktober 2020). *Für einen fairen Ökostrom-Markt außerhalb des EEG*. Abgerufen am 17. Januar 2023 von <https://www.klimareporter.de/strom/fuer-einen-fairen-oekostrom-markt-ausserhalb-des-eeg>