

Fachgutachten zur kommunalen Wärmeplanung
für die Freie Hansestadt Bremen

Abschlussbericht

Gebiete für Fern- und Nahwärmeversor-
gung: Räumliche Abgrenzung und Wirt-
schaftlichkeitsbetrachtung

Auftraggeberin

Freie Hansestadt Bremen
Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft
Referat 41 (Wärmewende)

Auftragnehmerin / Gutachterin

Qoncept Energy GmbH

Impressum

Dieser Bericht wurde erstellt von:

Qoncept Energy GmbH
Mayenfeldstraße 21
34125 Kassel
www.qoncept-energy.de
info@qoncept-energy.de

Autoren:

Hagen Braas, M. Sc.
Dr. Oleg Kusyy
Joachim Sieglar
Dr. Janybek Orozaliev
Dr. Thorsten Ebert

Im Auftrag von:

Freie Hansestadt Bremen
Der Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft
Referat 41 (Wärmewende)
An der Reeperbahn 2
28217 Bremen

Kassel, September 2024

Inhalt

1 Zielsetzung und Inhalte des Gutachtens	5
2 Eignungsgebiete für Wärmenetze	6
2.1 Datenbasis und Vorgehen.....	6
2.2 Fortschreibung des Wärmebedarfs der Gebäude bis 2038.....	8
2.3 Potenzielle Eignungsgebiete für Wärmenetze nach Wärmedichte.....	9
2.4 Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit der Ausbaugebiete für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost	14
2.5 Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit für neue Wärmenetze in Bremen Nord	29
2.6 Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit für neue Wärmenetze in Bremen Süd bzw. links der Weser	34
2.7 Fazit und Diskussion der Ergebnisse.....	43
3 Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärme für neue Wärmenetze	46
3.1 Industrielle Abwärme	46
3.2 Potenziale durch Nutzung einer Wärmepumpe.....	47
3.2.1 Randbedingungen zur Berechnung	47
3.2.1.1 Potenzielle Fahrkurve Fernwärmenetz	47
3.2.1.2 Auslegung Wärmepumpe	48
3.2.2 Flusswasserwärmepumpe	48
3.2.2.1 Flusstemperatur	48
3.2.2.2 Niedrigwasserabfluss.....	49
3.2.2.3 Auslegung der Flusswärmepumpe	50
3.2.2.4 Genehmigungsrechtliche Hinweise.....	51
3.2.3 Abwärme aus Kläranlagen.....	51
3.3 Abwärme aus Pumpwerken im Abwasserkanalnetz	54
3.4 Oberflächennahe Geothermie	57
3.4.1 Flächenfindung	57
3.4.2 Potenzialermittlung.....	60
3.5 Zusammenfassung	61
4 Potenziale für dezentrale Wärmepumpen.....	62
4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen zur Einzelgebäudeversorgung	62
4.1.1 Datengrundlage und Vorgehen	62
4.1.2 Ergebnisse.....	65

4.2	Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zur Einzelgebäudeversorgung	66
4.2.1	Datengrundlage und Vorgehen	66
4.2.2	Ergebnisse	70
4.3	Vergleich Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zur Einzelgebäudeversorgung.....	71
5	Zusammenfassung	72
	Abkürzungsverzeichnis.....	76
	Abbildungsverzeichnis.....	79
	Tabellenverzeichnis	84
	Literaturverzeichnis.....	85
	Anhang.....	86
Anhang I	Auswertung der Kalkulation der Abwärme durch Abwasser in Kläranlagen	86
Anhang II	Auswertung der Kalkulation Flusswärmepumpe	90
Anhang III	Darstellung von Ortsteilergebnissen zur wirtschaftlichen Erschließbarkeit von Wärmenetzen	92

1 Zielsetzung und Inhalte des Gutachtens

Die Enquetekommission „Klimaschutzstrategie für das Land Bremen“ hat in ihrem Ende 2021 vorgelegten Abschlussbericht die Zielsetzung empfohlen, im Land Bremen bis zum Jahr 2038 die Klimaneutralität zu erreichen. In diesem Zusammenhang hat die Enquetekommission vorgeschlagen, für die Städte Bremen und Bremerhaven eine am Leitbild der Klimaneutralität ausgerichtete kommunale Wärmeplanung zu erarbeiten.

Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (SUKW) vergibt im Rahmen der Erarbeitung der Wärmeplanung Gutachten zu unterschiedlichen Teilaspekten. Die Ziele des vorliegenden Fachgutachtens sind:

- Geeignete Gebiete für eine Fern- oder Nahwärmeversorgung in der Stadt Bremen zu identifizieren, diese räumlich abzugrenzen und auf ihre wirtschaftliche Erschließbarkeit hin zu untersuchen.
- Im Zusammenhang mit den Eignungsgebieten für Fern- und Nahwärme relevante Potenziale für erneuerbare Wärme und Abwärme zu analysieren. Im Fokus stehen dabei Gebiete für neue Wärmenetze.
- Die Potenziale zur Wärmebedarfsdeckung auf Ebene der Einzelgebäude durch Luftwärmepumpen oder Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zu untersuchen. Entscheidungskriterien sind die Schallemissionen der Luftwärmepumpen und die Anzahl möglicher Erdwärmesonden auf dem Grundstück/Flurstück der Gebäude.

Die Untersuchungen erfolgten dabei nach folgender Gebietseinteilung:

- **Gebiet Bremen West-Mitte-Ost**
Dabei handelt es sich um das Gebiet rechts der Weser, in dem bereits die beiden Fernwärmenetze West und Uni-Ost der swb AG (swb) bestehen. Für dieses Gebiet kann davon ausgegangen werden, dass durch einen Ausbau und ggf. auch eine Verbindung dieser beiden Netze weitere Erschließungen erfolgen können (s. Kapitel 2.4).
- **Gebiet Bremen Nord**
In diesem Gebiet nördlich der Lesum plant die enercity Contracting GmbH (enercity Contracting) den Aufbau eines Wärmenetzes mit der Abfallentsorgungsanlage und dem Heizkraftwerk Blumenthal als Wärmequelle (s. Kapitel 2.5).
- **Gebiet Bremen Süd bzw. links der Weser**
In diesem Gebiet bestehen bisher lediglich kleinere Nahwärmeinseln. Derzeit plant die swb dort den Aufbau weiterer Wärmenetze. Für einen großflächigen Ausbau von Wärmenetzen müssen in diesem Gebiet neue Wärmequellen erschlossen werden (s. Kapitel 2.6).

Das Gutachten basiert auf einem intensiven Abstimmungsprozess mit den Wärmenetzbetreibern und den Genehmigungsbehörden über Methodik, Annahmen und Ergebnisse. Die Resultate dieser Abstimmungen sind in den Ergebniskapiteln integriert.

Die Datenbasis, das Vorgehen und die Ergebnisse für die genannten drei Ziele werden in den Kapiteln 2, 3 und 4 genauer beschrieben.

2 Eignungsgebiete für Wärmenetze

2.1 Datenbasis und Vorgehen

Wesentlich für die Erstellung des Gutachtens war die umfassende Datenbasis. Allen voran sind hier der gebäudescharfe Wärmeatlas für die Freie Hansestadt Bremen (bereitgestellt durch wesernetz Bremen GmbH) und die GIS-Daten zu den bestehenden und geplanten Wärmenetzgebieten (bereitgestellt durch wesernetz Bremen GmbH und enercity Contracting GmbH) zu nennen. Darüber hinaus stellte die SUKW Berichte bisher durchgeführter Untersuchungen zur Analyse der zukünftigen Optionen zur klimaneutralen Wärmeversorgung zur Verfügung. Nachfolgend sind die ausgewerteten Datenquellen aufgelistet.

- Gebäudescharfer Wärmeatlas der wesernetz Bremen GmbH (Verbrauchsdaten von 2015), erstellt von Fraunhofer IFAM, 2019
- Abschlussbericht Fraunhofer IFAM – Fortschreibung Wärmebedarf bis 2050 für die Freie Hansestadt Bremen und die Stadtgemeinde Bremerhaven, 2020
- GIS-Daten zu bestehenden Fern- und Nahwärmenetzen von wesernetz Bremen GmbH und enercity Contracting GmbH sowie Auskunft über geplante Ausbaugebiete
- Öffentlich verfügbare GIS-Daten (administrative Teilung der Stadt in Ortsteile, statistische Quartiere und statistische Blöcke, Straßennetz aus OpenStreetMap)
- Abschlussbericht der Enquetekommission Klimaschutzstrategie für das Land Bremen, 2021
- Gutachten zur Analyse der zukünftigen CO₂-neutralen Wärmeversorgungsoptionen und politisch-rechtlicher Handlungsoptionen im Land Bremen, erstellt im Auftrag der Enquetekommission von HIC Hamburg Institut Consulting GmbH und Averdung Ingenieure & Berater GmbH, 2021

Der Untersuchung von Eignungsgebieten für Wärmenetze liegt folgendes Vorgehen zugrunde:

- **Fortschreibung Wärmebedarf der Gebäude bis 2038.** Bei der Betrachtung der Ausbaugebiete für Fernwärme und der Gebiete für neue Wärmenetze ist nicht

der aktuelle Wärmebedarf der potenziellen Anschlussnehmer entscheidend, sondern der zukünftige Wärmebedarf. Bei solchen kostenintensiven Vorhaben muss sichergestellt sein, dass die Infrastruktur auch zukünftig gut ausgelastet ist. Entsprechend der Empfehlung der Enquetekommission zur Klimaneutralität bis zum Jahr 2038 wurde im Gutachten der prognostizierte Wärmebedarf im Jahr 2038 als Grundlage für die Untersuchungen gewählt.

- **Identifizierung der potenziellen Gebiete mit Eignung für Wärmenetze nach Wärmebedarfsdichte.** Hierbei wurden die Richtwerte aus dem Leitfaden zum Wärmeplanungsgesetz (WPG)¹ verwendet. Auf dieser Basis wurden Gebiete mit hoher und sehr hoher Wärmenetzeignung auf der Ebene von statistischen Blöcken ausgewiesen. Anschließend wurden die Wärmebedarfe der Gebiete nach Eignungskategorien analysiert und mit den bestehenden und geplanten Wärmenetzgebieten verglichen.
- **Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit von Fernwärmeausbau und neuen Netzen.** Im Vergleich zum vorherigen Schritt ist die Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit eine deutlich komplexere Aufgabe. Die Analyse wurde straßenzugscharf durchgeführt. Unter Anwendung eines numerischen Optimierungsalgorithmus der Gutachterin wurden für den Fernwärmeausbau und den Aufbau neuer Wärmenetze mehrere Varianten mit einer automatisierten Auswahl von Straßenzügen definiert. Für jede Variante wurden die folgenden Kernparameter ermittelt: Potenzieller Wärmeabsatz, erforderliche Länge von Transportleitungen und Hausanschlussleitungen sowie Leistungen der Hausanschlussstationen. Auf dieser Grundlage erfolgte dann eine wirtschaftliche Bewertung der Varianten auf Ebene der Ortsteile der Freien Hansestadt Bremen. Daraus wurden jeweils die wirtschaftlichen Varianten für Fernwärmeausbau bzw. neue Wärmenetze je Ortsteil identifiziert. Um eine hohe Belastbarkeit der Ergebnisse zu erzielen, waren intensive Abstimmungen mit den Wärmenetzbetreibern hinsichtlich der getroffenen Annahmen (Anschlussraten, Kosten, Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung, anlegbare Preise) und des Vorgehens sowie zu den Zwischenergebnissen der Untersuchungen ein wichtiger Bestandteil des Gutachtens. Insgesamt wurden neun unterschiedlich zusammengesetzte Treffen mit swb AG, wesernetz Bremen GmbH, swb Services AG und Co. KG und enercity Contracting GmbH durchgeführt. Aufgrund dieser Abstimmungen und der Fragestellungen wurden drei Bereiche in Bremen getrennt voneinander betrachtet: die Ausbaugebiete für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost (südlich von Lesum und östlich der Weser) der swb wesernetz, der Aufbau neuer Wärmenetze in Bremen Nord (nördlich von Lesum) durch enercity Contracting und der Aufbau neuer Wärmenetze Bremen Süd (links der Weser) durch swb services.

¹ Der WPG-Entwurf wurde im September 2023 während der Bearbeitung dieses Gutachtens veröffentlicht. Die finale Version erschien im Juni 2024: https://api.kww-halle.de/fileadmin/user_upload/Leitfaden_Waermeplanung_final_web.pdf (abgerufen am 9.9.2024).

- **Kategorisierung und Kartierung der Ortsteile** nach dem wirtschaftlich erschließbaren Anteil des Wärmebedarfs bzw. der Gebäude durch Wärmenetze. Neben der Kategorisierung auf Ortsteilebene wurden Steckbriefe für jeden Ortsteil erstellt. Die Steckbriefe enthalten die Ergebnisse der wirtschaftlichen Bewertung.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte beschrieben.

2.2 Fortschreibung des Wärmebedarfs der Gebäude bis 2038

Für Bremen liegen zwei Studien vor, in denen Szenarien für die Wärmebedarfsentwicklung der Gebäude betrachtet wurden. Zum einen wurden im Rahmen der Erstellung des Wärmeatlasses durch Fraunhofer IFAM zwei Szenarien für die Wärmebedarfsentwicklung aufgestellt (Abschlussbericht 2020). Dabei orientierte sich die Untersuchung an den Annahmen zu den Sanierungsraten und Sanierungstiefen in der Studie „Klimapfade für Deutschland“ des Bundesverbandes der Deutschen Industrie BDI (erstellt von Boston Consulting Group und Prognos, 2018).

Zum anderen wurden im Abschlussbericht der Enquetekommission Klimaschutzstrategie für das Land Bremen (2021) Sektorenziele zu den Sanierungsraten für Gebäude formuliert. Im Folgenden sind die unterschiedlichen Annahmen zu den Sanierungsraten dargestellt und durch Daten aus weiteren deutschlandweiten Studien ergänzt (Abbildung 1). Der Vergleich zeigt, dass die im Abschlussbericht der Bremer Enquetekommission angenommenen Sanierungsraten von $> 3 \%/a$ deutlich ambitionierter sind als die in anderen Studien vorausgesagten Raten. Die meisten Studien unterstellen in ihren optimistischen Szenarien eine Sanierungsrate von ca. $2 \%/a$, was in etwa einer Verdoppelung der energetischen Sanierung im Vergleich zu Business-as-usual-Szenarien (IFAM-BAU) entspricht.

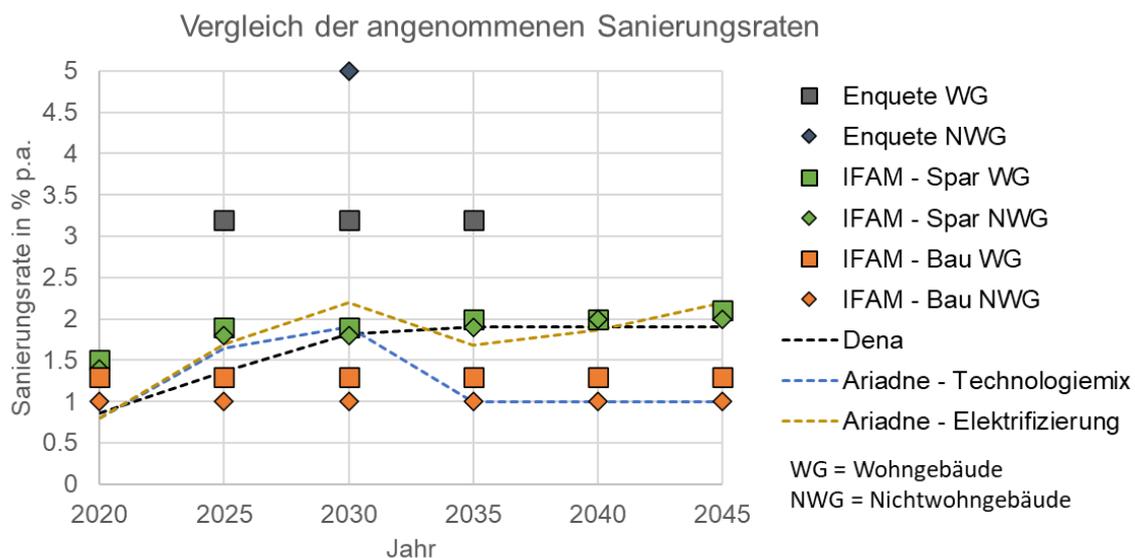


Abbildung 1: Annahmen zu Sanierungsraten von Wohn- und Nichtwohngebäuden in unterschiedlichen Studien

Hinsichtlich der Sanierungstiefen nehmen die Studien von Fraunhofer IFAM für Bremen und die ausgewerteten deutschlandweiten Studien einheitlich 50 % an. Die Sanierungstiefe beschreibt die Wärmebedarfsreduktion nach einer energetischen Sanierung. Die Annahme von 50 % im Durchschnitt aller Gebäude ist ebenfalls sehr ambitioniert.

Auf Basis dieses Vergleichs wurde im vorliegenden Gutachten das SPAR-Szenario von Fraunhofer IFAM verwendet (ca. 2 %/a Sanierungsraten für Wohn- und Nichtwohngebäude und Sanierungstiefe von 50 %). Aus Sicht der Gutachterin ist dieses Szenario als optimistisch anzusehen.

Die Fortschreibung des Wärmebedarfs aus dem Wärmetlas von 2015 bis 2038 wurde anhand der Angaben für die Stützjahre (2030 und 2040) und einer linearen Interpolation auf 2038 bestimmt (vgl. Tabelle 1). Der Wärmebedarf einzelner Gebäude wurde entsprechend dem berechneten Wärmebedarfsrückgang reduziert.

Tabelle 1: Fortschreibung des Wärmebedarfs bis 2038 nach Sektoren

Sektor	Wärmebedarf 2015 gemäß Wärmeatlas, GWh/a	Wärmebedarf 2038 berechnet, GWh/a	Wärmebedarfsrückgang um	Vorgehen zur Berechnung des Wärmebedarfs 2038
Industrie (ohne Stahlwerk)	1.371	1.200	12,5 %	lineare Interpolation zwischen 2015 und 2050
Wohngebäude	3.286	2.600	21 %	Interpolation zwischen 2030 und 2040
Nichtwohngebäude ohne Industrie	1.938	1.610	17 %	Interpolation zwischen 2030 und 2040

2.3 Potenzielle Eignungsgebiete für Wärmenetze nach Wärmedichte

Der Leitfaden Wärmeplanung enthält Richtwerte für die Kategorisierung von Gebieten im Hinblick auf ihre Eignung für Wärmenetze nach Wärmedichte. Je höher die Wärmedichte, desto wahrscheinlicher ist ein Gebiet für die Versorgung durch ein Wärmenetz geeignet. Die Richtwerte aus dem Leitfaden beziehen sich auf die Wärmedichte (Wärmebedarf, bezogen auf die Grundfläche des betrachteten Gebiets, in ha*a).

Wärmedichte [MWh/ha*a]	Einschätzung der Eignung zur Errichtung von Wärmenetzen
0–70	Kein technisches Potenzial
70–175	Empfehlung von Wärmenetzen in Neubaugebieten
175–415	Empfohlen für Niedertemperaturnetze im Bestand
415–1.050	Richtwert für konventionelle Wärmenetze im Bestand
> 1.050	Sehr hohe Wärmenetztauglichkeit

Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Leitfaden Wärmeplanung mit Richtwerten zur Wärmenetztauglichkeit der Gebiete

Die Kategorisierung des Bremer Stadtgebiets nach diesen Richtwerten für die Wärmedichte (Einheit in MWh pro Hektar und Jahr) ist in der Abbildung 3 dargestellt. Dabei wurde der erwartete Wärmebedarf 2038 angesetzt. Als Bezugsgröße wurden, entsprechend der Anforderung des WPG, die statistischen Blöcke (entspricht Baublöcken) verwendet. In Bremen gibt es 5.971 statistische Blöcke. Der Wärmebedarf des Stahlwerks ist nicht berücksichtigt.

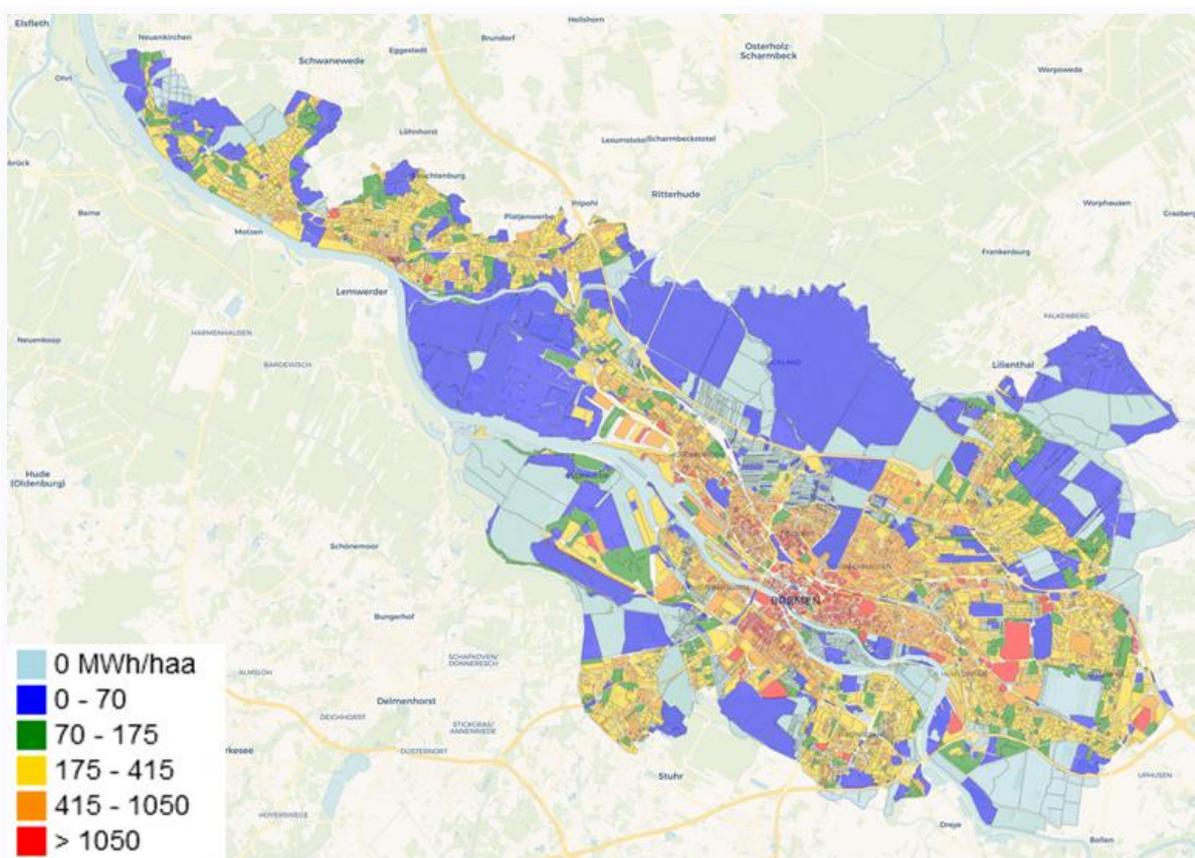


Abbildung 3: Wärmedichte 2038 in Bremen auf Ebene der statistischen Blöcke

Für konventionelle Wärmenetze und Bestandsgebiete sind besonders die zwei Kategorien mit den höchsten Wärmedichten relevant – über 415 MWh/(ha*a) und über 1.050 MWh/(ha*a). Diese Gebiete weisen 66 % des Wärmebedarfs der Hansestadt Bremen aus (vgl. Abbildung 4). Jedoch ist zu beachten, dass in diesen Zahlen der Wärmebedarf von großen Industrieunternehmen² (ohne Stahlwerk) inkludiert ist. Dieser macht 22 % des Wärmebedarfs der Stadt aus (18 % über Erdgas versorgt und 4 % über Fernwärme). Bei den Industrieunternehmen muss die Eignung für Wärmenetze individuell geprüft werden. Hier ist mit hohen Wärmebedarfen für Prozesswärme zu rechnen, die eventuell nicht über Fernwärme bereitgestellt werden können. Weiterhin sind Abwärmepotenziale möglich, die den unternehmensinternen Wärmebedarf bei niedriger Temperatur decken oder in die Fernwärmenetze eingespeist werden können. Daher sind Industrieunternehmen und deren Gebiete auch bei hohen Wärmedichten nicht zwingend für die Versorgung durch Wärmenetze geeignet.

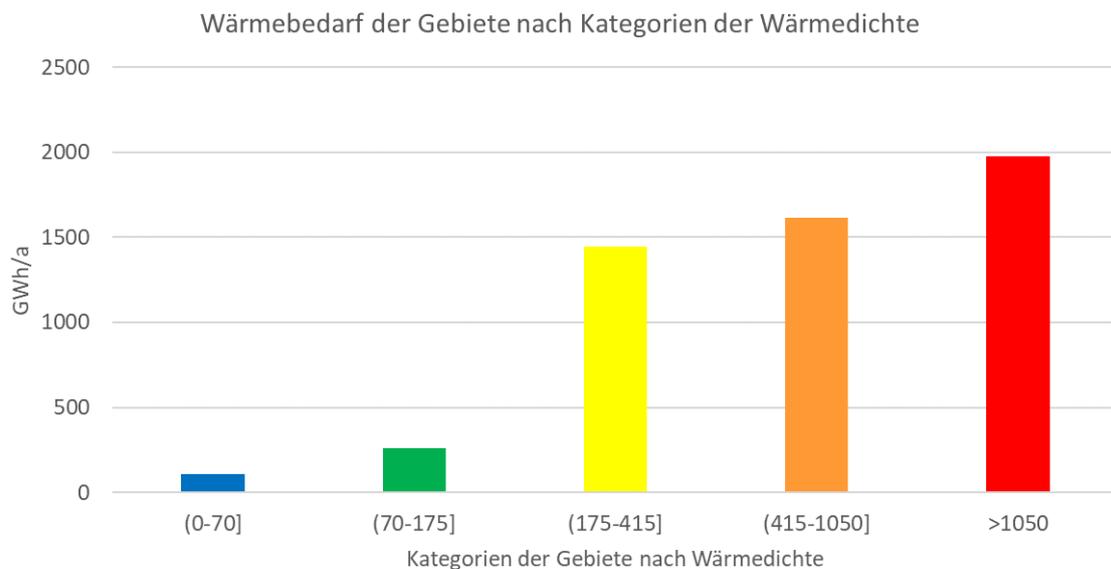


Abbildung 4: Wärmebedarf 2038 in den verschiedenen Kategorien der Wärmedichte. Die Werte sind inkl. Industrie, aber ohne Stahlwerk

Die Abbildung 5 gibt einen differenzierten Überblick über die Zusammensetzung der Wärmebedarfe nach Gebietskategorien. Der Anteil der Industrie ist in Dunkelgrau (Versorgung über Erdgas) und Violett (Versorgung über Fernwärme) dargestellt. Er liegt hauptsächlich in den Gebieten mit den höchsten Wärmedichten. Die farbigen Flächen zeigen die Anteile der bestehenden und geplanten Wärmenetzgebiete.

- Blau: Wärmebedarf der fernwärmeversorgten Gebäude
- Orange: Verdichtungspotenzial in den bestehenden Wärmenetzgebieten

² Die Angaben zu den Industrieunternehmen wurden aus dem Wärmeatlas entnommen.

Rot und Dunkelrot: geplante Fernwärmeausbaugelände der swb und wesernetz (sog. „Verdichtungspakete“ aufgeteilt nach Gebäuden mit Wärmebedarf <100 MWh/a und über 100 MWh/a)

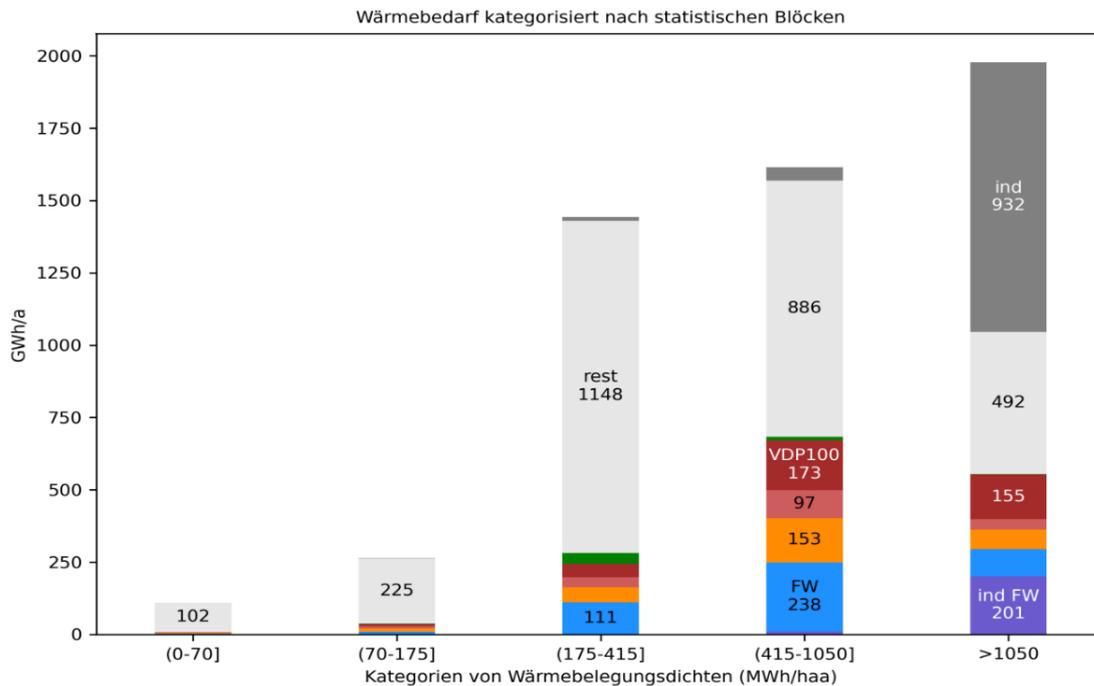


Abbildung 5: Wärmebedarf 2038 in den verschiedenen Kategorien der Wärmedichte mit Angabe des Anteils der Industrie (dunkelgrau und violett) sowie des Anteils der bestehenden und geplanten Fernwärmegebiete (farbig). In Hellgrau sind Gebiete ohne Industrie und außerhalb der Wärmenetzgebiete dargestellt.

Die folgende Abbildung zeigt bestehende und bereits geplante Gebiete für Fern- und Nahwärme.

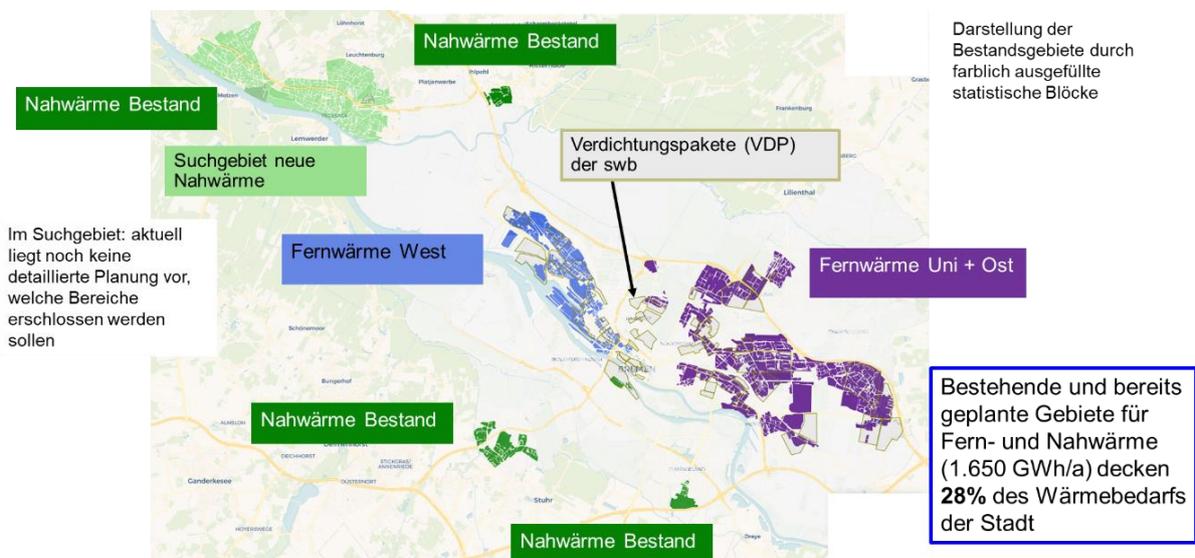
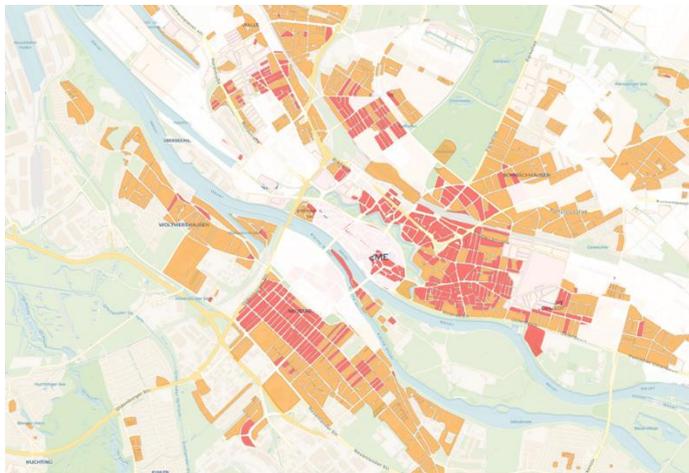


Abbildung 6: Aktuelle und geplante Wärmenetz(such)gebiete.

Der Wärmebedarf der Gebiete ohne Industrie und außerhalb der bestehenden und geplanten Wärmenetzgebiete ist in Abbildung 5 in Hellgrau dargestellt und beträgt etwa 53 % des Wärmebedarfs der Stadt. Davon sind $492 + 886 = 1.378$ GWh/a (Jahr 2038) bzw. 25 % des Wärmebedarfs der Stadt in den Gebieten mit hoher und sehr hoher Wärmedichte. Besonders diese Gebiete kämen für den weiteren Fernwärmeausbau oder den Aufbau neuer Wärmenetze infrage (vgl. Abbildung 7). Deutliche Schwerpunkte sind in der Stadtmitte, der Östlichen Vorstadt und in der Neustadt (südlich der Weser).



Zoom auf die Stadtmitte:
Gebiete mit hoher und sehr hoher Wärmedichte, in denen bisher keine Wärmenetze vorhanden oder geplant sind. Schwerpunkte sind östliche Vorstadt, vorderes Schwachhausen, Findorff und südlich der Weser

Wärmedichte
■ 415 - 1050
■ > 1050

Abbildung 7: Gebiete ohne Wärmenetz mit hoher Wärmedichte 2038

Die Zusammenfassung der Analysen der Gebiete nach dem Indikator Wärmedichte ist in Abbildung 8 dargestellt. Die hohe Wärmedichte ist ein zentrales Kriterium, aber nicht das einzige für die erfolgreiche Realisierung von Wärmenetzen.

- Gesamtwärmebedarf 2038** ca. 5.410 GWh/a:
-18 % im Vergleich zum Jahr 2015
- Potenzielle Wärmenetzzeignung insb. in den Gebieten mit hoher (**orange**) und sehr hoher Wärmebedarfsdichte (**rot**):
44 % des Wärmebedarfs
 - Dezentrale Wärmeversorgung insb. in den Gebieten mit mittlerer (**gelb**) und geringer (**grün** und **blau**) Wärmebedarfsdichte:
34 % des Wärmebedarfs
 - Große Industrie braucht individuelle Lösungen (z. B. Nutzung eigener Abwärme, Effizienzerhöhung, Umstellung auf EE oder H₂):
22 % des Wärmebedarfs

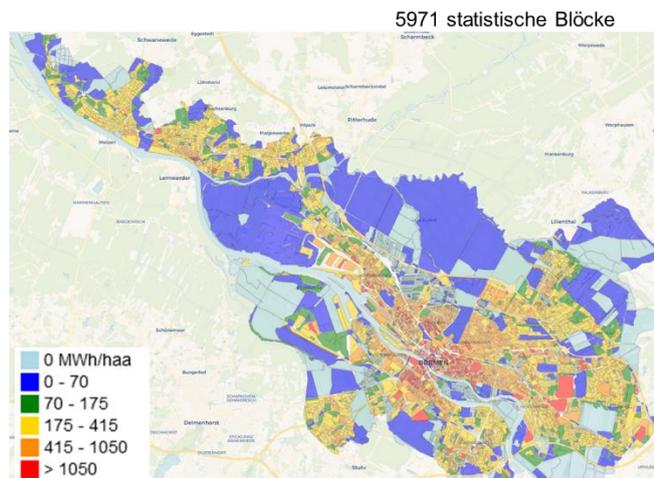


Abbildung 8: Zusammenfassung der Gebiete nach der Kategorisierung anhand der Wärmedichte

Die in Abbildung 7 dargestellten Gebiete mit hoher Wärmedichte, in denen bisher kein Wärmenetz geplant ist, weisen teilweise erhöhte Hürden für die Umsetzung von Wärmenetzen auf (z. B. Platz im Straßenraum, zahlreiche bestehende Infrastrukturen wie Abwasserkanäle, Wasser-, Strom- und Gasversorgung, Telekommunikation, komplexe Lo-

gistik mit Autoverkehr und ÖPNV). Neben Einschränkungen bei der technischen Umsetzbarkeit kann dies zu höheren Kosten führen, sodass die Realisierung von Wärmenetzen trotz hoher Wärmedichte nicht möglich oder nicht wirtschaftlich sein kann. In den nächsten Kapiteln 3.4 bis 3.6 wird deshalb die wirtschaftliche Erschließbarkeit des Fernwärmeausbaus und des Aufbaus neuer Netze bewertet.

2.4 Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit der Ausbaugebiete für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost

Die Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit erfolgte in dieser Studie nicht nach statistischen Blöcken, sondern nach Straßenzügen. Hierzu wurde das Bremer Straßennetz als Basis genommen und einzelne Gebäude den Straßen zugeordnet sowie in GIS automatisiert Hausanschlussleitungen erstellt. So wurden Wärmebedarfe der Gebäude auf Straßenzugebene aggregiert und anschließend Wärmelinien dichten (Wärmebedarf bezogen auf Straßenzüge und Hausanschlusslängen) für Straßenzüge berechnet. Dabei wurden je nach Gebäudetyp und Wärmebedarf unterschiedliche Anschlussraten unterstellt (vgl. Tabelle 2), da erfahrungsgemäß nicht alle Gebäude an ein Wärmenetz angeschlossen werden. Bei den Annahmen für Wohngebäude ist unterstellt, dass kleinere Gebäude mit geringerem Wärmebedarf mehr Optionen für Einzelgebäudeversorgung über Wärmepumpen aufweisen und damit geringere Anschlussraten erzielt werden können.

Tabelle 2: Angenommene Anschlussraten in den Netzausbauszenarien

Gebäudetyp	Definition	Anschlussquote
Haushalte	Gebäudenutzung im Wärmeatlas = Wohngebäude	80 %, wenn Bedarf \geq 100 MWh/a 60 %, wenn Bedarf $<$ 100 MWh/a
Öffentliche Gebäude	Zuweisung anhand der Gebäudefunktion aus ALKIS	100 %
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	Gebäudenutzung im Wärmeatlas = Nichtwohngebäude und keine öffentlichen Gebäude	50 %, wenn Bedarf \geq 5 GWh/a 80 %, wenn Bedarf \geq 100 MWh/a und $<$ 5 GWh/a 60 %, wenn Bedarf $<$ 100 MWh/a
Industrie	Funktion im Wärmeatlas Industrie = 1	0 %

Bei öffentlichen Gebäuden wird vermutet, dass die öffentliche Hand den Ausbau der Fernwärme auch durch Anschluss eigener Objekte fördern will (angenommene Anschlussrate von 100 %). Beim Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) werden sehr große Objekte mit einem Wärmebedarf von über 5 GWh/a mit etwas moderateren Anschlussraten bewertet. Hierbei werden entweder Prozesswärmebedarfe oder eigene Abwärmequellen vermutet.

Bei den restlichen GHD-Objekten wurden ähnliche Annahmen wie bei Wohngebäuden getroffen. Sehr große Industrieunternehmen wurden für den Fernwärmeausbau nicht berücksichtigt, da hier eine individuelle Prüfung aufgrund der sehr wahrscheinlichen Prozesswärmebedarfe (Temperaturniveau unbekannt) erforderlich ist. Bei der Berechnung von Wärmebelegungsdichten auf Straßenzugabebene werden die Wärmebedarfe und Hausanschlussleitungslängen mit der Anschlussrate multipliziert.

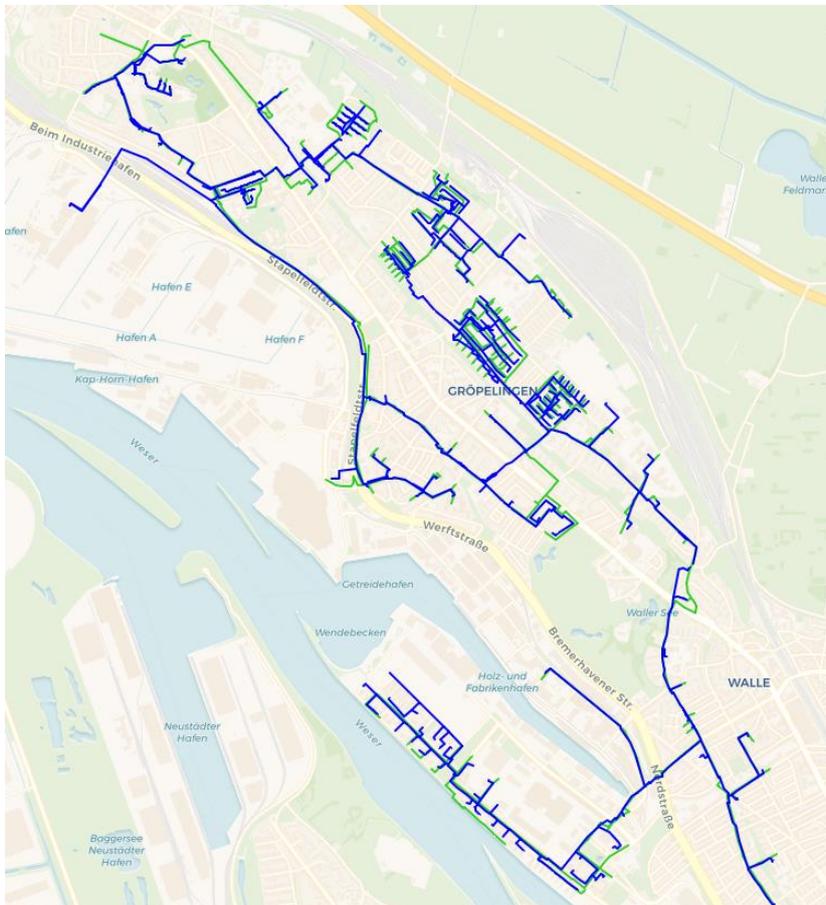


Abbildung 9: Netzgebiet West – Fernwärmeleitungen (blau); Übersetzung in Straßennetz (grün)

Um die Bestandsnetze zu berücksichtigen, wurden diese zunächst automatisiert auf das Straßennetz übertragen (s. Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11). Hierbei werden alle Straßenabschnitte als fernwärmeerschlossen definiert, welche einen maximalen Abstand von 40 m zum Fernwärmenetz aufweisen. Aufgrund der leicht vereinfachenden Übertragung des Bestandsnetzes in das Straßennetz kommt es zu leichten Abweichungen bei den Netzlängen. Die Länge des fernwärmeerschlossenen Straßennetzmodells beträgt 250 km. Die tatsächliche Länge der Fernwärmenetze beträgt 256 km.

Abweichungen gibt es vor allem dort, wo Fernwärmeleitungen nicht über öffentliche Straßen, sondern zum Teil über Grundstücke oder andere Grünflächen verlaufen. Dieser Längenunterschied wird für die weitere Betrachtung als unerheblich bewertet.

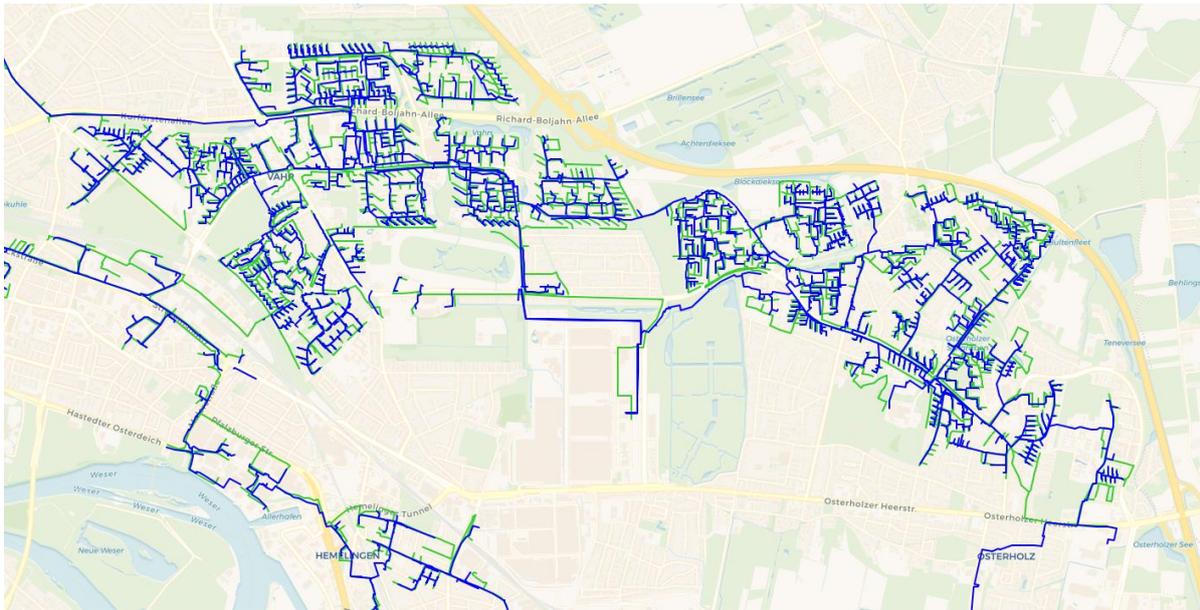


Abbildung 10: Netzgebiet Ost – Fernwärmeleitungen (blau); Übersetzung in Straßennetz (grün)

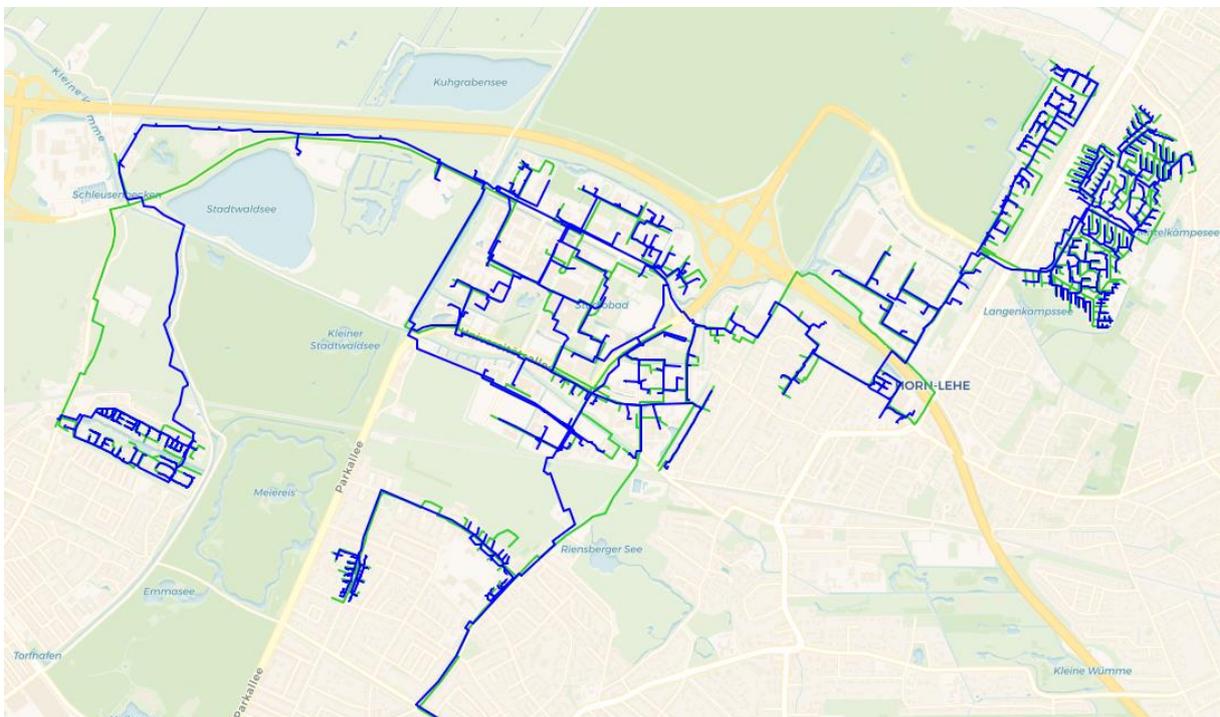


Abbildung 11: Netzgebiet Uni – Fernwärmeleitungen (blau); Übersetzung in Straßennetz (grün)

Zur Auswahl der Straßenzüge für den Fernwärmeausbau wird ein numerischer Optimierungsalgorithmus der Gutachterin auf Basis der Graphentheorie angewandt. Der Algorithmus bewertet alle Straßenzüge nach einer vorgegebenen Grenzwärmelinien-dichte und maximiert den potenziellen Wärmeabsatz bei möglichst minimalen Leitungslängen. Dabei werden die Straßenzüge nicht einfach über die Grenzwärmelinien-dichte ausgewählt, sondern der Algorithmus erstellt direkt ein zusammenhängendes Wärmenetz. Insgesamt wurden fünf Varianten für den Fernwärmeausbau mit Variation der Grenzwärmelinien-dichte von 750 kWh/(m*a) bis 2.500 kWh/(m*a) erstellt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 13 grafisch und in Tabelle 3 anhand von Kenngrößen dargestellt. Der resultierende, zusätzliche Fernwärmeabsatz durch Netzausbau (Verdichtung ist hierbei noch nicht berücksichtigt) beläuft sich im Bereich von ca. 460 GWh/a bis 1.160 GWh/a.

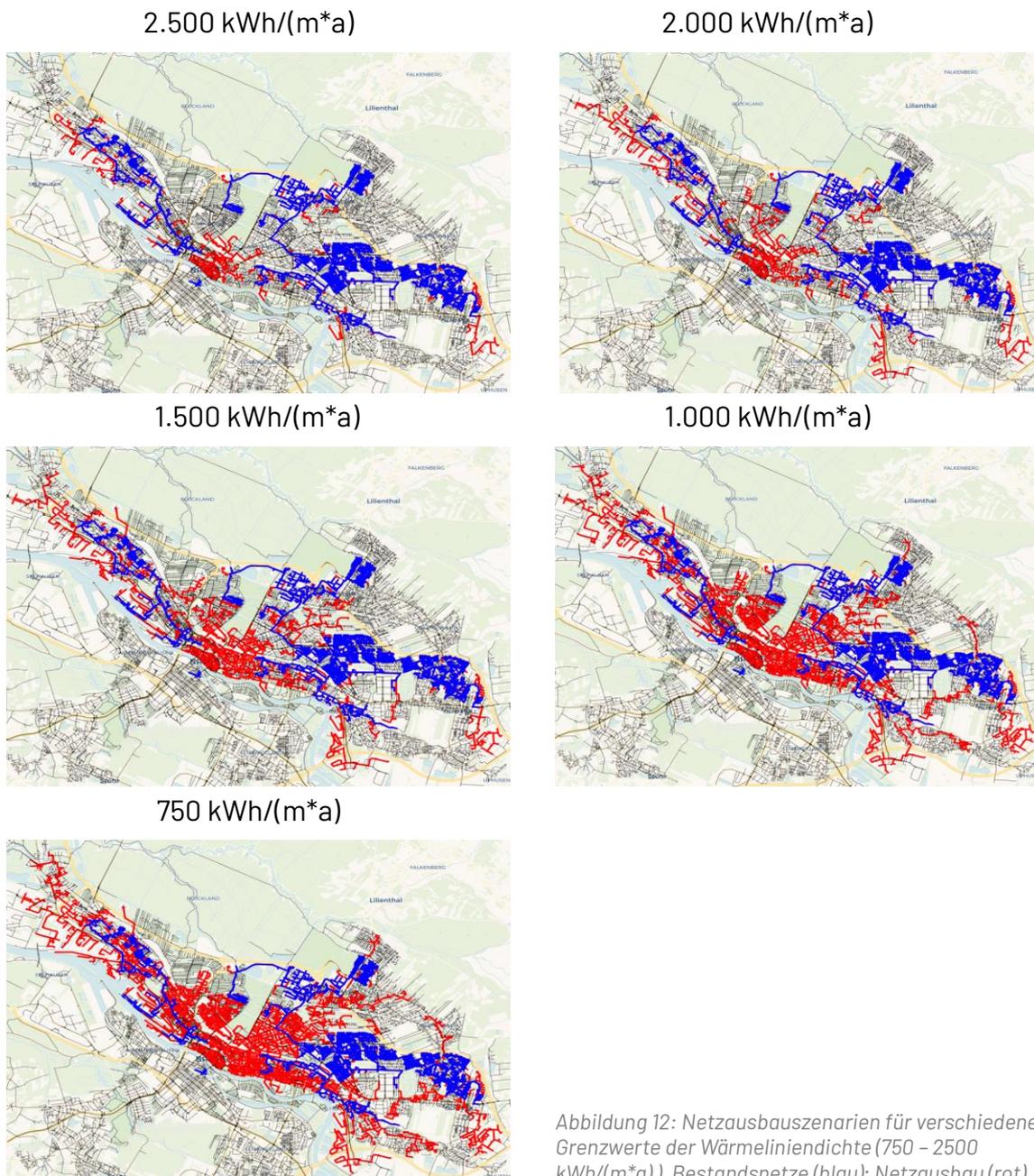


Tabelle 3: Netzausbauszenarien für verschiedene Grenzwerte der Wärmeliniendichte (750 – 2500 kWh/(m*a))

Ausbauvariante in kWh/(m*a)	750	1.000	1.500	2.000	2.500
Trassenlänge Transportleitungen in km	434	335	204	128	74
Trassenlänge Hausanschlüsse in km	175	121	53	26	13
Potenzieller Wärmeabsatz 2038 gesamt in GWh/a	1.159	1.027	787	612	462
Wärmeliniendichte in kWh/(m*a)	1.905	2.254	3.060	3.963	5.287

Die Abbildung 13 zeigt die Deckungsrate in den betrachteten Ortsteilen und die nach Wärmeliniendichte geordneten Anteile des Wärmebedarfs (ohne Industrie). Dargestellt sind die Anteile:

- Fernwärme-Bestand
- Fernwärme-Verdichtungspotenzial einschließlich Anschlussraten. Dies umfasst Gebäude, die bereits an einem fernwärmeerschlossenen Straßenzug liegen, jedoch nicht mit Fernwärme versorgt sind. Hier wurden dieselben Anschlussraten wie für den Fernwärmeausbau angenommen.
- Fernwärme-Ausbaupotenzial je nach Netzausbauvariante unter Berücksichtigung der gewählten Anschlussraten (s. o.) Rest (Residuum).

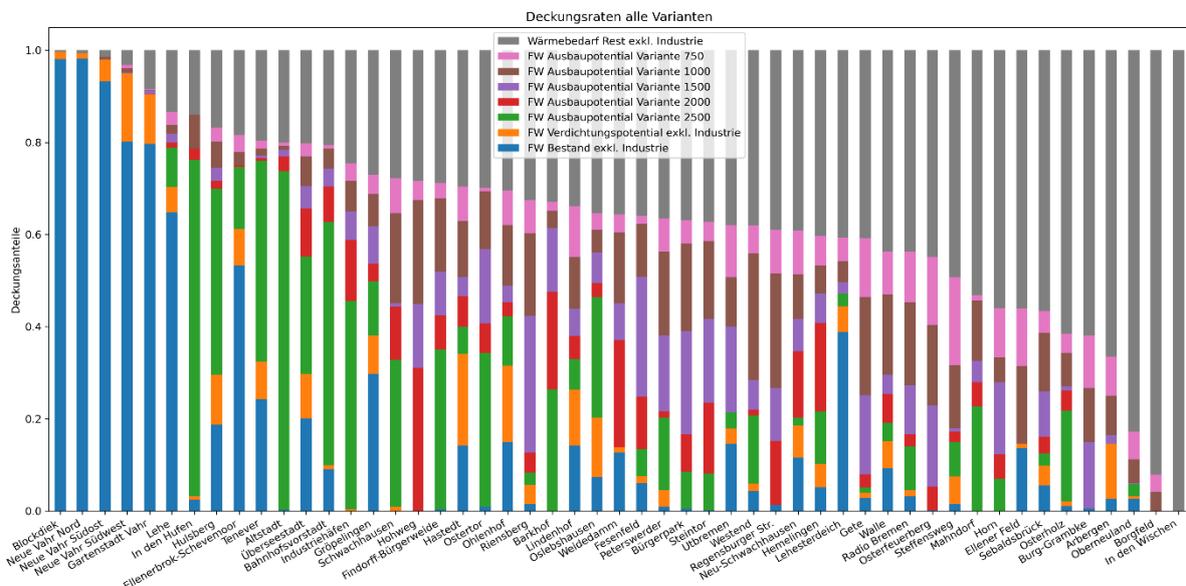


Abbildung 13: Deckungsanteile Fernwärme-Bestand, Verdichtungspotenzial und Ausbaupotenzial für die Fernwärme-netzgebiete West-Mittel-Ost, aufgeteilt nach Ortsteilen und für die fünf berechneten Netzausbauvarianten

Im nächsten Schritt wurde die Wirtschaftlichkeit der einzelnen durch den Algorithmus identifizierten Netzausbauvarianten untersucht. Hierfür wurde in Abstimmung mit der Auftraggeberin die Betrachtung auf Ortsteilebene gewählt. Der Fokus auf die Ortsteilebene hilft, die höheren Erschließungskosten im Bereich der Stadtmitte zu berücksichtigen. Weiterhin ermöglicht die Angabe der Ortsteile eine bessere Orientierung.

Der zentrale Ansatz für die Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit der Fernwärmeausbauvarianten besteht in dem **Vergleich** von **Kosten** für den Fernwärmeausbau und den potenziellen **Erlösen** durch den Wärmeabsatz. Die Gesamtkosten setzen sich aus den Kosten für den Fernwärmeausbau (Transportleitungen, Hausanschlussleitungen und Hausanschlussstationen) und die Wärmeerzeugung einschließlich der Durchleitung zum Ausbaubereich über das Bestandsfernwärmenetz zusammen. Ebenfalls berücksichtigt wurden Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie ein pauschaler Aufschlag für Kundenbetreuungskosten. Die potenziellen Erlöse ergeben sich aus dem Wärmeabsatz in den Ausbaubereichen und den zu zahlenden Wärmepreisen. Im Folgenden werden die verwendeten Annahmen und das Vorgehen zur Kostenermittlung für die einzelnen Kostenbestandteile beschrieben.

Transportleitungen

Für die Transportleitungen werden kapital- und betriebsgebundene Kosten berechnet. Die Investitionskosten für Transportleitungen werden je Ortsteil anhand einer eigens erstellten Kostenfunktion (Abbildung 14) abgeschätzt. Die Näherungsfunktion basiert auf Netzkosten nach DN (Abbildung 16) und den konkreten Netzauslegungen für neue Netze durch die Gutachterin (Punkte auf dem Diagramm).

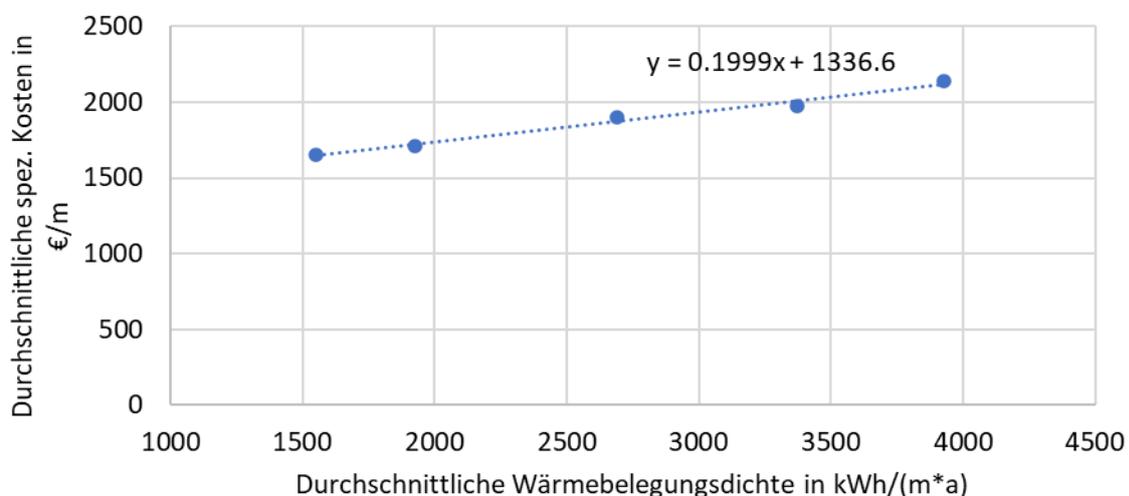


Abbildung 14: Die verwendete Kostenfunktion zur Abschätzung der Investitionskosten für Fernwärmetransportleitungen. Die auf der x-Achse dargestellte durchschnittliche Wärmebelegungsdichte ist inkl. Hausanschlussleitungen berechnet.

Während die Rohrnetzdimensionierung und die resultierende DN-Verteilung für neue Netze direkt realisierbar sind, ist die Rohrnetzdimensionierung für den Ausbau bestehender Fernwärmenetze nur über hydraulische Netzsimulationen sinnvoll möglich.

Solche Simulationen waren nicht Bestandteil des Auftrags, sodass die Investitionskostenschätzung über die Kostenfunktion erfolgte. Für die Transportleitungen wurden 30 Jahre Nutzungsdauer und für Wartung- und Instandhaltung die Kosten i. H. v. 1 %/a, bezogen auf die Investition, angenommen.

Durch wesernetz wurde eine Karte mit Gebieten bereitgestellt, in denen aufgrund der sehr dichten Bebauung mit einer Verdopplung der Kosten für den Tiefbau zu rechnen ist. Da der Tiefbau ca. 70 % der Gesamtkosten ausmacht, wird in diesen Gebieten mit 70 % höheren Investitionskosten gerechnet. Dieses Gebiet umfasst die Ortsteile Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Ostertor, Steintor und Fesenfeld (Abbildung 15).

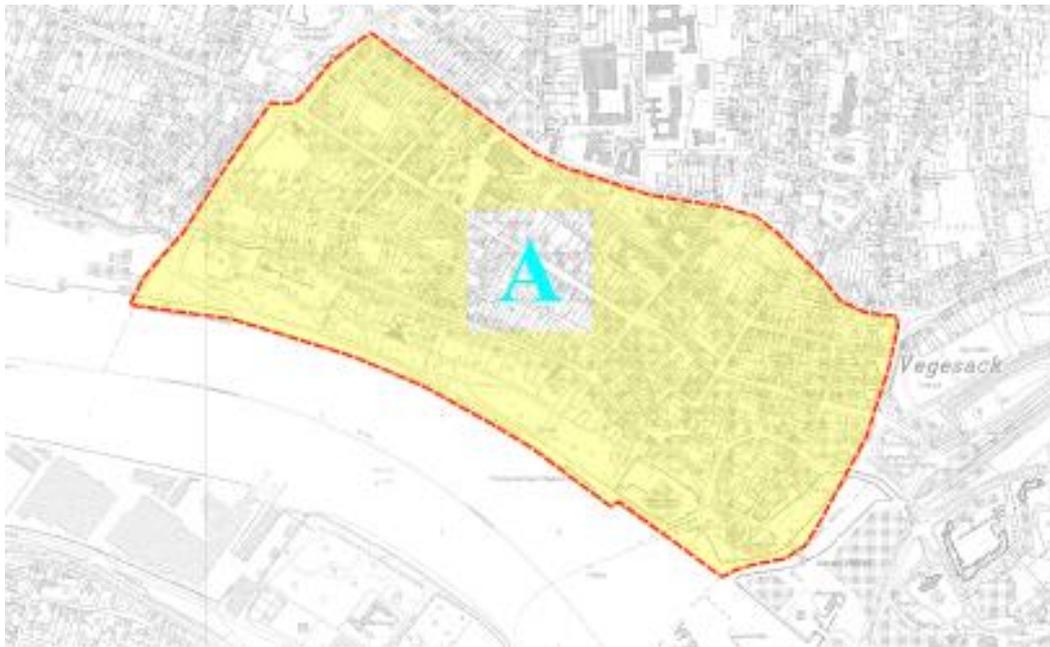


Abbildung 15: Preiszone A mit höheren Kosten für Verlegung von Fernwärmeleitungen

Hausanschlussleitungen

Die Investitionskosten der Hausanschlussleitungen werden für jedes vom Algorithmus ausgewählte Gebäude einzeln berechnet. Hierfür wird die erforderliche Anschlussleistung über den Wärmebedarf des Gebäudes und angenommenen Vollbenutzungsstunden abgeschätzt. Anhand der Anschlussleistung wird die Nennweite der Anschlussleitung bestimmt. Die Länge der Hausanschlussleitung wird anhand des GIS berechnet. Der gewählte Kostenansatz nach Nennweite der Anschlussleitung ist in Abbildung 16 dargestellt. Die berechneten Kosten werden mit der gebäudespezifischen Anschlussrate multipliziert. Für die Hausanschlussleitungen wurden 30 Jahre Nutzungsdauer und für Wartung und Instandhaltung die Kosten i. H. v. 1 %/a, bezogen auf die Investition, angenommen.

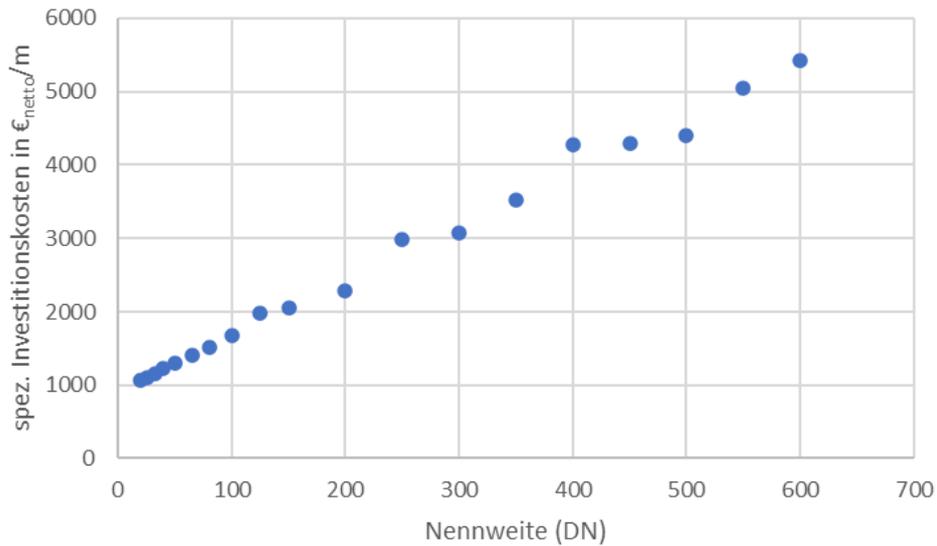


Abbildung 16: Kostenannahme für Nah- und Fernwärmeleitungen

Hausanschlussstationen

Analog zu den Hausanschlussleitungen werden die Investitionskosten für Hausanschlussstationen anhand der abgeschätzten Anschlussleistung berechnet und mit der Anschlussquote multipliziert. Für die Hausanschlussstationen wurden 20 Jahre Nutzungsdauer und für Wartung und Instandhaltung Kosten i. H. v. 0,3 %/a, bezogen auf die Investition, angenommen.

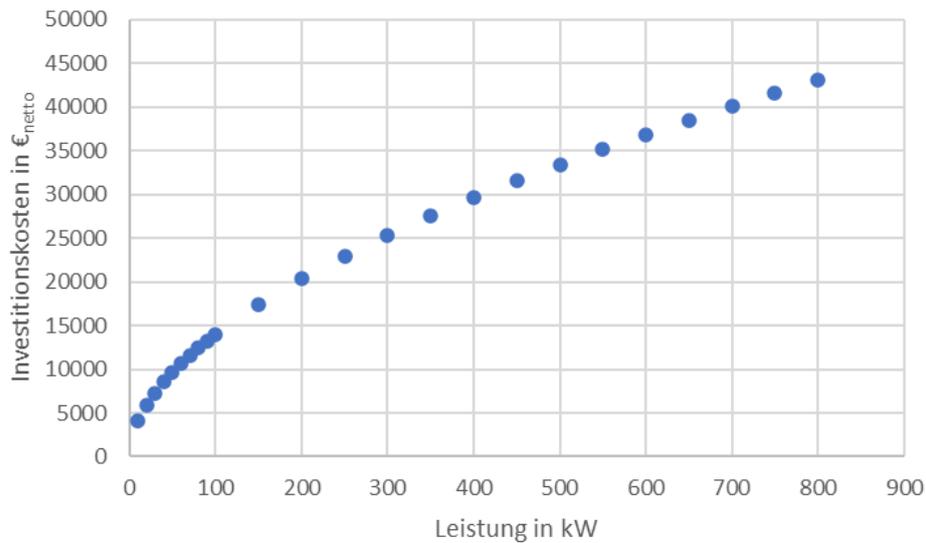


Abbildung 17: Kostenannahme für Hausanschlussstationen

Wärmeerzeugung

Neben den Kosten beim Fernwärmenetzausbau müssen noch Kosten für die Wärmeerzeugung und die Durchleitung durch das Bestandsnetz (inkl. der Verstärkung) berücksichtigt werden. Hierzu wurden folgende Annahmen von der Gutachterin getroffen und die Höhe mit swb und wesernetz abgestimmt:

- 50 €/MWh Wärmegestehungskosten bei der Erzeugung von grüner Wärme. Der Wert entspricht den Literaturangaben für Müllverbrennungsanlagen und der Kostenbetrachtung der Gutachterin für Großwärmepumpen bei Kläranlagen oder Flüssen (vgl. Kapitel 2.6).
- 20 €/MWh als Netzentgelt für das Bestandsnetz für den Wärmetransport von der Erzeugung bis zu den Ausbaugebieten. Diese Entgelte stehen somit zur Finanzierung von Verstärkungsmaßnahmen im Bestandsnetz zur Verfügung. Der Wert wurde grob geschätzt und entspricht etwa der Hälfte der Wärmenetzkosten, die in den nachfolgenden Betrachtungen für den Netzausbau kalkuliert wurden.
- 2 % pro Jahr Preissteigerung für beide Kostenbestandteile

Zusätzlich werden 15 % für Wärmeverluste bei der Verteilung, bezogen auf die Wärmeinspeisung, und weitere 5 % für Kundenbetreuungskosten angenommen.

Anlegbare Preise

Zur Bestimmung der potenziellen Erlöse müssen anlegbare Preise für den Wärmeverkauf an Kunden definiert werden. Hierzu wird unterstellt, dass Fernwärmekunden in den Ausbaugebieten den gleichen Tarif wie Bestandskunden zahlen. Somit wird der aktuelle Fernwärmetarif des swb-Netzgebietes (Abbildung 18, Stand: Januar 2024) als Grundlage für die Kalkulation des anlegbaren Preises angesetzt. Da für die weiteren Kalkulationen ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren inklusive Preisindizierung berücksichtigt wird, wird der aktuelle Fernwärmepreis bei diesen Analysen ebenfalls über 20 Jahre indiziert (mit 2 % p. a.). Die so über den Betrachtungszeitraum ermittelten potenziellen Erlöse werden, analog zu den Hausanschlussleitungen und -stationen, für alle Abnehmer einzeln berechnet und mit der Anschlussquote multipliziert. Zu beachten ist, dass es sich dabei nicht um eine Prognose des in Zukunft zu erwarteten Fernwärmepreisniveaus handelt. Es geht hier darum, ein konsistentes Set von Annahmen zu Erlösen und Kosten für die Ermittlung der Wärmenetzeignungsgebiete zu verwenden.

Preisinformation Bremen

Bis 30 kW Vertragsleistung, Grundpreis/Zähler	6,90 Euro/Monat
31 bis 80 kW Vertragsleistung, Grundpreis/Zähler	13,78 Euro/Monat
81 bis 500 kW Vertragsleistung, Grundpreis/Zähler	20,65 Euro/Monat
Ab 501 kW Vertragsleistung, Grundpreis/Zähler	34,49 Euro/Monat
Verbrauchspreis	11,24 Cent/kWh
Leistungspreis pro kW und Jahr	5,25 Euro

Alle Preise verstehen sich netto zzgl. der jeweils geltenden MwSt.
swb Vertrieb Bremen GmbH – Stand: 01. Januar 2024
Änderungen und Irrtümer vorbehalten.

Abbildung 18: Fernwärme-Tarif swb-Netzgebiet, Stand: Januar 2024

Annuitätenmethode

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird mittels der Annuitätenmethode (VDI 2067) durchgeführt, wobei die folgenden Randbedingungen festgelegt wurden:

- Kalkulatorischer Zinssatz: 8 %/a
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Preissteigerungen: 2 %/a

Mit diesen Annahmen werden die zu erwartenden Gesamtkosten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ermittelt und dann als durchschnittliche Wärmeversorgungskosten (Levelized Costs of Heat – LCOH) angegeben. Dieser Wert kann somit unmittelbar mit dem anlegbaren Preis (Herleitung s. o.) in Beziehung gesetzt werden. Liegen die LCOH maximal auf dem Niveau des anlegbaren Preises, kann der zugrundeliegende Wärmenetzausbau als wirtschaftlich betrachtet werden, da die LCOH auch eine Rendite enthalten.

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden entsprechend des Förderprogramms Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) Investitionszuschüsse in Höhe von 40 % berücksichtigt. Zudem werden für die Kosten von Hausanschlussleitungen und -stationen Anschlusskostenbeiträge der Kunden in Höhe von 50 % (bezogen auf die Kosten vor Förderung) berücksichtigt.

Um den Einfluss der Förderung auf die resultierenden Eignungsgebiete für Nah- und Fernwärme zu untersuchen, wurde eine Variante mit einer hypothetischen Förderung in Höhe von 60 % berechnet.

Ergebnisse

Abbildung 19 zeigt die Wärmegestehungskosten einschließlich der BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten (farbige Punkte). Jeder Punkt stellt eine der fünf Ausbauvarianten nach Wärmelinienendichte in kWh/m*a in einem Ortsteil dar (s. Farbcode in der Legende). In der Darstellung wurden die Kosten der Varianten über die durchschnittliche Wärmelinienendichte aufgetragen. Dadurch wird der Zusammenhang zwischen hoher Wärmelinienendichte (oder auch Wärmedichte) und den Wärmegestehungskosten der Fernwärme deutlich. Die etwas nach oben versetzten Punkte sind Ausbauvarianten in der Preiszone A (Ortsteile Altstadt, Bahnhofsvorstadt, Ostertor, Steintor und Fesenfeld) mit höheren Kosten für den Leitungsbau.

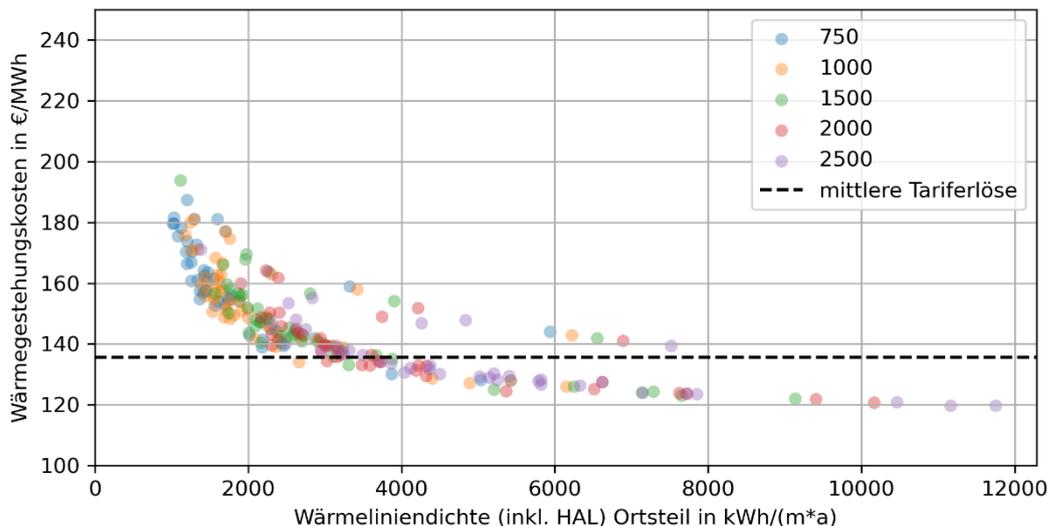


Abbildung 19: Wärmegestehungskosten inkl. BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost.

Zudem sind die mittleren Tarifierlöse (gestrichelte Linie) dargestellt. Alle Punkte unterhalb der gestrichelten Linie können nach dieser Bewertung wirtschaftlich umgesetzt werden. Ein Großteil der Varianten weist jedoch höhere Wärmegestehungskosten als potenzielle Tarifeinnahmen auf (Punkte oberhalb der gestrichelten Linie). Abbildung 20 zeigt das gleiche Bild bei einer hypothetischen 60 %-Förderung. Dabei ergibt sich eine deutliche Verschiebung der Wärmegestehungskosten nach unten, was im Resultat dazu führt, dass deutlich mehr Ortsteile und größere Ausbauvarianten im wirtschaftlichen Bereich liegen.

Alle Kostenangaben sind als nominaler Wert (mit 2 % Steigerung über 20 Jahre) angegeben und dürfen nicht direkt mit den heutigen Kosten bzw. Energieträgerpreisen verglichen werden.

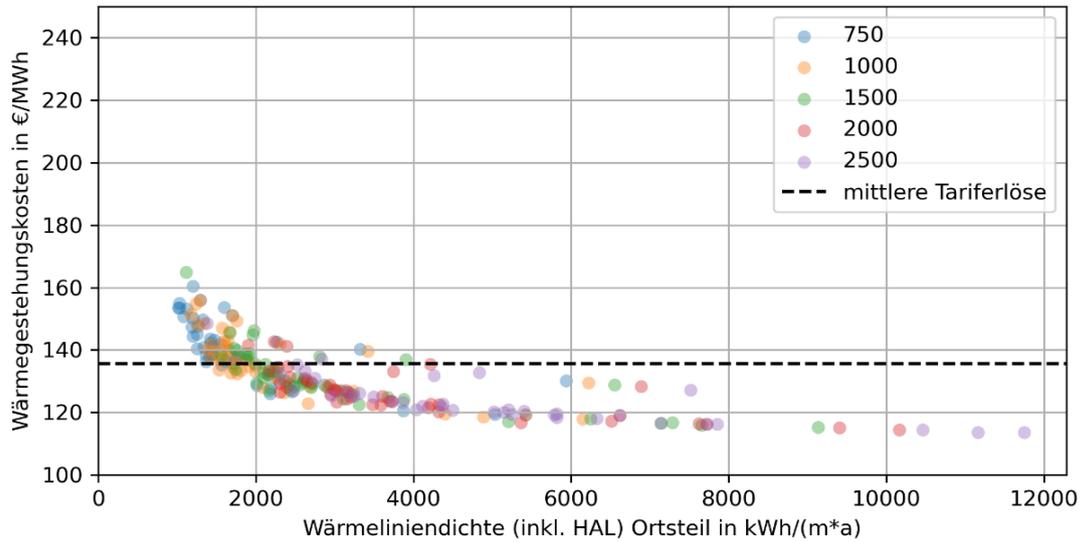


Abbildung 20: Wärmegestehungskosten mit einer hypothetischen 60 %-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost.

Die Abbildung 21 zeigt ein Beispiel für das Ergebnis nach Berechnung der Wärmegestehungskosten und der Deckungsanteile für den Ortsteil Lindenhof. Es wird deutlich, dass bei einer BEW-Förderung die Kosten für zwei Ausbauvarianten (zwei schwarze Punkte von links) unterhalb der Tariferlöse (gestrichelte Linie) liegen und somit wirtschaftlich erschließbar wären.

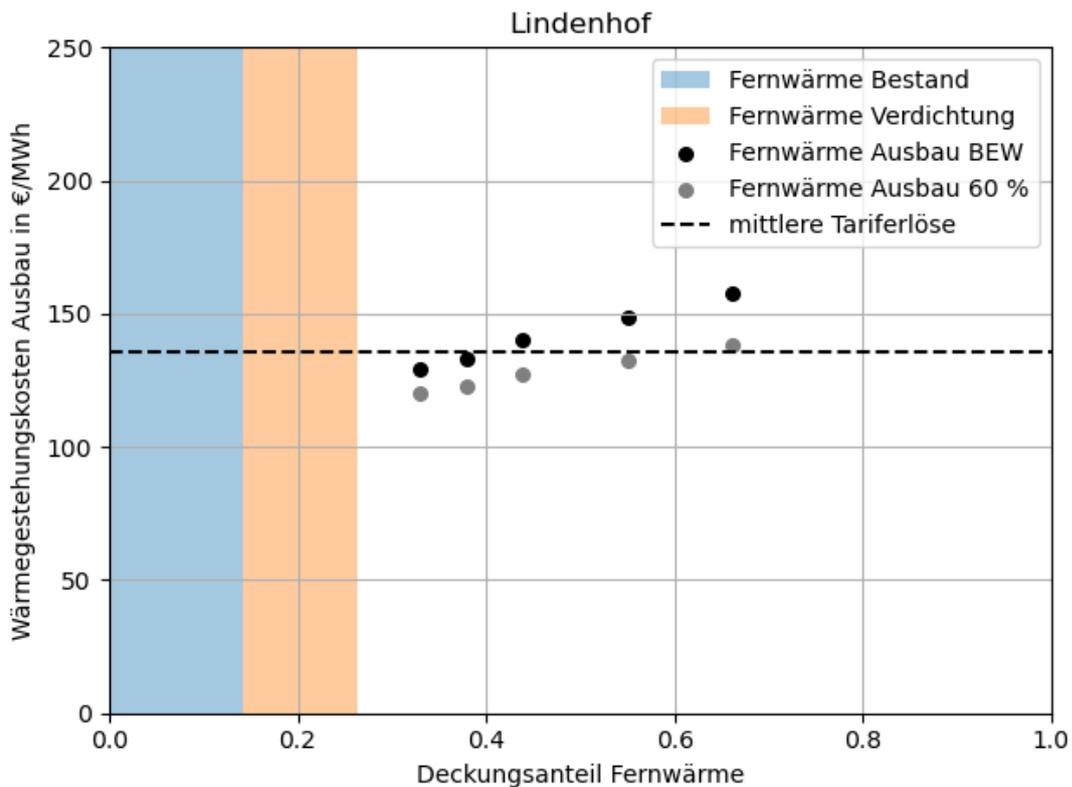


Abbildung 21: Beispiel für die Ergebnisse der Netzausbaubetrachtung auf Ortsteilebene

Mit diesen Ausbauvarianten würde der Anteil der Fernwärme am Wärmebedarf des Ortsteils von 14 % (blaue Fläche: Fernwärme-Bestand) auf ca. 37 % (abzulesen auf der x-Achse) steigen. Hierbei ist auch das Potenzial zur Verdichtung der Fernwärme (in diesem Gutachten definiert als Gebäude, die weniger als 40 m von den bestehenden Fernwärmeleitungen entfernt sind) berücksichtigt (orange Fläche: Fernwärme-Verdichtung). Die Ausbauvarianten mit einem Fernwärmeanteil von über 40 % (drei schwarze Punkte von rechts) wären nicht wirtschaftlich umsetzbar, da die Kosten die potenziellen Erlöse übersteigen. Bei einer hypothetischen 60 %-Förderung der Investitionskosten sinken die Kosten für den Ausbau der Wärmenetze weiter, sodass alle berechneten Ausbauvarianten (fünf graue Punkte) wirtschaftlich umsetzbar wären. Bei der größten Ausbauvariante (der erste graue Punkt von rechts) mit 750 kWh/(m*a) Grenzwärmelinienendichte sind die erwarteten Kosten etwa gleich hoch wie die möglichen Erlöse durch den Fernwärmetarif. Dabei können ca. 65 % des Wärmebedarfs im Ortsteil durch Fernwärme gedeckt werden. Solche Berechnungen wurden für jeden Ortsteil erstellt.

Zur Identifizierung von Eignungsgebieten für Fernwärme wurde im nächsten Schritt für jeden Ortsteil die wirtschaftliche Netzausbauvariante ermittelt. Dabei wurde „wirtschaftlich“ so definiert, dass die Wärmegestehungskosten die potenziellen Tariferlöse nicht mehr als 5 % überschreiten. Das jeweils wirtschaftliche Ausbaupotenzial der Ortsteile bei BEW-Förderung (Abbildung 22) und 60 %-Förderung (Abbildung 23) ist im Folgenden als Balkendiagramm sowie unten in der Karte dargestellt (Abbildung 24).

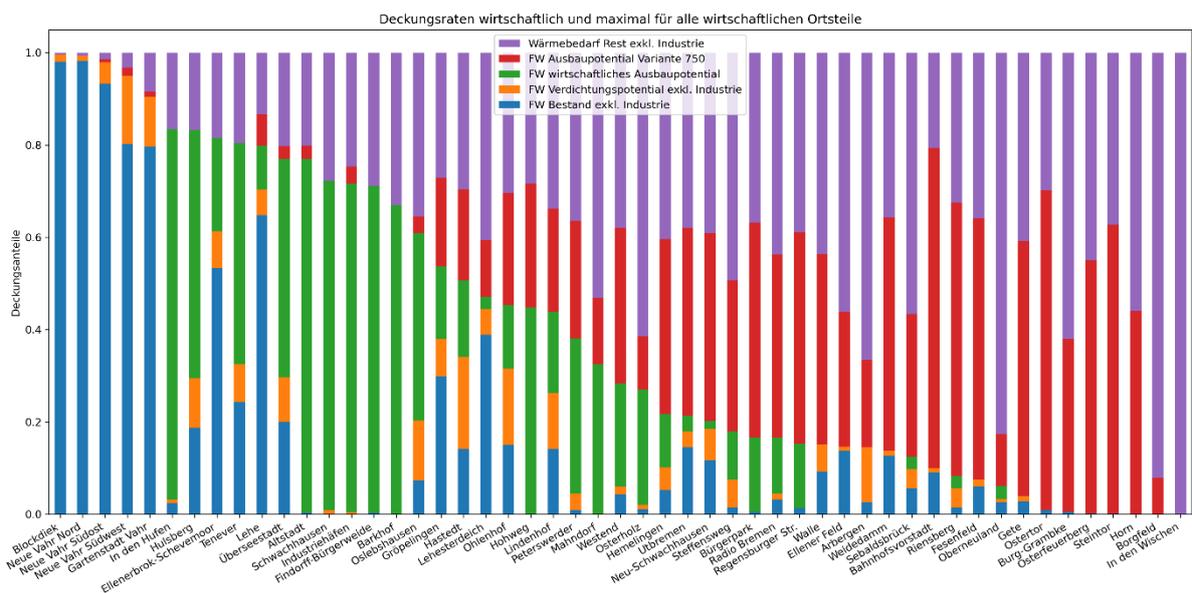


Abbildung 22: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost nach Ortsteilen bei einer BEW-Förderung

Diverse Kennzahlen zum Wärmebedarf in den betrachteten Ortsteilen (ohne Industrie) und mögliche Deckungsanteile des Wärmebedarfs durch Fernwärme (Bestand, Verdichtung und wirtschaftlich erschließbarer Ausbau) sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

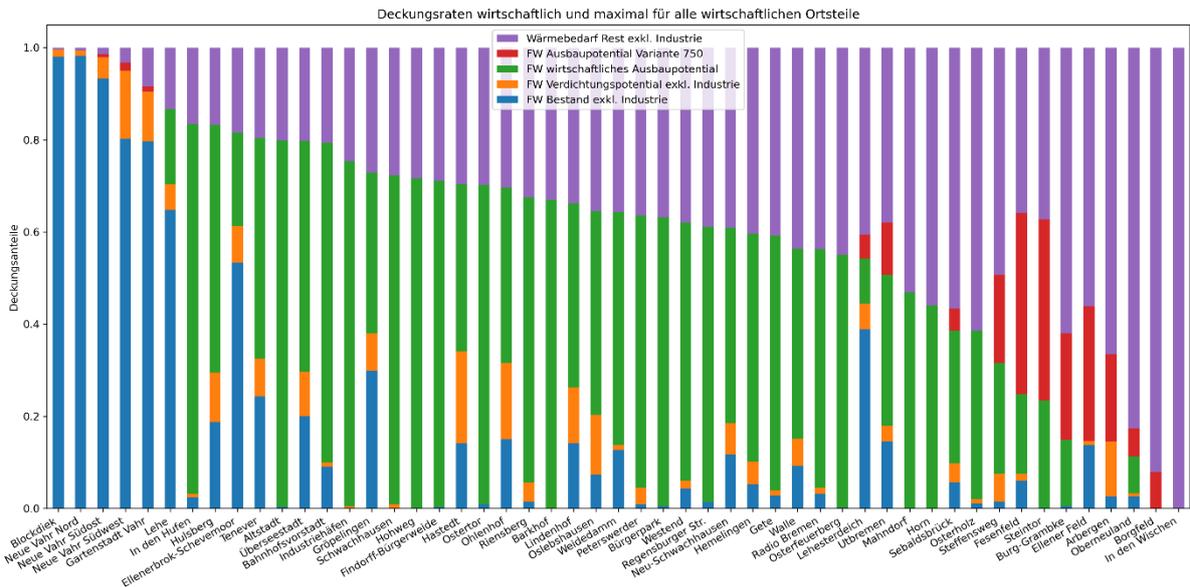


Abbildung 23: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost nach Ortsteilen bei einer hypothetischen 60 %-Förderung

Weiterhin sind darin erforderliche Leitungslängen und Investitionen für den Fernwärmeausbau dargestellt. Nach dieser Bewertung könnten bei einer BEW-Förderung 1.125 GWh/a Wärmebedarf der Gebäude im Jahr 2038 bzw. 42 % des Wärmebedarfs der betrachteten Ortsteile durch die ausgebauten Fernwärmenetze West-Mitte-Ost gedeckt werden.

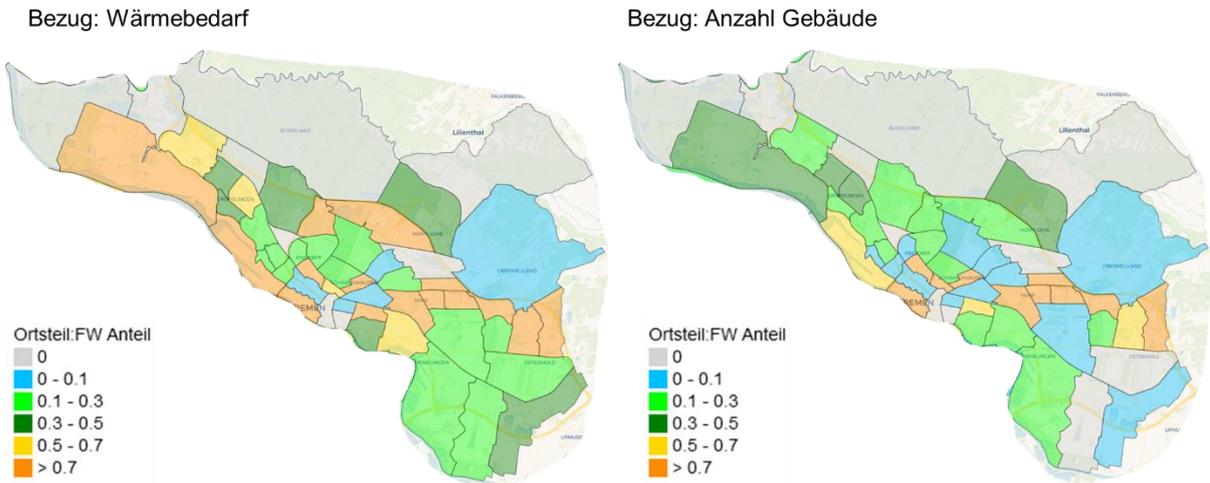


Abbildung 24: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost nach Ortsteilen bei einer BEW-Förderung

Das Potenzial für die Verdichtung und den Ausbau der Fernwärme liegt somit bei $125 + 564 = 689$ GWh/a bzw. +160 % im Vergleich zum Wärmebedarf der bestehenden Fernwärmekunden (ohne Industrie) i. H. v. 436 GWh/a. Für den Fernwärmenetzausbau werden 139 km Transportleitungen und 380 Mio. Euro Investition benötigt. Die angegebenen Investitionskosten beinhalten nur den Ausbau des Wärmenetzes. Die Deckung der zusätzlichen Wärmeabsätze mit erneuerbaren Energien wurde über die Annahme der Wärmebezugskosten berücksichtigt. Die konkreten Maßnahmen zur Umstellung der aktuellen Fernwärmeerzeugung auf erneuerbare Energien und die hierfür erforderlichen Investitionen sollen im Rahmen der Transformationsplanungen für die Fernwärmenetze durch swb/wesernetz betrachtet werden.

Tabelle 4: Kennzahlen für wirtschaftlich erschließbaren Fernwärmeausbau für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost

Summen der betrachteten Ortsteile (ohne Industrie)	40 % Förderquote (BEW)	60 % Förderquote (hypothetisch)	Änderung 40 % → 60 %
Wärmebedarf 2038 Gesamt in GWh/a	2.773		
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Ist in GWh/a	436		
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Verdichtung in GWh/a	125		
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Ausbau (zusätzlich) in GWh/a	564	1.081	+92 %
Länge Transportleitungen Ausbau in km	139	384	+177 %
Länge Hausanschlussleitungen Ausbau in km	37	151	+307 %
Durchschnittliche Wärmelinienendichte Ausbau in KWh/(m*a)	3.212	2.020	-37 %
Investitionen Ausbau in Mio. €	380	1.026	+170 %
Investitionen Ausbau nach Förderung und BKZ in Mio. €	188	296	+57 %
Fördervolumen Ausbau in Mio. €	152	587	+286 %

Eine Erhöhung der Förderung auf 60 % der Investition würde das Potenzial für einen wirtschaftlichen Fernwärmeausbau von 564 GWh/a auf 1.081 GWh/a fast verdoppeln. In diesem Fall könnten 62 % des Wärmebedarfs der Ortsteile (ohne Industrie) wirtschaftlich über Fernwärme gedeckt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Kumulierung der Förderung in der BEW zurzeit ausgeschlossen ist. Es handelt sich um eine hypothetische Annahme, um die Auswirkung aufzuzeigen.

2.5 Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit für neue Wärmenetze in Bremen Nord

Für Bremen Nord wurde die Betrachtung analog zu den Ausbaugebieten der swb-Fernwärmenetze West-Mitte-Ost durchgeführt. Mit dem Unterschied, dass in Bremen Nord kein Netzausbau, sondern der Aufbau eines neuen Wärmenetzes durch energy contracting – ausgehend von einer Abfallentsorgungsanlage, dem Heizkraftwerk Blumenthal – betrachtet wird. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung des Gutachtens lag noch keine konkrete Netzplanung vor. Es wurde aber von energy ein Suchgebiet für Wärmekunden benannt, das große Teile nördlich der Lesum abdeckt.



Durch das Suchgebiet sind folgende Ortsteile nicht abgedeckt: Burgdamm, Lesum, Farge und Rehum. Aufgrund der geringen Wärmedichte (vgl. Kapitel 2.3) wurde auch im Rahmen dieses Gutachtens für diese Ortsteile kein Aufbau neuer Wärmenetze betrachtet. Die vom Algorithmus identifizierten Netze sind in Abbildung 25 grafisch und in Tabelle 5 anhand von Kenngrößen dargestellt. Der Fernwärmeabsatz liegt im Bereich von ca. 50 GWh/a bis 170 GWh/a bzw. 14 % bis 47 % des Wärmebedarfs der Gebäude in Bremen Nord.

Tabelle 5: Netzausbauszenarien in Bremen Nord für verschiedene Grenzwerte der Wärmeliniendichte 50 – 2500 kWh/(m*a)

Ausbauvariante in kWh/(m*a)	750	1.000	1.500	2.000	2.500
Trassenlänge Transportleitungen in km	78	53	26	16	10
Trassenlänge Hausanschlüsse in km	32	20	9	5	3
Potenzieller Wärmeabsatz 2038 gesamt in GWh/a	171	139	93	70	53
Wärmeliniendichte in kWh/(m*a)	1.562	1.916	2.666	3.375	3.951

Die Anteile am Wärmebedarf, die über das Wärmenetz je nach Ausbauvariante gedeckt werden können, sind in Abbildung 26 auf Ebene der Ortsteile dargestellt. Als Fernwärme-Bestand sind hier Nahwärmenetze in den Ortsteilen Blumenthal und Schönebeck dargestellt. Für diese wurde kein Verdichtungspotenzial betrachtet.

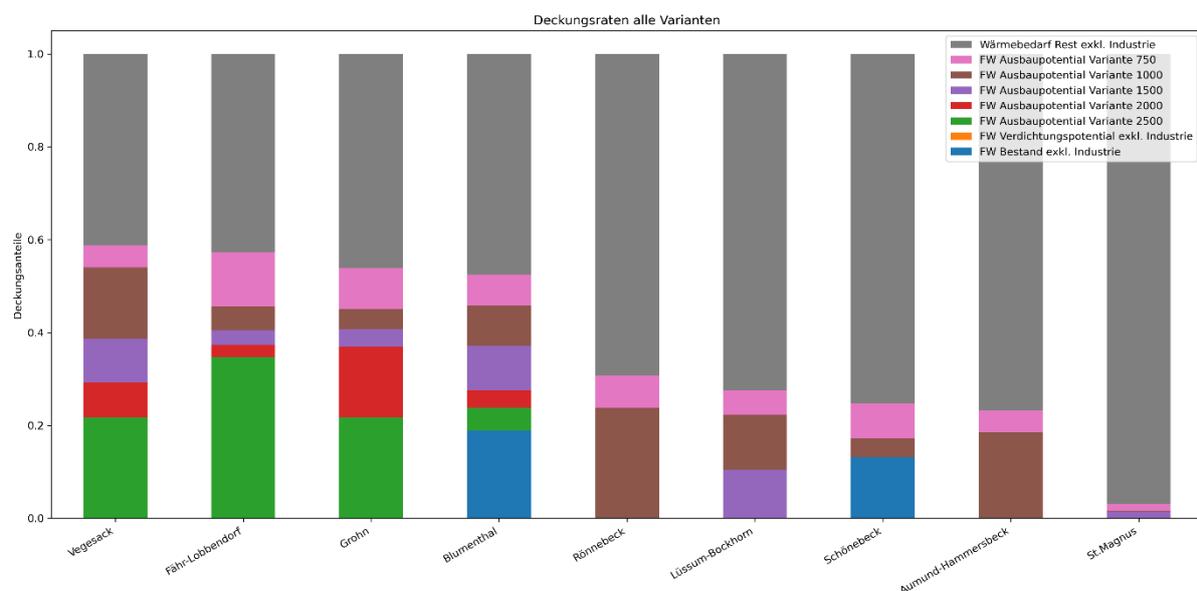


Abbildung 26: Deckungsanteile Fernwärme-Bestand, Verdichtungspotenzial und Ausbaupotenzial der Netzvarianten für die betrachteten Ortsteile in Bremen Nord

Die Annahmen und die Methode bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind bereits in Kapitel 2.4 beschrieben worden. Für die Fernwärmeerzeugungskosten wurden in Abstimmung mit dem Netzbetreiber 60 €/MWh angenommen. Entsprechend wurden keine Kosten für das bestehende Netz angesetzt, da es sich im Wesentlichen um einen Aufbau eines neuen Wärmenetzes handelt. Als anlegbarer Preis wurde auch für Bremen Nord der Fernwärmetarif der swb-Fernwärmenetze angesetzt.

Ergebnisse

Abbildung 27 zeigt die Wärmegestehungskosten unter Berücksichtigung der BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten für Bremen Nord (farbige Punkte). Jeder Punkt stellt eine der fünf Ausbauvarianten in einem Ortsteil dar (siehe Farbcode in der Legende). Zudem sind die mittleren Tariferlöse (gestrichelte Linie) dargestellt.

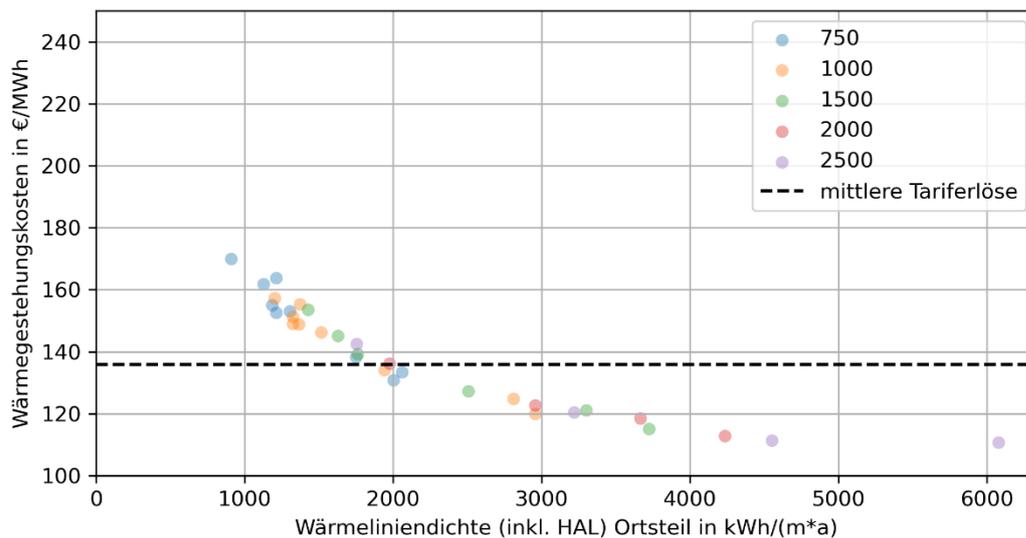


Abbildung 27: Wärmegestehungskosten inkl. BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Nord

Alle Punkte unterhalb der gestrichelten Linie können nach dieser Bewertung wirtschaftlich umgesetzt werden. Alle Kostenangaben sind als nominaler Wert (mit 2 % Steigerung über 20 Jahre) angegeben und dürfen nicht direkt mit den heutigen Kosten bzw. Energieträgerpreisen verglichen werden.

Abbildung 28 zeigt das gleiche Bild bei einer hypothetischen 60 %-Förderung. Zur Identifizierung von Eignungsgebieten für Fernwärme wurde im nächsten Schritt für jeden Ortsteil die wirtschaftliche Netzausbauvariante ermittelt. Dabei wurde „wirtschaftlich“ so definiert, dass die Wärmegestehungskosten die potenziellen Tariferlöse nicht mehr als 5 % überschreiten. Das jeweils wirtschaftliche Ausbaupotenzial der Ortsteile bei BEW-Förderung (Abbildung 29) und 60 %-Förderung (Abbildung 30) ist im Folgenden als Balkendiagramm sowie weiter unten in der Karte dargestellt (Abbildung 40).

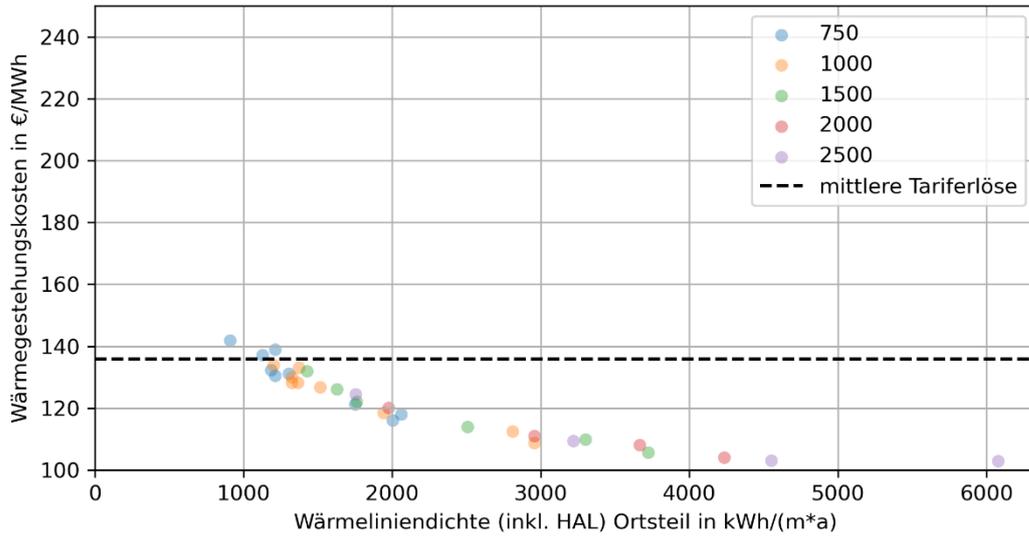


Abbildung 28: Wärmegestehungskosten mit einer hypothetischen 60 %-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Nord.

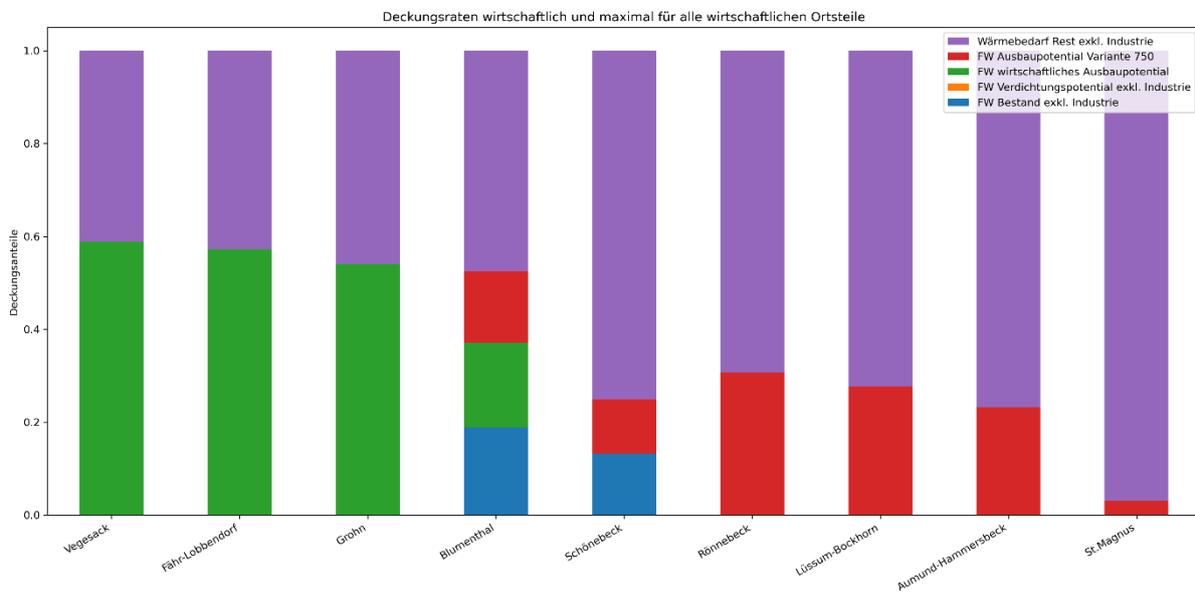


Abbildung 29: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Nord bei BEW-Förderung

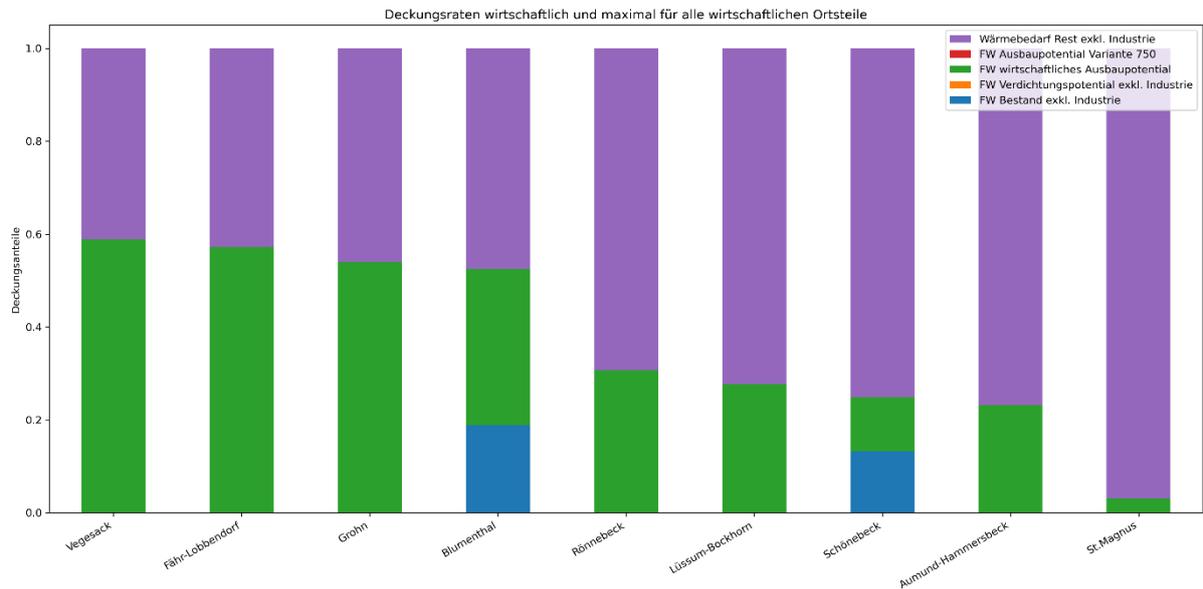


Abbildung 30: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Nord bei einer hypothetischen 60 %-Förderung

Diverse Kennzahlen zum Wärmebedarf in den betrachteten Ortsteilen (ohne Industrie) und die möglichen Deckungsanteile des Wärmebedarfs durch das neue Wärmenetz sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Weiterhin sind erforderliche Leitungslängen und Investitionen für den Wärmenetzaufbau dargestellt.

Tabelle 6: Kennzahlen für wirtschaftlich erschließbaren Aufbau des Wärmenetzes in Bremen Nord

Summen der betrachteten Ortsteile (ohne Industrie)	40 % Förderquote (BEW)	60 % Förderquote (hypothetisch)	Änderung 40 % → 60 %
Wärmebedarf 2038 Gesamt in GWh/a	506		
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Ausbau (zusätzlich) in GWh/a	118	171	+45 %
Länge Transportleitungen Ausbau in km	44	78	+75 %
Länge Hausanschlussleitungen Ausbau in km	18	32	+80 %
Durchschnittliche Wärmelinien-dichte Ausbau in kWh/(m*a)	1.907	1.562	-18 %
Investitionen Ausbau in Mio. €	107	181	+69 %
Investitionen Ausbau nach Förderung und BKZ in Mio. €	49	51	+5 %
Fördervolumen Ausbau in Mio. €	43	103	+141 %

Nach dieser Bewertung könnten bei einer BEW-Förderung 118 GWh/a Wärmebedarf der Gebäude im Jahr 2038 bzw. 33 % des Wärmebedarfs der betrachteten Ortsteile durch das neue Wärmenetz gedeckt werden. Für den Wärmenetzaufbau werden dabei 44 km Transportleitungen und 107 Mio. Euro Investition benötigt. Die Kosten für die Erzeugung sind hierbei nicht berücksichtigt.

Eine hypothetische Erhöhung der Förderung auf 60 % der Investition würde das Potenzial für einen wirtschaftlichen Wärmenetzausbau von 118 GWh/a auf 171 GWh/a deutlich erhöhen. In diesem Fall könnten 47 % des Wärmebedarfs der Ortsteile (ohne Industrie) wirtschaftlich über das Wärmenetz gedeckt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Kumulierung der Förderung in der BEW ausgeschlossen ist. Es handelt sich um eine hypothetische Annahme, um die Auswirkung aufzuzeigen.

2.6 Bewertung der wirtschaftlichen Erschließbarkeit für neue Wärmenetze in Bremen Süd bzw. links der Weser

Für Bremen Süd bzw. links der Weser wurde die gleiche Betrachtung durchgeführt wie für die Ausbaugelände der swb-Fernwärmenetze West-Mitte-Ost. Auch hier wurde kein Ausbau bestehender Wärmenetze, sondern der Aufbau eines oder mehrerer neuer Wärmenetze betrachtet.

Die vom Algorithmus identifizierten Netze sind in Abbildung 31 grafisch und in Tabelle 7 anhand von Kenngrößen dargestellt. Der resultierende Fernwärmeabsatz für neue Wärmenetze (bestehende Nahwärmenetze nicht berücksichtigt) liegt im Bereich von ca. 190 GWh/a bis 460 GWh/a bzw. 21 % bis 51 % des Wärmebedarfs der Gebäude in Bremen Süd.

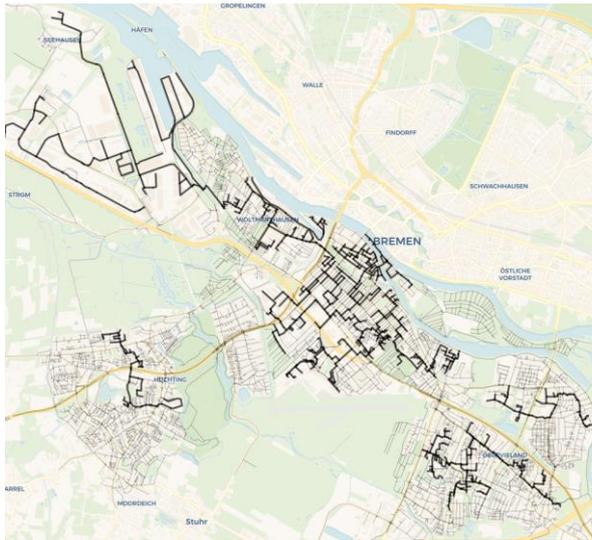
2.500 kWh/(m*a)



2.000 kWh/(m*a)



1.500 kWh/(m*a)



1.000 kWh/(m*a)



750 kWh/(m*a)

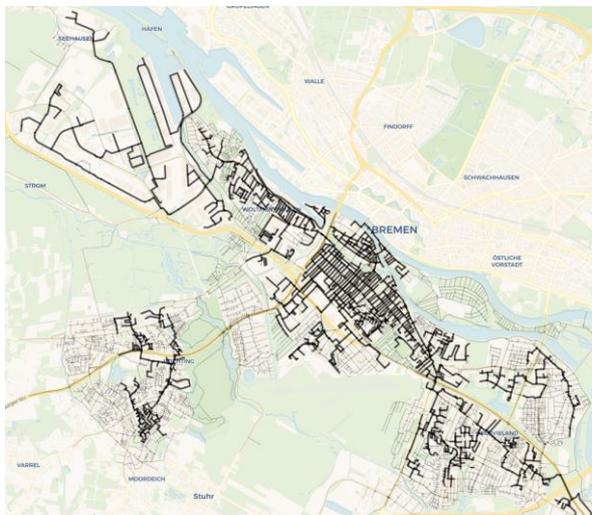


Abbildung 31: Netzneubauszenarien in Bremen Süd für verschiedene Grenzwerte der Wärmelinien-dichte (750 - 2500 kWh/(m*a))

Tabelle 7: Netzausbauszenarien in Bremen Süd für verschiedene Grenzwerte der Wärmelinien-dichte (750 - 2500 kWh/(m*a))

Ausbauvariante in kWh/(m*a)	750	1.000	1.500	2.000	2.500
Trassenlänge Transportleitungen in km	189	154	99	64	47
Trassenlänge Hausanschlüsse in km	61	45	20	10	7
Wärmeabsatz 2038 gesamt in GWh/a	457	413	313	234	190
Wärmelinien-dichte in kWh/(m*a)	1.831	2.074	2.620	3.160	3.503

Die Anteile am Wärmebedarf, die über neue Wärmenetze je nach Ausbauvariante gedeckt werden können, sind in Abbildung 32 auf Ebene der Ortsteile dargestellt. Als Fernwärme-Bestand sind hier Nahwärmenetze in den Ortsteilen Sodenmatt, Mittelhuchting, Kirchhuchting, Arsten und Alte Neustadt dargestellt. Für diese wurde kein Verdichtungspotenzial betrachtet.

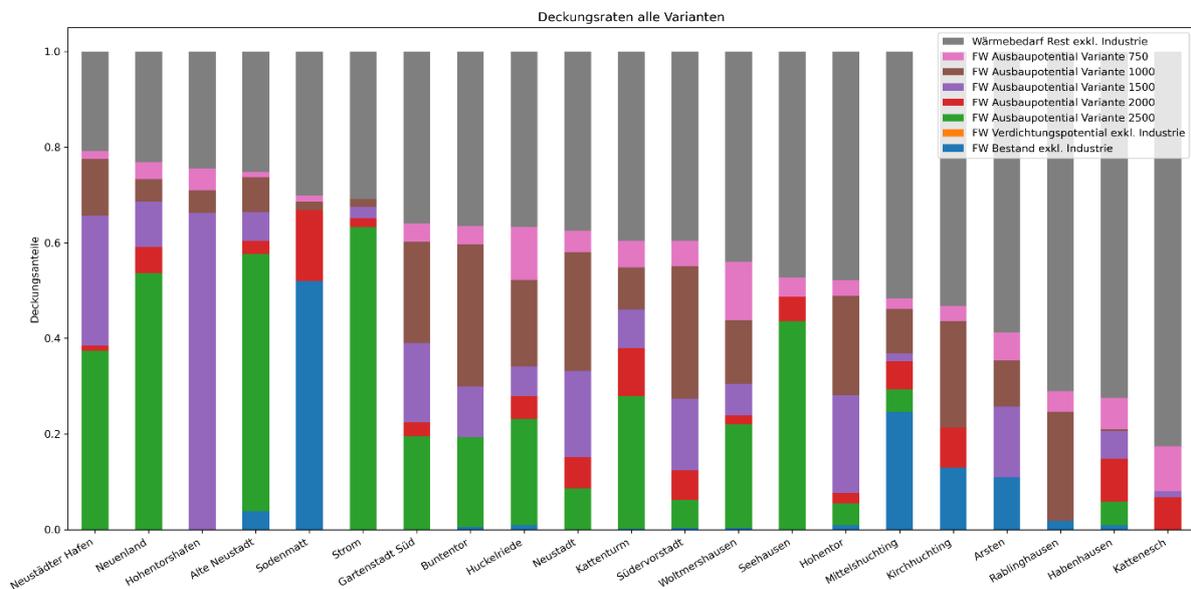


Abbildung 32: Deckungsanteile Fernwärme-Bestand, Verdichtungspotenzial und Ausbaupotenzial der Netzvarianten für die betrachteten Ortsteile in Bremen Nord

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die gleichen Annahmen verwendet wie für Bremen Nord. Die größte Unsicherheit ist die Annahme der Wärmeerzeugungskosten, da für dieses Gebiet noch keine Erzeuger existieren. Es wurde zunächst mit angenommenen 60 €/MWh mit 2 % Preissteigerung pro Jahr (entspricht 69 €/MWh LCOH nominal) gerechnet. Diese Annahme wird als Grundlage für eine erste Wirtschaftlichkeitsberechnung für neue Wärmenetze benötigt. Für die sich daraus ergebenden potenziellen Wärmeabsatzmengen wird in diesem Gutachten ein mögliches Erzeugerkonzept ermittelt. Grundlage ist die Potenzialermittlung aus Kapitel 3. Das heißt, am Ende müssen die ermittelten Erzeugerkosten mit den für den Netzausbau angenommenen Erzeugerkosten von 60 €/MWh verglichen werden.

Es handelt sich somit um ein iteratives Verfahren, bei dem zunächst Wärmeerzeugungskosten pauschal angenommen werden, die zu einem daraus abgeleiteten wirtschaftlichen Netzausbau führen. Für diesen so ermittelten Netzausbau wird dann ein Erzeugerportfolio konfiguriert, welches zu Kosten führen kann, die möglicherweise von den ursprünglich angenommenen Erzeugerkosten abweichen. Mit diesen neuen Erzeugerkosten ist das Verfahren iterativ erneut durchzuführen. Diese Iteration ist gegebenenfalls mehrfach zu wiederholen.

Ergebnisse

Abbildung 33 zeigt die Wärmegestehungskosten einschließlich der BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten (farbige Punkte). Jeder Punkt stellt eine der fünf Ausbauvarianten in einem Ortsteil dar (s. Farbcode in der Legende). Zudem sind die mittleren Tariferlöse (gestrichelte Linie) dargestellt. Alle Punkte unterhalb der gestrichelten Linie können nach dieser Bewertung wirtschaftlich umgesetzt werden. Alle Kostenangaben sind als nominaler Wert (mit 2 % Steigerung über 20 Jahre) angegeben und dürfen nicht direkt mit den heutigen Kosten bzw. Energieträgerpreisen verglichen werden. Abbildung 34 zeigt dasselbe Bild bei 60 %-Förderung.

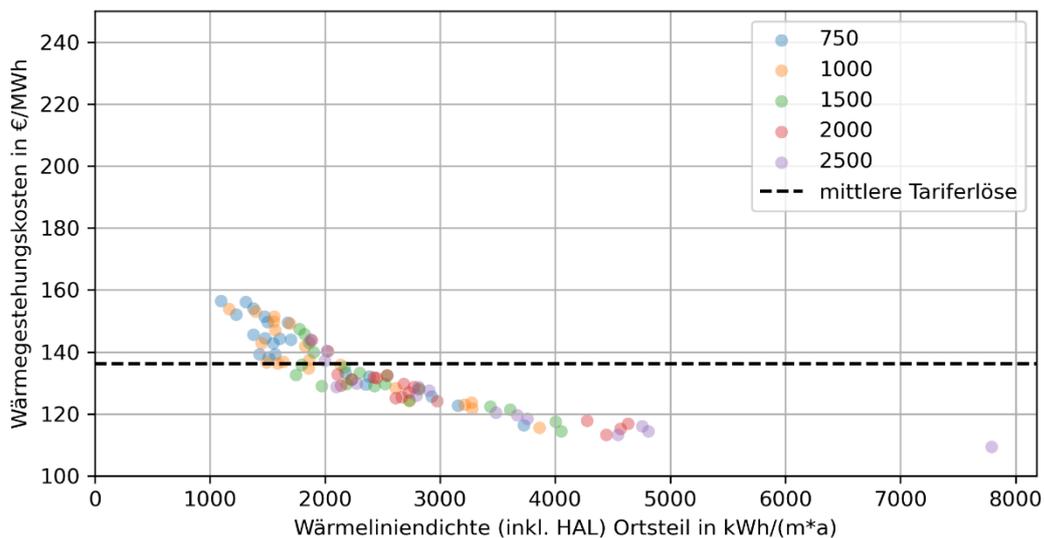


Abbildung 33: Wärmegestehungskosten inkl. BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Süd.

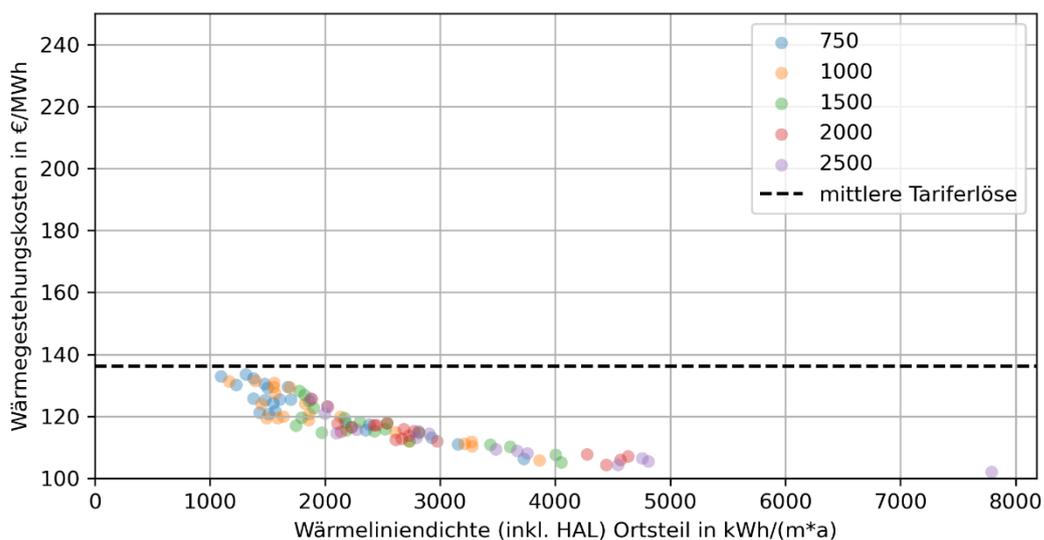


Abbildung 34: Wärmegestehungskosten bei einer hypothetischen 60 %-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Süd.

Für die Identifizierung von Eignungsgebieten für Fernwärme wurde im nächsten Schritt für jeden Ortsteil die wirtschaftliche Netzausbauvariante ermittelt. Dabei wurde „wirtschaftlich“ so definiert, dass die Wärmegestehungskosten die potenziellen Tariferlöse nicht um mehr als 5 % überschreiten. Das jeweils wirtschaftliche Ausbaupotenzial der Ortsteile bei BEW-Förderung (Abbildung 35) und bei 60 %-Förderung (Abbildung 36) ist im Folgenden als Balkendiagramm sowie unten in der Karte für das gesamte Gebiet dargestellt (Abbildung 40).

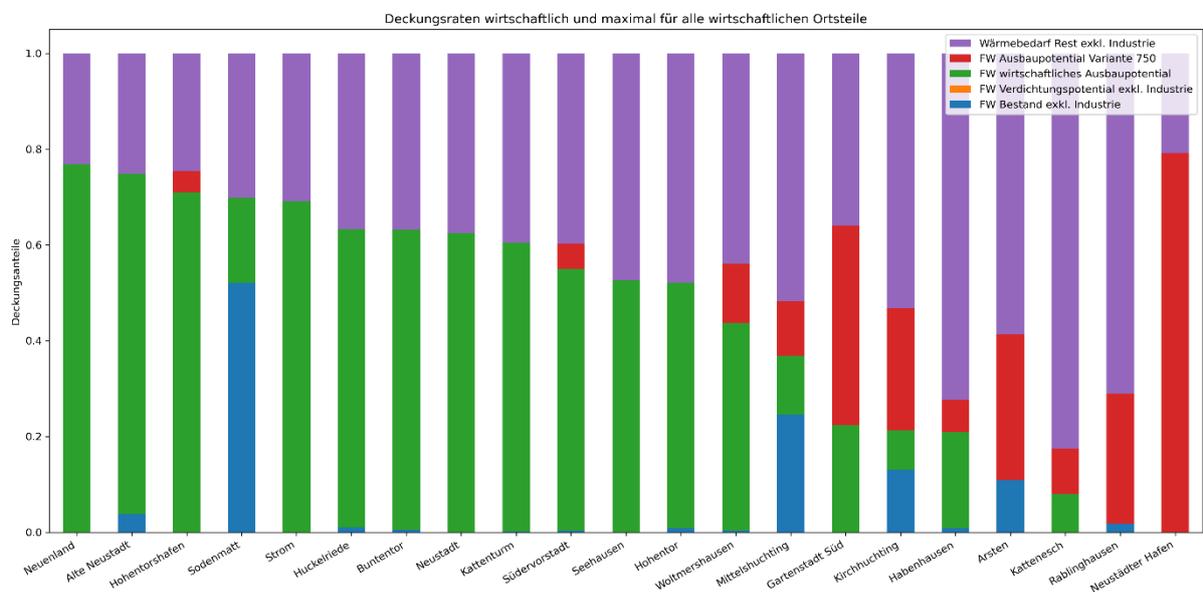


Abbildung 35: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Süd bei BEW-Förderung

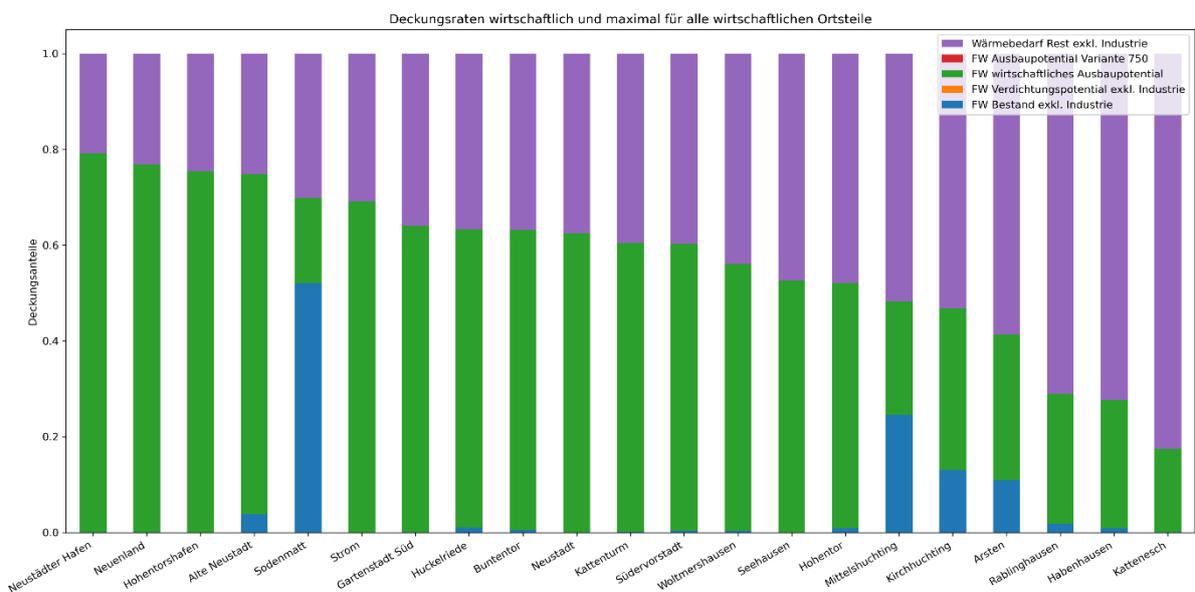


Abbildung 36: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Süd bei einer hypothetischen 60 %-Förderung

Diverse Kennzahlen zum Wärmebedarf in den betrachteten Ortsteilen (ohne Industrie) und zu möglichen Deckungsanteilen des Wärmebedarfs durch das neue Wärmenetz sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Weiterhin sind die erforderlichen Leitungslängen und Investitionen für den Wärmenetzaufbau dargestellt. Bestehende Nahwärmenetze würden bei Fortschreibung des Wärmebedarfs bis 2038 ca. 50 GWh/a bzw. 5,6 % des Wärmebedarfs in Bremen Süd decken. Nach der Bewertung könnten bei einer BEW-Förderung 358 GWh/a Wärmebedarf der Gebäude im Jahr 2038 bzw. 40 % des Wärmebedarfs der betrachteten Ortsteile durch neue Wärmenetze gedeckt werden. Für den Wärmenetzaufbau werden dabei 125 km Transportleitungen (Trasse) und 305 Mio. Euro Investition benötigt. Die Investitionskosten für die Wärmeerzeugung sind dabei noch nicht enthalten.

Tabelle 8: Kennzahlen für wirtschaftlich erschließbaren Aufbau neuer Wärmenetze in Bremen Süd (links der Weser)

Summen der betrachteten Ortsteile (ohne Industrie)	40 % Förderquote (BEW)	60 % Förderquote (hypothetisch)	Änderung 40 % → 60 %
Wärmebedarf 2038 Gesamt in GWh/a	902		
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Ist in GWh/a	50		
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Verdichtung in GWh/a			
Wärmebedarf 2038 Fernwärme-Ausbau (zusätzlich) in GWh/a	358	457	+28%
Länge Transportleitungen Ausbau in km	125	189	+51 %
Länge Hausanschlussleitungen Ausbau in km	45	61	+35 %
Durchschnittliche Wärmelinien-dichte Ausbau in KWh/(m*a)	2.097	1.832	-13%
Investitionen Ausbau in Mio. €	305	432	+42 %
Investitionen Ausbau nach Förderung und BKZ in Mio. €	141	129	+9%
Fördervolumen Ausbau in Mio. €	122	248	+104 %

Bei einer Erhöhung der Förderung auf 60 % der Investition würde das Potenzial für einen wirtschaftlichen Wärmenetzausbau von 358 GWh/a auf 457 GWh/a steigen. In diesem Fall könnten 52 % des Wärmebedarfs der Ortsteile (ohne Industrie) wirtschaftlich über das Wärmenetz gedeckt werden. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Kumulierung der Förderung in der BEW ausgeschlossen ist. Es handelt sich um eine hypothetische Annahme, um die Auswirkung aufzuzeigen.

Insgesamt wurden fünf Bereiche für neue Netze identifiziert (s. Abbildung 37), wobei Wärmenetze 3, 4 und 5 durch den Algorithmus bereits verbunden sind. Auch das Wärmenetz 2 befindet sich sehr nah an den Wärmenetzen 4 und 5, sodass die Netze 2 bis 5 hinsichtlich eines möglichen Erzeugerkonzepts gemeinsam betrachtet werden können. Das Wärmenetz 1 in Huchting/Sodenmatt liegt sehr nah am bestehenden Nahwärmenetz der swb services. Der Schwerpunkt hinsichtlich der Fernwärmeabsatzpotenziale liegt in der Neustadt.

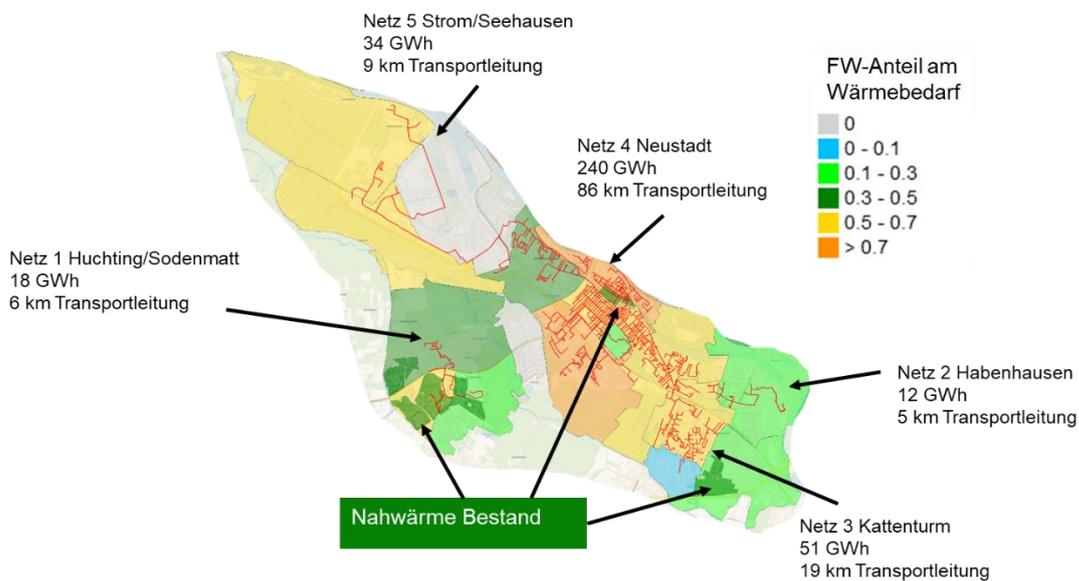


Abbildung 37: Die identifizierten Gebiete für neue Wärmenetze in Bremen Süd (links der Weser)

Wärmeerzeugungskonzept für die Wärmenetzgebiete

Für Bremen Süd stehen insbesondere folgende großskalige Potenziale für erneuerbare Wärme zur Verfügung (vgl. Kapitel 3 zur Potenzialanalyse):

- Großwärmepumpe bei der Kläranlage Seehausen mit bis zu 30 MW thermischer Leistung
- Großwärmepumpe mit Flusswasser (Weser) als Wärmequelle mit bis zu 70 MW thermischer Leistung pro Standort

Um diese Wärmequellen zu nutzen, wird für die Netze 2 bis 5 ein gemeinsames Erzeugerkonzept aufgestellt. Netz 1 in Huchting ist weit entfernt von diesen Wärmequellen. Dazu sollte ein eigenes Konzept erstellt werden. Die Empfehlung ist, ein Erzeugerkonzept zusammen mit dem dort bestehenden Nahwärmenetz von swb services zu erstellen und das Netz 1 als Ausbau des Nahwärmenetzes zu betrachten.

Das Wärmeabsatzpotenzial in den Netzen 2 bis 5 liegt bei 340 GWh/a. Bei der Aufstellung der Erzeugerkonzepte wurde die vorrangige Nutzung der Großwärmepumpen bei der Kläranlage Seehausen und der Flusswärme (Weser) aufgrund der geschätzten geringen Wärmegestehungskosten (Annahmen und Ergebnisse in Anhang I und Anhang II) be-

rücksichtigt. Zur Deckung der Spitzenlasten und als Reserve werden Heizwerke vorgesehen. Der Anteil von Heizwerken an der jährlichen Wärmebereitstellung wurde auf 10 % begrenzt. Diese können zunächst mit Erdgas betrieben werden und später auf Biome-
 than oder synthetische Energieträger umgestellt werden. Eine Grenze von 10 % für fos-
 sile Heizwerke leitet sich dabei aus den Anforderungen der BEW ab. Mit diesem Ansatz
 wurden zwei mögliche Erzeugervarianten betrachtet, die sich in der Einsatzreihenfolge
 der beiden Großwärmepumpen unterscheiden:

- Erzeugerkonzept 1: 90 % der Wärmebereitstellung durch GWP Kläranlage und Fluss sowie 10 % Spitzenlastkessel → 30 MW GWP Kläranlage, 70 MW GWP Fluss und 90 MW Spitzenlastkessel
- Erzeugerkonzept 2: 90 % der Wärmebereitstellung durch GWP Fluss und Kläranlage sowie 10 % Spitzenlastkessel → 70 MW GWP Fluss, 30 MW GWP Kläranlage und 90 MW Spitzenlastkessel

Die Ergebnisse für den Erzeugungslastgang im Jahresverlauf und die jährliche Wärmebereitstellung durch einzelne Anlagen sind in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellt.



Abbildung 38: Erzeugerkonzept 1 für die neuen Netze 2 bis 5 in Bremen Süd



Abbildung 39: Erzeugerkonzept 2 für die neuen Netze 2 bis 5 in Bremen Süd

Mit den ermittelten Potenzialen (30 MW Großwärmepumpe Kläranlage Seehausen und 70 MW Großwärmepumpe Flusswasser) als Wärmequelle können 90 % der Wärme bereitgestellt werden. 10 % werden durch Heizwerke sichergestellt, wobei neben der reinen Spitzenlast auch der Wärmebedarf im Dezember gedeckt wird. Im Dezember (und in anderen Wintermonaten) kann die Flusswärmepumpe nach den Temperaturdaten von 2022 nicht (durchgehend) betrieben werden.

Die dargestellten Erzeugervarianten können noch optimiert werden. Zum Beispiel kommt im Erzeugerkonzept 2 die Großwärmepumpe bei der Kläranlage nur auf 1.800 Vollaststunden und könnte eventuell durch andere Erzeuger ersetzt werden. Auch die Flusswärmepumpe könnte auf mehrere kleinere Geräte und Standorte aufgeteilt werden. Diese Optimierungen und Anpassungen der Erzeugerkonzepte sollen bei einer konkreten Planung erfolgen. Das Ziel des vorliegenden Gutachtens ist lediglich aufzuzeigen, dass ausreichend EE-Potenziale für die identifizierten Wärmenetzgebiete vorliegen. Das ist mit dieser Untersuchung bestätigt.

Auf Basis der ermittelten Wärmemengen der einzelnen Großwärmepumpen und der Kostenannahmen bezüglich der Investitionen, Strompreise etc. (siehe Anhang I und Anhang II) wurden Wärmeerzeugungskosten i. H. v. 70 €/MWh für das Erzeugerkonzept 1 und 68 €/MWh für das Erzeugerkonzept 2 berechnet. Dabei wurden für die Wärme aus den Spitzenlastheizwerken vereinfachend 100 €/MWh angenommen. Des Weiteren liegt die Annahme zugrunde, dass die Investitions- und Betriebskostenförderung nach der aktuell geltenden Förderrichtlinie der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) in vollem Umfang in Anspruch genommen werden kann. Die ermittelten Wärmeerzeugungskosten bestätigen somit die ursprünglich angenommenen 60 €/MWh mit 2 % Preissteigerung pro Jahr (entspricht 69 €/MWh LCOH nominal). Es sei angemerkt, dass die ca. 70 €/MWh nur Erzeugungskosten darstellen und nicht den Endkundenpreis.

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass erhebliche Unsicherheiten in Bezug auf die Kostenannahmen bestehen. Dies gilt vor allem für die Investitionen zur Errichtung der Großwärmepumpen. Aber auch die Entwicklung des Strompreises sowie die zukünftige BEW-Förderquote bei Investitions- und Betriebskosten sind weitere Variablen. In Anbetracht dieser erheblichen Unsicherheiten sind die dargestellten Untersuchungsergebnisse als eine von mehreren möglichen Varianten zu betrachten. Im Rahmen dieses Gutachtens war es nicht möglich, diese Problematik weiter zu untersuchen, etwa durch Variantenrechnungen oder Sensitivitätsanalysen.

Wenn für die zentralen Eingangsgrößen der Berechnung andere Annahmen getroffen würden, könnten sich deutlich abweichende Werte der Wärmeerzeugungskosten ergeben. Höhere Werte der Wärmeerzeugungskosten hätten bei gegebenem Fernwärmepreis zur Folge, dass sich die Wirtschaftlichkeit des Netzneubaus verschlechtern würde. Das heißt, der wirtschaftliche Neubau von Wärmenetzen würde geringer ausfallen als im berechneten Szenario. Ein wirtschaftlicher Netzneubau im dargestellten Umfang könnte sich bei höheren Wärmeerzeugungskosten nur dann ergeben, wenn gleichzeitig

ein entsprechend höherer Fernwärmepreis angenommen würde. Im Rahmen dieses Gutachtens war es nicht möglich, diese Problematik weiter zu untersuchen, etwa durch Variantenrechnungen oder Sensitivitätsanalysen.

2.7 Fazit und Diskussion der Ergebnisse

Im Ergebnis dienen die in den Kapiteln 2.4 bis 2.6 beschriebenen Betrachtungen als Grundlage zur Ausweisung von geeigneten Gebieten für Wärmenetze auf Ortsteilebene. Dabei wurde nicht allein die Wärmedichte, sondern die wirtschaftliche Erschließbarkeit von Gebieten als zentrales Entscheidungskriterium berücksichtigt. Im Arbeitsprozess wurden die zugrunde gelegten Annahmen und Vorgehensweisen im intensiven Austausch mit den Netzbetreibern abgestimmt und diskutiert.

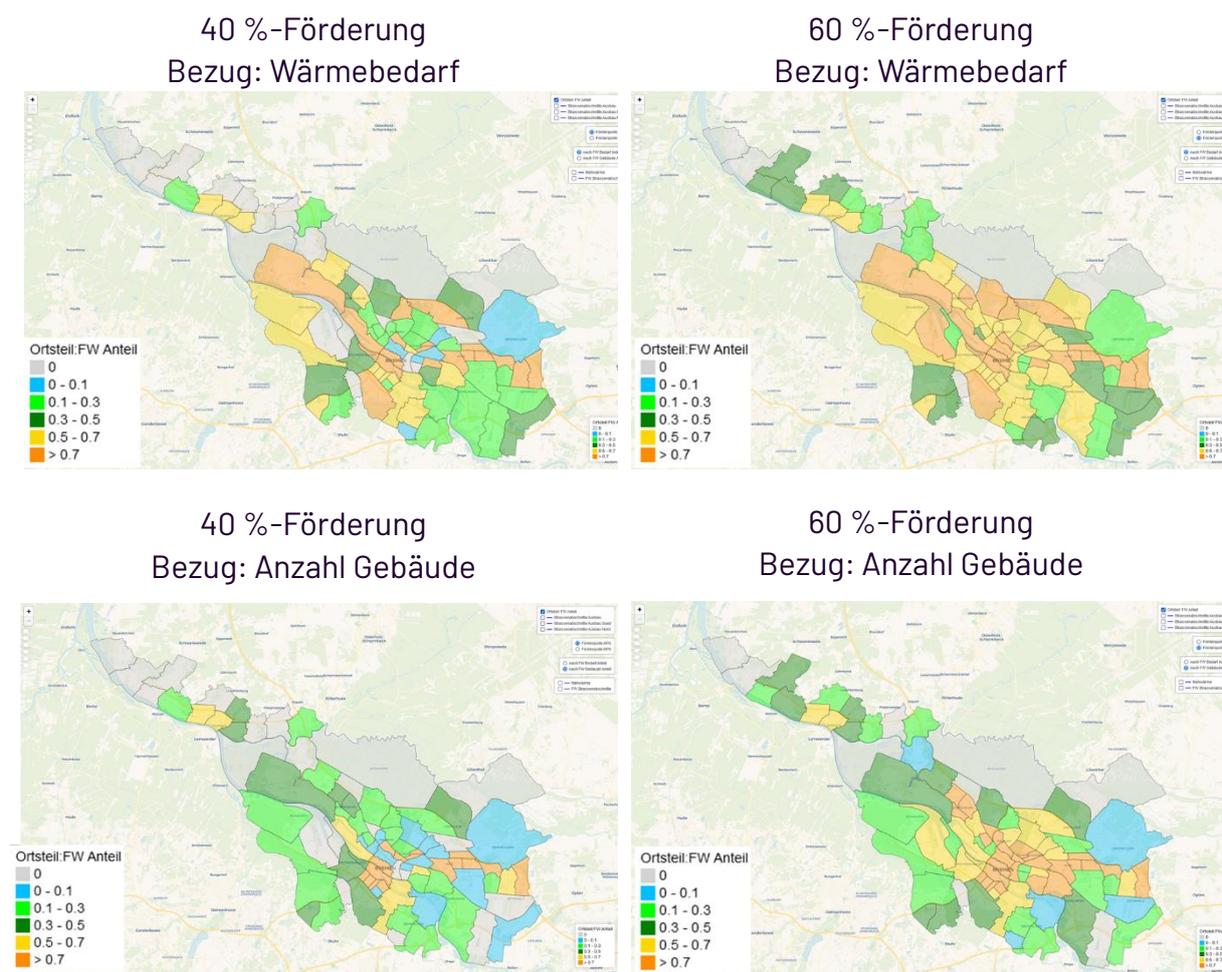


Abbildung 40: Durch Nah- und Fernwärme wirtschaftlich erschließbare Anteile der Ortsteile im Stadtgebiet Bremen

Abbildung 40 zeigt mehrere Karten, die den wirtschaftlich erschließbaren Anteil durch Nah- und Fernwärme für die Ortsteile ausweisen. Die Darstellung liegt einmal mit Fokus auf den Wärmebedarf der Ortsteile (ohne Industrie) und einmal mit Blick auf die Anzahl der Gebäude vor.

In Bezug auf den Wärmebedarf wurden die beschriebenen Anschlussraten berücksichtigt, sodass eine 100 %-Deckung nicht erreicht werden kann (mit Ausnahme von Gebieten, die bereits nahezu vollständig mit Fernwärme versorgt sind). Bei den Gebäuden wurden die Anschlussquoten nicht berücksichtigt. Diese Darstellung zeigt, für wie viele Gebäude ein Fernwärmenetzanschluss potenziell möglich wäre. Weiterhin sind die Auswirkungen bei einer hypothetischen Erhöhung der Förderung auf 60 % der Investition dargestellt.

Die Abbildung 41 zeigt, wie sich eine 40 %-Förderung in den Ortsteilen auswirkt: Ablesbar sind die erschließbaren Anteile, einmal in Bezug auf den Wärmebedarf und einmal auf die Anzahl der Gebäude. Die Anteile beim Wärmebedarf sind in den meisten Ortsteilen größer als die nach Gebäudeanzahl ermittelten. Dies erklärt sich dadurch, dass bei der straßenzugsscharfen Betrachtung vor allem Objekte mit höherem Wärmebedarf für die Wärmenetze ausgewählt wurden.

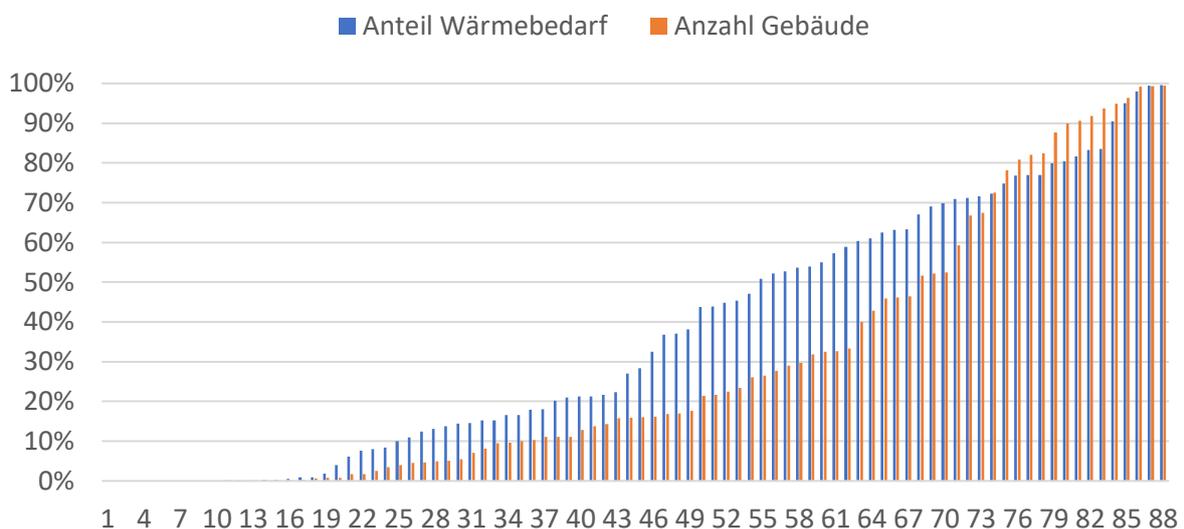


Abbildung 41: Anteile Nah- und Fernwärme für alle Ortsteile bei 40 %-Förderung. Aufsteigend sortiert nach Anteil mit Bezug auf den Wärmebedarf

Die Gesamtübersicht über den wirtschaftlich erschließbaren Anteil am Wärmebedarf nach Ortsteilen einschließlich der Darstellung der bestehenden und ermittelten neuen Wärmenetztrassen ist in Abbildung 42 dargestellt. In der Summe ergibt sich ein wirtschaftlich erschließbares Potenzial für Nah- und Fernwärme von ca. 1.840 GWh/a (Bezugsjahr 2038). Dies entspricht ca. 34 % Anteil am Gesamtwärmebedarf Bremens (5.410 GWh/a im Jahr 2038, inkl. Industrie).

Dieser Anteil setzt sich wie folgt zusammen:

- 13 % bestehende Fern- und Nahwärmenetze (inkl. Industrie)
- 12 % Verdichtung und Ausbau Fernwärmenetze West-Mitte-Ost
- 9 % neue Wärmenetze in Bremen Nord und Süd

Für diesen Ausbau der Wärmenetze werden ca. 300 Trassenkilometer an Transportleitungen benötigt. Somit ist das wirtschaftliche Potenzial für den Ausbau von Wärmenetzen mit 34 % deutlich geringer als das nach Wärmedichten ermittelte Potenzial von 44 % (vgl. Abschnitt 2.3) beim Gesamtwärmebedarf der Hansestadt Bremen.

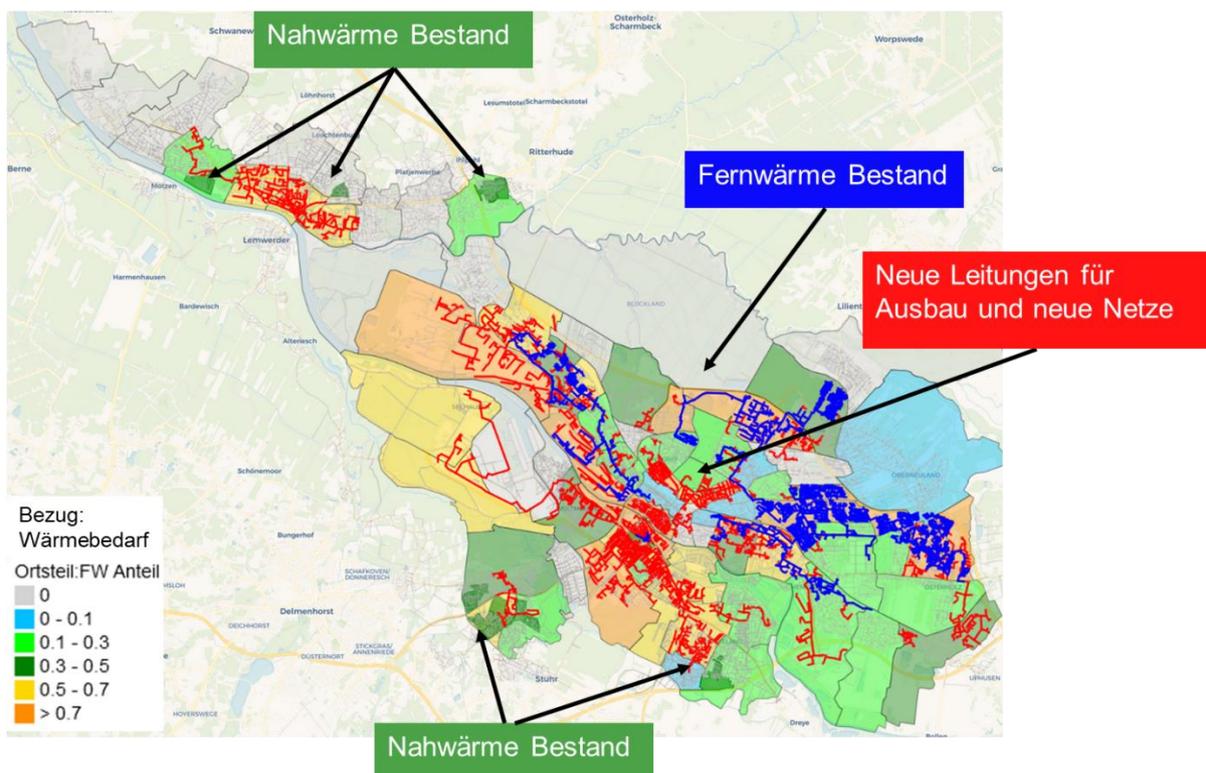


Abbildung 42: Gesamtübersicht des wirtschaftlich erschließbaren Anteils am Wärmebedarf durch Wärmenetze inkl. Trassenführung für Bestandsnetze, den Ausbau bestehender Netze und neue Netze

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind folgende Hinweise zu berücksichtigen:

- Der Anteil von 34 % ist bezogen auf den Gesamtwärmebedarf inklusive Industrie. Ohne Berücksichtigung des erdgasversorgten Wärmebedarfs der Industrie (993 GWh/a bei Fortschreibung bis 2038) ergibt sich ein Potenzial von ca. 42 % des Gesamtwärmebedarfs.
- Das wirtschaftlich erschließbare Potenzial ist u. a. durch die Orientierung des anlegbaren Preises am aktuellen swb-Fernwärmetarif in diesem Gutachten begrenzt.

3 Potenziale erneuerbarer Energien und Abwärme für neue Wärmenetze

3.1 Industrielle Abwärme

Zur Bestimmung des thermischen Potenzials der industriellen Abwärme wurden anhand des Wärmeatlasses die 50 größten Gasverbraucher identifiziert. Diese Liste wurde mit den Eintragungen im Kataster zur Erfassung von Verdunstungskühlanlagen nach 42. BImSchV (KaVKA) abgeglichen. Einige Unternehmen aus der Liste wurden nach manueller Prüfung entfernt, wenn der Produktionsstandort nicht mehr existierte und es sich um Konversionsflächen handelte. Zur Datenerfassung wurde ein Fragebogen erstellt, der an 44 Unternehmen der Hansestadt Bremen versandt wurde. 14 Rückläufer wurden ausgewertet. Davon wiesen 11 Unternehmen kein relevantes Abwärmepotenzial auf. Drei Unternehmen hatten ein sehr großes Abwärmepotenzial von insgesamt ca. 100 GWh/a. Zum Teil handelte sich um Abwärme auf hohem Temperaturniveau (Abgase). Der deutlich größere Anteil der Abwärme lag auf niedrigem Temperaturniveau (Kühlprozesse). Im Rahmen des Gutachtens wurden keine vertiefenden Gespräche mit diesen Unternehmen geführt, weil bereits direkte Gespräche zwischen swb und den Unternehmen zur Nutzung der Abwärme in den Fernwärmenetzen laufen.

Tabelle 9: Potenzial industrieller Abwärme anhand der ausgewerteten Fragebögen

Unternehmen	Abwärmeleistung in MW	Summe nutzbare Abwärme in GWh/a
3 Unternehmen	ca. 52	ca. 100

Auf Basis der Satellitenbilder wurden drei weitere Unternehmen identifiziert, bei denen große Potenziale für industrielle Abwärme zu erwarten sind. Allen voran ist das Stahlwerk zu nennen. Da diese Unternehmen auf die Anfrage nicht reagiert haben, wurden diese im Gutachten nicht berücksichtigt.

Die Potenzialermittlung in dieser Studie hat von Januar bis Februar 2024 stattgefunden. Nach dem neuen Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz – EnEfiG) sind inzwischen alle großen Unternehmen verpflichtet, ihre Abwärmepotenziale zu quantifizieren und in ein Abwärmeregister einzutragen. Die Verpflichtung galt ursprünglich ab 1.1.2024. Diese Frist wurde auf den 1.1.2025 verlängert. Es wird erwartet, dass die Unternehmen, die keinen Fragebogen ausgefüllt haben, ihren gesetzlichen Verpflichtungen nachkommen werden und mit dem Abwärmeregister ab 1.1.2025 weitere Potenziale geprüft werden können.

3.2 Potenziale durch Nutzung einer Wärmepumpe

3.2.1 Randbedingungen zur Berechnung

3.2.1.1 Potenzielle Fahrkurve Fernwärmenetz

Um die Potenziale der Wärmepumpennutzung realistisch darstellen zu können, ist die Simulation einer Fahrkurve für das anvisierte Wärmenetz nötig.

Für alle Quellen, die mittels Wärmepumpen genutzt werden, wird die gleiche Netzfahrkurve angenommen. Somit wird eine Vergleichbarkeit gewährleistet. Die Fahrkurve hat folgende Randbedingungen:

- TNetz, VL = 95 °C bei ≤ -8 °C Außentemperatur
- TNetz, VL = 80 °C bei ≥ 10 °C Außentemperatur
- TNetz, RL = 50 °C bei ≤ -8 °C Außentemperatur
- TNetz, RL = 60 °C bei ≥ 10 °C Außentemperatur
- Innerhalb der Grenzen liegt ein linearer Verlauf vor

Als Außentemperatur wird der Verlauf für das Jahr 2030 in Bremen auf Basis der Software Meteororm im Tagesmittel angesetzt. Die sich daraus ergebenden Vorlauf- und Rücklauftemperaturen im Jahresverlauf sind in Abbildung 43 zu sehen.

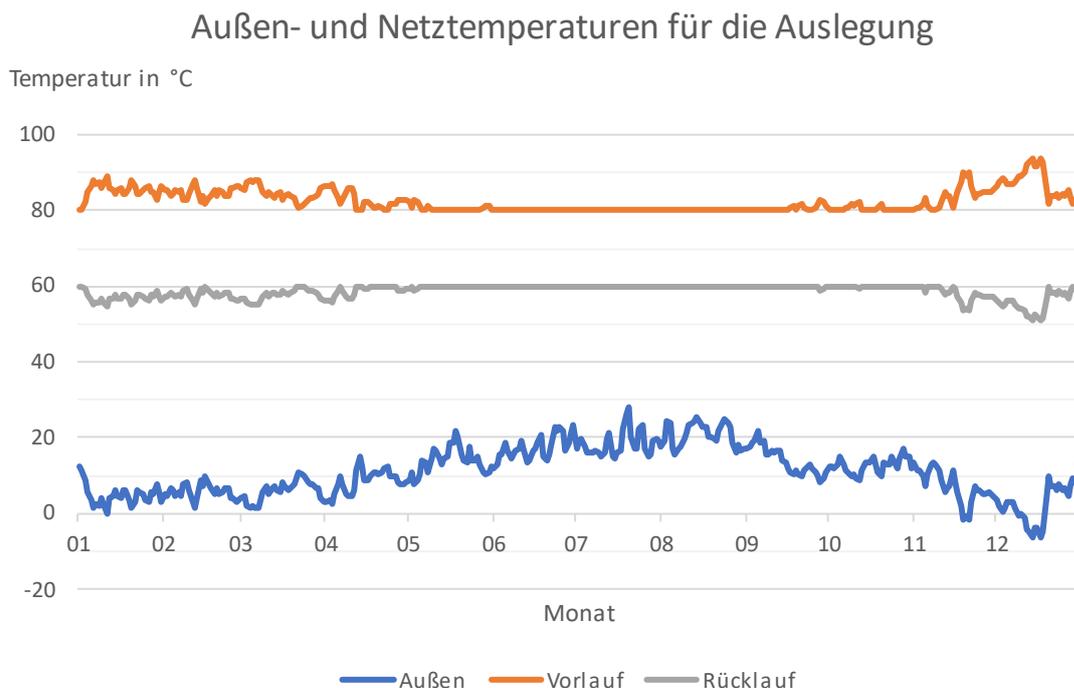


Abbildung 43: Außen- und Netztemperaturen für die Auslegungen

3.2.1.2 Auslegung Wärmepumpe

Um das theoretische Potenzial einer Wärmepumpe ermitteln zu können, muss der Strombedarf für die Anhebung des Temperaturniveaus auf die Netzeintrittstemperatur des Fernwärmenetzes berücksichtigt werden. Dazu wurden die Daten einer Großwärmepumpe mit 11,5 MW thermischer Leistung des Herstellers FrioTherm verwendet. Die maximale Netzeintrittstemperatur, welche von dieser Wärmepumpe direkt erreicht werden kann, beträgt 92 °C gemäß Herstellerangaben. Als COP-Kennlinie wird vereinfacht der Carnot-Wirkungsgrad mit Gütegrad $\epsilon = 0,57$ angesetzt. Die sich daraus ergebende Kennlinie stimmt gut mit dem COP nach den Angaben von FrioTherm für diesen Auslegungsfall überein. Sollten höhere Temperaturen im Netz erforderlich sein, wird ein Gaskessel für die Nachheizung berücksichtigt.

3.2.2 Flusswasserwärmepumpe

Bremen liegt an der Weser. Da diese zu den zehn größten Flüssen in Deutschland gehört, bietet es sich an, das Potenzial des Flusses näher zu betrachten. Um das Potenzial bestimmen zu können, wurden im Gutachten folgende Annahmen für den Betrieb der Wärmepumpe getroffen:

- Minimale Entnahmetemperatur 5 °C (d. h. kein Betrieb der Wärmepumpe, wenn Flusswasser < 5 °C)
- Maximale Auskühlung des Entnahmeevolumenstroms auf bis zu 3 °C zur Einleitung in die Weser
- Bezogen auf Entnahmeevolumenstrom: Abkühlung (Differenz) zwischen Entnahme und Einleitung maximal 5 Kelvin (K)
- Entnahmeevolumenstrom 5 % des mittleren Niedrigabflusses

Im Folgenden werden Zeitreihen der Flusstemperatur und der Durchflüsse analysiert und die Großwärmepumpe ausgelegt. Im Vorfeld erfolgten Abstimmungen mit der Wasserbehörde (Referate 33 und 34) hinsichtlich der getroffenen Annahmen und der Klärung weiterer genehmigungsrechtlicher Fragen.

3.2.2.1 Flusstemperatur

In Abbildung 44 ist zu sehen, dass es in den Jahren 2020 bis 2023 im Januar und/oder Dezember aufgrund der eben genannten Randbedingungen zu einem Ausfall der Wärmepumpe gekommen wäre. Wie die Grafik veranschaulicht, ist nicht damit zu rechnen, dass es jeden Winter zu einem Ausfall kommt, da die Weser im Winter 2021/22 Temperaturen über 5 °C führte.

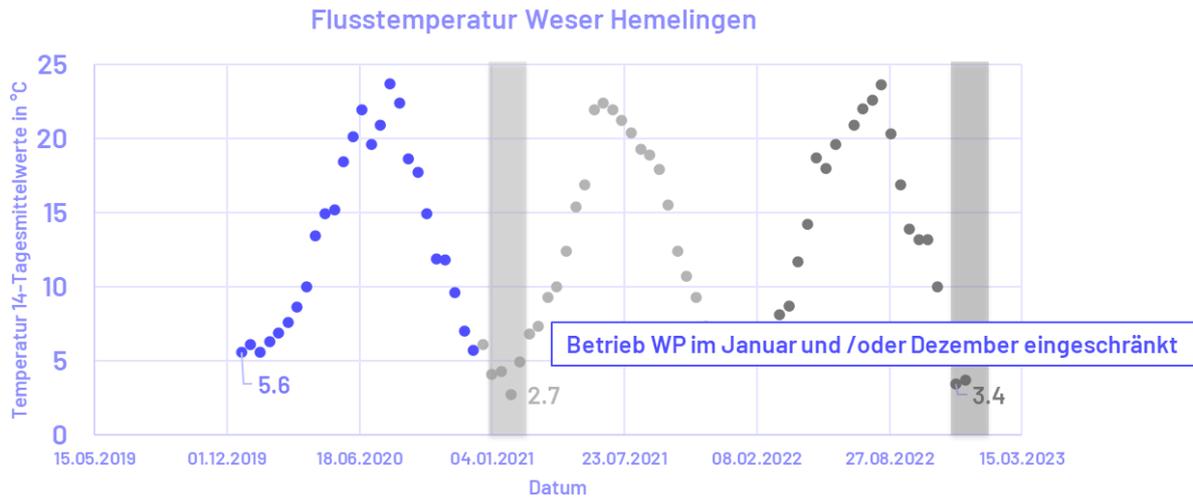


Abbildung 44: Flusstemperatur der Weser 2020 bis 2023³

3.2.2.2 Niedrigwasserabfluss

Der für die Wärmepumpe nutzbare Volumenstrom beträgt 5 % des Niedrigwasserabflusses der Weser. Dieser geht im Mittel mit $78 \text{ m}^3/\text{s}$ aus 14-Tage-Mischproben bei Hemelingen (s. Abbildung 45: Abflusstemperatur Weser für 2020 – 2022) hervor. Somit entspricht der nutzbare Volumenstrom $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

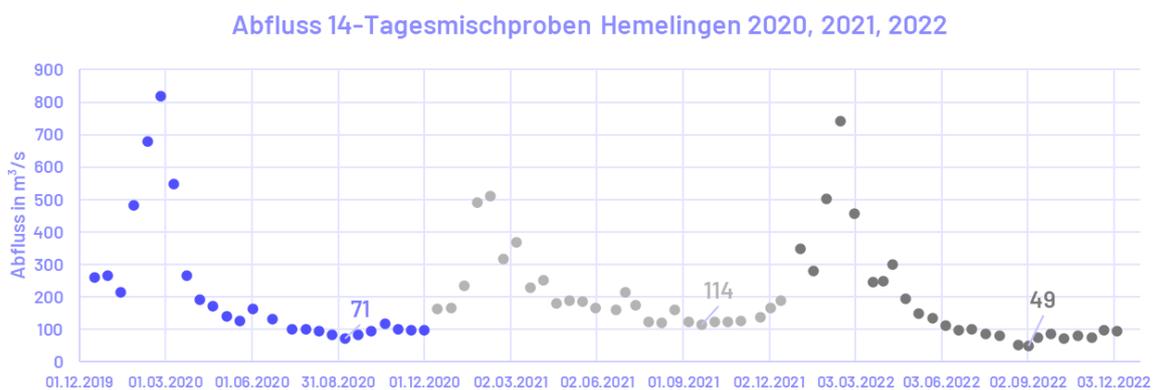


Abbildung 45: Abflusstemperatur Weser für 2020 – 2022⁴

³Quelle: https://undine.bafg.de/weser/quetemesstellen/weser_mst_hemelingen.html
<https://umwelt.bremen.de/umwelt/wasser/oberflaechengewaesser/gwaesserguete-29264>, (abgerufen am 22.5.2024)

⁴Quelle: https://undine.bafg.de/weser/quetemesstellen/weser_mst_hemelingen.html
<https://umwelt.bremen.de/umwelt/wasser/oberflaechengewaesser/gwaesserguete-29264>, (abgerufen am 22.5.2024)

3.2.2.3 Auslegung der Flusswärmepumpe

Bei einer Auslegung der Wärmepumpe auf 5 % des Niedrigwasserabflusses und 5 K Auskühlung würde für die Wärmepumpe daraus eine thermische Leistung von $110 \text{ MW}_{\text{th}}$ resultieren. Allerdings würde die Wärmepumpe durch die Temperaturbegrenzungen häufig mit geringerer Leistung (Januar bis März) oder gar nicht (phasenweise im Dezember oder Januar) betrieben (s. $Q_{\text{aus,theo}}$ in Abbildung 46). Dieser Betrachtung liegen die Temperaturzeitreihen aus dem Jahr 2022 zugrunde. Um die Wärmepumpe besser auszulasten, wird ihre Auslegung so reduziert, dass die unteren 80 % der Zeitreihenwerte für die theoretische abgreifbare Leistung (80 %-Quantil) abgedeckt werden. Dies führt zu einem Potenzial von bis zu $70 \text{ MW}_{\text{th}}$ für die Auslegung der Wärmepumpe und mit 6.070 Vollbenutzungsstunden zu einer guten Auslastung über das Jahr ($Q_{\text{aus,real}}$ in Abbildung 46). $Q_{\text{aus,real}}$ beschreibt hierbei die Wärmeleistung, die zur Wärmeerzeugung des Netzes genutzt werden kann. Diese setzt sich zusammen aus dem Wärmeentzug aus dem Fluss $Q_{\text{ein,real}}$ und der der Wärmepumpe zugeführten elektrischen Leistung $P_{\text{ein,real}}$.

Ein Wartungszeitraum von drei Wochen wird im Juli berücksichtigt. Diese Annahme orientiert sich am üblichen Vorgehen der Fernwärmebetreiber, die Wartung der Erzeugeranlagen im Sommer durchzuführen, wenn der Wärmebedarf im Fernwärmenetz gering ist. Im Fall der Flusswärmepumpe ist aber auch ein Wartungszeitraum im Winter denkbar, wo sie aufgrund der kalten Flusstemperaturen ohnehin nicht in Betrieb ist. Dieser Zeitraum ist jedoch nicht konstant und variiert mit der Außentemperatur.

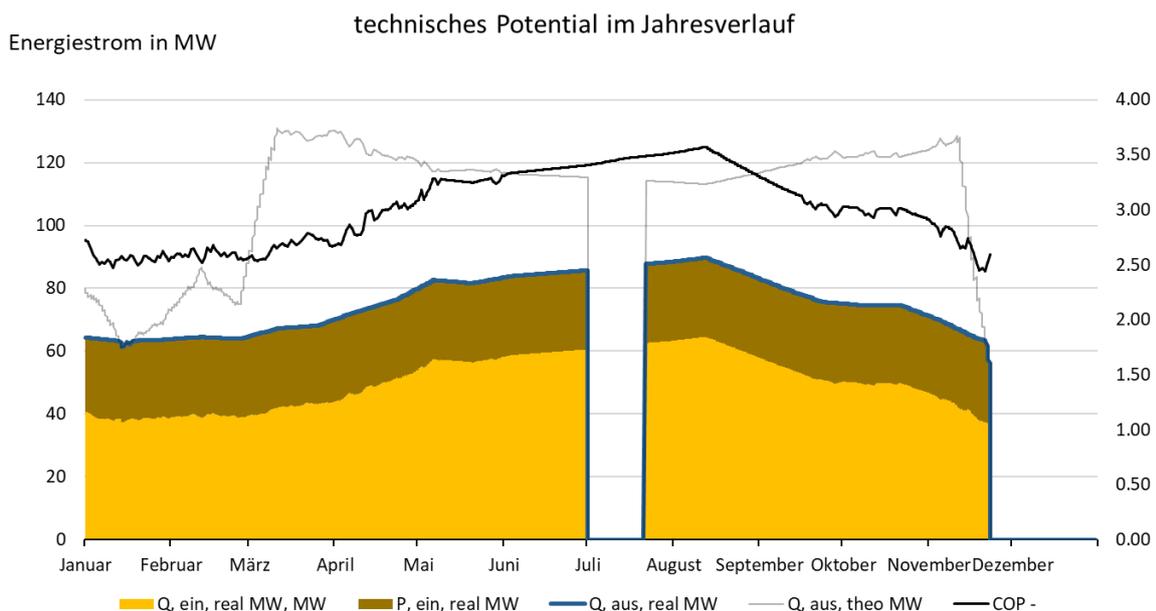


Abbildung 46: Theoretisches und realistisches Potenzial der Flusswärmepumpe

In Tabelle 10 sind das thermische Potenzial sowie weitere Kernergebnisse der Betrachtung der Flusswärmepumpe zu sehen. Die angegebene Leistung von 70 MW ergibt sich bei einer Wassertemperatur von $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Aus dem Jahresverlauf der Wärmeerzeugung ist

zu sehen, dass die Wärmepumpe im Sommer bis zu 90 MW liefern kann. Das liegt an höheren Flusswassertemperaturen und niedrigeren Fernwärmeverlauftemperaturen.

Tabelle 10: Potenzial und Kernergebnisse der Betrachtung der Flusswärmepumpe

Auslegungsvolumenstrom	Vollbenutzungsstunden	Strombedarf pro Jahr	Thermische Nennleistung (bei 10 °C Wassertemperatur)	Wärmeerzeugung pro Jahr
m ³ /s	h/a	MWh/a	MW _{th}	MW _{th}
3,9	6.130	184.000	70	550

3.2.2.4 Genehmigungrechtliche Hinweise

Bei der Potenzialermittlung wurden die folgenden genehmigungsrechtlichen Randbedingungen nicht berücksichtigt. Diese können das Potenzial der Flusswärmepumpen deutlich beeinflussen.

- Je Gewässerabschnitt beträgt der Gesamtentzug der Weser maximal 3 K, bezogen auf den Referenzabfluss der Weser (HIC, 30.7.2021). Das muss zur Zeit der Installation geprüft werden, da davon ausgegangen werden kann, dass die Installation von Flusswärmepumpen an Flüssen – auch am Oberlauf der Weser – zunehmen wird.
- Die Wasserbehörde wies in den Abstimmungen auf mögliche Auswirkungen der Kälteeinleitung auf die Gewässerökologie und auf die Wanderbewegungen der Fische hin. Diese Fragestellung ist wasser- und naturschutzfachlich zu klären. Die Wasserbehörde und das Referat Wärmewende der Stadt Bremen planen hierzu die Beauftragung eines entsprechenden Fachgutachtens.

3.2.3 Abwärme aus Kläranlagen

In Bremen werden zwei Kläranlagen vom Abwasserentsorgungsdienst hanseWasser Bremen GmbH (hanseWasser) betrieben. Die Messdaten zu Temperaturen und Abfluss der Kläranlagen Seehausen und Farge wurden von hanseWasser bereitgestellt. Das Potenzial ergibt sich aus dem verfügbaren Volumenstrom am Auslauf der Kläranlage, dessen Temperatur (jeweils im Jahresverlauf) und den möglichen Temperaturabsenkungen.

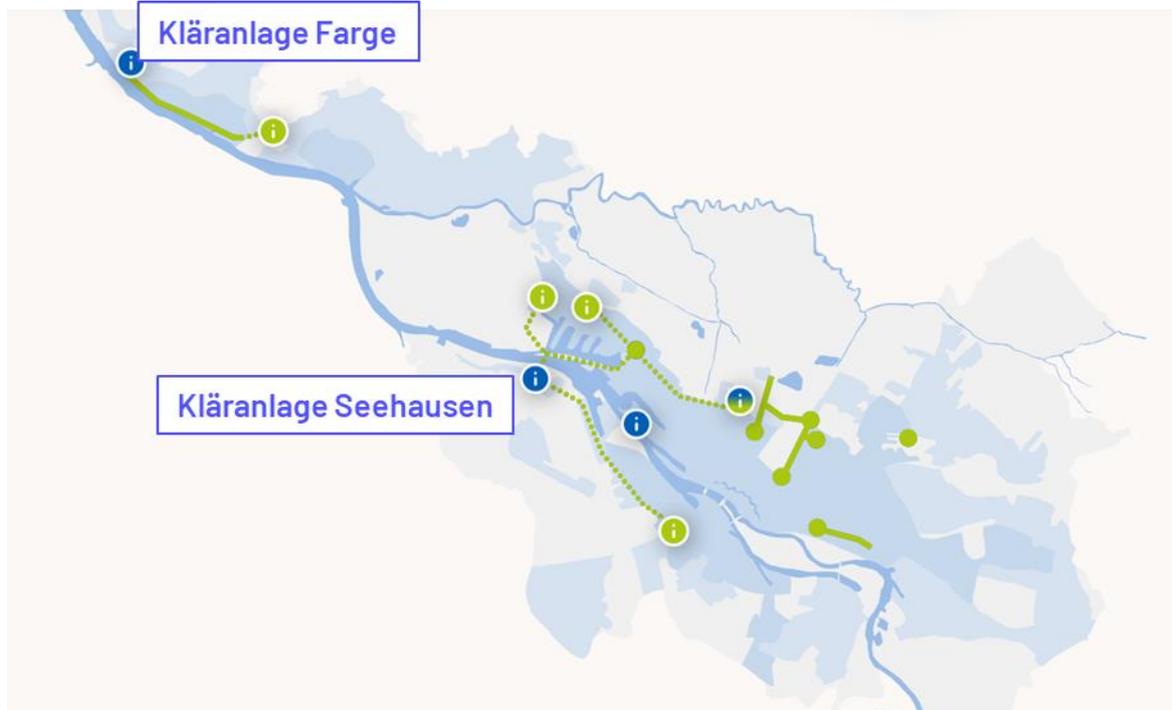


Abbildung 47: Standorte der Kläranlagen in Bremen

Zur Gewährleistung eines optimalen Betriebs der Wärmepumpe werden folgende Randbedingungen zur Kalkulation angesetzt:

- Die minimale Entnahmetemperatur am Auslauf der Kläranlage beträgt $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Die maximale Auskühlung des Entnahmestroms wird auf bis $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ zur Einleitung in die Weser begrenzt.
- Die Abkühlung (Differenz) des Entnahmestroms bei Nennleistung beträgt $5,5\text{ K}$.

Die Wärmepumpe wird darauf ausgelegt, die unteren 80 % der Zeitreihenwerte für die theoretische abgreifbare Leistung abzudecken (80 %-Quantil). Dies führt in der Kläranlage Seehausen zu 6.927 Vollbenutzungsstunden und in der Kläranlage Farge zu 6.800 Vollbenutzungsstunden. Diese entsprechen einer guten Auslastung der Wärmepumpe über das Jahr.

Mit Hilfe der potenziellen Netzfahrkurve, der Abwassertemperatur und des Abflusses kann das technische Potenzial bestimmt werden, welches für Seehausen in Abbildung 48 und für Farge in Abbildung 49 verdeutlicht wird. $Q_{\text{aus,real}}$ beschreibt hier die Wärmeleistung, die zur Wärmeerzeugung des Netzes genutzt werden kann. Diese setzt sich zusammen aus der Wärmeleistung $Q_{\text{ein,real}}$, welche den Nachflutern entnommen wird, und der den Wärmepumpen zugeführten elektrischen Leistung $P_{\text{ein,real}}$. Das theoretische Potenzial $Q_{\text{aus,theo}}$ beschreibt die theoretische Leistung, die abgefragt werden könnte, wenn das Netz mehr Leistung abfragen würde.

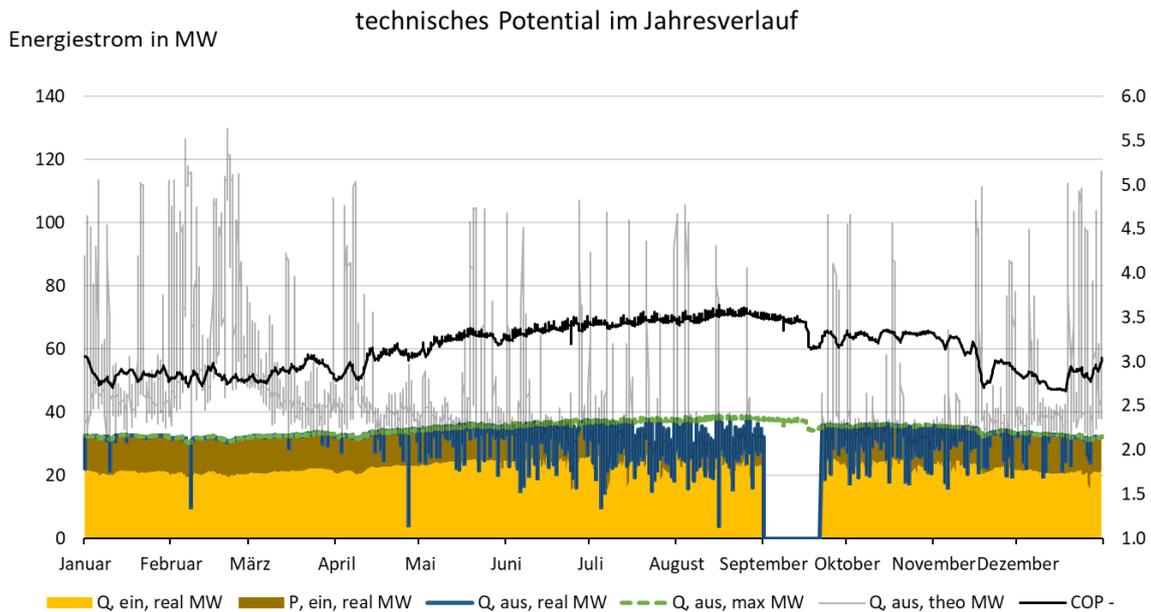


Abbildung 48: Theoretisches und realistisches Potenzial der Wärmepumpe der Kläranlage Seehausen

Ein Wartungszeitraum von drei Wochen wird sowohl in Seehausen als auch in Farge im September berücksichtigt. Außerhalb dieses Zeitraums können die Wärmepumpen durchgehend betrieben werden, da die Wassertemperaturen selbst im Winter deutlich über 5 °C liegen. Das ist besonders für die Wärmebedarfsdeckung im Winter relevant.

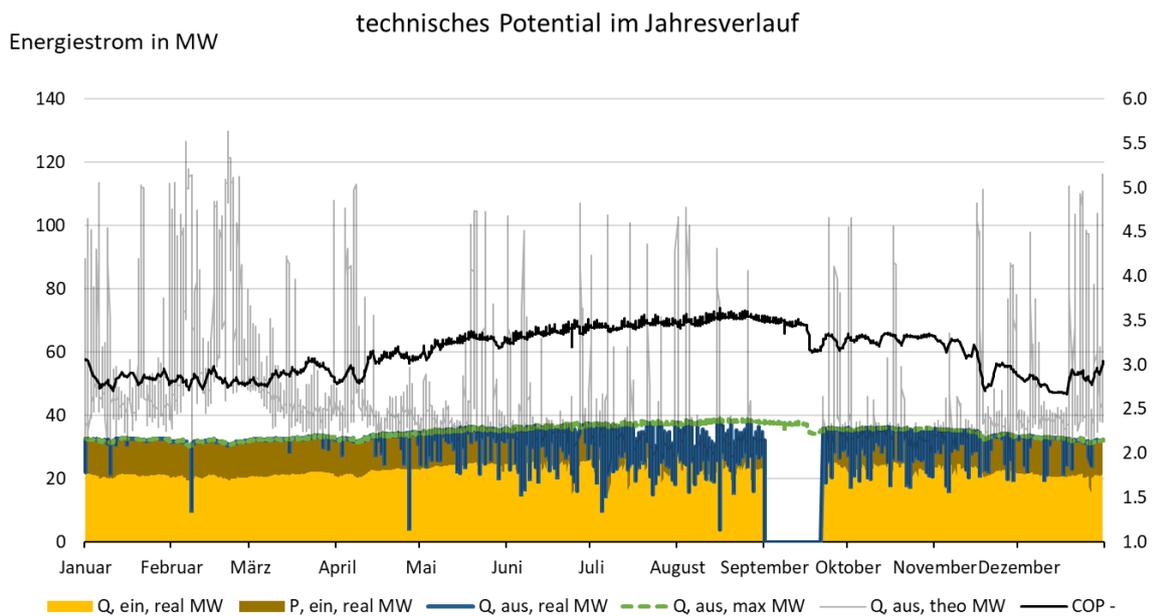


Abbildung 49: Theoretisches und realistisches Potenzial der Wärmepumpe der Kläranlage Farge

In Tabelle 11 ist das Ergebnis der Kalkulation zu sehen. Es zeigt sich, dass ein bedeutendes Potenzial in der Abwärmenutzung aus Abwasser liegt. Beide Kläranlagen gehören

zur Gruppe der Großkläranlagen (Größenklasse 5). Die vollständige Auswertung ist in Anhang II und Anhang I hinterlegt.

Tabelle 11: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Kläranlagen

	Kläranlage Seehausen	Kläranlage Farge
Einwohnerwerte, EW	1.000.000	160.000
Auslegungsvolumenstrom, m ³ /s	0,96	0,12
Vollbenutzungsstunden, h/a	6.927	6.805
Strombedarf (pro Jahr), MWh/a	68.099	10.235
Thermische Nennleistung (bei 10 °C Wassertemperatur), MW _{th}	30,0	3,6
Wärmeerzeugung (pro Jahr), GWh/a	268	31

Folgende Hinweise sind aus der Abstimmung mit hanseWasser und dem Umweltbetrieb Bremen zu beachten:

- Die Nutzung der Abwärme aus Abwasser am Auslauf darf keine Auswirkungen auf den Betrieb der Kläranlagen haben.
- Aufgrund der wasserrechtlichen Betriebserlaubnisse für die Kläranlagen darf das geklärte Abwasser im Ablauf nicht durch technische Maßnahmen unter 12 °C abgekühlt werden (gemäß DWA-M 114:2020). Folglich sollte die Entnahme des geklärten Abwassers für die Wärmepumpe erst nach der Temperaturmessstelle erfolgen.
- Die Einleitung von ausgekühltem Wasser in die Weser soll hinsichtlich der Auswirkungen auf die Gewässerökologie gesondert geprüft werden (ähnlich wie die Nutzung der Wärme aus der Weser, s. o.).

3.3 Abwärme aus Pumpwerken im Abwasserkanalnetz

Von hanseWasser wurden Daten zum mittleren Trockenwetterabfluss (TW24) und zum Spitzenabfluss von 20 Mischwasser- und Schmutzwasser-Pumpwerken mit Trockenwetterfördermengen (QTW24) von über 10 l/s bereitgestellt. Die Wärmegewinnung aus Abwasserkanälen kann eine negative Auswirkung auf den Betrieb von Kläranlagen haben. Deshalb müssen bei der Potenzialermittlung technische und genehmigungsrechtliche Randbedingungen für den Betrieb von Kläranlagen berücksichtigt werden. In einer Stellungnahme von hanseWasser wurden folgende Randbedingungen formuliert:

- **Einhaltung von 12 °C am Auslauf der Kläranlagen.**
Kläranlagen werden nach DWA-A 131:2016 ausgelegt. Die Beckengröße für die Belegungsstufe (Eliminierung von Nährstoffen über biologische Prozesse) ist auf

diese Temperatur ausgelegt. Gemäß DWA-A 131 muss die Stickstoffelimination nur bis zu einer Abwassertemperatur von $T = 12\text{ °C}$ gewährleistet sein. Entsprechend soll es nach DWA M114:2020 durch den Wärmeentzug zu keiner Erhöhung der Zeiträume unter 12 °C im Ablauf der Kläranlage kommen. Diese Temperatur ist eine erlaubnisrelevante Vorgabe für den Betrieb der Kläranlagen. Bei der Kläranlage Seehausen wurde in den Untersuchungen der hanseWasser eine Temperaturerhöhung vom Zulauf bis zum Ablauf von $\Delta T = 1\text{ °C}$ nachgewiesen. Folglich darf es durch den Betrieb der Abwasserwärmepumpen zu keiner Temperaturreduzierung unter 11 °C kommen, um die 12 °C am Auslauf einhalten zu können. Für die Kläranlage Farge liegen keine vergleichbaren Untersuchungen vor.

- **Maximale Temperaturabsenkung von 0,5 K im Zulauf der Kläranlage oder 16 °C Abwassertemperatur.**

Beim Wärmeentzug aus dem Abwasserkanal ist gemäß Merkblatt DWA-M 14:2020 eine Prüfung der Auswirkungen auf den nachgelagerten Abwasserreinigungsprozess erforderlich. Bei einer Temperaturabsenkung von 0,5 K im Zulauf der Kläranlage (0,5 K ist im Merkblatt als Bagatellgrenze definiert) wird davon ausgegangen, dass die Temperaturabsenkung keine wesentliche Beeinflussung des Abwasserreinigungsprozesses darstellt. Damit ist eine vereinfachte Prüfung möglich. Liegt die Temperaturabsenkung über der Bagatellgrenze von 0,5 K, so ist eine eingehende Beurteilung auf Grundlage der Arbeitsblätter DWA-A 198 und DWA-A 131 nötig. Bei $> 16\text{ °C}$ Abwassertemperatur hält hanseWasser einen solchen Nachweis für möglich.

Für einen (weitgehend) ganzjährigen Betrieb der Abwasserwärmepumpen müssen folglich die maximale Auskühlung auf 11 °C und gleichzeitig die Bagatellgrenze von 0,5 K eingehalten werden. Aufgrund der fehlenden Messdaten zu Temperaturen im Kanalnetz bzw. in Pumpwerken wurden in der Studie die Temperaturdaten am Auslauf der Kläranlage Seehausen abzüglich 1 °C Erwärmung in der Kläranlage verwendet. Es zeigt sich, dass es Zeiträume gibt, in denen die Abwassertemperatur unter 11 °C liegt und somit kein Betrieb der Wärmepumpen im davorliegenden Kanalnetz in diesen Zeiten möglich ist (Abbildung 50).

Das theoretische Potenzial bei der Begrenzung auf 11 °C Abwassertemperatur liegt bei 22 MW für alle Pumpwerke zusammen. Nach den Untersuchungen von hanseWasser würde jedoch die Bagatellgrenze von $0,5\text{ °C}$ bei der Kläranlage Seehausen bereits bei $2,8\text{ MW}_{\text{th}}$ erreicht (hierbei ist die Wiedererwärmung im Kanalnetz nicht berücksichtigt). Ohne Berücksichtigung des Potenzials zur Wiedererwärmung im Kanalnetz ist das vorhandene Potenzial bereits durch die Projekte „Tabakquartier“ und „Spurwerk“ verplant.

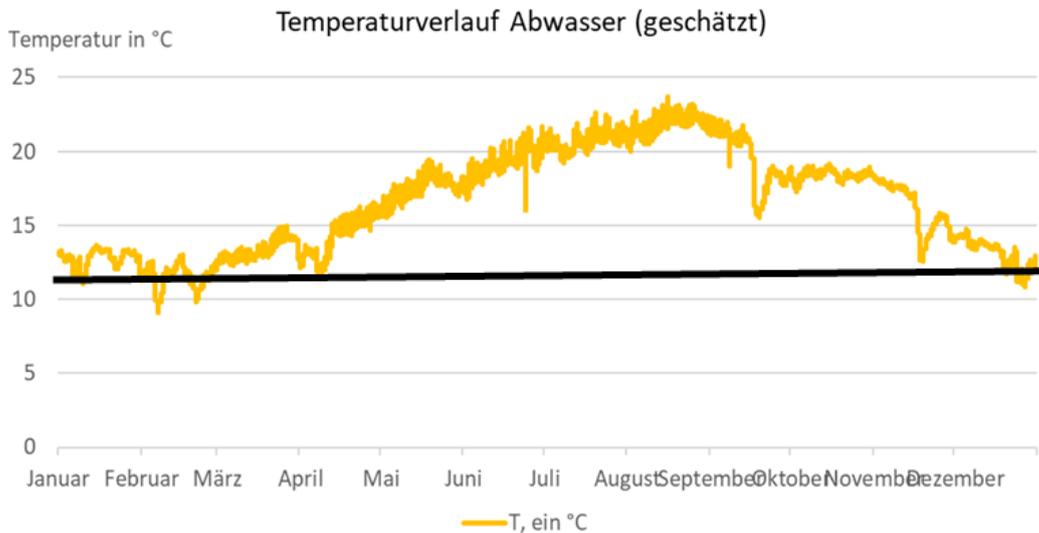


Abbildung 50: Temperaturverlauf Abwasser, abgeschätzt über die Temperaturen am Auslauf der Kläranlage Seehausen abzüglich 1 K Temperaturerhöhung durch die Kläranlage

Für die Kläranlage Farge gab es bisher keine konkreten Untersuchungen. Farge hat etwa 1/10 der Kapazität von Seehausen, sodass in der Studie vereinfacht von 0,28 MW ausgegangen wird.

Tabelle 12: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Abwasser bei Pumpwerken

Einzugsbereich der Kläranlagen	Nennleistung WP in MW _{th}	Kommentar
Seehausen	2,8	Bereits verplant
Farge	0,28	Grobe Schätzung

Bei Abwassertemperaturen von über 16 °C ist es wahrscheinlich, dass auf Grundlage der Arbeitsblätter DWA-A 198 und DWA-A 131 keine wesentliche Beeinflussung des Abwasserreinigungsprozesses nachgewiesen werden kann. Diese Temperatur findet sich in den Monaten zwischen Mai und November. In diesen Zeiträumen sind jedoch andere Wärmequellen, wie zum Beispiel Flusswärmepumpen oder Wärmepumpen am Auslauf der Kläranlagen attraktiver, sodass Wärmepumpen im Abwassernetz nicht als Haupterzeuger für Wärmenetze in Bremen empfohlen werden.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse für alle Pumpwerke aufgelistet. Die jeweiligen Werte dürfen nicht als Gesamtpotenzial aufsummiert werden, da einzelne Pumpwerke hintereinandergeschaltet sind. Tabelle 13: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Abwasser bei Pumpwerken (bei > 16 °C Abwasser).

Tabelle 14: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Abwasser bei Pumpwerken (bei >16 °C Abwasser)

Pumpwerk	Nennleistung WP bei 16 °C Quelltemperatur in MW _{th}	Wärmemenge bei Abwassertemperatur >16 °C (Mai bis November) in GWh/a
Findorff	8,4	33
Linkes Weserufer	4,5	17
Universität	2,5	10
Horn	2,3	9
Oslebshausen	1,7	7
Blumenthal	1,3	5
Huchting	0,9	4
Holter Feld	0,9	3
Krimpel	0,8	3
Uppe Angst	0,5	2
Rockwinkel	0,4	1,7
Vegesack	0,4	1,7
Lesum	0,4	1,7
Industriehafen	0,3	1,0
Hemelinger Hafen	0,2	0,8
Habenhausen	0,2	0,8
Arsten	0,2	0,8
Mahndorf	0,2	0,8
Schulkenstraße	0,1	0,5
GVZ	0,1	0,5

3.4 Oberflächennahe Geothermie

Als weitere Option für die regenerative Wärmeversorgung von Nahwärmegebieten wurden Erdwärmesondenfelder betrachtet. Es wurde nach geeigneten Flächen im Stadtgebiet gesucht und das Potenzial für das in Kapitel 2.6 beschriebene Nahwärme(erweiterungs-)gebiet Huchting/Sodenmatt berechnet.

3.4.1 Flächenfindung

Zur Identifikation potenziell geeigneter Flächen für die Errichtung von Erdwärmesondenfeldern für Nahwärmenetze wurden verfügbare Geodaten systematisch ausgewertet. Auf dieser Basis wurde eine Positivauswahl definiert, die verschiedene Flächenarten enthält, für die eine Nutzung für Erdwärmesondenfelder grundsätzlich denkbar ist. In der Regel stehen die Flächen nach der Errichtung des Sondenfeldes wieder für die ursprüngliche Nutzung zur Verfügung. Ausnahmen sind landwirtschaftliche Ackerflächen,

weil die Einbauten bei Erdwärmesondenfeldern so nah an der Oberfläche liegen, dass die Ackerflächen nicht mehr wie bisher nutzbar sind.

Außerdem wurden Ausschlussgebiete mit Flächenarten abgesteckt, deren Nutzbarkeit für Erdwärmesondenfelder mit großer Wahrscheinlichkeit nicht möglich ist.

Im ersten Schritt erfolgte die Auswahl der Flächen anhand der Karte „Biototypen im Land Bremen“ und mit Daten aus OpenStreetMaps. Im weiteren Verlauf des Projekts wurde auf ATKIS-Daten als Grundlage umgestellt, nachdem die Geodaten des Landes Bremen seit dem 9.6.2024 als OPEN DATA verfügbar sind.

Tabelle 15: Freiflächenfindung für zentrale oberflächennahe Geothermie: Zuordnung der Flächenkategorien

Positivauswahl	Ausschlussgebiete
Unland: vegetationslose Fläche & naturnahe Fläche ⁵	Wald, Gehölz, Baumbestand ⁸
Grünland ⁸	Friedhöfe ⁸
Spielfeld ⁸	Kleingartenanlagen ⁸
Grünanlage ⁸	Gewässer, Moore ⁸
Parkplatz ⁸	Flächen mit Altablagerungen ⁶
Festplatz ⁸	Wasserschutzgebiete Kat. II, IIIa, IIIb ^{7,8}
Vegetationsmerkmal Gras ⁸	Naturschutzgebiete ⁹
	Geschützte Biotope ¹⁰
	Flora-Fauna-Habitat Gebiete ¹²
	Vogelschutzgebiete ¹²

⁵ Quelle: ATKIS Basis-DLM, Landesamt Geoinformation Bremen, Stand Juni 2024, <https://metaver.de:443/trefferanzeige?docuuid=265E2B65-66DB-4B17-AB29-FAFC8C9B6150&lang=de>

⁶ Quelle: Altablagerungen im Land Bremen, Referat 24: Bodenschutz und Altlasten, Stand April 2024, <https://metaver.de:443/trefferanzeige?docuuid=4B655FC5-2219-4848-85D1-89B4EC770DF6&lang=de>

⁷ In den Wasserschutzgebieten der Kategorie IIIa und IIIb ist die Inbetriebnahme von Erdwärmesondenanlagen nur mit Wasser als Wärmeträgerflüssigkeit zulässig (Panteleit, Ortmann, & Langer, 2022). Diese Angabe bezieht sich jedoch auf Kleinanlagen. Von der Errichtung großer Erdwärmesondenfelder in Wasserschutzgebieten der Kat. IIIa und IIIb soll nach Angaben der Wasserschutzbehörde grundsätzlich abgesehen werden.

⁸ Quelle: Wasserschutzgebiete im Land Bremen, Referat 33: Oberflächenwasserschutz, Kommunale Abwasserbeseitigung, Stand April 2024, <https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/srv/eng/catalog.se-arch#/metadata/D6415D3A-BAF4-42D2-AA57-CD4A5D7DFB20>

⁹ Quelle: Schutzgebiete-Naturschutz Land Bremen, Referat 26: Naturschutz und Landschaftspflege, Stand April 2024, <https://www.metaver.de/trefferanzeige?plugid=/ingrid-group:ige-iplug-HB&docuuid=2729F451-978B-4AE0-90CB-67E3B26C716B>

¹⁰ Quelle: Geschützte Biotope im Land Bremen, Referat 26: Naturschutz und Landschaftspflege, Stand April 2024, <https://www.metaver.de/trefferanzeige?plugid=/ingrid-group:ige-iplug-HB&docuuid=6BD0772F-59F6-488C-A63E-101C967DF461>

In Tabelle 15 findet sich die Zuordnung der Flächenkategorien. In Abbildung 51 sind sowohl die tauglichen Flächen als auch die Ausschlussgebiete in einer Karte dargestellt. Über den Umfang dieser Untersuchung hinaus könnten bei der Flächensuche noch weitere Datenquellen berücksichtigt werden, wie z. B. das Entsiegelungskataster, das Baulückenkataster, die Bodenfunktionsbewertung oder die Innenentwicklungsstudie für Bremen.

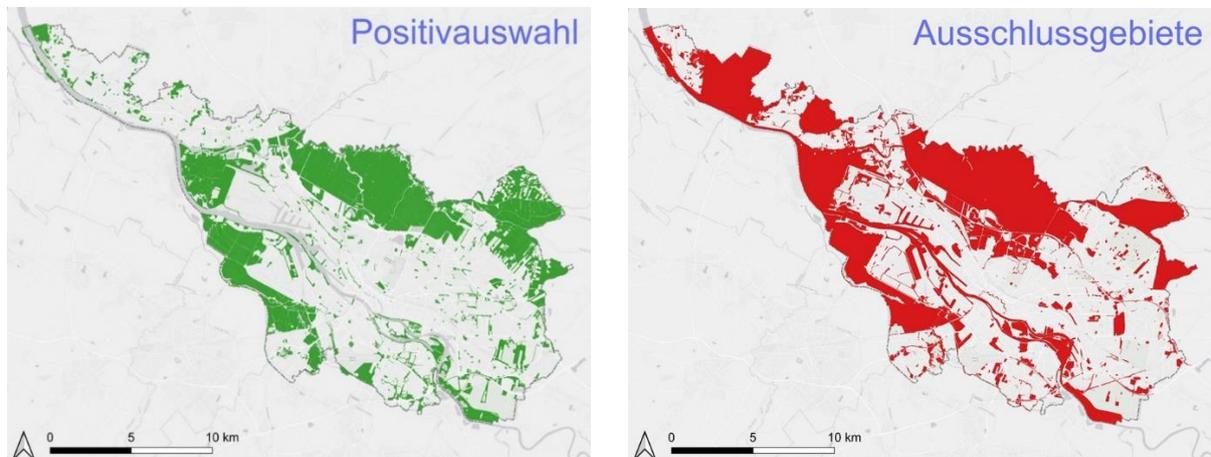


Abbildung 51: Positivauswahl (links) und Ausschlussgebiete (rechts) für die Suche nach geeigneten Flächen für Erdwärmesondenfelder in Bremen

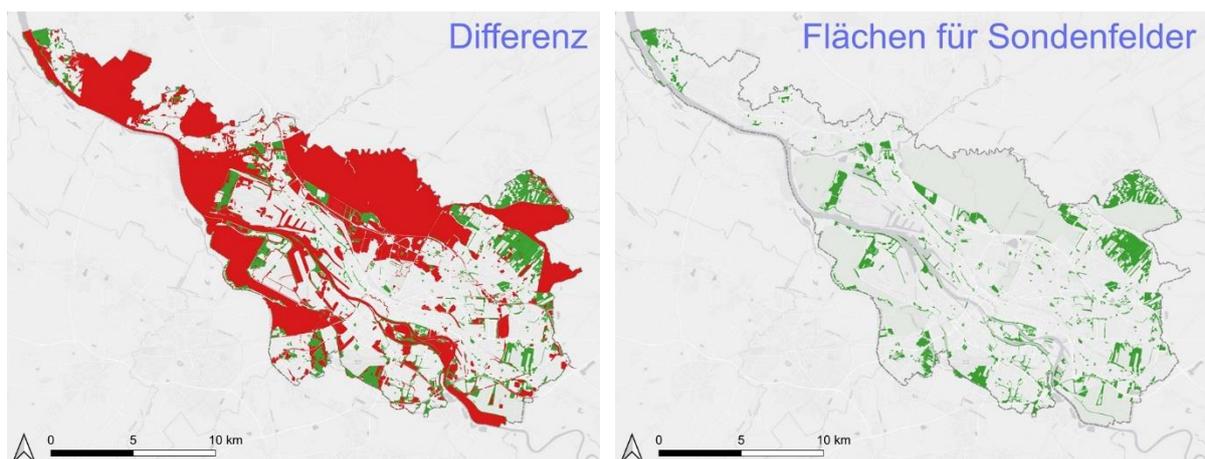


Abbildung 52: (links) Überlagerung von Positivauswahl und Ausschlussgebieten; (rechts) Flächen für Sondenfelder nach Verschneidung

Anschließend wurden die Flächen, die zu den Ausschlussgebieten gehören, von den Flächen der Positivauswahl abgezogen (s. Abbildung 52). Es wurde ein Puffer von 3 m zum Rand zusammenhängender Flächen abgezogen, um die Platzierung von Sonden direkt auf dem Grundstücksrand auszuschließen und sehr schmale Flächenfragmente nach der Verschneidung zu entfernen. Außerdem wurden zusammenhängende Flächen $< 1.000 \text{ m}^2$ aus der Auswahl herausgenommen.

Abbildung 53 zeigt das Resultat, aufgeschlüsselt nach Art der Fläche. Die Gesamtfläche beträgt etwa 2.993 ha. Allerdings ist dabei die räumliche Nähe zu bestehenden oder geplanten Wärmenetzen noch nicht berücksichtigt. Die Flächenauswahl kann als Anhaltspunkt bei der Planung neuer Nahwärmenetze dienen. Im Einzelfall müssen weitere Einschränkungen, z. B. durch Nutzungskonkurrenzen, Eigentumsverhältnisse, Fehlerfassungen oder Hindernisse auf den Flächen, überprüft werden.

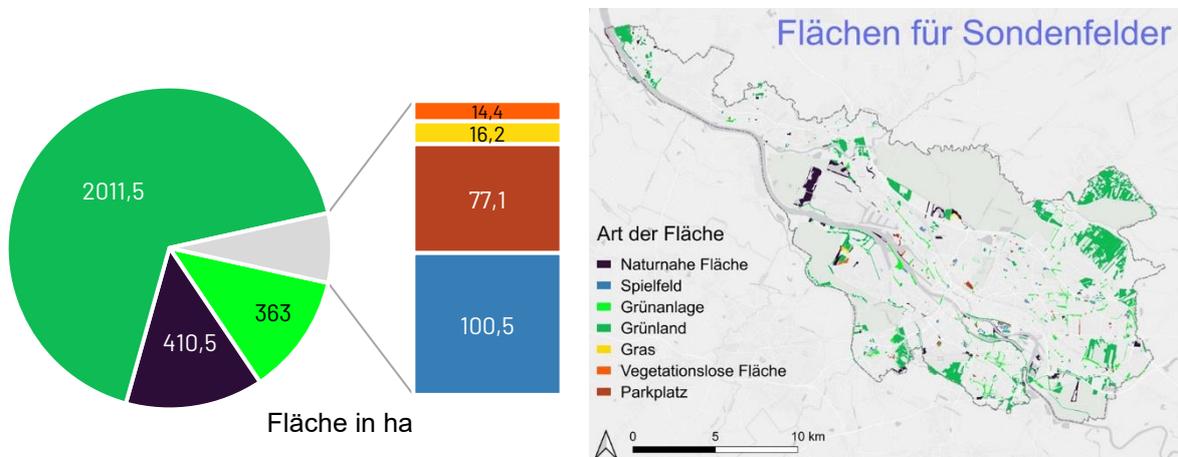


Abbildung 53: Flächen für Erdwärmesondenfelder im Stadtgebiet Bremen nach Art der Fläche

3.4.2 Potenzialermittlung

Im Rahmen der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Untersuchungen wurden fünf Gebiete südlich der Weser identifiziert, die sich gut für den Neu- bzw. Ausbau von Nahwärmenetzen eignen. Vier der Gebiete können über Fluss- und Klärwasserwärmepumpen versorgt werden. Für das fünfte Gebiet „Huchting/Sodenmatt“ im Süden der Stadt wurden Erdwärmesondenfelder als mögliche Wärmeversorgungsoption untersucht.



Abbildung 54: Freiflächen in einem Umkreis von 200 m um das potenzielle Nahwärmegebiet Huchting/Sodenmatt, Hintergrund: OSM (links), Digitales Orthophoto DOP20 (rechts)

In Abbildung 54 sind das Netzgebiet „Huchting/Sodenmatt“ und die Flächen dargestellt, die mit der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Methode identifiziert wurden. Berücksichtigt

wurden zunächst Flächen mit einem Abstand von weniger als 200 m zum Wärmenetz. Flächen, bei denen das Luftbild auf erhebliche Einschränkungen hinweist (z. B. vollständige Bedeckung mit Bäumen), wurden manuell aus der Auswahl herausgenommen. Die Besitzverhältnisse und die tatsächliche Nutzbarkeit der Flächen müssen im Einzelfall geklärt werden.

Auf den Flächen wurden mit einem Algorithmus möglichst viele Sonden mit einem Abstand von 7,5 m zueinander platziert. Um mögliche Einschränkungen auf den Flächen zu berücksichtigen, werden 50 % der Sonden zufällig gelöscht. Das Wärmepotenzial wird, unter Berücksichtigung der Untergrundbedingungen und der gegenseitigen thermischen Beeinflussung der Sonden, mit einem analytischen Verfahren nach Miocic (2024) berechnet. Die bereitstellbare Wärmemenge mit den identifizierten Flächen liegt bei 2,8 GWh/a, ohne zusätzliche thermische Regeneration. Das entspricht ca. 15,5 % des zusätzlichen Wärmebedarfs für das Netzgebiet „Huchting/Sodenmatt“ von 18 GWh/a (vgl. Kapitel 2.6).

Durch thermische Regeneration des Untergrunds kann die bereitstellbare Wärmemenge in den Wintermonaten deutlich erhöht werden. Dazu wird in den Sommermonaten Wärme über die Sonden in den Untergrund eingeleitet. Potenzielle Quellen dazu sind zum Beispiel ungedeckte Solarthermie-Kollektoren, Abwärme, Raumwärme oder Luftwärmetauscher. Bei ausgeglichener Wärmebilanz (Einspeisung = Entnahme) über das Jahr kann jede Sonde eines Sondenfeldes wie eine Einzelsonde belastet werden. Die gegenseitige thermische Beeinflussung der Sonden wird dann aufgehoben. Dadurch ließen sich große Teile des Wärmebedarfs des Nahwärmenetzes geothermisch decken.

3.5 Zusammenfassung

Im zweiten Themenbereich des Gutachtens – der **Potenzialanalyse erneuerbarer Energien und Abwärme** – lag der Fokus auf den Quellen für neue Wärmenetze. Es wurden folgende Wärmequellen untersucht: Industrielle Abwärme, Abwärme aus Abwasser, Wärme aus der Weser, Nutzung der oberflächennahen Geothermie über Erdwärmesondenfelder und Freiflächen für Solarthermie. Die Untersuchung erfolgte vorrangig für das Gebiet links der Weser (Bremen Süd) mit Blick auf die geeigneten Quellen zur Einspeisung in ein Wärmenetz.

Für die bereits bestehenden swb-Wärmenetze West-Mitte-Ost wurden zunächst die aktuell genutzten Wärmequellen zugrunde gelegt. Im Rahmen der laufenden BEW-Transformationsplanung für das Fernwärmenetz West und der kurzfristig geplanten BEW-Transformationsplanung für das Wärmenetz Uni-Ost wird außerdem von swb eine Potenzialanalyse für erneuerbare Wärmequellen durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse, die dort entwickelt werden, in den weiteren Bearbeitungsschritten der Wärmeplanung einbezogen und erweitert werden können.

Zudem wird angenommen, dass die Abwärme aus dem Heizkraftwerk Blumenthal für das geplante Netz in Bremen Nord genutzt wird.

4 Potenziale für dezentrale Wärmepumpen

Um Gebiete zu ermitteln, in denen dezentrale Wärmeversorgungskonzepte für eine zukünftige dekarbonisierte Wärmeversorgung der Stadt Bremen umsetzbar sind, wurden mögliche Wärmequellen zur Versorgung von Einzelgebäuden untersucht. Zu diesen gehören Luft-Wasser-Wärmepumpen (L/W-WP) und Sole-Wasser-Wärmepumpen (S/W-WP) mit Erdwärmesonden (EWS).

4.1 Luft-Wasser-Wärmepumpen zur Einzelgebäudeversorgung

Als einschränkender Faktor für den Einsatz von L/W-WP wurde die Einhaltung der Schallimmissionsvorgaben berücksichtigt. Die Methodik orientiert sich dabei an Greif (2023). Nachfolgend werden das Verfahren und die Resultate beschrieben.

4.1.1 Datengrundlage und Vorgehen

Die Heizleistung wird anhand der im Wärmeatlas angegebenen Wärmebedarfe über die typischen Vollaststunden des jeweiligen Gebäudetyps berechnet. Der Schallleistungspegel $L_{w,aeq}$ der L/W-WP lässt sich über den in Abbildung 55 gezeigten Zusammenhang bestimmen.

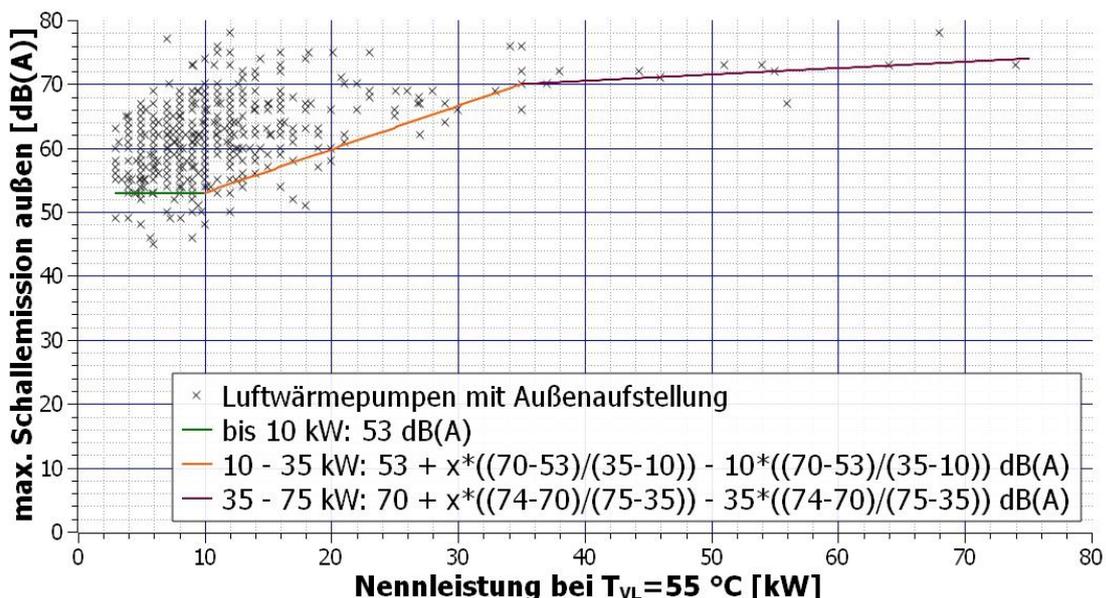


Abbildung 55: Zusammenhang zwischen der Schallleistung von L/W-Wärmepumpen und der Heizleistung, basierend auf Datenblattwerten aus der GET-Produktdatenbank (Amt der Salzburger Landesregierung - Lebensgrundlagen und Energie, 2023). Die angesetzte Funktion orientiert sich an den emissionsärmsten Wärmepumpen der jeweiligen Leistungsklasse.

Nach dem Leitfaden Schall des BWP gilt für den Mindestabstand s_m zum Nachbargebäude unter Einhaltung der Schallimmissionsschutzvorgaben:

$$s_m = 10^{\frac{L_{w,aeq} - L_r + K_T + K_0 - 11 \text{ dB(A)} + K_R + K_{Nacht} + K_{Irrelevanz}}{20}}$$

Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 16 aufgeführt:

Tabelle 16: Parameter zur Berechnung des notwendigen Mindestabstands zur Einhaltung der Immissionsschutzvorgaben

$L_{w,aeq}$	Schalleistungspegel der L/W-WP nach Herstellerangabe
L_r	Grenzwert für Schalleistungspegel; Annahme: 35 dB(A). Entspricht dem Grenzwert für reine Wohngebiete im Nachtbetrieb.
K_T	Zuschlag für die Ton- und Informationshaltigkeit nach Herstellerangabe; Annahme: 0 dB(A)
K_0	Raumwinkelmaß aus der Aufstellsituation; Annahme: 6 dB(A). Entspricht Aufstellung an einer Wand
K_R	Zuschlag für Zeiten mit erhöhter Empfindlichkeit (Tagbetrieb); Annahme: 0 dB(A)
K_{Nacht}	Annahme für Leistungsabsenkung von Wärmepumpen im Nachtmodus; Annahme: -2 dB(A)
$K_{Irrelevanz}$	Der Nachweis für die Gesamtbelastung entfällt, wenn die Wärmepumpe den maßgeblichen Immissionsrichtwert der TA Lärm um mindestens 6 dB(A) unterschreitet (sog. Irrelevanz-Wert); Annahme: 6 dB(A)

In Abbildung 56 ist der Zusammenhang zwischen Mindestabstand und Schallleistungsdruck der L/W-WP mit den vorher genannten Annahmen dargestellt.

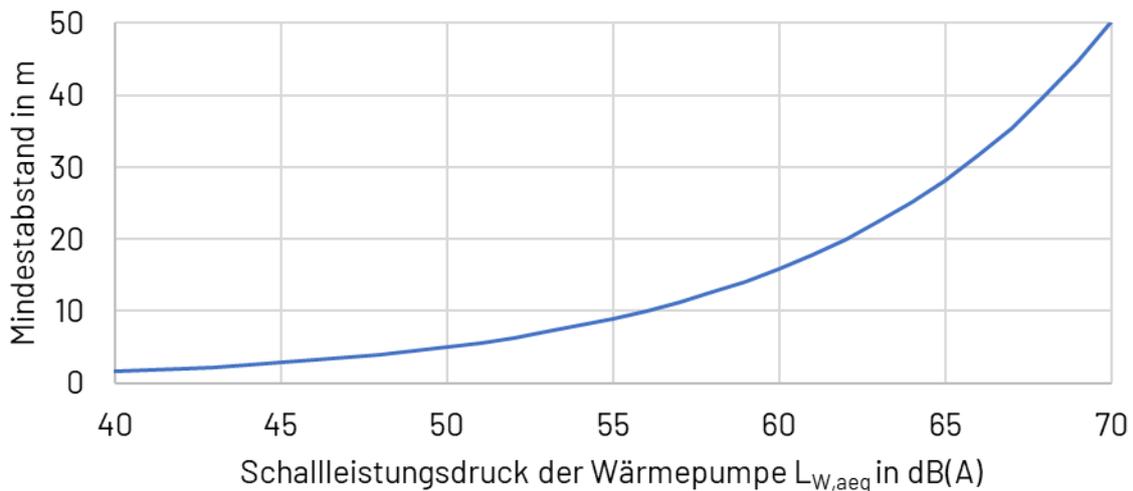


Abbildung 56: Mindestabstand zwischen L/W-WP und Nachbargebäuden zur Einhaltung der Schallimmissionsvorgaben über dem Schallleistungsdruck der Wärmepumpe

Als möglicher Aufstellbereich für L/W-WP wird ein Ring mit mindestens 1 m und höchstens 3 m Abstand um das Gebäude und innerhalb des zugehörigen Flurstücks festgelegt. Wie in Abbildung 57 (links) gezeigt, wird ein Puffer mit dem vorher ermittelten Mindestabstand s_m um die benachbarten Gebäude gelegt. Wenn eine ausreichend große Fläche des Aufstellbereichs nach Abzug der Puffer zur Verfügung steht, gilt das betreffende Gebäude als für die L/W-WP-Versorgung geeignet.

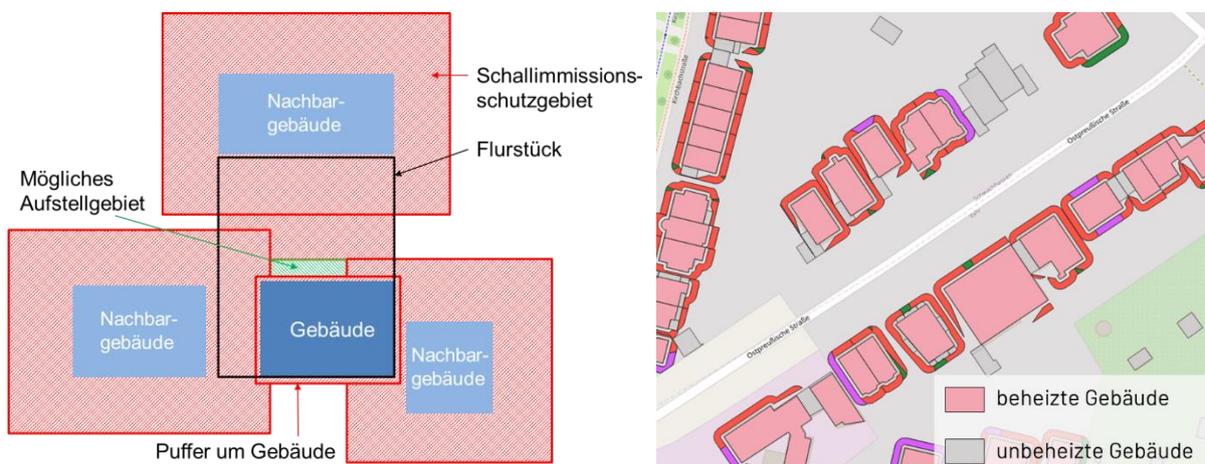


Abbildung 57: (links) Bestimmung des potenziellen Aufstellgebiets der L/W-Wärmepumpe unter Berücksichtigung der Mindestabstände und unter Einhaltung der Schallimmissionsgrenzwerte; (rechts) Ausschnitt aus dem Wärmeatlas – möglicher Installationsort der L/W-Wärmepumpe bei jetzigem Zustand des Gebäudes (violett) oder bei Sanierung (grün)

Bleibt von dem Aufstellbereich bei Berechnung der aktuellen Heizleistung keine ausreichend große Fläche nutzbar, wird die Wärmepumpenleistung iterativ so lange reduziert, bis ein geeigneter Aufstellbereich entsteht (bis zu einem minimalen Wert von

50 % der aktuellen Heizleistung). Das Resultat ist in Abbildung 57 (rechts) beispielhaft dargestellt. Die Methode vernachlässigt die Abschattung des Schalls durch das Gebäude selbst. Letzteres ist individuell zu prüfen.

4.1.2 Ergebnisse

In Abbildung 58 (links) ist der mit der zuvor beschriebenen Methode ermittelte, über L/W-WP versorgbare Anteil des Wärmebedarfs der Stadt Bremen dargestellt. Industrie- und große GHD-Unternehmen (> 5 GWh/a) sind bei dieser und den folgenden Darstellungen nicht berücksichtigt, weil hier hohe Prozesswärmebedarfe vermutet werden, die möglicherweise nicht mit WP bereitgestellt werden können. Ohne Sanierung können 29 % und mit Sanierung (Reduktion des jeweiligen Wärmebedarfs der Gebäude auf minimal 50 %) können 36 % des Wärmebedarfs gedeckt werden.

In Abbildung 58 (rechts) ist der versorgbare Anteil, bezogen auf die Gebäudeanzahl, dargestellt. Ohne Sanierung können demnach 33 % der Gebäude und mit Sanierung 46 % der Gebäude über L/W-WP versorgt werden. Die größere Gebäudeanzahl ergibt sich daraus, dass Gebäude mit geringem Wärmebedarf nach dem Schallschutzkriterium eher für die Versorgung mit L/W-WP geeignet sind. Besonders im Randbereich der Stadt dominieren diese Gebäudetypen.

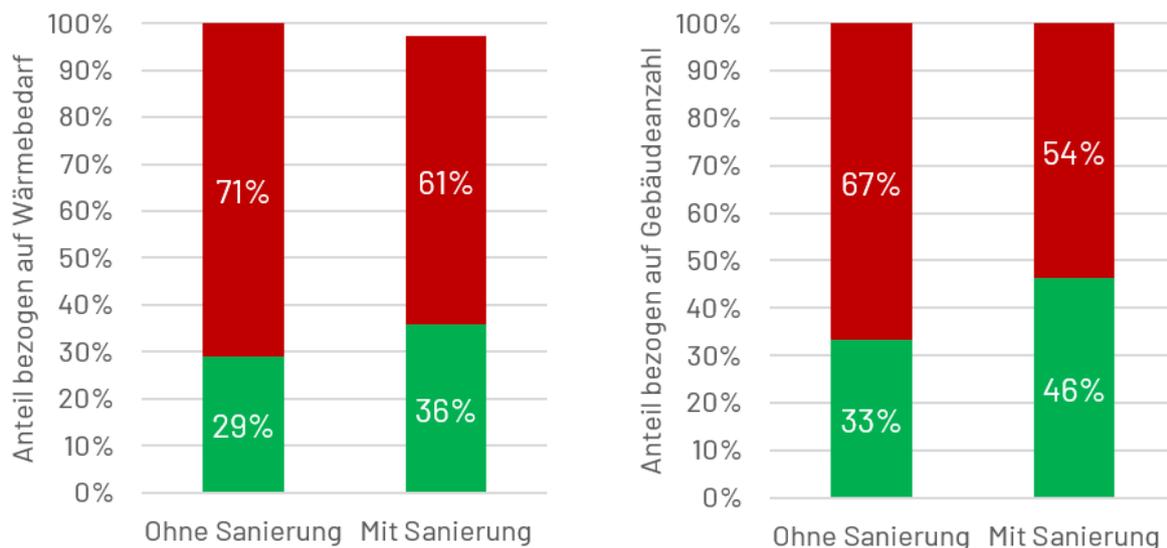


Abbildung 58: Ergebnisse für die Stadt Bremen – (links) Anteil des Wärmebedarfs, der mit und ohne Sanierung über L/W-Wärmepumpen gedeckt werden kann; (rechts) Anteil der Gebäude, die mit und ohne Sanierung über L/W-Wärmepumpen versorgt werden können; (grün: Versorgung möglich, rot: Versorgung nicht möglich)

In Abbildung 59 ist die mögliche Deckung für die Ortsteile Bremens dargestellt, bezogen auf den Wärmebedarf (links) und auf die Gebäudeanzahl (rechts). In den äußeren Stadtteilen können große Anteile des Wärmebedarfs über dezentrale L/W-WP versorgt werden. In den dicht bebauten Ortsteilen im Stadtzentrum ist das Potenzial für dezentrale L/W-WP geringer (blaue und grüne Bereiche). Hier ist der Bedarf größer, diese Ortsteile über Wärmenetze zu versorgen.

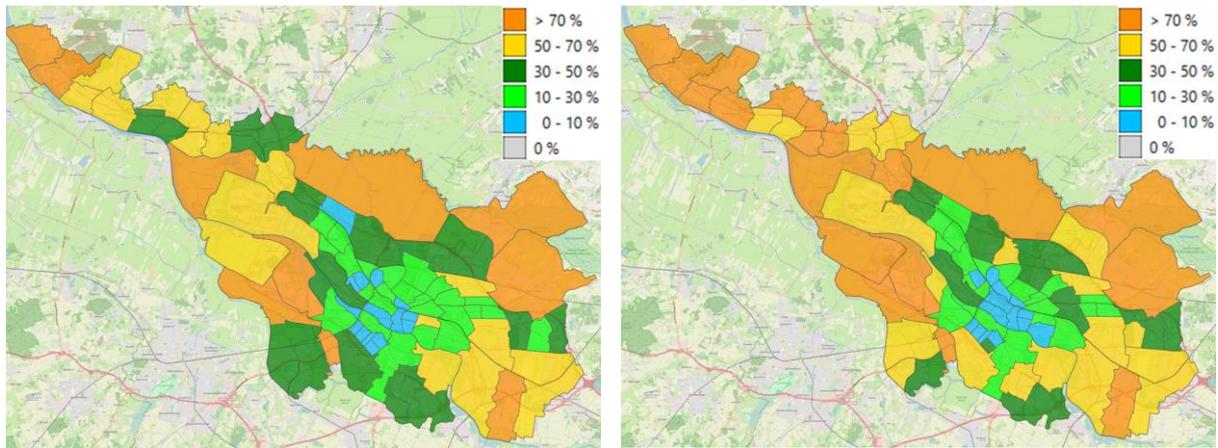


Abbildung 59: Deckung mit dezentralen L/W-Wärmepumpen in den Ortsteilen von Bremen nach Berücksichtigung von Sanierung auf minimal 50 % des heutigen Bedarfs: (links) bezogen auf den Wärmebedarf, (rechts) bezogen auf die Gebäudeanzahl

4.2 Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zur Einzelgebäudeversorgung

Neben den L/W-WP wurden auch Sole-Wasser-Wärmepumpen (S/W-WP) mit Erdwärmesonden (EWS) als Wärmequelle als Option für die dezentrale Wärmeversorgung betrachtet. Dazu wurden die Untergrundeigenschaften und das Platzangebot auf den jeweiligen Grundstücken berücksichtigt. Die Methode und die Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

4.2.1 Datengrundlage und Vorgehen

Die Schritte der angewendeten Methode zur Ermittlung des Potenzials von S/W-WP mit EWS sind in Abbildung 60 dargestellt. Grundlagen für die Auslegung kleiner Erdwärmesondenanlagen (bis 30 kW Heizleistung) finden sich in der VDI 4640 „Thermische Nutzung des Untergrunds – Blatt 2“ (2019). Informationen zu den Rahmenbedingungen für Erdwärmesondenanlagen sind in dem „Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen“ (Panteleit, Ortman, & Langer, 2022) zusammengefasst.

Schritt 1: Anzahl möglicher Sonden pro Grundstück

Datengrundlage sind die Gebäude und Grundstücke aus dem ALKIS (Bremen, Landesamt GeoInformation, 2024) bzw. aus dem Wärmeatlas Bremen. Es gibt einen Mindestabstand von 2 m zum Gebäude (inkl. unbeheizter Nebengebäude) und von 5 m zur Grundstücksgrenze (Empfehlung VDI 4640: min. 10 m Abstand zwischen Nachbaranlagen). Es wird versucht, möglichst viele Sonden auf der restlichen Grundstücksfläche mithilfe eines Algorithmus zu platzieren (s. Abbildung 61). Dabei wird ein Mindestabstand von 6 m zwischen den Sonden gesetzt. Die ermittelte Sondenanzahl wird um 50 % reduziert, um zu berücksichtigen, dass aufgrund von nicht erfasster Bebauung (Bäume, Teiche, Pools etc.) nicht die gesamte Fläche genutzt werden kann (stichprobenweise durch Luftbilder ermittelt). Die maximale Anzahl von Sonden pro Grundstück wurde auf 1.000 Stück festgelegt.

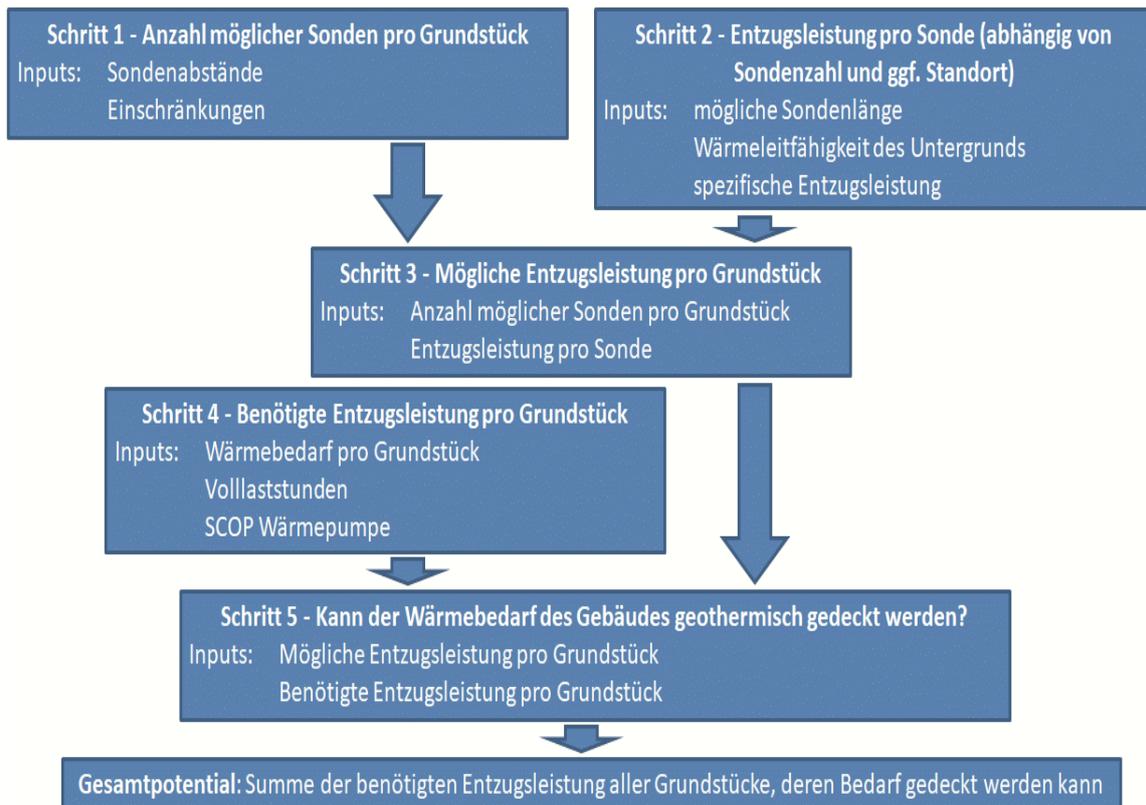


Abbildung 60: Fließschema zur Erhebung des Potenzials für oberflächennahe Geothermie mit S/W-WP und EWS für Einzelgebäude



Abbildung 61: Darstellung der Platzierung der EWS auf den Grundstücken für ein Beispielgebiet: Platzierungsbereich auf den Grundstücken (hellgrün); Sondenstandorte (blaue Punkte)

Schritt 2: Entzugsleistung pro Sonda

Die mögliche Entzugsleistung pro Sonda hängt primär von der Sondenlänge und der Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds ab. Das Potenzial wird hier für eine Sondenlänge

von 150 m berechnet. Davon ausgenommen sind Gebiete, in denen Salzstrukturen nahe der Geländeoberkante anliegen, denn diese dürfen aus Grundwasserschutzgründen nicht angebohrt werden (s. Abbildung 62, linke Seite). Eine Bohrtiefe von maximal 10 m über der Salzschrift wird hier festgelegt. Abbildung 62 rechts zeigt die mittels der Sondenlänge gemittelte Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds.

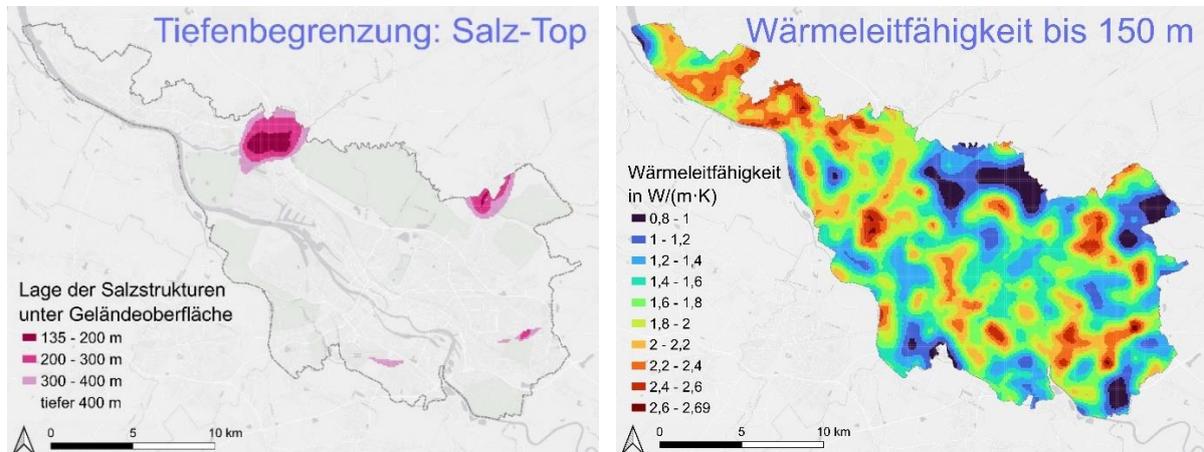


Abbildung 62: (links) Lage der Oberkante der Salzstrukturen unterhalb der Geländeoberkante; (rechts) Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds für das Stadtgebiet Bremen, gemittelt über die obersten 150 m

Eine Randbedingung für den Betrieb von Erdwärmesonden ist eine minimale Fluidtemperatur von $3^{\circ}C$. In der VDI 4640 sind Tabellenwerte für die spezifische Entzugsleistung pro Sondenmeter für Anlagen bis 5 Sonden und 30 kW Heizleistung enthalten. Um auch größere Anlagen berücksichtigen zu können, wurde mit dem Tool GEO-HANDlight (Hochschule Biberach, 2022) in einer Standardanordnung die mögliche Entzugsleistung unter Berücksichtigung der Untergrundbedingungen in Bremen berechnet. In Abbildung 63 ist die spezifische Entzugsleistung für bis zu 25 Sonden, abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds, dargestellt.

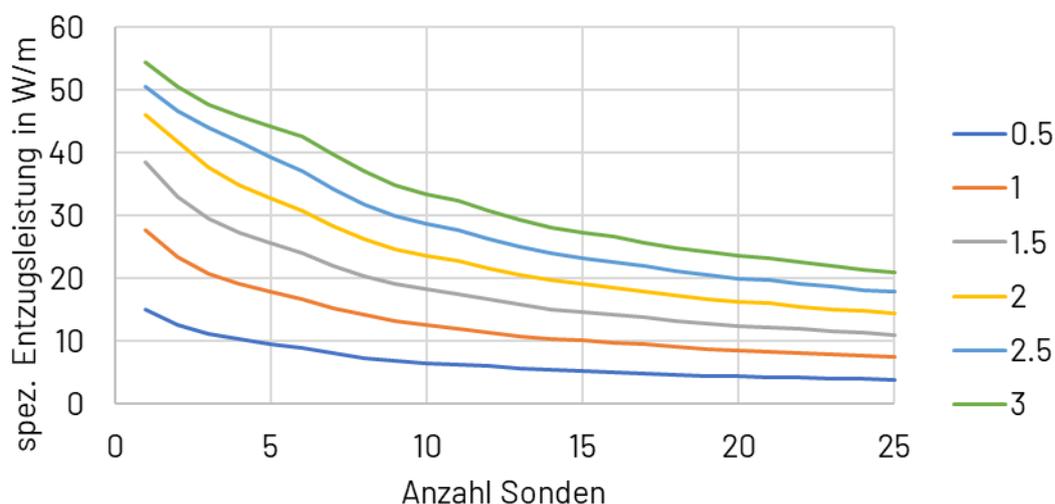


Abbildung 63: Spezifische Entzugsleistung über der Sondenanzahl für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten, berechnet mit GEO-HANDlight für die Untergrundeigenschaften in Bremen mit Wasser und Frostschutzmittel als Fluid

Im Nord-Westen des Stadtgebiets befinden sich Wasserschutzgebiete (s. Abbildung 64, links). In Wasserschutzgebieten der Kategorie II ist die Errichtung von Erdwärmesondenanlagen nicht zulässig. In den Gebieten der Kategorie IIIa und IIIb darf nur Wasser als Wärmeträgerfluid verwendet werden. Dadurch wird die minimale Fluidtemperatur auf 3 °C begrenzt. In Abbildung 64 (rechts) ist die dadurch reduzierte spezifische Entzugsleistung dargestellt.

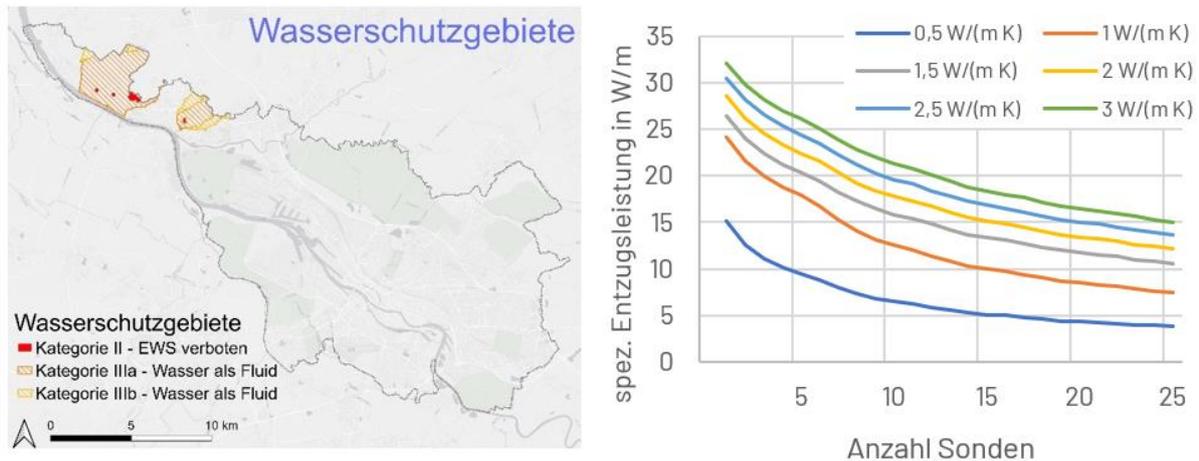


Abbildung 64: (links) Lage der Wasserschutzgebiete in Bremen; (rechts) Spezifische Entzugsleistung über der Sondenanzahl für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten mit Wasser als Fluid

Schritt 3: Mögliche Entzugsleistung pro Grundstück

Die mögliche Entzugsleistung pro Grundstück berechnet sich aus der zuvor ermittelten maximalen Sondenanzahl und der spezifischen Entzugsleistung.

Schritt 4: Benötigte Entzugsleistung pro Grundstück

Die benötigte Entzugsleistung des Grundstücks ergibt sich aus der benötigten Heizleistung, die im Wärmetlas angegeben ist, und der Jahresarbeitszahl der S/W-WP. Diese wird mit 4 angesetzt.

Schritt 5: Kann der Wärmebedarf des Grundstücks geothermisch gedeckt werden?

Durch Vergleich der benötigten Entzugsleistung mit der möglichen Entzugsleistung wird festgestellt, ob die Gebäude auf dem Grundstück bei ihrem aktuellen Wärmebedarf versorgt werden können. Außerdem wird eine Sanierung mit Absenkung des Wärmebedarfs um bis zu 50 % berücksichtigt.

4.2.2 Ergebnisse

In Abbildung 65 (links) ist der über S/W-WP mit EWS versorgbare Anteil des Wärmebedarfs der Stadt Bremen dargestellt, der mithilfe der zuvor beschriebenen Methode ermittelt wurde. Industrie- und große GHD-Unternehmen (> 5 GWh/a) sind in dieser und den folgenden Darstellungen nicht berücksichtigt. Denn dort werden hohe Prozesswärmebedarfe vermutet, die möglicherweise nicht durch Wärmepumpen gedeckt werden können. Von den Gebäuden sind ohne Sanierung 13 %, und mit Sanierung (bei Reduktion des Wärmebedarfs je Gebäude auf mindestens 50 %) können 21 % des Wärmebedarfs gedeckt werden.

In Abbildung 65 (rechts) ist der versorgbare Anteil, bezogen auf die Gebäudeanzahl, dargestellt. Ohne Sanierung können demnach 27 % der Gebäude und mit Sanierung 41 % der Gebäude über S/W-WP versorgt werden.

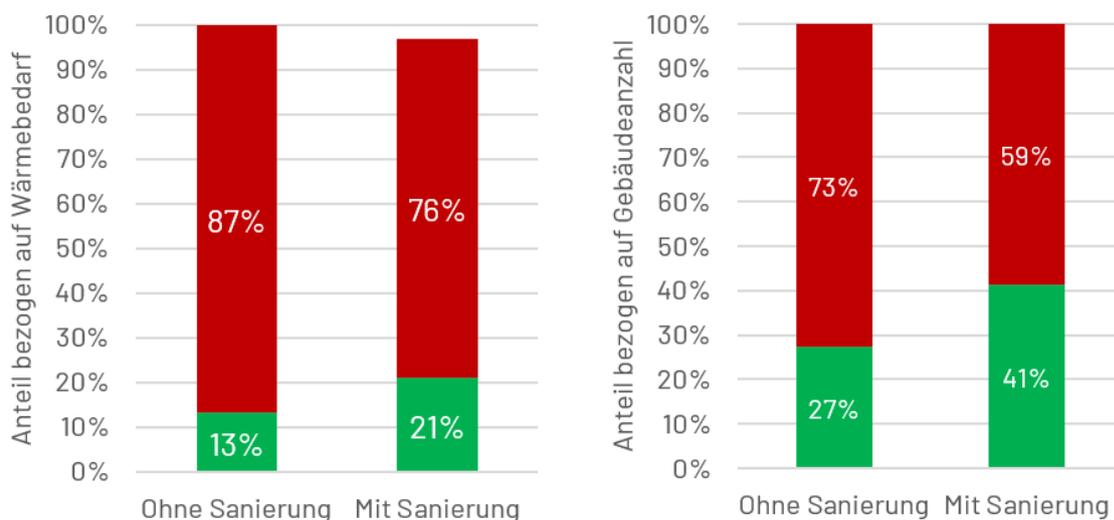


Abbildung 65: Ergebnisse für die Stadt Bremen – (links) Anteil des Wärmebedarfs, der mit und ohne Sanierung über S/W-WP mit Erdwärmesonden gedeckt werden kann; (rechts) Anteil der Gebäude, die mit und ohne Sanierung über S/W-WP mit Erdwärmepumpen versorgt werden können; (grün: Versorgung möglich, rot: Versorgung nicht möglich)

Der etwas größere Anteil in Bezug auf die Gebäudeanzahl ergibt sich daraus, dass Gebäude mit geringem Wärmebedarf eher für die Versorgung mit S/W-WP geeignet sind und diese besonders im Randbereich der Stadt nach Anzahl dominieren.

Abbildung 66 zeigt die mögliche Deckung für die einzelnen Ortsteile Bremens, bezogen auf den Wärmebedarf (links) oder auf die Gebäudeanzahl (rechts). In den äußeren Stadtteilen können größere Anteile des Wärmebedarfs über dezentrale S/W-WP versorgt werden, da dort tendenziell Gebäude mit größeren Grundstücksflächen sowie Einfamilien- und Reihenhäuser mit geringerem Wärmebedarf zu finden sind. In den dicht bebauten Ortsteilen im Zentrum der Stadt ist das Potenzial für dezentrale S/W-WP mit EWS geringer (blaue bis grüne Bereiche). Hier ist der Bedarf größer, diese Ortsteile über Wärmenetze zu versorgen.

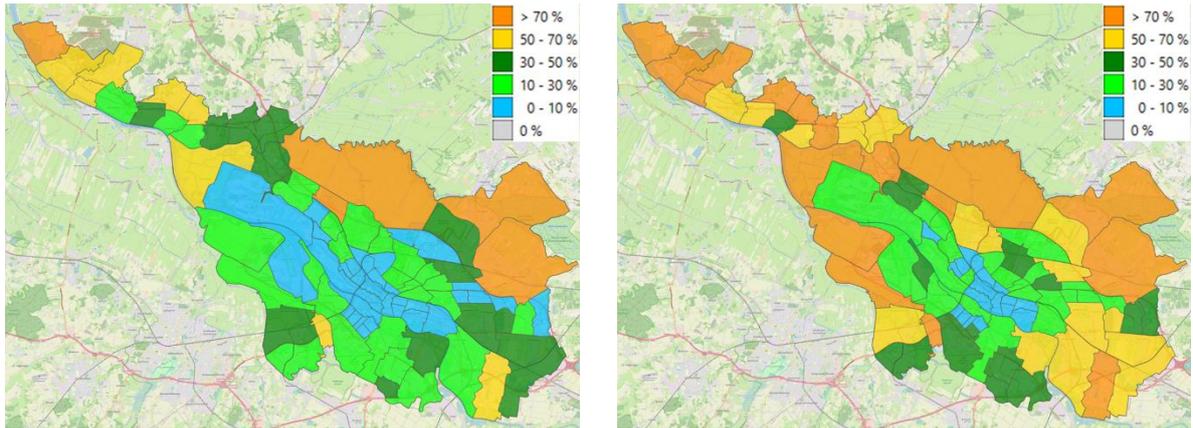


Abbildung 66: Deckung mit dezentralen S/W-WP mit Erdwärmesonden in den Ortsteilen von Bremen nach energetischer Sanierung mit Reduktion des heutigen Bedarfs auf 50 %: (links) bezogen auf den Wärmebedarf, (rechts) bezogen auf die Gebäudeanzahl.

4.3 Vergleich Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zur Einzelgebäudeversorgung

Im Vergleich der Ergebnisse für L/W-WP und S/W-WP mit EWS zeigt sich, dass mehr Gebäude über L/W-WP versorgt werden können. Beide Technologien eignen sich besonders für die äußeren Bereiche der Stadt.

Bei den S/W-WP wurde die Möglichkeit der thermischen Regeneration des Untergrunds im Sommer durch Einleitung von Wärme, zum Beispiel aus Solarthermie, nicht berücksichtigt. Dadurch lässt sich die Anzahl benötigter Sonden deutlich reduzieren. Ein Vorteil von Erdwärmesondenanlagen ist die Möglichkeit zur passiven Kühlung eines Gebäudes im Sommer. Und damit verbunden die Regeneration des Untergrunds.

Bei den L/W-WP ist durch die Verwendung von Schallschutzgehäusen eine Absenkung der Schallemissionen möglich. Dadurch könnten weitere Gebäude mit L/W-WP versorgt werden. Aus Sicht des Stromnetzes sind S/W-WP mit Erdwärmesonden vorteilhaft, da besonders bei sehr kalten Umgebungstemperaturen die Spitzenlast geringer ist als bei L/W-WP.

5 Zusammenfassung

Die Ziele des vorliegenden Fachgutachtens sind:

- Geeignete Gebiete für eine Fern- oder Nahwärmeversorgung in der Stadt Bremen zu identifizieren, diese räumlich abzugrenzen und hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Erschließbarkeit zu untersuchen.
- Im Zusammenhang mit den Eignungsgebieten für Fern- und Nahwärmenetze relevante Potenziale für erneuerbare Wärme und Abwärme zu analysieren. Im Fokus stehen dabei Gebiete für neue Wärmenetze. Die Dekarbonisierung bestehender Nah- und Fernwärmenetze wird von den jeweiligen Fernwärmeversorgern über BEW-Transformationspläne untersucht.
- Die Potenziale zur Wärmebedarfsdeckung von Einzelgebäuden durch Luftwärmepumpen oder Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonden zu untersuchen. Wesentliche Entscheidungskriterien sind dabei die Schallemissionen der Luftwärmepumpen und die Anzahl möglicher Erdwärmesonden auf dem Grundstück/Flurstück der Gebäude.

Damit werden erste zentrale Fragestellungen untersucht, die im Rahmen einer kommunalen Wärmeplanung zu beantworten sind.

Bei der Identifizierung der für eine Fern- oder Nahwärmeversorgung geeigneten Gebiete in Bremen wurde die Analyse straßenzugscharf durchgeführt. Unter Einbindung eines numerischen Optimierungsalgorithmus wurden für den Ausbau der Fernwärmenetze West-Mitte-Ost sowie für den Aufbau neuer Wärmenetze mehrere Varianten mit automatisierter Auswahl von Straßenzügen definiert. Aus diesen Varianten wurden die Kernparameter (potenzieller Wärmeabsatz, erforderliche Länge der Transportleitungen und Hausanschlussleitungen, Leistungen der Hausanschlussstationen) ermittelt und die Varianten wirtschaftlich bewertet. Die wirtschaftliche Bewertung der Varianten erfolgte auf Ebene der Ortsteile der Freien Hansestadt Bremen. Daraus wurden jeweils wirtschaftliche Varianten für den Fernwärmeausbau oder neue Wärmenetze pro Ortsteil identifiziert. Um eine hohe Belastbarkeit der Ergebnisse zu erzielen, waren intensive Abstimmungen mit den Wärmenetzbetreibern hinsichtlich der getroffenen Annahmen (Anschlussraten, Kosten, Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung, anlegbare Preise) und des Vorgehens, aber auch die Diskussion der Zwischenergebnisse der Untersuchungen ein wichtiger Bestandteil des Gutachtens. Insgesamt wurden neun Treffen mit swb/wesernetz/swb Services und enercity Contracting durchgeführt.

Die Gesamtübersicht über den wirtschaftlich erschließbaren Anteil am Wärmebedarf nach Ortsteilen einschließlich der Darstellung der bestehenden und ermittelten neuen Wärmenetztrassen ist in Abbildung 42 dargestellt. In der Summe ergibt sich das wirtschaftlich erschließbare Potenzial für Nah- und Fernwärme i. H. v. ca. 1.840 GWh/a (Bezugsjahr 2038). Dies entspricht einem Anteil von ca. 34 % am Gesamtwärmebedarf

Bremens (5.410 GWh/a im Jahr 2038, inkl. Industrie). Dieser Anteil setzt sich wie folgt zusammen:

- 13 % bestehende Fern- und Nahwärmenetze (inkl. Industrie)
- 12 % Verdichtung und Ausbau Fernwärmenetze West und Uni-Ost
- 9 % neue Wärmenetze in Bremen Nord und Süd

Für diesen Ausbau der Wärmenetze werden ca. 300 Trassenkilometer an Transportleitungen benötigt. Bei der Interpretation der Ergebnisse sind folgende Hinweise zu berücksichtigen:

- Der Anteil von 34 % bezieht sich auf den Gesamtwärmebedarf inklusive Industrie. Ohne Berücksichtigung des erdgasversorgten Wärmebedarfs der Industrie (993 GWh/a bei Fortschreibung bis 2038) ergibt sich ein Potenzial von ca. 42 % am Gesamtwärmebedarf.
- Das wirtschaftlich erschließbare Potenzial ist u. a. durch die Orientierung des anlegbaren Preises am aktuellen swb-Fernwärmetarif in diesem Gutachten begrenzt.
- Die hier dargestellten Kalkulationen zur Wirtschaftlichkeit basieren auf der BEW-Förderung, die einen Investitionskostenzuschuss in Höhe von 40 % vorsieht. Bei einer hypothetisch angenommenen Förderung von 60 % ergibt sich eine deutliche Verschiebung der Wärmegestehungskosten nach unten, was im Resultat dazu führt, dass deutlich mehr Ortsteile und größere Ausbauvarianten im wirtschaftlichen Bereich liegen.

Im zweiten Themenbereich des Gutachtens – der **Potenzialanalyse erneuerbarer Energien und Abwärme** – lag der Fokus auf den Quellen für neue Wärmenetze. Es wurden folgende Wärmequellen betrachtet: industrielle Abwärme, Abwärme aus Abwasser, Wärme aus der Weser, Nutzung der oberflächennahen Geothermie über Erdwärmesondenfelder und Freiflächen für Solarthermie.

- **Industrielle Abwärme.** Bei der Potenzialanalyse wurde ein Fragebogen erstellt und an die TOP 44 Unternehmen im Bereich Gasverbrauch über die SUKW verteilt. Von den 14 Rückläufern wurden bei drei Unternehmen relevante Potenziale (ca. 100 GWh/a) grob quantifiziert. Für die Studie wurden keine vertiefenden Gespräche mit den Unternehmen geführt, weil bereits direkte Gespräche zwischen swb und den Unternehmen wegen der Nutzung der Abwärme für Fernwärmenetze laufen. Es wird vermutet, dass es weitere Abwärmepotenziale bei den Unternehmen gibt, die nicht auf die Befragung geantwortet hatten.
- **Abwärme aus Abwasser.** Für die Potenzialermittlung wurden die Messdaten an den Kläranlagen Seehausen und Farge analysiert und die Randbedingungen für

den Betrieb der Kläranlagen mit hanseWasser und Umweltbetrieb Bremen abgestimmt. Bei der Nutzung der Abwärme aus Abwasser am Auslauf der Kläranlagen wurden sehr große Potenziale für Großwärmepumpen ermittelt (bis 300 GWh/a im Grundlastbetrieb). Bei der Nutzung der Abwärme aus Abwasser vor den Kläranlagen (insb. in Pumpwerken) müssen mögliche negative Auswirkungen auf den Betrieb der Kläranlagen berücksichtigt werden. Dies führte zu einer deutlichen Einschränkung der Potenziale aus dem Abwasserkanal. Im Einzugsbereich der Kläranlage Seehausen können nach den Untersuchungen von hanseWasser lediglich 2,8 MW entnommen werden. Dieses Potenzial ist jedoch bereits durch zwei Vorhaben verplant.

- **Wärme aus der Weser.** Im Gutachten wurden Annahmen zur Auskühlung des Flusswassers und zum Betrieb der Großwärmepumpen getroffen. Es ergab sich ein sehr hohes Potenzial für Flusswärmepumpen an der Weser (70 MW thermische Leistung und 550 GWh/a Wärmebereitstellung im Grundlastbetrieb pro Entnahmestandort). Dieses Potenzial könnte aufgrund genehmigungsrechtlicher Randbedingungen eingeschränkt werden. Die Wasserbehörde wies bei den Abstimmungen auf mögliche Auswirkungen der „Kälteeinleitung“ auf die Gewässerökologie und auf die Wanderbewegungen der Fische hin. Diese Fragestellung ist wasser- und naturschutzfachlich zu klären. Die Wasserbehörde und das Referat Wärmewende der Stadt Bremen planen dazu die Beauftragung eines entsprechenden Fachgutachtens.
- **Nutzung der oberflächennahen Geothermie über Erdwärmesondenfelder.** Im Rahmen der Untersuchungen wurden fünf Gebiete südlich der Weser identifiziert, die sich gut für den Neu- bzw. Ausbau von Nahwärmenetzen eignen. Vier der Gebiete können über Fluss- und Klärwasserwärmepumpen versorgt werden. Für das fünfte Gebiet „Huchting/Sodenmatt“ im Süden der Stadt wurden Erdwärmesondenfelder als mögliche Wärmeversorgungsoption betrachtet. Berücksichtigt wurden zunächst Flächen mit einem Abstand von weniger als 200 m zum Wärmenetz. Flächen, bei denen das Luftbild auf erhebliche Einschränkungen hinweist (z. B. vollständige Bedeckung mit Bäumen), wurden manuell aus der Auswahl herausgenommen. Die Besitzverhältnisse und die tatsächliche Nutzbarkeit der Flächen müssen im Einzelfall geklärt werden.
- Für die bereits bestehenden swb-Wärmenetze West-Mitte-Ost wurden zunächst die **aktuell genutzten Wärmequellen** zugrunde gelegt. Zudem erfolgt seitens swb im Rahmen der laufenden BEW-Transformationsplanung für das Fernwärmenetz West und der kurzfristig geplanten BEW-Transformationsplanung für das Wärmenetz Uni-Ost eine Potenzialanalyse für erneuerbare Wärmequellen. Es wird davon ausgegangen, dass die dort erarbeiteten Ergebnisse im weiteren Bearbeitungsprozess der Wärmeplanung berücksichtigt und gegebenenfalls ergänzt werden können.

- Für das in Bremen Nord geplante Netz wird von der Nutzung der Wärme aus der Abfallverbrennung im [Heizkraftwerk Blumenthal](#) ausgegangen.

Im dritten Themenbereich des Gutachtens wurden die [Potenziale von dezentralen Luft-Wasser-Wärmepumpen oder Sole-Wasser-Wärmepumpen mit Erdwärmesonden](#) zur Wärmebedarfsdeckung auf Ebene der Einzelgebäude untersucht. Die Analysen wurden auf Basis des Wärmeatlas gebäudescharf durchgeführt. Entscheidungskriterien für die Eignung der dezentralen Wärmepumpen waren Schallemissionen der Luftwärmepumpen und die Anzahl möglicher Erdwärmesonden auf dem Grundstück/Flurstück der Gebäude bei erdwärmegekoppelten Wärmepumpen. Bei dem aktuellen Wärmebedarf der Gebäude können 33 % der Gebäude (ohne Industrie und große GHD-Objekte) über Luft-Wasser-Wärmepumpen und 27 % der Gebäude über erdgekoppelte Wärmepumpen versorgt werden. In Bezug auf den Wärmebedarf sind es 29 % und 13 %. Die Potenziale von Luft-Wasser-Wärmepumpen und erdgekoppelten Wärmepumpen können nicht addiert werden, da viele Gebäude für beide Technologien geeignet sind. In der Potenzialbeurteilung wurde zusätzlich gebäudescharf überprüft, ob die Versorgung mit dezentralen Wärmepumpen bei einer Bedarfsreduktion der Gebäude um bis zu 50 % ermöglicht wird. Dabei wurde nicht geprüft, ob diese Bedarfsreduktion in den Gebäuden möglich ist. Unter diesen Annahmen kann das Potenzial der dezentralen Wärmepumpen auf 36 % und 21 % des Wärmebedarfs der Stadt (ohne Industrie und große GHD-Objekte) steigen.

Es lässt sich feststellen, dass das Potenzial für dezentrale Wärmepumpen aufgrund der dichten Bebauung in Bremen sehr begrenzt ist, sodass eine flächendeckende Umstellung der Wärmeversorgung auf dezentrale Wärmepumpen nicht möglich ist. Besonders Gebiete mit geringen Potenzialen für dezentrale Wärmepumpen (insb. im Bereich der Stadtmitte) brauchen eine wärmenetzbasierte Lösung.

Im nächsten Schritt der kommunalen Wärmeplanung in Bremen sollen die Wärmenetzgebiete und die gebäudescharfen Potenziale für dezentrale Wärmepumpen verschnitten und analysiert werden. Besonders kritisch sind hier Gebäude, die weder in einem Wärmenetzgebiet liegen noch Potenziale für dezentrale Wärmepumpen aufweisen. Hierzu bedarf es geeigneter Lösungsvorschläge. Weiterhin ist im folgenden Gutachten das Gesamtkonzept für das Zielbild der dekarbonisierten Wärmeversorgung in der Stadt zu erstellen.

Abkürzungsverzeichnis

ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAU-Szenario	Business-as-usual-Szenario
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEW	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
bwp	Bundesverband Wärmepumpe e. V.
COP	Coefficient of Performance / Leistungskennzahl der Wärmepumpe über eine gesamte Heizperiode
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EnEFG	Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz - EnEFG)
EWS	Erdwärmesonde(n)
GEG	Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz)
GHD	Gewerbe / Handel / Dienstleistungen
GIS	Geoinformationssystem
GrwV	Grundwasserverordnung
ha	Hektar
HAST	Hausanschlussstationen
HH	Haushalte
JAZ	Jahresarbeitszahl
K	Kelvin

KaVKA	Kataster zur Erfassung von Verdunstungskühlanlagen
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW(h) _{el}	Kilowatt(stunden) elektrisch
kW(h) _{th}	Kilowatt(stunden) thermisch
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
L/W(-WP)	Luft-Wasser(-Wärmepumpe)
LCOH	Levelized Cost of Heat, Deutsch: Wärmegestiegungskosten
LOD	Level of Detail
MW(h) _{el}	Megawatt(stunden) elektrisch
MW(h) _{th}	Megawatt(stunden) thermisch
OGewV	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer
PV	Photovoltaik
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance / Leistungskennzahl der Wärmepumpe über eine gesamte Heizperiode
SRm	Schüttraummeter
SUKW	Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft der Freien Hansestadt Bremen
S/W(-WP)	Sole-Wasser(-Wärmepumpe)
TNetz, RL	Rücklauftemperatur im Wärmenetz
TNetz, VL	Vorlauftemperatur im Wärmenetz
THG	Treibhausgase
TWW	Trinkwarmwasserunterstützung
VAwS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WP	Wärmepumpe

WPG	Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze (Wärmeplanungsgesetz – WPG)
WRG	Wärmerückgewinnung
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Annahmen zu Sanierungsraten von Wohn- und Nichtwohngebäuden in unterschiedlichen Studien.....	8
Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Leitfaden Wärmeplanung mit Richtwerten zur Wärmenetzeignung der Gebiete.....	10
Abbildung 3: Wärmedichte 2038 in Bremen auf Ebene der statistischen Blöcke	10
Abbildung 4: Wärmebedarf 2038 in den verschiedenen Kategorien der Wärmedichte. Die Werte sind inkl. Industrie, aber ohne Stahlwerk	11
Abbildung 5: Wärmebedarf 2038 in den verschiedenen Kategorien der Wärmedichte mit Angabe des Anteils der Industrie (dunkelgrau und violett) sowie des Anteils der bestehenden und geplanten Fernwärmegebiete (farbig). In Hellgrau sind Gebiete ohne Industrie und außerhalb der Wärmenetzgebiete dargestellt.	12
Abbildung 6: Aktuelle und geplante Wärmenetz(such)gebiete.	12
Abbildung 7: Gebiete ohne Wärmenetz mit hoher Wärmedichte 2038	13
Abbildung 8: Zusammenfassung der Gebiete nach der Kategorisierung anhand der Wärmedichte	13
Abbildung 9: Netzgebiet West – Fernwärmeleitungen (blau); Übersetzung in Straßennetz (grün).....	15
Abbildung 10: Netzgebiet Ost – Fernwärmeleitungen (blau); Übersetzung in Straßennetz (grün).....	16
Abbildung 11: Netzgebiet Uni – Fernwärmeleitungen (blau); Übersetzung in Straßennetz (grün).....	16
Abbildung 12: Netzausbauszenarien für verschiedene Grenzwerte der Wärmelinien-dichte (750 – 2500 kWh/(m*a)). Bestandsnetze (blau); Netzausbau (rot). ...	17
Abbildung 13: Deckungsanteile Fernwärme-Bestand, Verdichtungspotenzial und Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetzgebiete West-Mittel-Ost, aufgeteilt nach Ortsteilen und für die fünf berechneten Netzausbauvarianten	18
Abbildung 14: Die verwendete Kostenfunktion zur Abschätzung der Investitionskosten für Fernwärmetransportleitungen. Die auf der x-Achse dargestellte durchschnittliche Wärmebelegungsdichte ist inkl. Hausanschlussleitungen berechnet.....	19
Abbildung 15: Preiszone A mit höheren Kosten für Verlegung von Fernwärmeleitungen	20
Abbildung 16: Kostenannahme für Nah- und Fernwärmeleitungen.....	21

Abbildung 17: Kostenannahme für Hausanschlussstationen	21
Abbildung 18: Fernwärme-Tarif swb-Netzgebiet, Stand: Januar 2024	23
Abbildung 19: Wärmegestehungskosten inkl. BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost.....	24
Abbildung 20: Wärmegestehungskosten mit einer hypothetischen 60 %-Förderung für alle Ortsteile und Ausbau-varianten für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost.	25
Abbildung 21: Beispiel für die Ergebnisse der Netzausbaubetrachtung auf Ortsteilebene	25
Abbildung 22: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost nach Ortsteilen bei einer BEW-Förderung	26
Abbildung 23: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost nach Ortsteilen bei einer hypothetischen 60 %- Förderung.....	27
Abbildung 24: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost nach Ortsteilen bei einer BEW-Förderung	27
Abbildung 25: Netzneubauszenarien in Bremen Nord für verschiedene Grenzwerte der Wärmelinien-dichte (750 – 2500 kWh/(m*a)).....	29
Abbildung 26: Deckungsanteile Fernwärme-Bestand, Verdichtungspotenzial und Ausbaupotenzial der Netzvarianten für die betrachteten Ortsteile in Bremen Nord	30
Abbildung 27: Wärmegestehungskosten inkl. BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Nord.....	31
Abbildung 28: Wärmegestehungskosten mit einer hypothetischen 60 %-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Nord.	32
Abbildung 29: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Nord bei BEW-Förderung	32
Abbildung 30: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Nord bei einer hypothetischen 60 %-Förderung	33
Abbildung 31: Netzneubauszenarien in Bremen Süd für verschiedene Grenzwerte der Wärmelinien-dichte (750 – 2500 kWh/(m*a)).....	35
Abbildung 32: Deckungsanteile Fernwärme-Bestand, Verdichtungspotenzial und Ausbaupotenzial der Netzvarianten für die betrachteten Ortsteile in Bremen Nord	36

Abbildung 33: Wärmegestehungskosten inkl. BEW-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Süd.	37
Abbildung 34: Wärmegestehungskosten bei einer hypothetischen 60 %-Förderung für alle Ortsteile und Ausbauvarianten in Bremen Süd.	37
Abbildung 35: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Süd bei BEW-Förderung	38
Abbildung 36: Deckungsanteile mit wirtschaftlichem Fernwärme-Ausbaupotenzial für Ortsteile in Bremen Süd bei einer hypothetischen 60 %-Förderung	38
Abbildung 37: Die identifizierten Gebiete für neue Wärmenetze in Bremen Süd (links der Weser)	40
Abbildung 38: Erzeugerkonzept 1 für die neuen Netze 2 bis 5 in Bremen Süd.....	41
Abbildung 39: Erzeugerkonzept 2 für die neuen Netze 2 bis 5 in Bremen Süd	41
Abbildung 40: Durch Nah- und Fernwärme wirtschaftlich erschließbare Anteile der Ortsteile im Stadtgebiet Bremen	43
Abbildung 41: Anteile Nah- und Fernwärme für alle Ortsteile bei 40 %-Förderung. Aufsteigend sortiert nach Anteil mit Bezug auf den Wärmebedarf.....	44
Abbildung 42: Gesamtübersicht des wirtschaftlich erschließbaren Anteils am Wärmebedarf durch Wärmenetze inkl. Trassenführung für Bestandsnetze, den Ausbau bestehender Netze und neue Netze	45
Abbildung 43: Außen- und Netztemperaturen für die Auslegungen	47
Abbildung 44: Flusstemperatur der Weser 2020 bis 2023	49
Abbildung 45: Abflusstemperatur Weser für 2020 – 2022.....	49
Abbildung 46: Theoretisches und realistisches Potenzial der Flusswärmepumpe	50
Abbildung 47: Standorte der Kläranlagen in Bremen	52
Abbildung 48: Theoretisches und realistisches Potenzial der Wärmepumpe der Kläranlage Seehausen	53
Abbildung 49: Theoretisches und realistisches Potenzial der Wärmepumpe der Kläranlage Farge	53
Abbildung 50: Temperaturverlauf Abwasser, abgeschätzt über die Temperaturen am Auslauf der Kläranlage Seehausen abzüglich 1 K Temperaturerhöhung durch die Kläranlage.....	56

Abbildung 51: Positivauswahl (links) und Ausschlussgebiete (rechts) für die Suche nach geeigneten Flächen für Erdwärmesondenfelder in Bremen	59
Abbildung 52: (links) Überlagerung von Positivauswahl und Ausschlussgebieten; (rechts) Flächen für Sondenfelder nach Verschneidung	59
Abbildung 53: Flächen für Erdwärmesondenfelder im Stadtgebiet Bremen nach Art der Fläche	60
Abbildung 54: Freiflächen in einem Umkreis von 200 m um das potenzielle Nahwärmegebiet Huchting/Sodenmatt, Hintergrund: OSM (links), Digitales Orthophoto DOP20 (rechts)	60
Abbildung 55: Zusammenhang zwischen der Schalleistung von L/W-Wärmepumpen und der Heizleistung, basierend auf Datenblattwerten aus der GET-Produktdatenbank (Amt der Salzburger Landesregierung - Lebensgrundlagen und Energie, 2023). Die angesetzte Funktion orientiert sich an den emissionsärmsten Wärmepumpen der jeweiligen Leistungsklasse.	62
Abbildung 56: Mindestabstand zwischen L/W-WP und Nachbargebäuden zur Einhaltung der Schallimmissionsvorgaben über dem Schalleistungsdruck der Wärmepumpe	64
Abbildung 57: (links) Bestimmung des potenziellen Aufstellgebiets der L/W-Wärmepumpe unter Berücksichtigung der Mindestabstände und unter Einhaltung der Schallimmissionsgrenzwerte; (rechts) Ausschnitt aus dem Wärmeetlas – möglicher Installationsort der L/W-Wärmepumpe bei jetzigem Zustand des Gebäudes (violett) oder bei Sanierung (grün)	64
Abbildung 58: Ergebnisse für die Stadt Bremen – (links) Anteil des Wärmebedarfs, der mit und ohne Sanierung über L/W-Wärmepumpen gedeckt werden kann; (rechts) Anteil der Gebäude, die mit und ohne Sanierung über L/W-Wärmepumpen versorgt werden können; (grün: Versorgung möglich, rot: Versorgung nicht möglich)	65
Abbildung 59: Deckung mit dezentralen L/W-Wärmepumpen in den Ortsteilen von Bremen nach Berücksichtigung von Sanierung auf minimal 50 % des heutigen Bedarfs: (links) bezogen auf den Wärmebedarf, (rechts) bezogen auf die Gebäudeanzahl	66
Abbildung 60: Fließschema zur Erhebung des Potenzials für oberflächennahe Geothermie mit S/W-WP und EWS für Einzelgebäude	67
Abbildung 61: Darstellung der Platzierung der EWS auf den Grundstücken für ein Beispielgebiet: Platzierungsbereich auf den Grundstücken (hellgrün); Sondenstandorte (blaue Punkte)	67
Abbildung 62: (links) Lage der Oberkante der Salzstrukturen unterhalb der Geländeoberkante; (rechts) Wärmeleitfähigkeit des Untergrunds für das Stadtgebiet Bremen, gemittelt über die obersten 150 m	68

Abbildung 63: Spezifische Entzugsleistung über der Sondenanzahl für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten, berechnet mit GEO-HANDlight für die Untergrundeigenschaften in Bremen mit Wasser und Frostschutzmittel als Fluid.....	68
Abbildung 64: (links) Lage der Wasserschutzgebiete in Bremen; (rechts) Spezifische Entzugsleistung über der Sondenanzahl für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten mit Wasser als Fluid	69
Abbildung 65: Ergebnisse für die Stadt Bremen – (links) Anteil des Wärmebedarfs, der mit und ohne Sanierung über S/W-WP mit Erdwärmesonden gedeckt werden kann; (rechts) Anteil der Gebäude, die mit und ohne Sanierung über S/W-WP mit Erdwärmepumpen versorgt werden können; (grün: Versorgung möglich, rot: Versorgung nicht möglich)	70
Abbildung 66: Deckung mit dezentralen S/W-WP mit Erdwärmesonden in den Ortsteilen von Bremen nach energetischer Sanierung mit Reduktion des heutigen Bedarfs auf 50 %: (links) bezogen auf den Wärmebedarf, (rechts) bezogen auf die Gebäudeanzahl.	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fortschreibung des Wärmebedarfs bis 2038 nach Sektoren.....	9
Tabelle 2: Angenommene Anschlussraten in den Netzausbauszenarien	14
Tabelle 3: Netzausbauszenarien für verschiedene Grenzwerte der Wärmeliniendichte (750 – 2500 kWh/(m*a)).....	18
Tabelle 4: Kennzahlen für wirtschaftlich erschließbaren Fernwärmeausbau für die Fernwärmenetze West-Mitte-Ost.....	28
Tabelle 5: Netzausbauszenarien in Bremen Nord für verschiedene Grenzwerte der Wärmeliniendichte (750 – 2500 kWh/(m*a)).....	30
Tabelle 6: Kennzahlen für wirtschaftlich erschließbaren Aufbau des Wärmenetzes in Bremen Nord.....	33
Tabelle 7: Netzausbauszenarien in Bremen Süd für verschiedene Grenzwerte der Wärmeliniendichte (750 – 2500 kWh/(m*a)).....	35
Tabelle 8: Kennzahlen für wirtschaftlich erschließbaren Aufbau neuer Wärmenetze in Bremen Süd (links der Weser).....	39
Tabelle 9: Potenzial industrielle Abwärme anhand der ausgewerteten Fragebögen	46
Tabelle 10: Potenzial und Kernergebnisse der Betrachtung der Flusswärmepumpe.....	51
Tabelle 11: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Kläranlagen	54
Tabelle 12: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Abwasser bei Pumpwerken.....	56
Tabelle 13: Thermisches Potenzial durch Nutzung von Abwärme aus Abwasser bei Pumpwerken (bei >16 °C Abwasser)	56
Tabelle 14: Freiflächenfindung für zentrale oberflächennahe Geothermie: Zuordnung der Flächenkategorien	58
Tabelle 15: Parameter zur Berechnung des notwendigen Mindestabstands zur Einhaltung der Immissionsschutzvorgaben	63

Literaturverzeichnis

- Amt der Salzburger Landesregierung - Lebensgrundlagen und Energie. (2023). *get-Produktdatenbank*. Von www.produktdatenbank-get.at/#/ abgerufen
- Bremen, Landesamt GeoInformation. (2024). *ALKIS - Liegenschaftskarte Land Bremen*. Von <https://metaver.de/trefferanzeige?docuuid=CE29A1C3-C82C-4600-A8B9-04CBDE26F6D8> abgerufen
- Bundesverband Wärmepumpe e. V. (2016). *Leitfaden Schall*. Berlin.
- Greif, S. (2023). Räumlich hoch aufgelöste Analyse des technischen Potenzials von Wärmepumpen zur dezentralen Wärmeversorgung der Wohngebäude in Deutschland. München: TUM. Von <https://mediatum.ub.tum.de/node?id=1702065> abgerufen
- HIC. (30.7.2021). *Gutachten zur Analyse der zukünftigen CO₂-neutralen Wärmeversorgungsoptionen und politischrechtlicher Handlungsoptionen im Land Bremen*.
- Hochschule Biberach. (2022). *Auslegung von Erdwärmesondenanlagen - GEO-HANDlight V5.0*. Von <https://innosued.de/energie/geothermie-software-2/> abgerufen
- Miocic, J. M. (2024). Fast calculation of the technical shallow geothermal energy potential of large areas with a steady-state solution of the finite line source. *Geothermics*.
- Panteleit, B., Ortmann, S., & Langer, S. (2022). Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen. Bremen: Geologischer Dienst für Bremen.
- VDI. (2019). *VDI 4640 Blatt 2 - Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen*. Düsseldorf.

Anhang

Anhang I Auswertung der Kalkulation der Abwärme durch Abwasser in Kläranlagen

Auswertung Kläranlage Farge		
Theoretisches Potenzial	Einheit	Wert
jährlicher Strombedarf	MWh/a	21.730
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	64.237
maximaler Wärmeoutput	MW	31
Technisches Potenzial mit Wärmepumpe		
thermische Nennleistung (bei Nenn-Quellentemperatur und maximaler Austrittstemperatur Senke)	MW	3,6
jährlicher Strombedarf	MWh/a	10.235
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	30.684
sCOP	-	3,00
maximaler Wärmeoutput	MW	5
Vollbenutzungsstunden	h/a	6.805
BEW-Betriebskostenförderung		
sCOP als Bezugspunkt	-	3,00
Förderung pro Umgebungswärme	€/MWh	70
Förderung pro Strom	€/MWh	139
Nachheizung		
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	13
maximaler Wärmeoutput	MW	0,19
Nachheizung Nennleistung	MW	1,00
jährlicher Brennstoffbedarf	MWh/a	15

Auswertung Kläranlage Seehausen		
Theoretisches Potenzial	Einheit	Wert
jährlicher Strombedarf	MWh/a	117.653
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	360.104
maximaler Wärmeoutput	MW	130
Technisches Potenzial mit Wärmepumpe		
thermische Nennleistung (bei Nenn- Quellentemperatur und maximaler Austritts- temperatur Senke)	MW	30
jährlicher Strombedarf	MWh/a	86.099
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	267.684
sCOP	-	3,11
maximaler Wärmeoutput	MW	39
Vollbenutzungsstunden	h/a	6.927
BEW-Betriebskostenförderung		
sCOP als Bezugspunkt	-	3,11
Förderung pro Umgebungswärme	€/MWh	66
Förderung pro Strom	€/MWh	140
Nachheizung		
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	109
maximaler Wärmeoutput	MW	1,64
Nachheizung Nennleistung	MW	2,00
jährlicher Brennstoffbedarf	MWh/a	128

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Großwärmepumpe Seehausen

Investitionen Abwasser-Wärmepumpe Seehausen (30 MW_{th})

Investitionskosten in Mio. €		
Wärmepumpe	36,0	Ca. 600 €/kW für Wärmepumpe (basiert auf Herstellerangebot, 11,5 MW _{th}) zzgl. 600 €/kW Nebenkosten (Errichtung Gebäude, Installation, Verrohrung, Pumpen etc., Quelle Grosse et al. 2017)
Leitung Anbindung FW-Netz	9,86	Annahmen: 2,3 km Leitungslänge, DN 400, 4.300 €/m _{TR}
Einbindung in das FW-Netz	4,4	Wärmeübertrager 30 MW
Gaskessel für Nachheizung	0,5	Thermische Leistung: 2 MW (Annahme max. Vorlauftemperatur 95 °C)
Planung	2,5	5 %
Unvorhergesehenes	5	10 %
Summe	58,3	
BEW-Förderung	-20,1	
Summe nach Förderung	38,2	

Grosse, R., Christopher, B., Stefan, W., Geyer, R. and Robbi, S., Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU, EUR 28859 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-75771-6, doi:10.2760/24422, JRC109006.

Figure 23: CAPEX breakdown of electrical heat pumps with ground water source

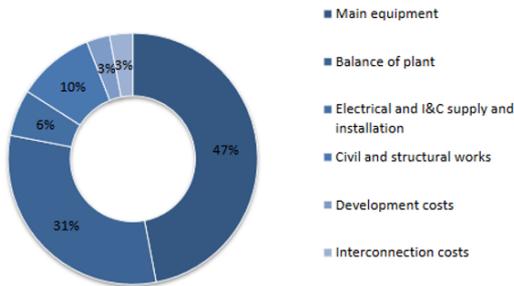
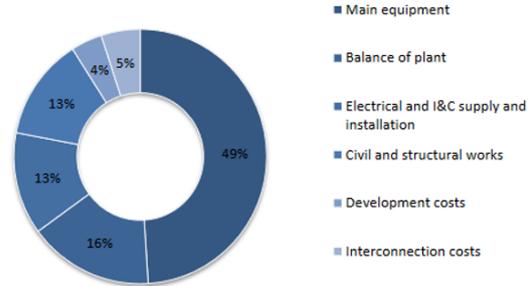


Figure 24: CAPEX breakdown of electrical heat pumps with waste heat source



Kostenaufteilung aus der Literatur: Groß-Wärmepumpe macht ca. 50% der Gesamtkosten aus im Gutachten wurde Kosten für die Groß-Wärmepumpe anhand eines Herstellerangebots abgeschätzt. Für die Abschätzung der Gesamtinvestition wird der gleiche Betrag für den Rest angenommen

Annahme Strompreis

Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2024 | Stand: 04.06.2024

<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Pos. 61243 Durchschnittspreise für Strom und Gas) Endkundenpreise inkl. Nebenkosten, exkl. Umsatzsteuer, nach Jahresverbrauchsklassen

Preis je nach Typ (Haushalte / Nicht-Haushalte) und Jahresverbrauch:

Haushalte Durchschnittspreise ohne Umsatzsteuer u.a. abz.St.	Preis in €/kWh 2023, Halbjahr 2
unter 1 000 kWh	0,4857
1 000 bis unter 2 500 kWh	0,3747
2 500 bis unter 5 000 kWh	0,3379
5 000 bis unter 15 000 kWh	0,3166
15 000 kWh und mehr	0,2880

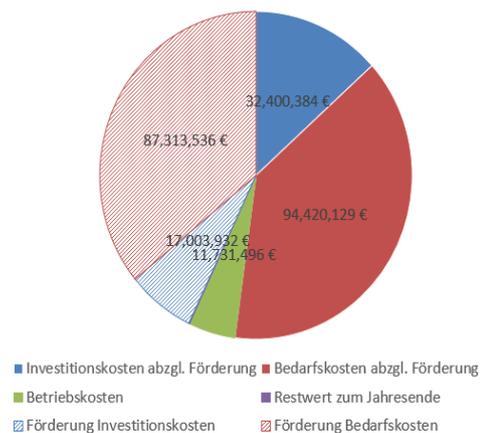
Nicht-Haushalte Durchschnittspreise ohne Umsatzsteuer u.a. abz.St.	Preis in €/kWh 2023, Halbjahr 2
unter 20 MWh	0,3279
20 bis unter 500 MWh	0,2480
500 bis unter 2 000 MWh	0,2175
2 000 bis unter 20 000 MWh	0,2017
20 000 bis unter 70 000 MWh	0,1776
70 000 bis unter 150 000 MWh	0,1720
150 000 MWh und mehr	0,1527

Annahme Strompreis: 172 €/MWh

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Grundlastbetrieb

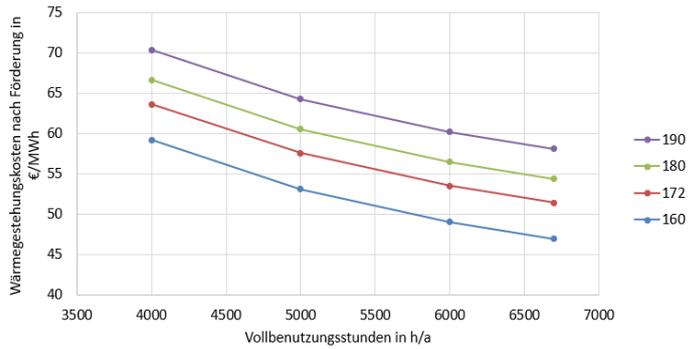
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Kalkulatorischer Zinssatz: 8 %/a
- Inflationsrate: 2 %/a
- Strompreis: 172 €/MWh, 2% Steigerung pro Jahr
- Gaspreis: 97 €/MWh, 2% Steigerung pro Jahr (für die Nachheizung auf 95°C)
- BEW-Betriebskostenförderung: 141 €/MWh_{el} über 10 Jahre
- Wärmegestehungskosten:
 - Ohne Förderung: 88,6 €/MWh
 - Mit Förderung: 50,8 €/MWh

Kostenanteile über den gesamten Betrachtungszeitraum, abgezinst



Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – Sensitivitäten

- Variation Stromkosten: 160 .. 190 €/MWh
- Variation Vollbenutzungsstunden: 4.000 .. 6.850 h/a



Die Darstellung zeigt die Abhängigkeit der Wärmegestehungskosten von der Laufzeit der Wärmepumpe (Vollbenutzungsstunden) und von dem Strompreis

- Je höher der Strompreis desto höher sind die Wärmegestehungskosten
 - Je höher die Betriebsstunden desto niedriger sind die Wärmegestehungskosten
- Diese Darstellung ist hier informativ.

Bei der Bewertung der Erzeugerkonzepte wird mit den Laufzeiten aus der Simulation gerechnet

Anhang II Auswertung der Kalkulation Flusswärmepumpe

Auswertung Flusswärmepumpe		
Theoretisches Potenzial	Einheit	Wert
jährlicher Strombedarf	MWh/a	269.063
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	803.941
maximaler Wärmeoutput	MW	131
Technisches Potenzial mit Wärmepumpe		
thermische Nennleistung (bei Nenn-Quellentemperatur und maximaler Austrittstemperatur Senke)	MW	70
jährlicher Strombedarf	MWh/a	183.988
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	550,225
sCOP	-	2,99
maximaler Wärmeoutput	MW	90
Vollbenutzungsstunden	h/a	6,134
BEW-Betriebskostenförderung		
sCOP als Bezugspunkt	-	2,99
Förderung pro Umgebungswärme	€/MWh	70
Förderung pro Strom	€/MWh	139
Nachheizung		
jährliche Wärmeerzeugung	MWh/a	-
maximaler Wärmeoutput	MW	-
Nachheizung Nennleistung	MW	-
jährlicher Brennstoffbedarf	MWh/a	-

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Großwärmepumpe mit Flusswasser (Weser) als Wärmequelle

Investitionen Fluss-Wärmepumpe Weser (70 MW_{th})

Investitionskosten in Mio. €		
Wärmepumpe	84,0	Ca. 600 €/kW für Wärmepumpe (basiert auf Herstellerangebot, 11,5 MW _{th}) zzgl. 600 €/kW Nebenkosten (Errichtung Gebäude, Installation, Verrohrung, Pumpen etc., Quelle Grosse et al. 2017)
Leitung Anbindung FW-Netz	2,2	Annahmen: 500 m Leitungslänge, DN 500, 4.400 €/m _{TR}
Einbindung in das FW-Netz	10,4	Wärmeübertrager 30 MW
Gaskessel für Nachheizung	0,5	Thermische Leistung: 2 MW (Annahme max. Vorlauftemperatur 95 °C)
Planung	4,8	5 %
Unvorhergesehenes	9,6	10 %
Summe	110,8	
BEW-Förderung	-38,6	
Summe nach Förderung	72,3	

Annahme Strompreis

Quelle: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2024 | Stand: 04.06.2024

<https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Pos. 61243 Durchschnittspreise für Strom und Gas)

Endkundenpreise inkl. Nebenkosten, exkl. Umsatzsteuer, nach Jahresverbrauchsklassen

Preis je nach Typ (Haushalte / Nicht-Haushalte) und Jahresverbrauch:

Haushalte Durchschnittspreise ohne Umsatzsteuer u.a. abz.St.	Preis in €/kWh 2023, Halbjahr 2
unter 1 000 kWh	0,4857
1 000 bis unter 2 500 kWh	0,3747
2 500 bis unter 5 000 kWh	0,3379
5 000 bis unter 15 000 kWh	0,3166
15 000 kWh und mehr	0,2880

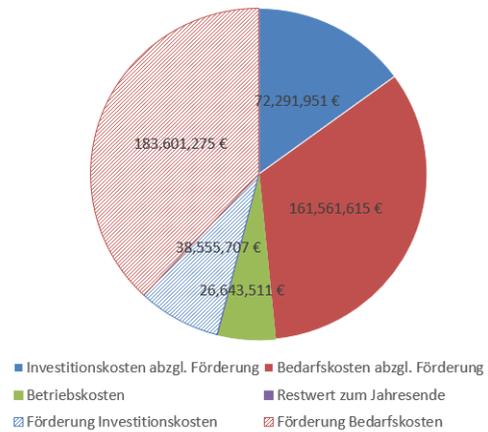
Nicht-Haushalte Durchschnittspreise ohne Umsatzsteuer u.a. abz.St.	Preis in €/kWh 2023, Halbjahr 2
unter 20 MWh	0,3279
20 bis unter 500 MWh	0,2480
500 bis unter 2 000 MWh	0,2175
2 000 bis unter 20 000 MWh	0,2017
20 000 bis unter 70 000 MWh	0,1776
70 000 bis unter 150 000 MWh	0,1720
150 000 MWh und mehr	0,1527

Annahme Strompreis: 153 €/MWh

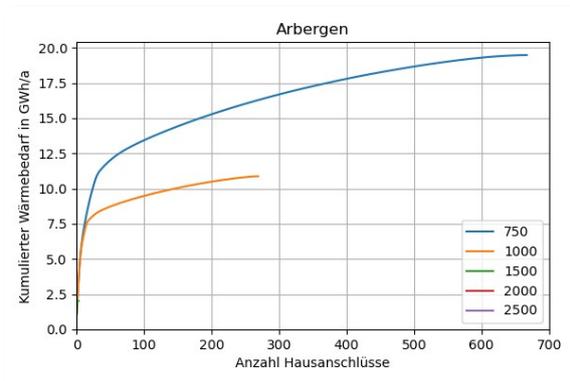
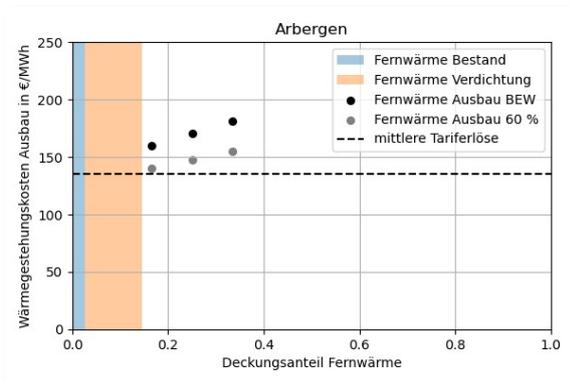
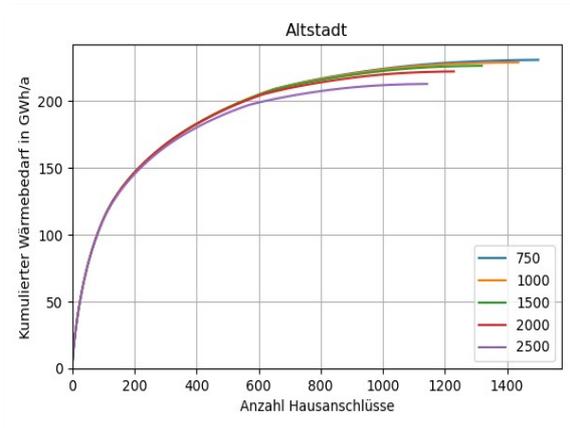
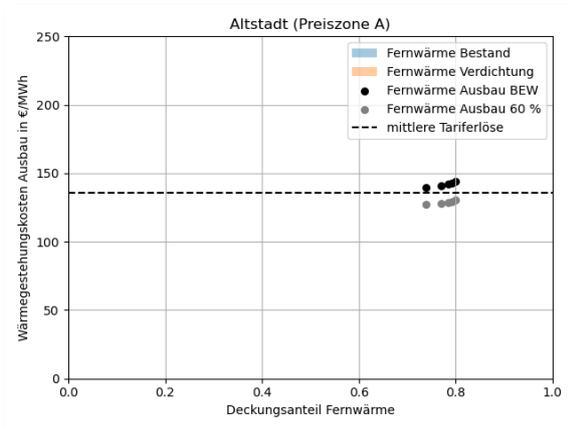
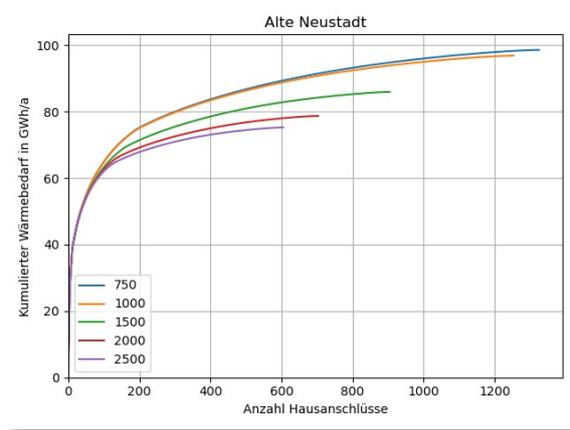
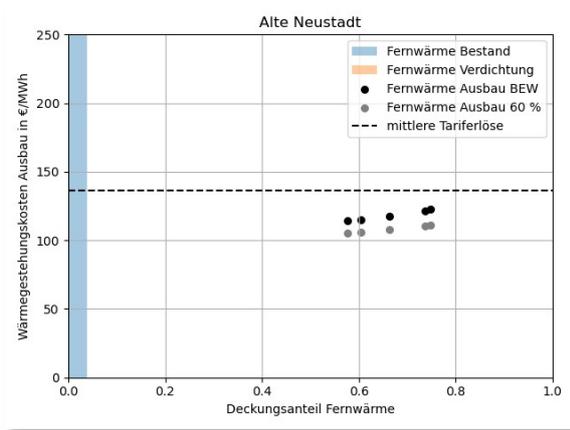
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Grundlastbetrieb

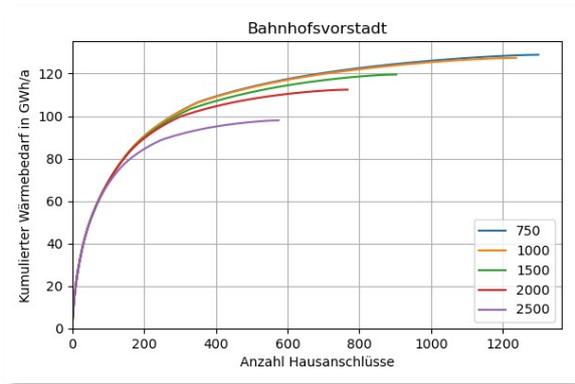
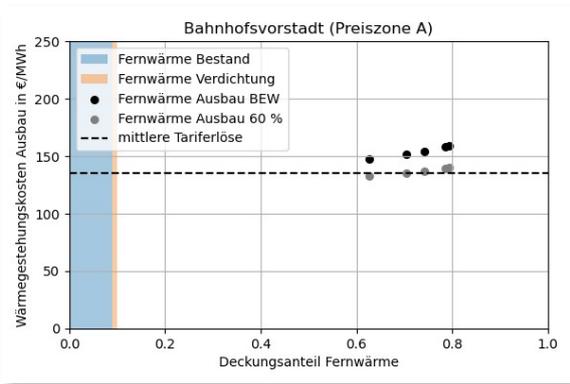
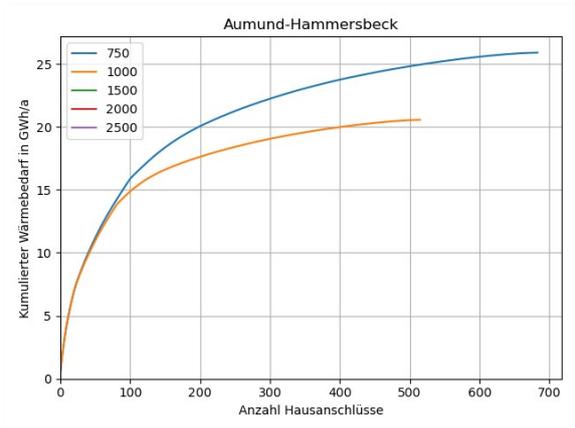
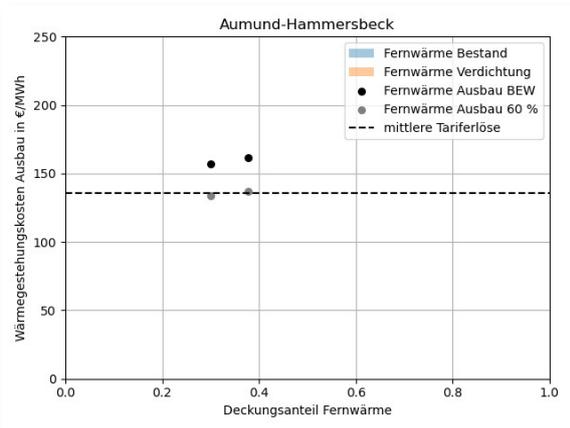
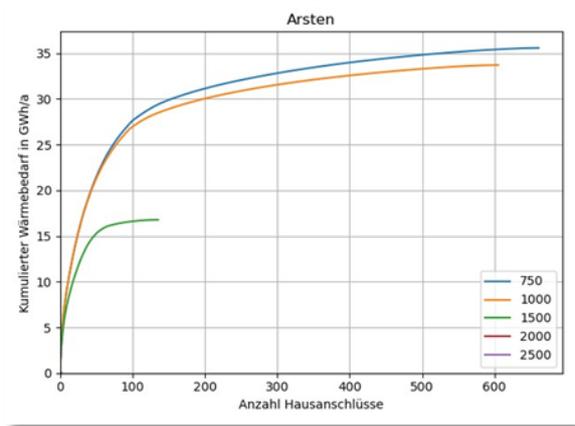
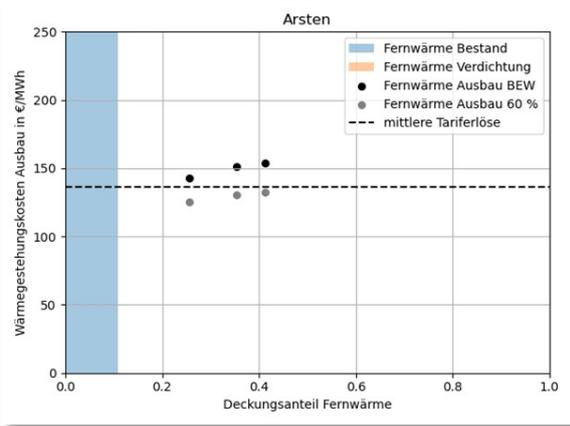
- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Kalkulatorischer Zinssatz: 8 %/a
- Inflationsrate: 2 %/a
- Strompreis: 153 €/MWh, 2% Steigerung pro Jahr
- Gaspreis: 97 €/MWh, 2% Steigerung pro Jahr (für die Nachheizung auf 95°C)
- BEW-Betriebskostenförderung: 138 €/MWh_{el} über 10 Jahre (auf 90 % der Stromkosten gedeckelt)
- Wärmegestehungskosten:
Ohne Förderung: 82,7 €/MWh
Mit Förderung: 44,6 €/MWh

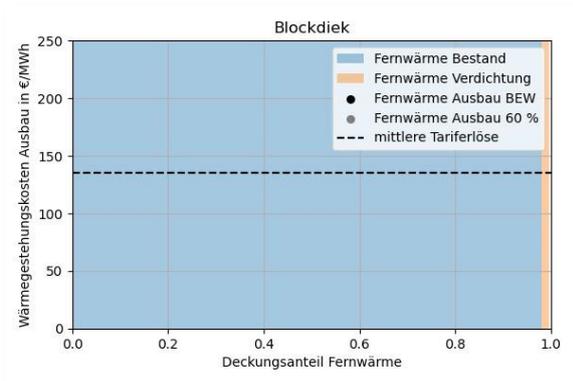
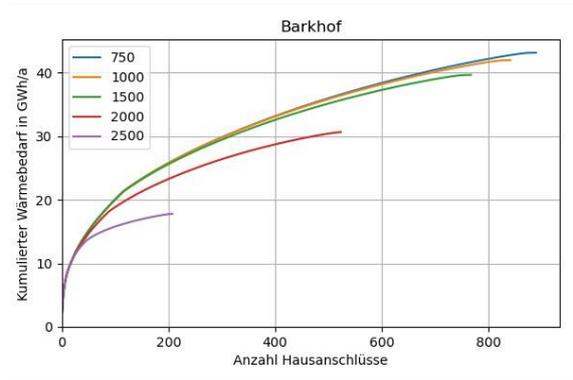
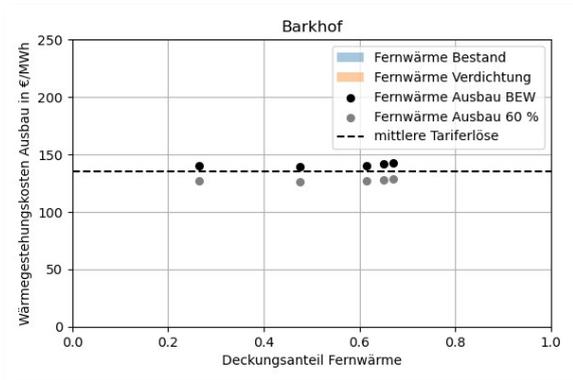
Kostenanteile über den gesamten Betrachtungszeitraum, abgezinst



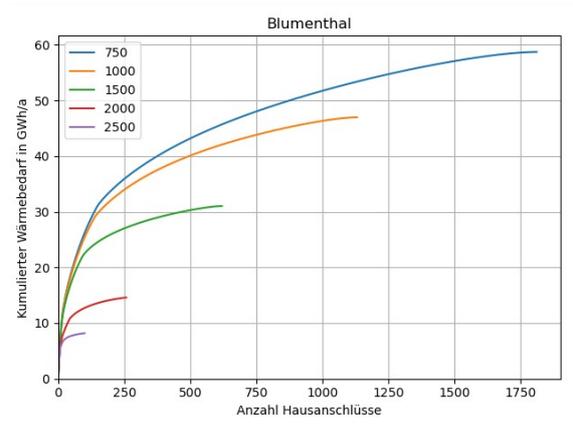
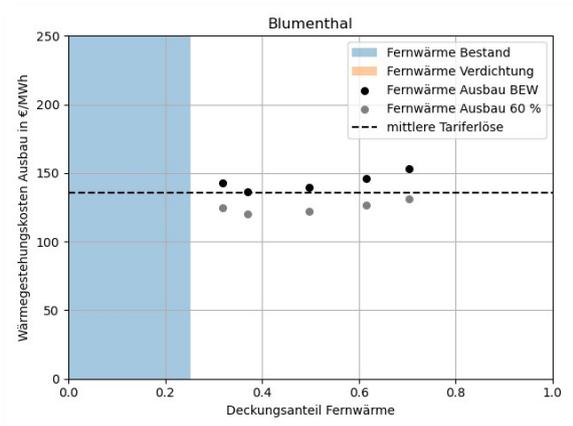
Anhang III Darstellung von Ortsteilergebnissen zur wirtschaftlichen Erschließbarkeit von Wärmenetzen

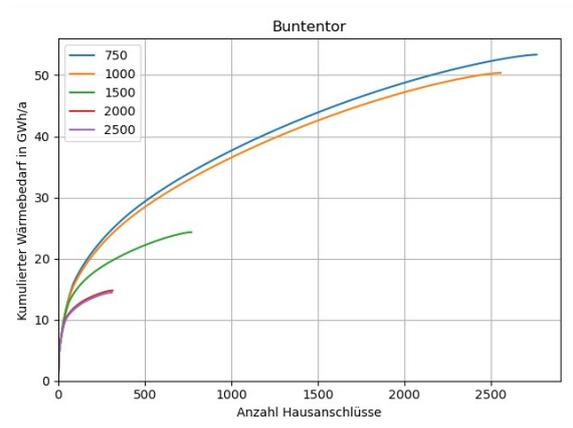
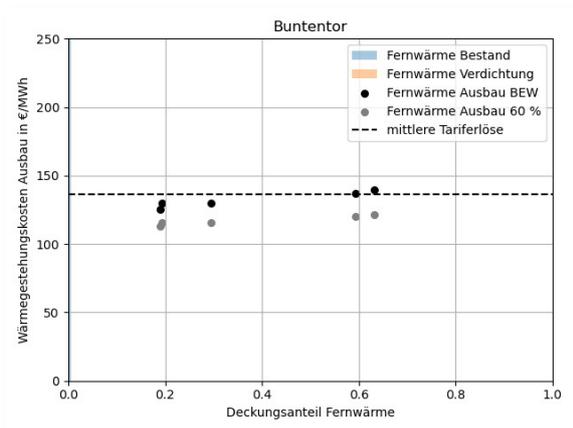
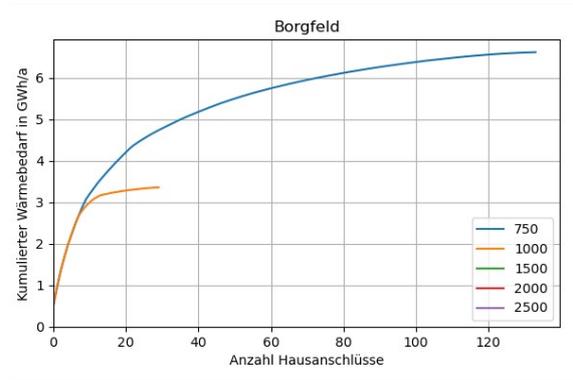
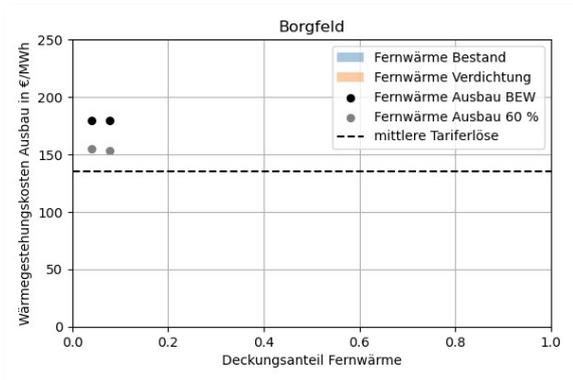




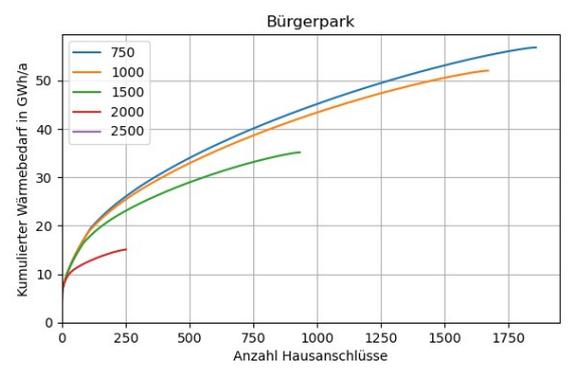
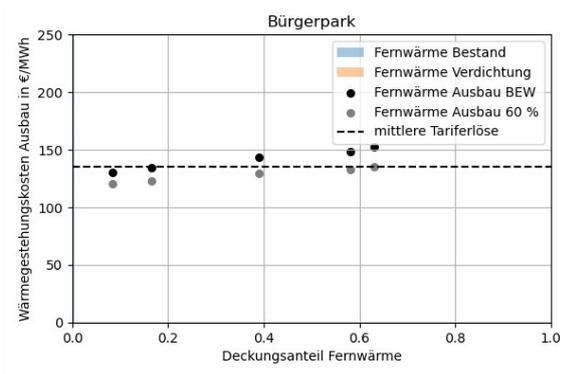


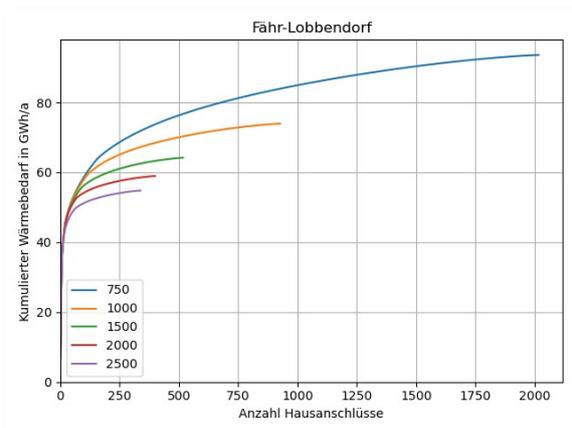
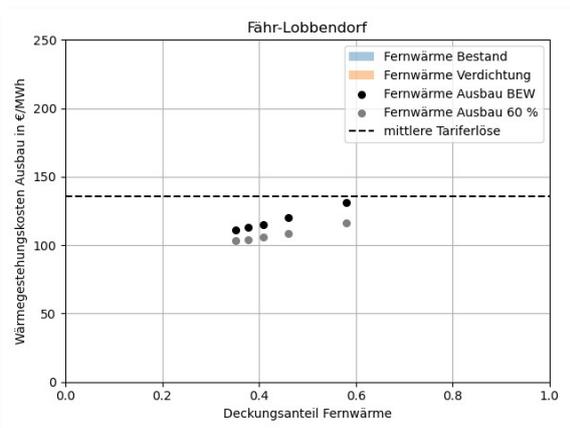
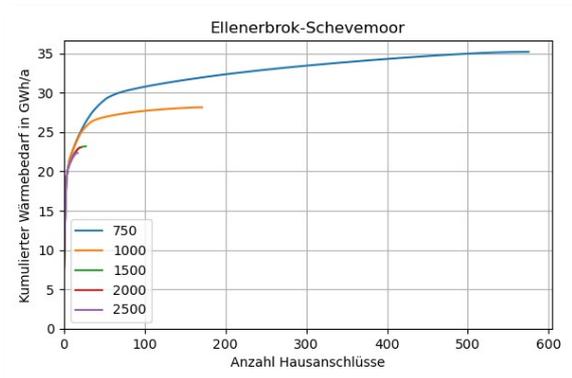
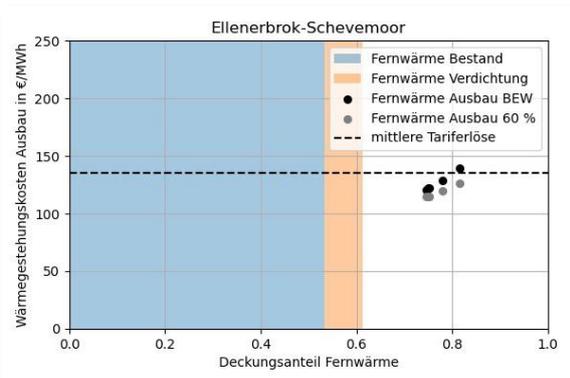
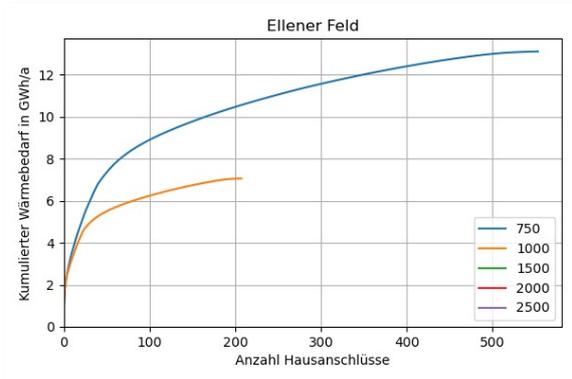
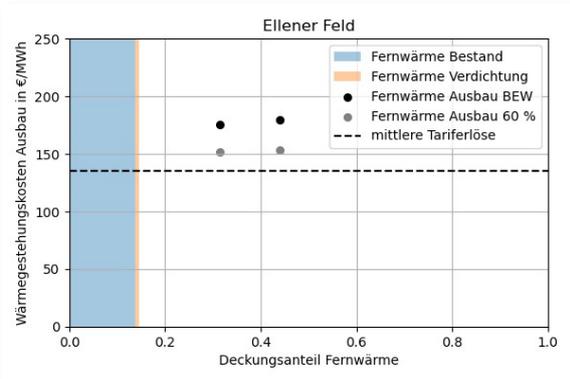
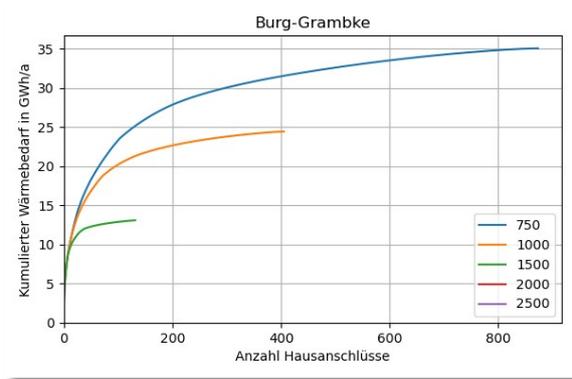
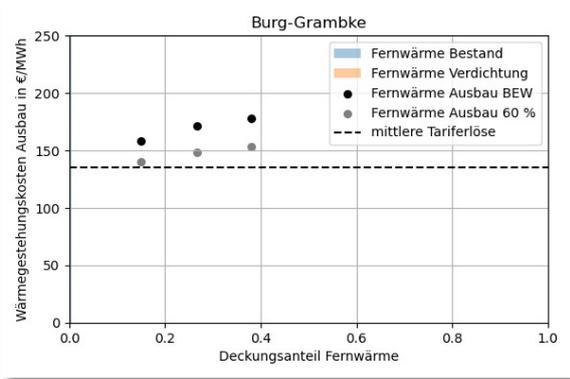
Blockland - kein Bestand an Wärmenetzen sowie kein Ausbau als Ergebnis der Betrachtung (selbst bei 750 kWh/m²*a)



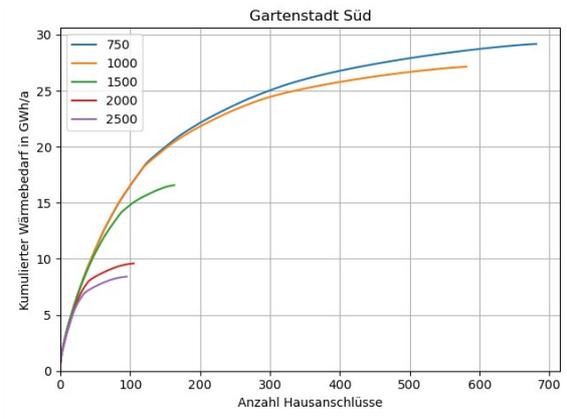
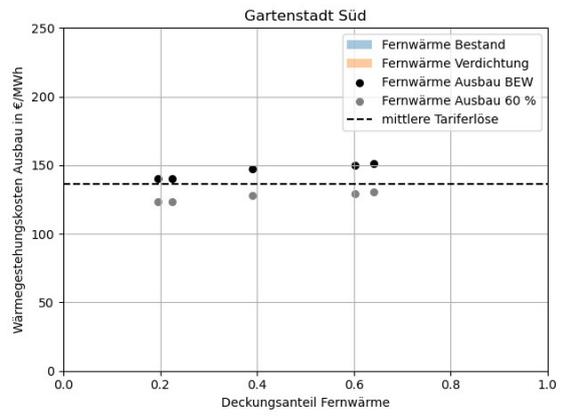
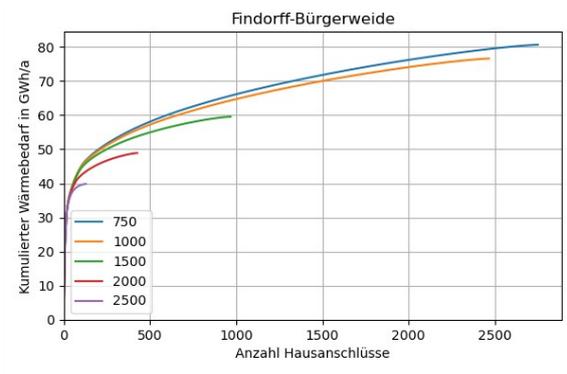
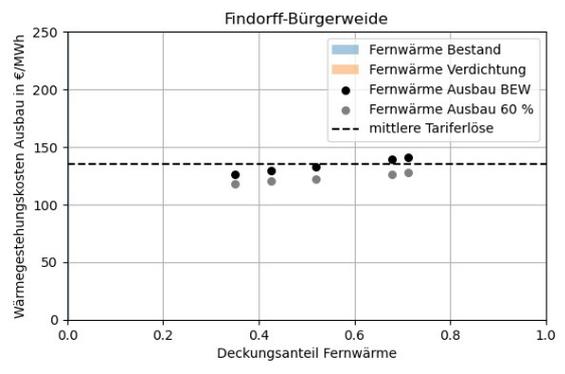
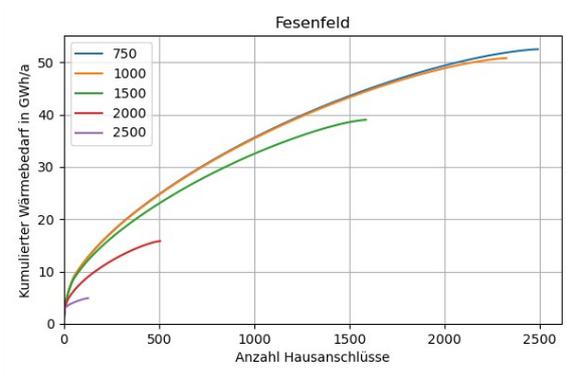
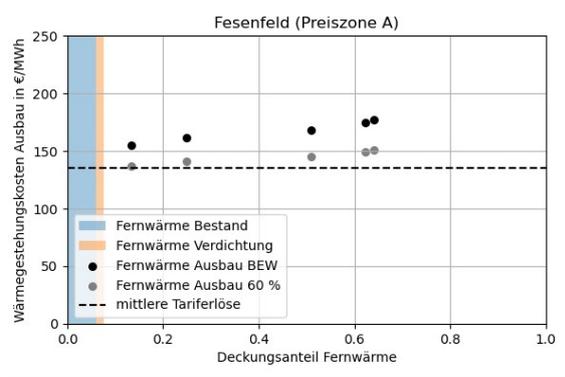


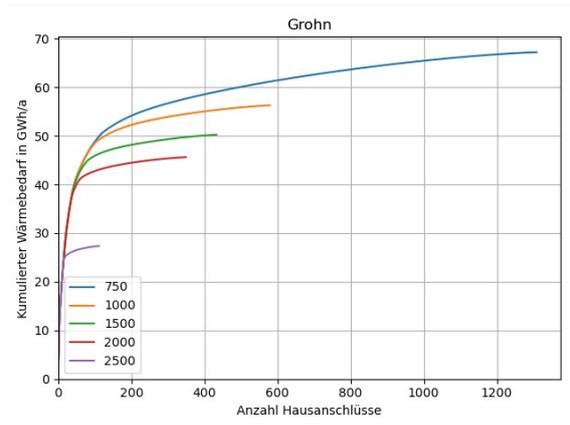
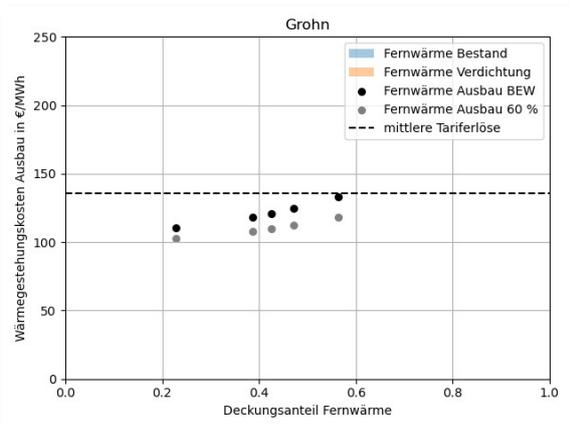
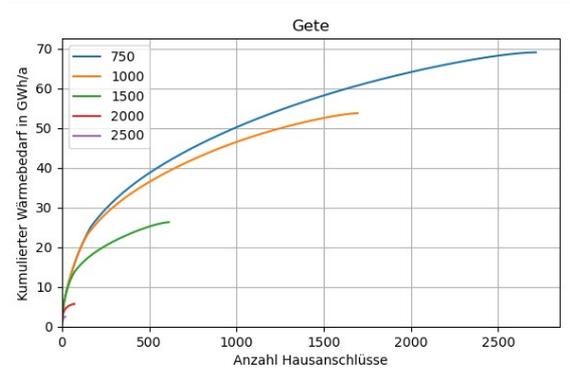
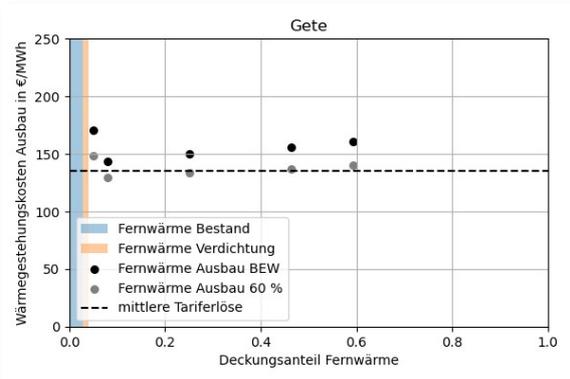
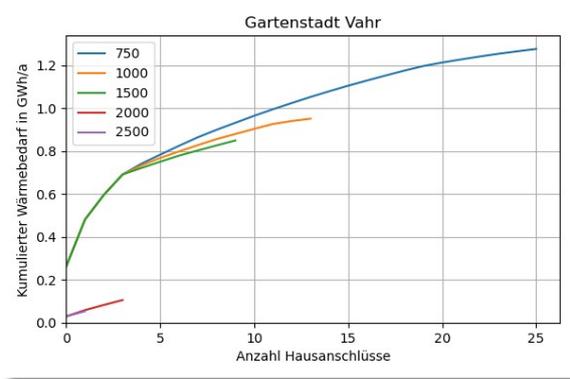
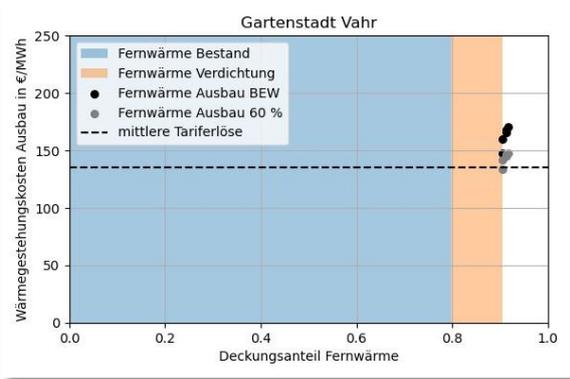
Burgdamm liegt außerhalb des Suchbereichs für ein neues Wärmenetz in Bremen Nord und wurde aufgrund der geringen Wärmedichte nicht vertiefend auf die wirtschaftliche Erschließbarkeit durch ein Wärmenetz untersucht.



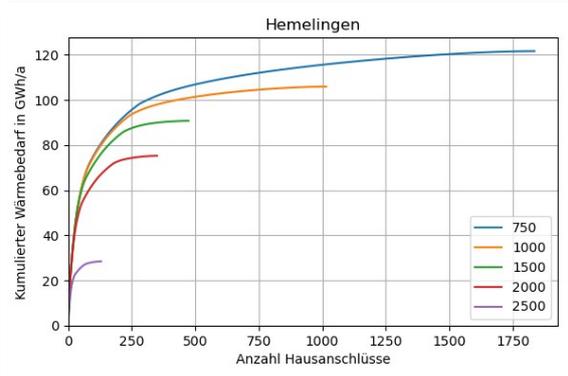
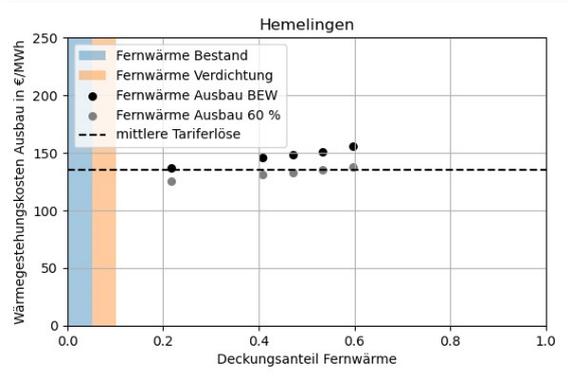
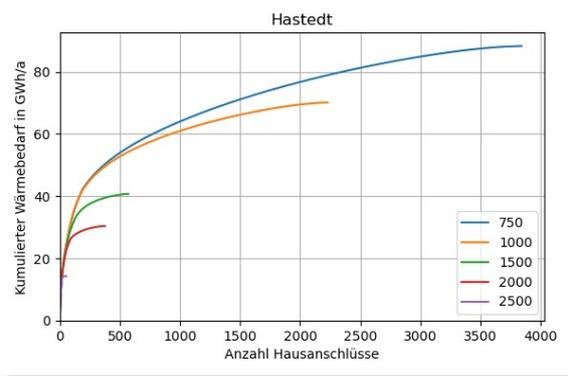
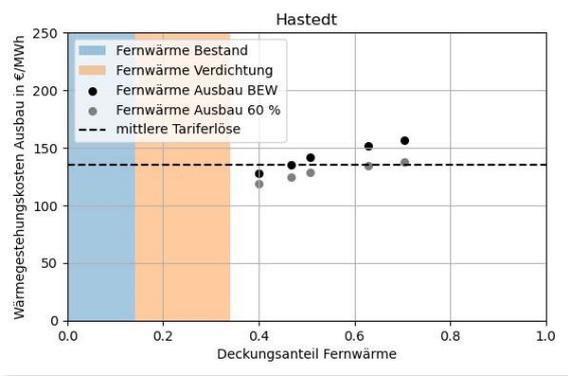
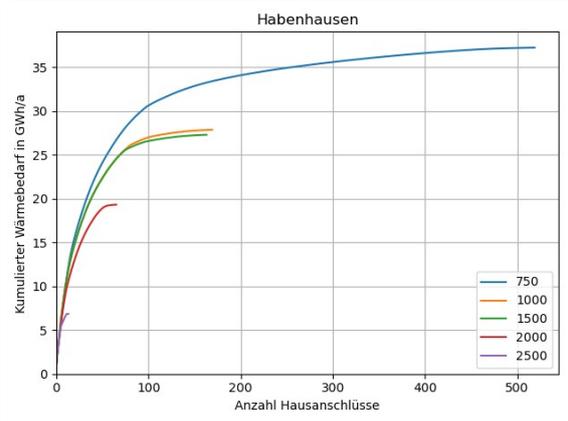
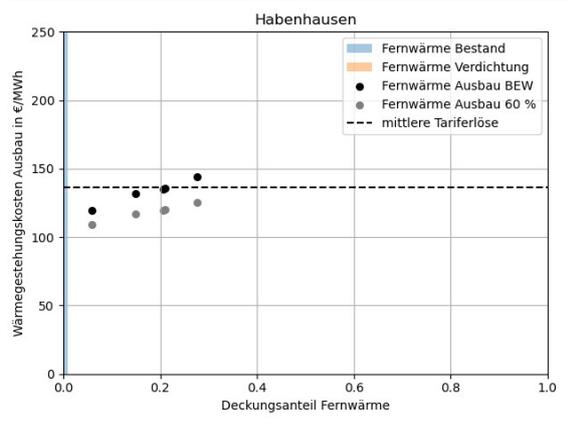
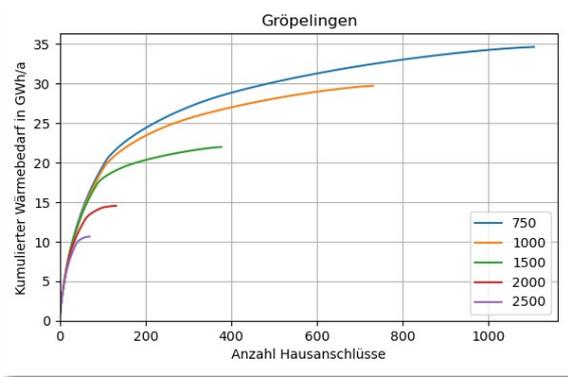
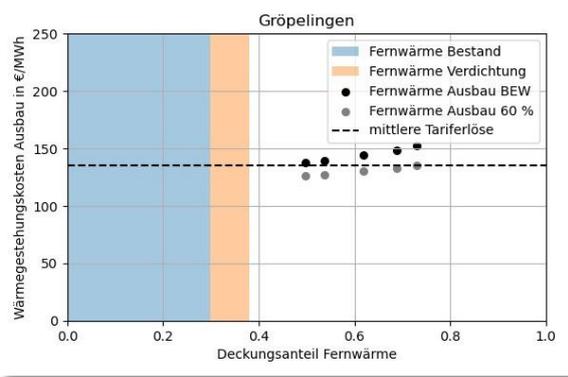


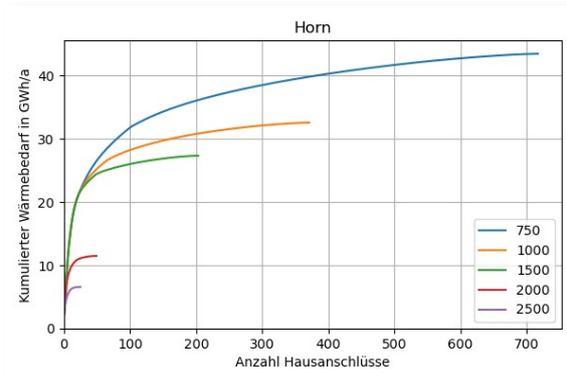
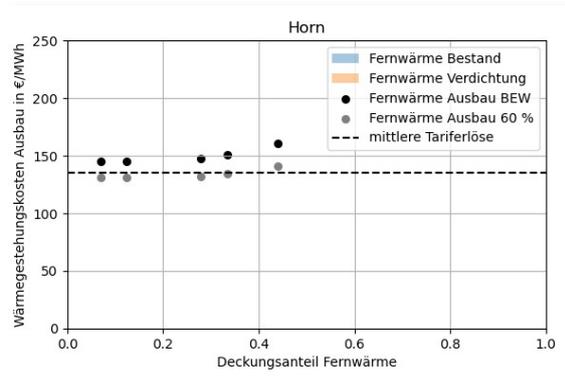
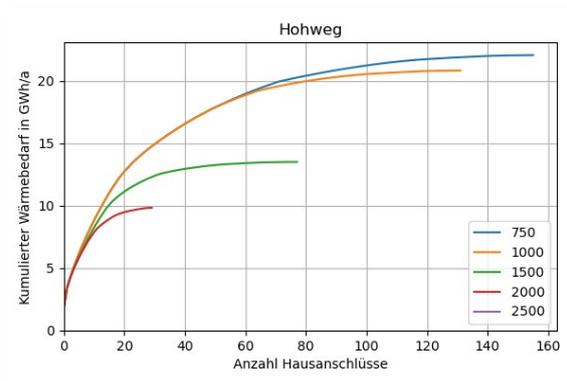
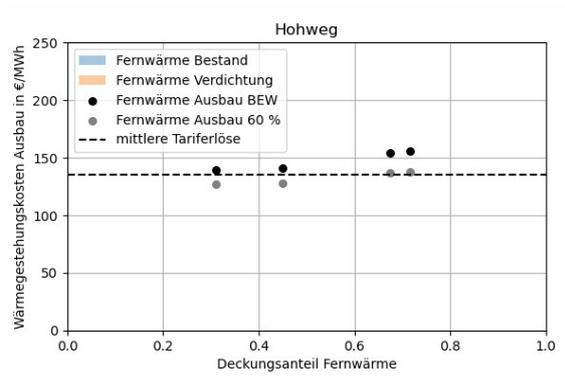
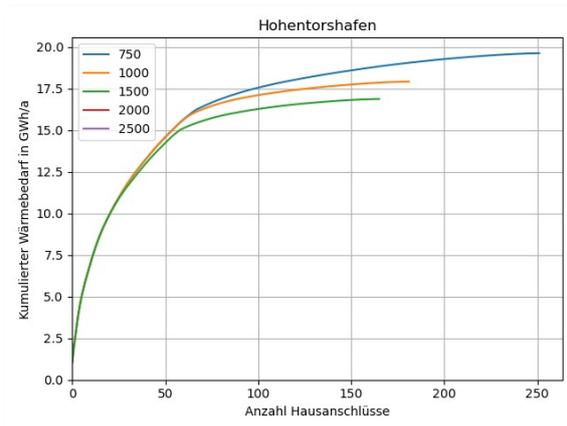
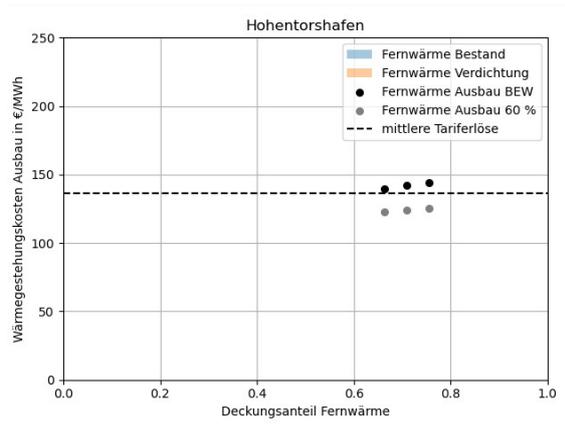
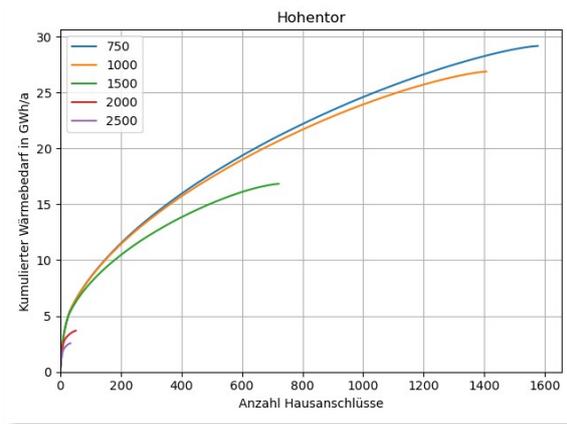
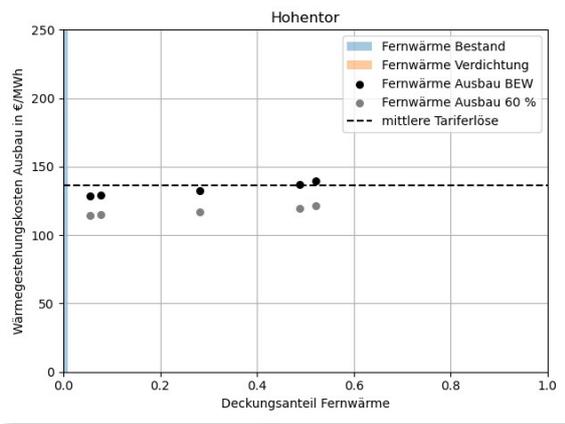
Farge liegt außerhalb des Suchbereichs für ein neues Wärmenetz in Bremen Nord und wurde aufgrund der geringen Wärmedichte nicht vertiefend auf die wirtschaftliche Erschließbarkeit durch ein Wärmenetz untersucht.

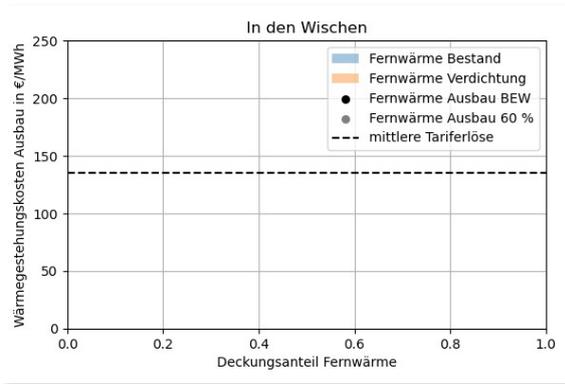
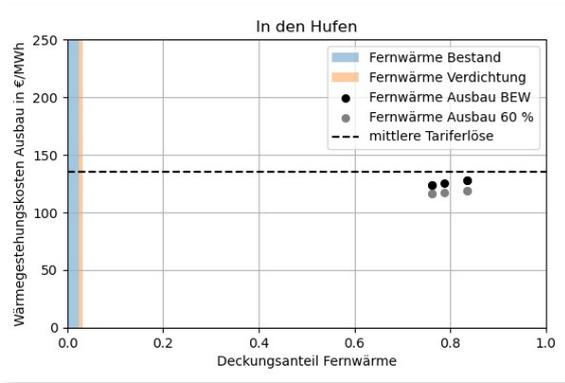
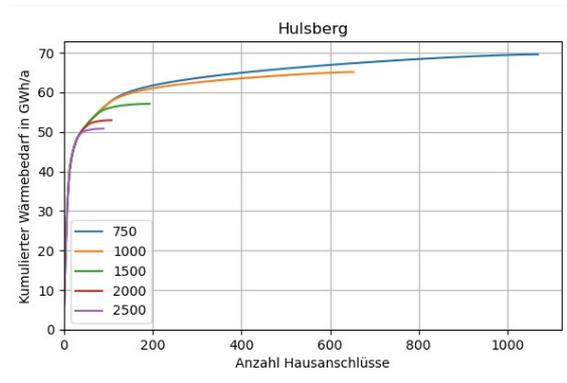
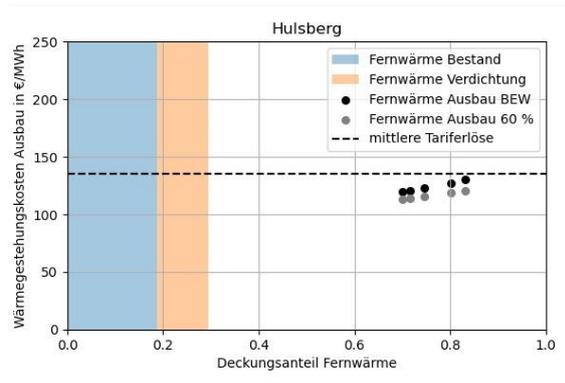
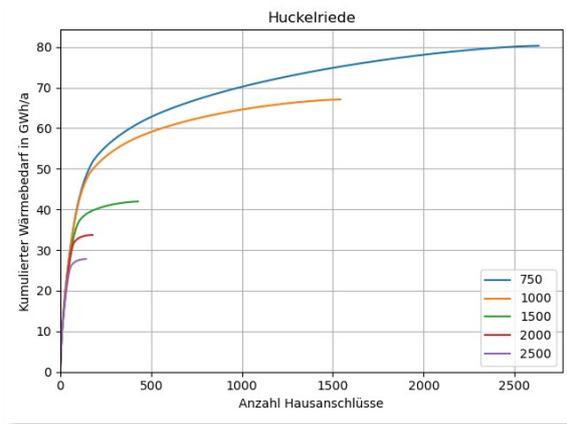
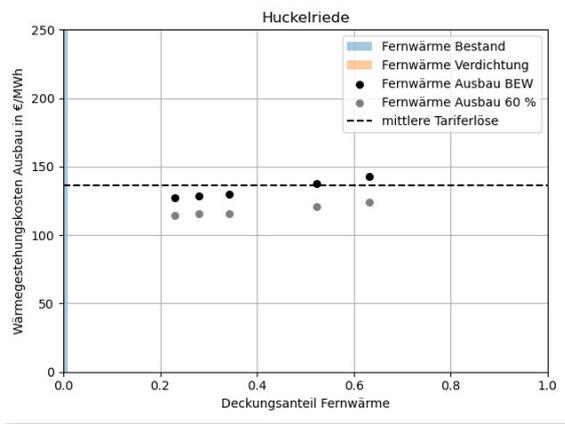


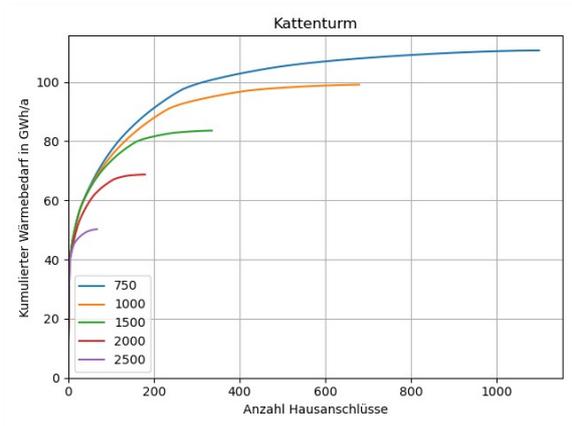
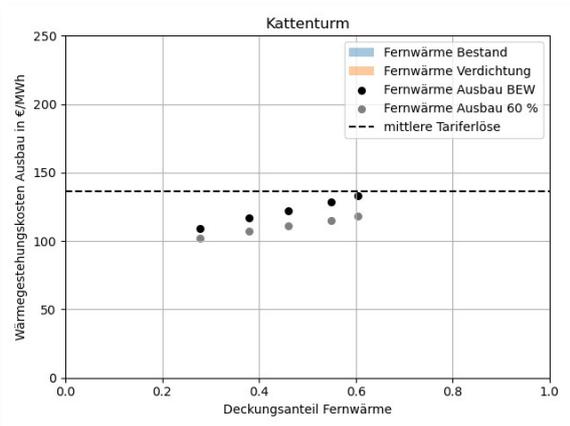
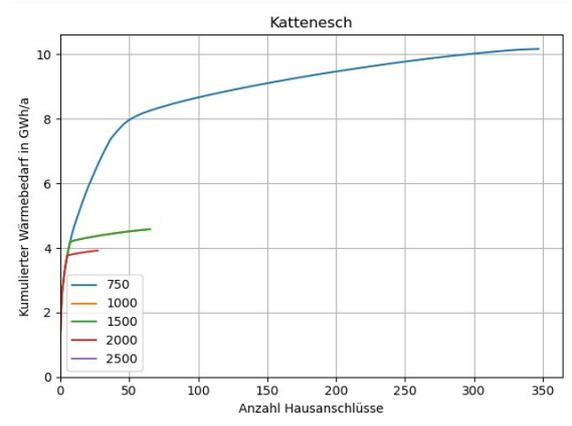
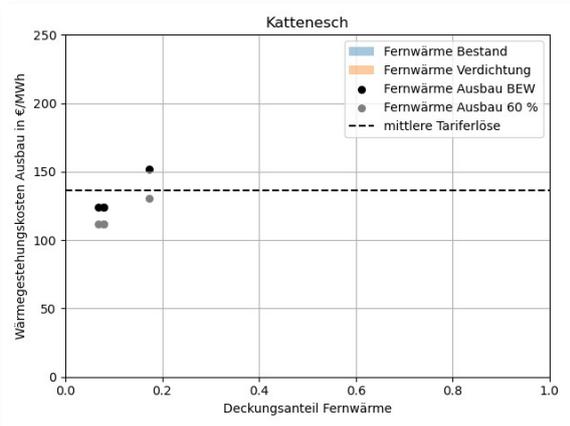
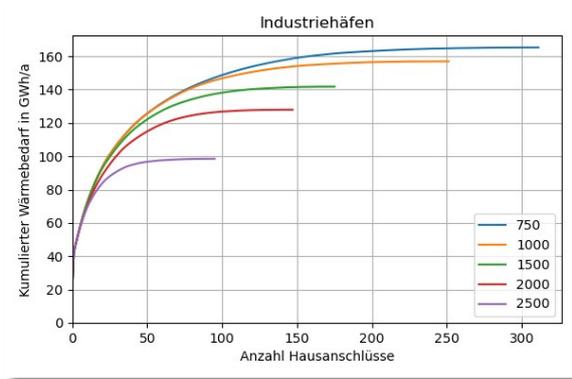
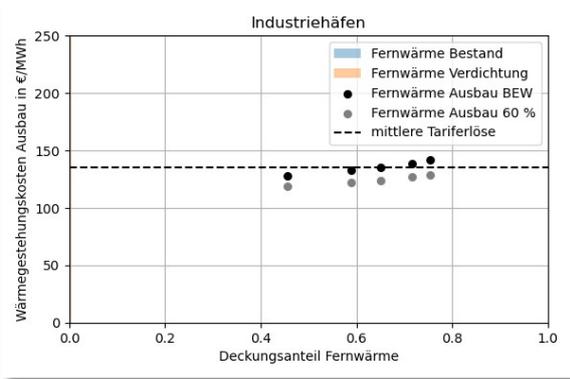


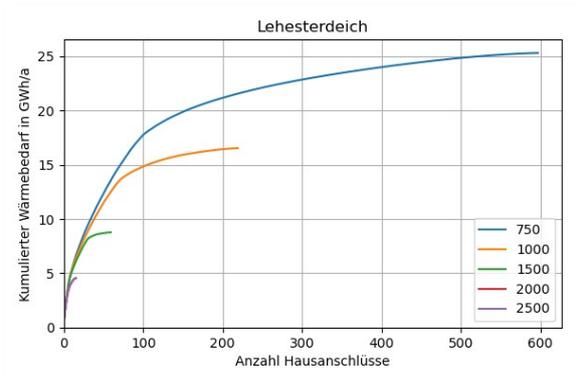
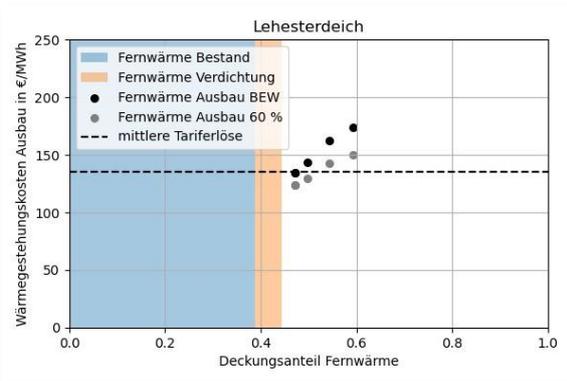
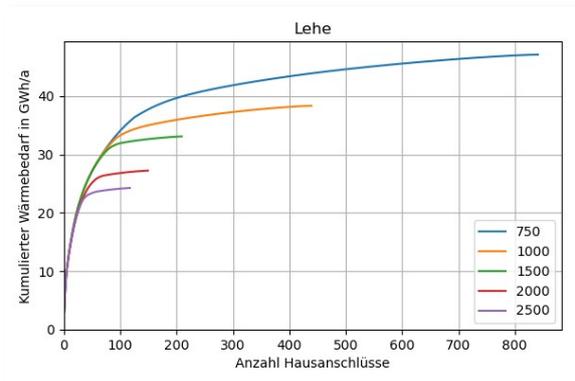
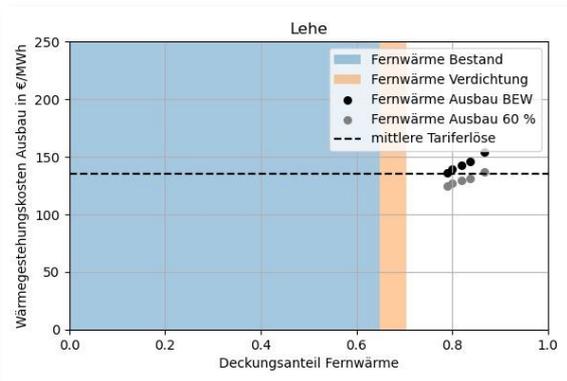
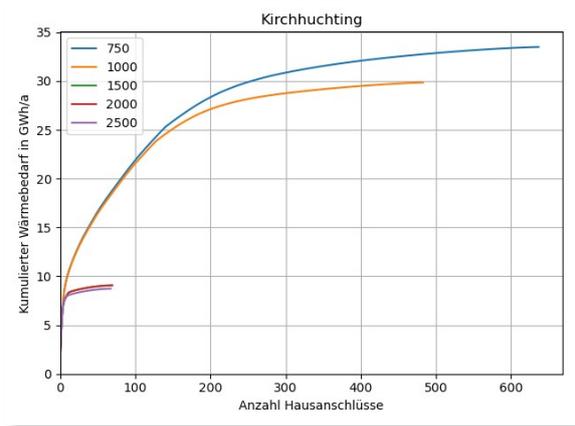
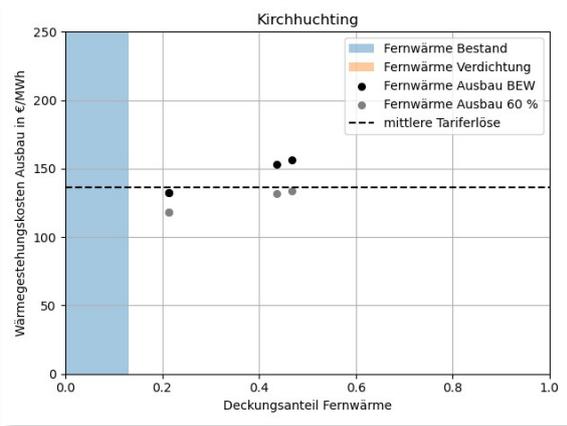
Grolland- kein Bestand an Wärmenetzen
sowie kein Ausbau als Ergebnis der Be-
trachtung (selbst bei 750 kWh/m²*a)



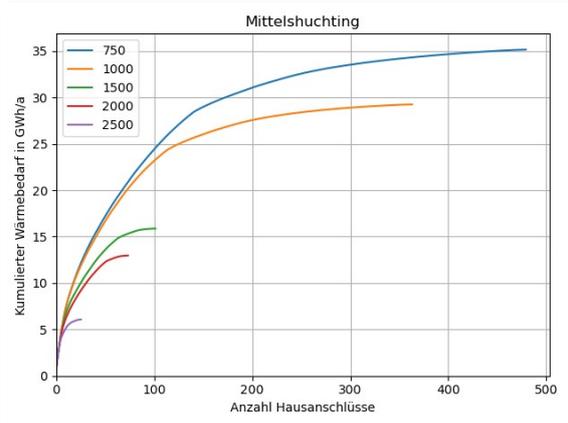
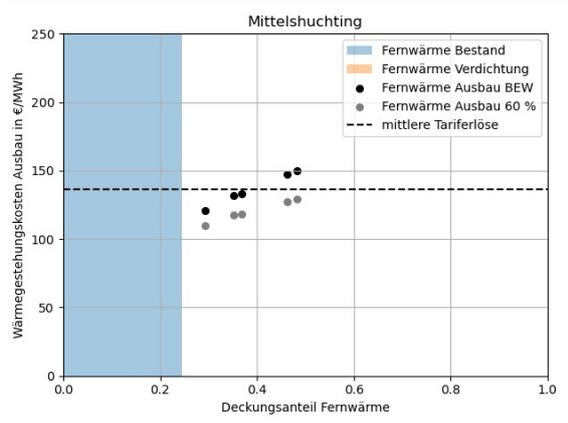
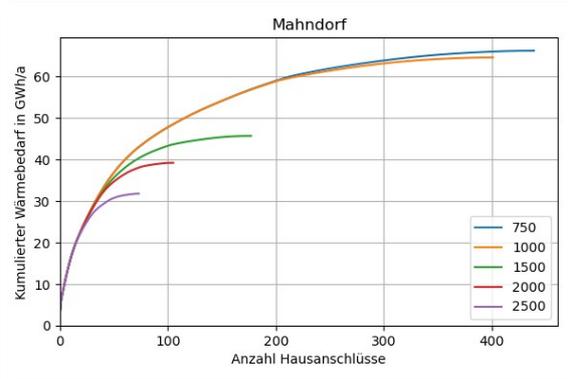
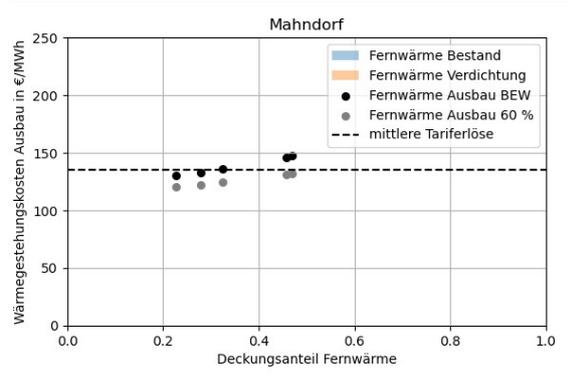
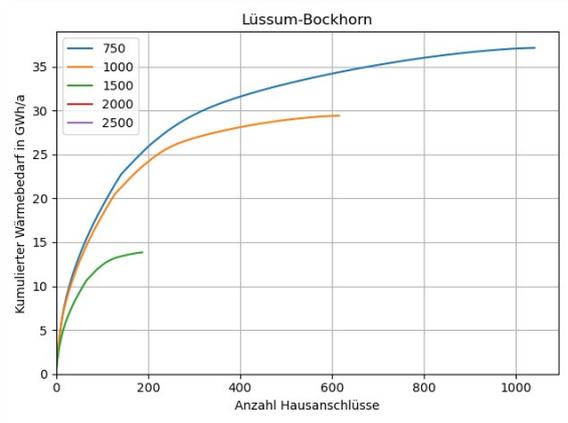
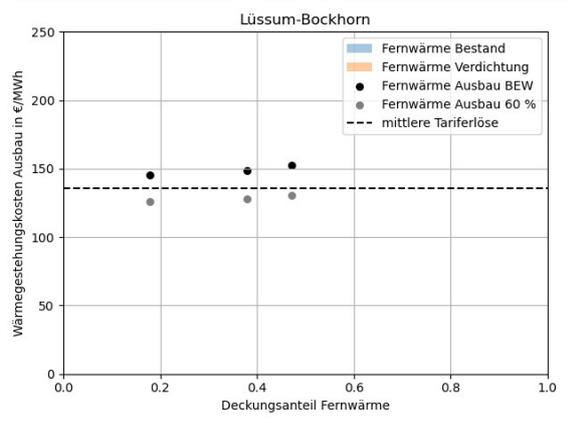
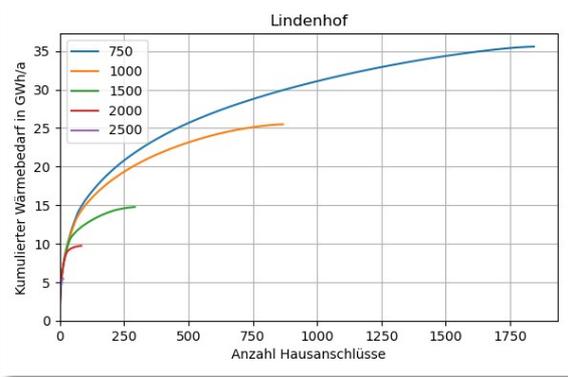
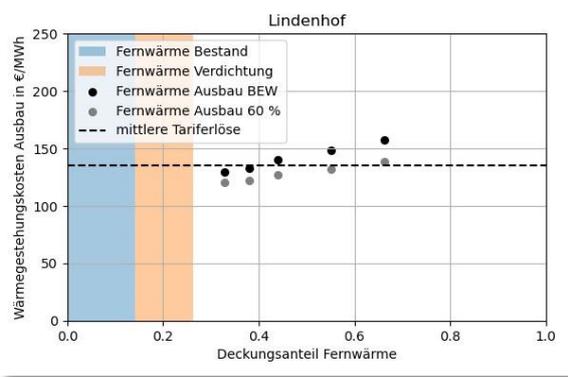


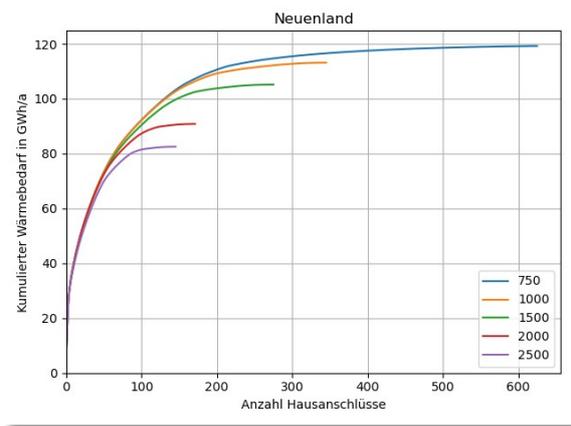
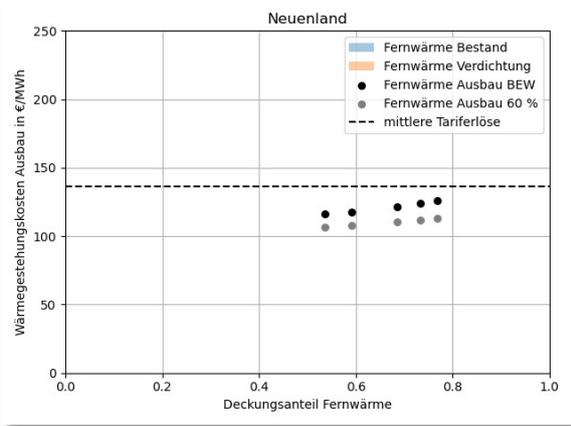
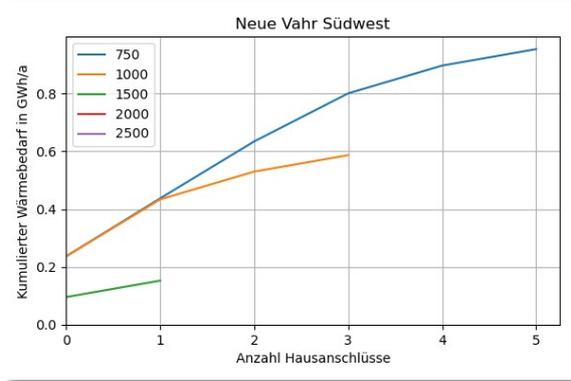
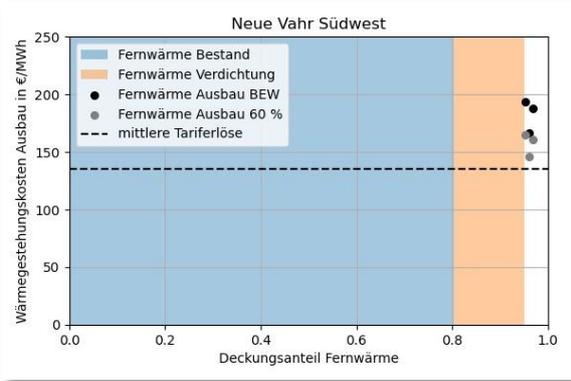
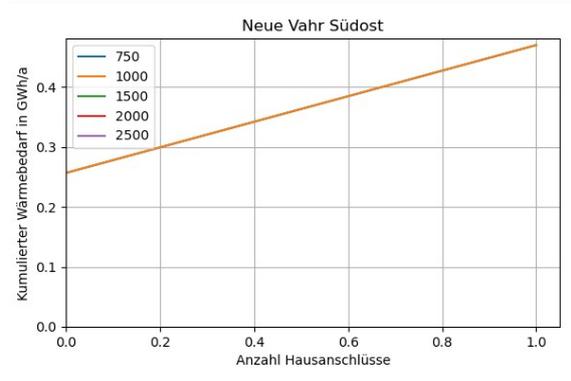
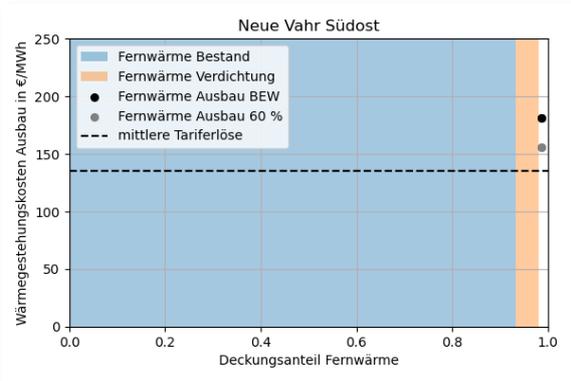
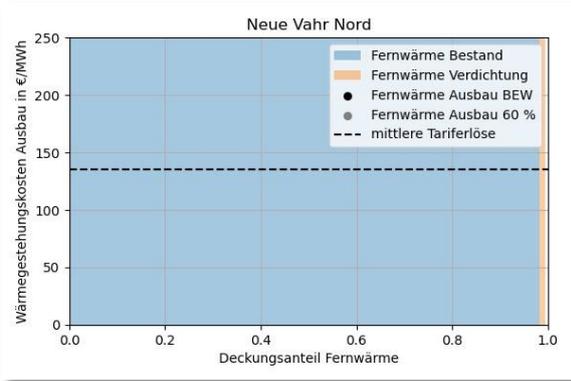


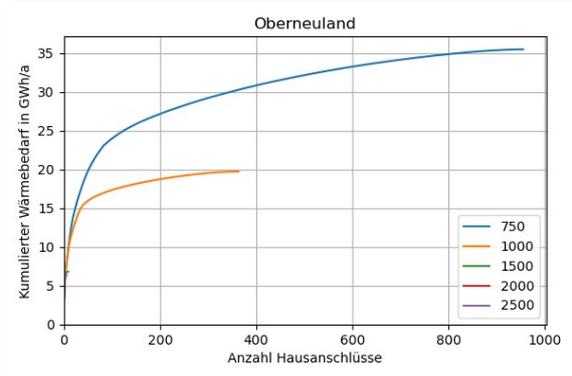
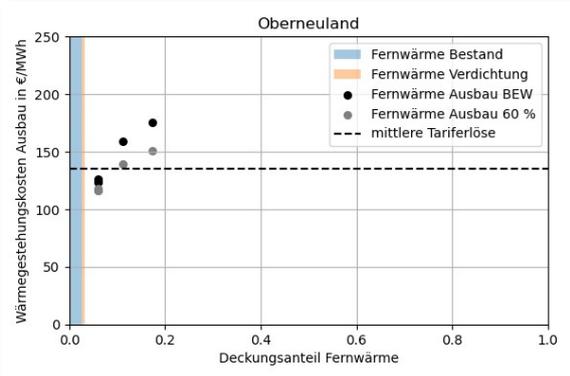
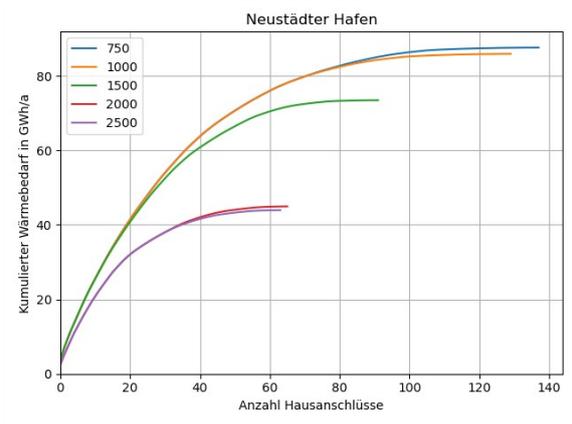
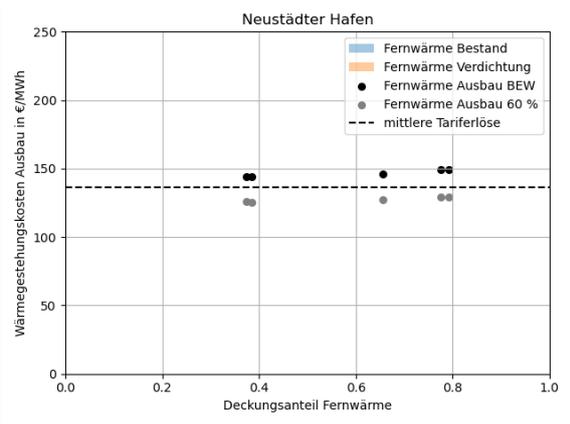
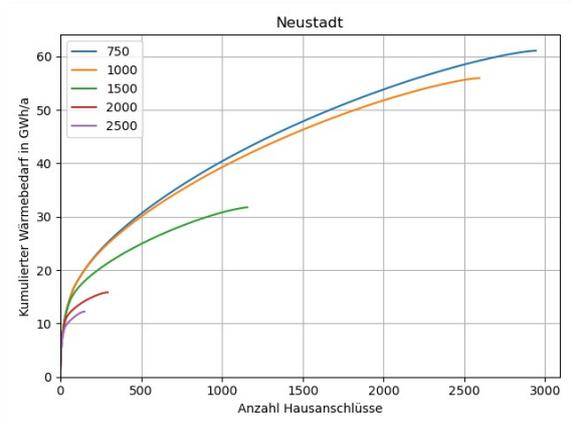
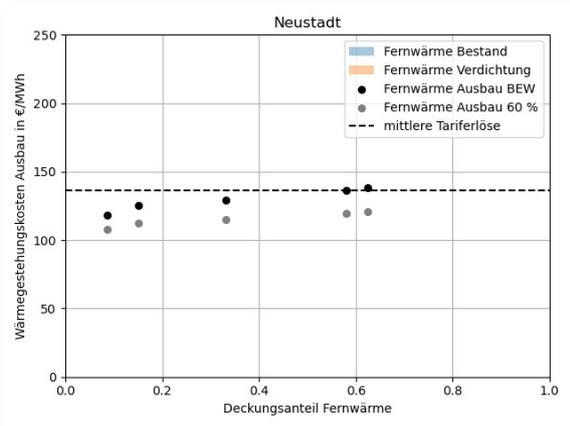
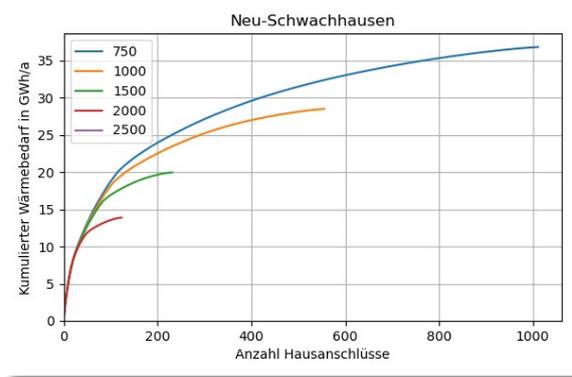
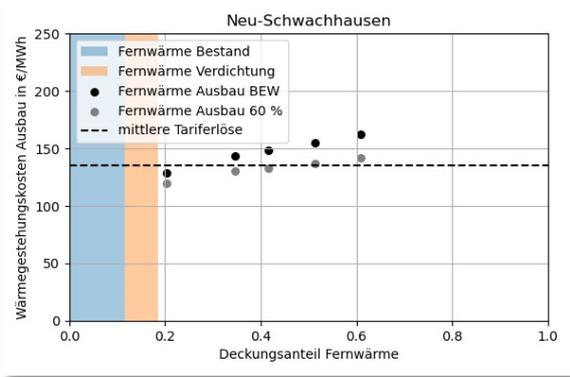


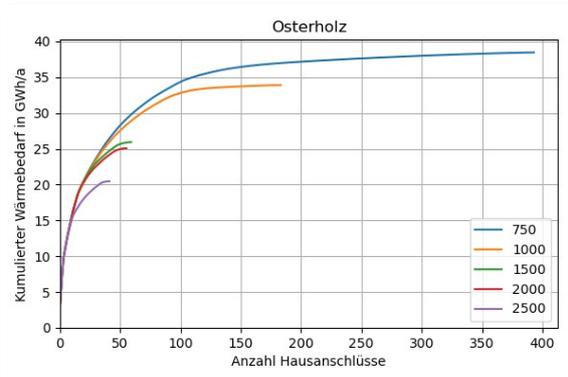
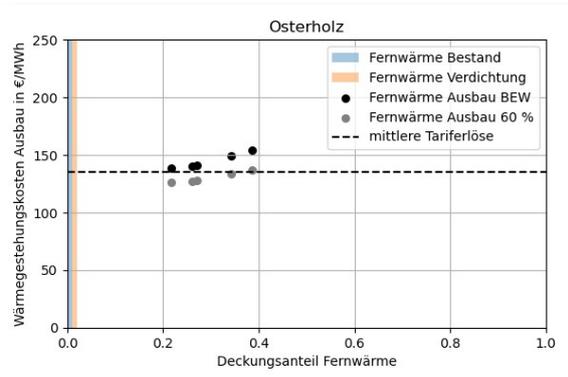
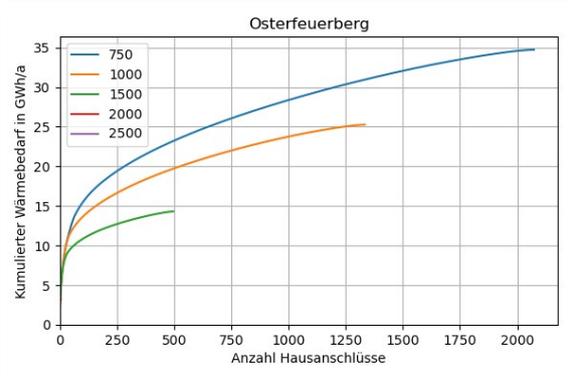
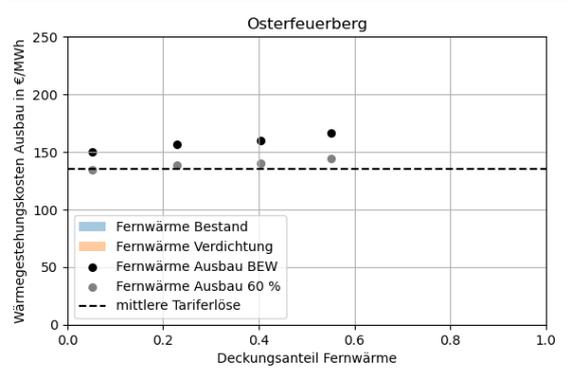
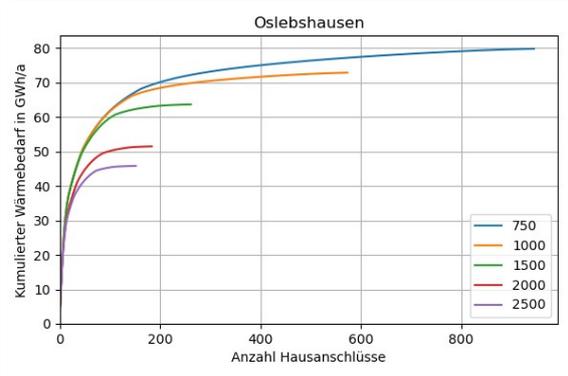
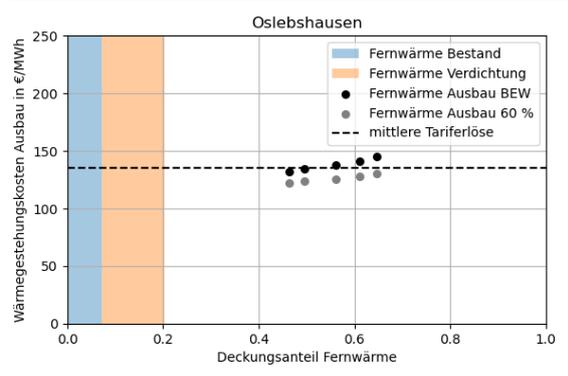
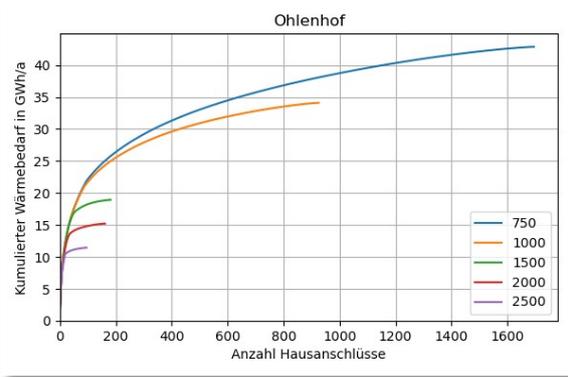
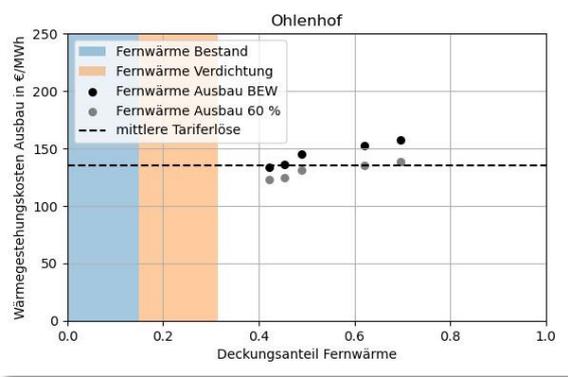


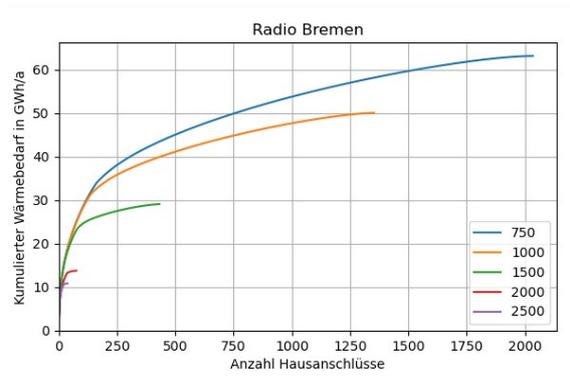
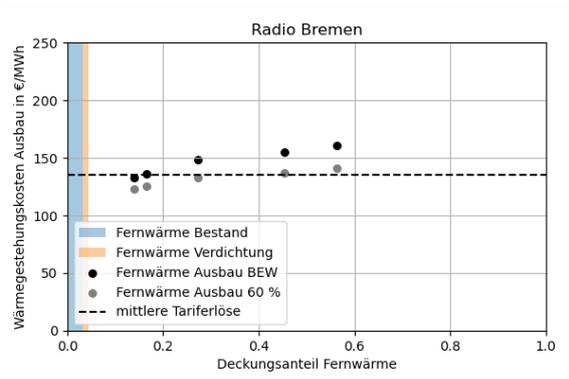
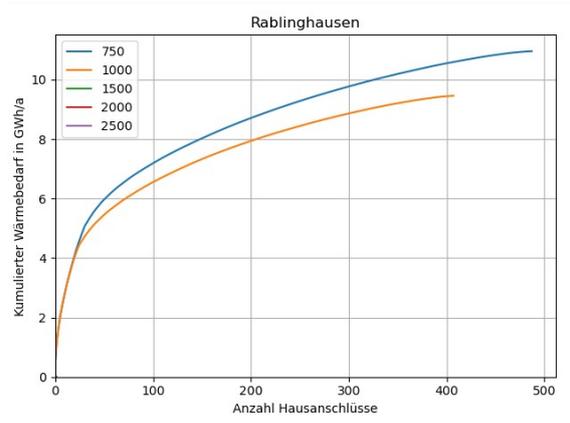
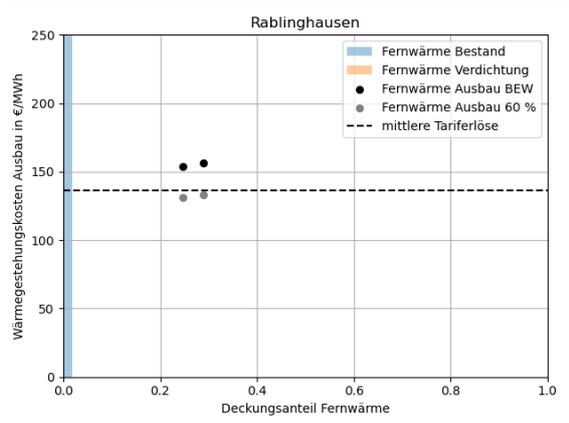
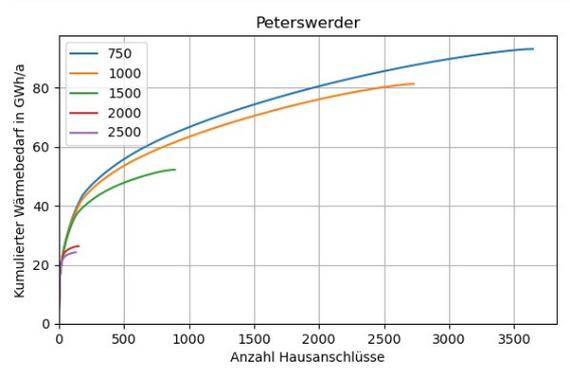
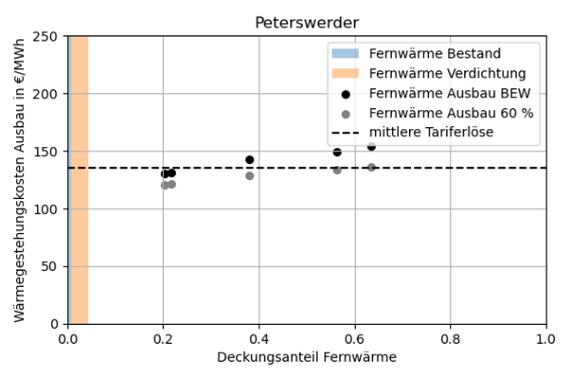
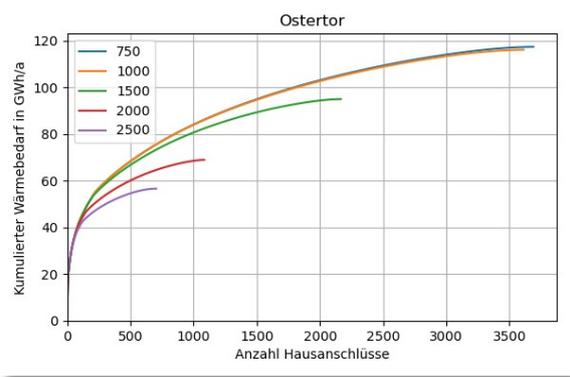
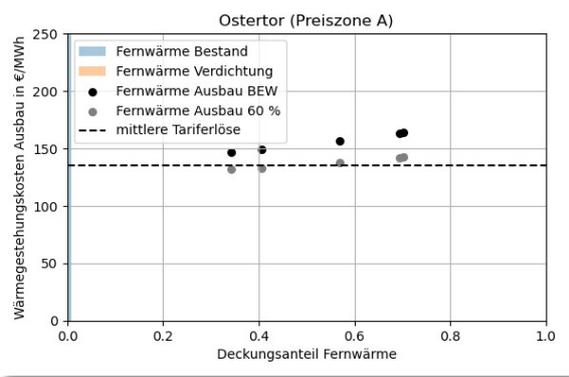
Lesum liegt außerhalb des Suchbereichs für ein neues Wärmenetz in Bremen Nord und wurde aufgrund der geringen Wärmedichte nicht vertiefend auf die wirtschaftliche Erschließbarkeit durch ein Wärmenetz untersucht.



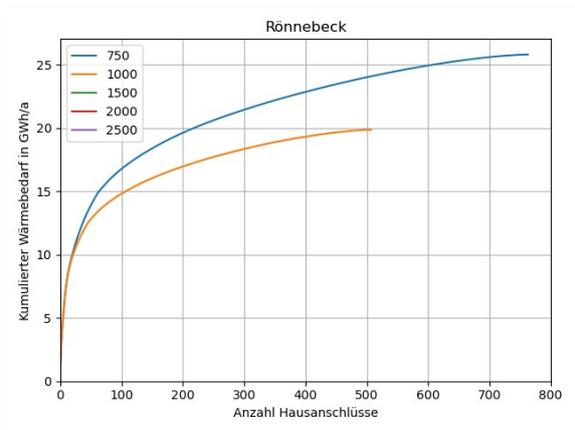
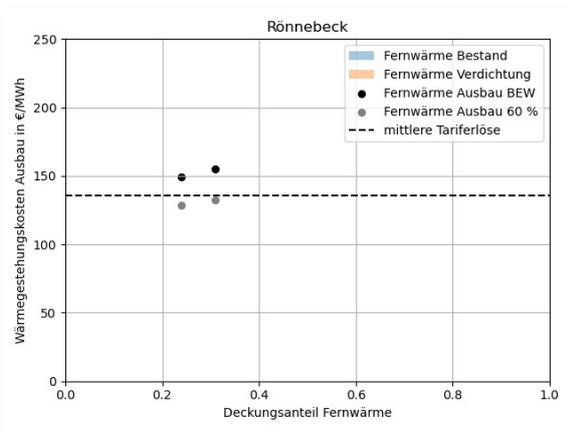
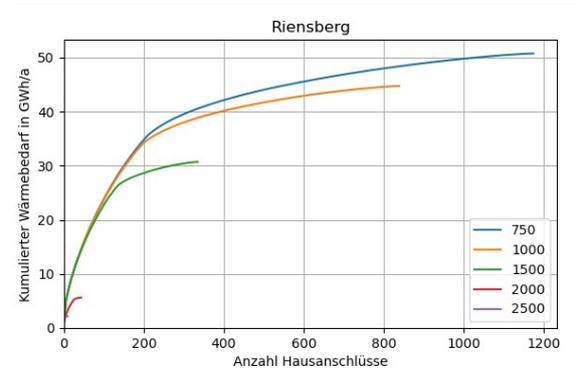
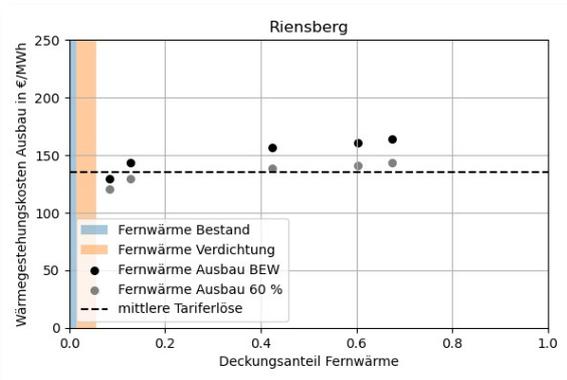
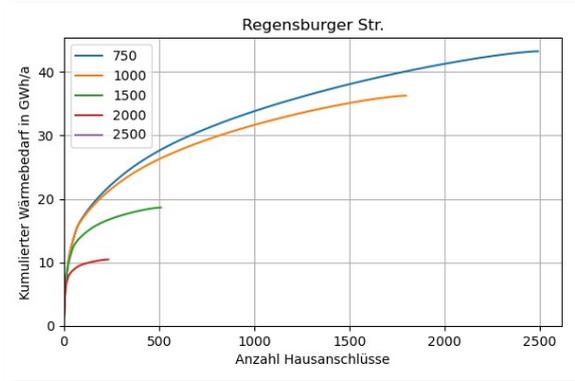
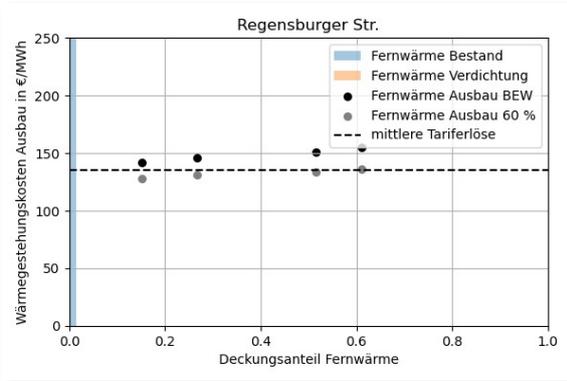


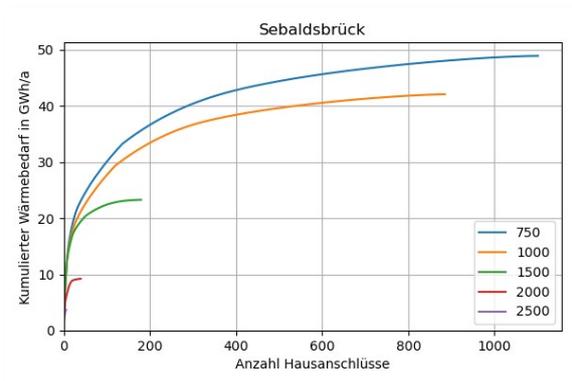
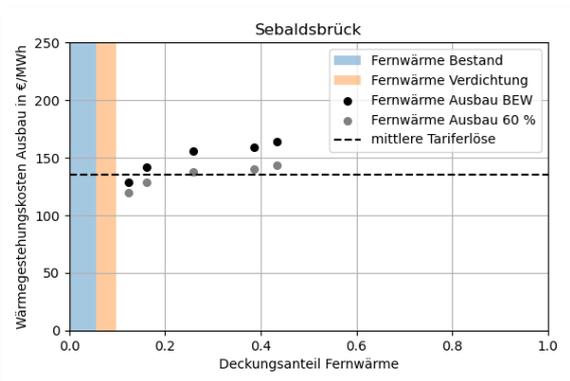
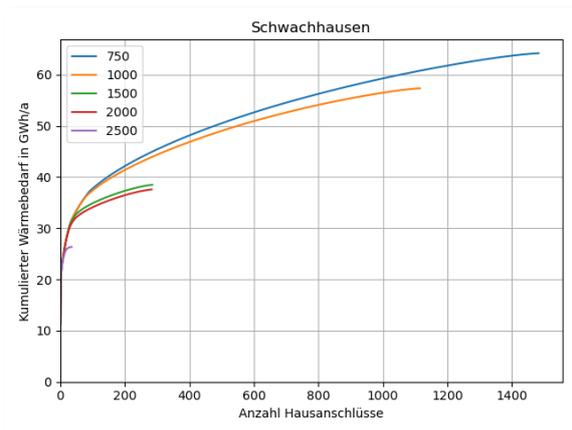
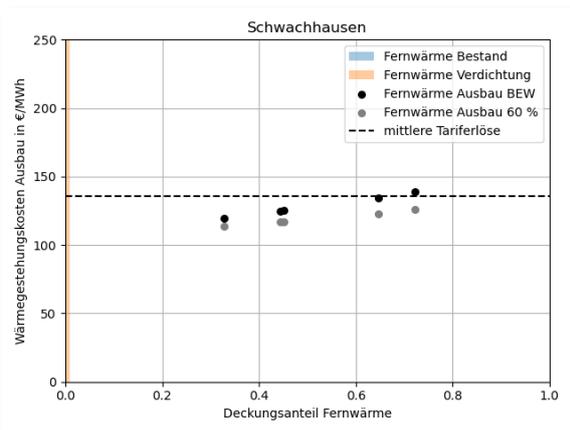
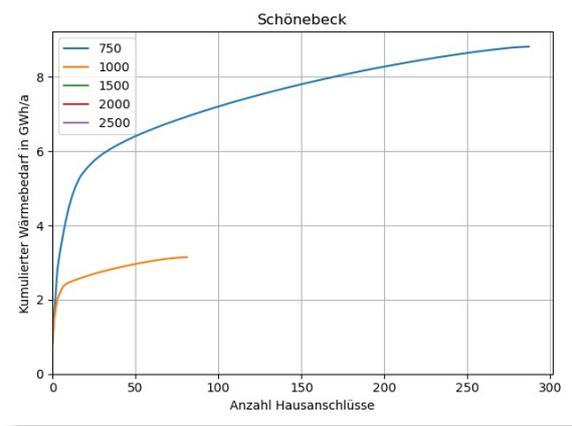
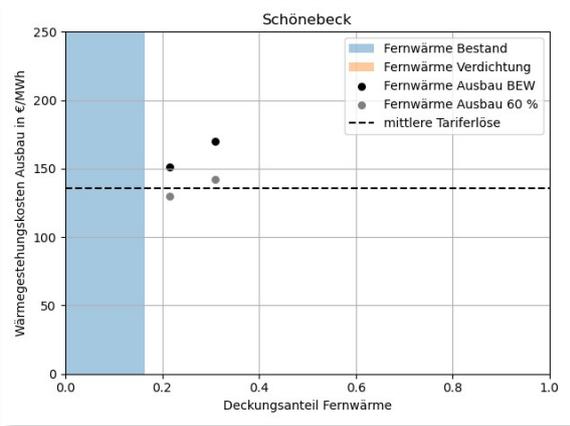


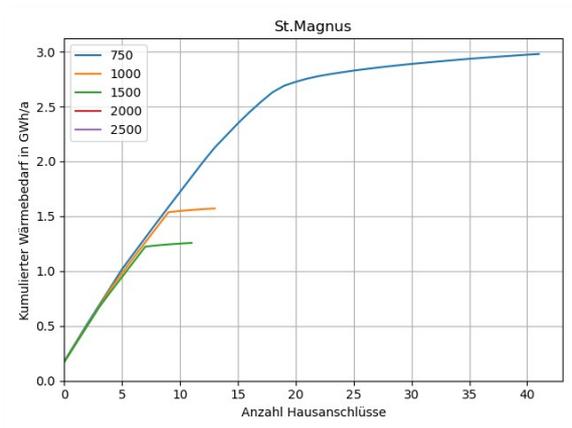
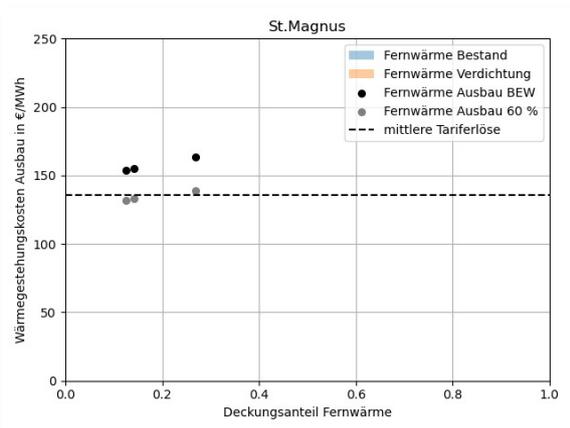
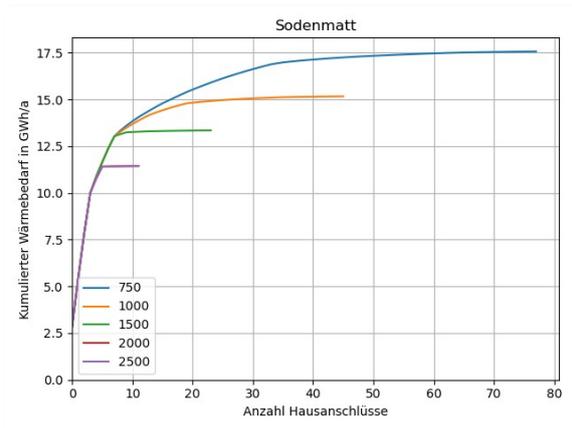
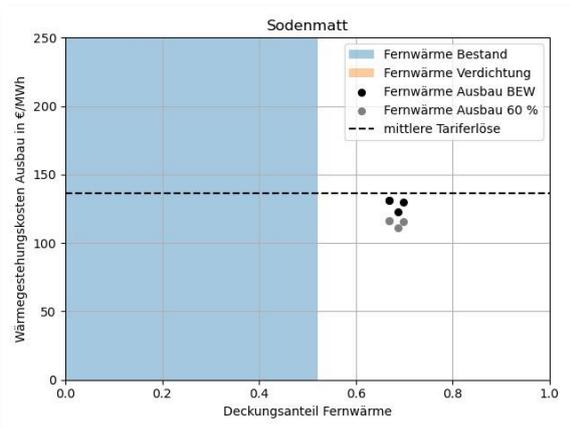
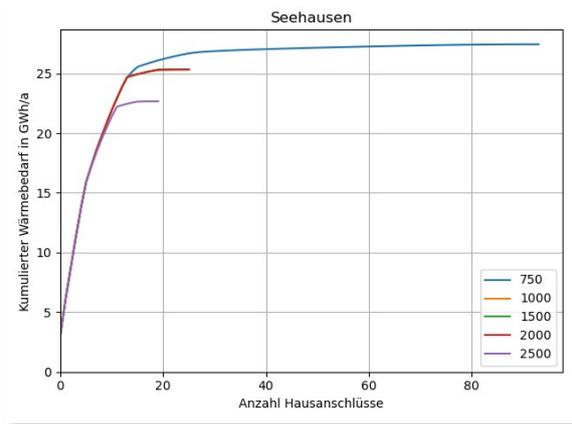
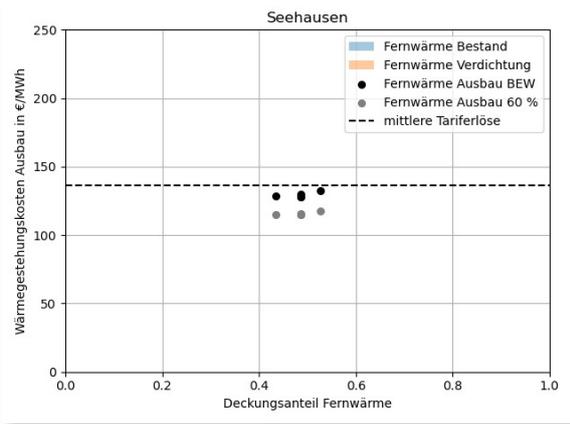


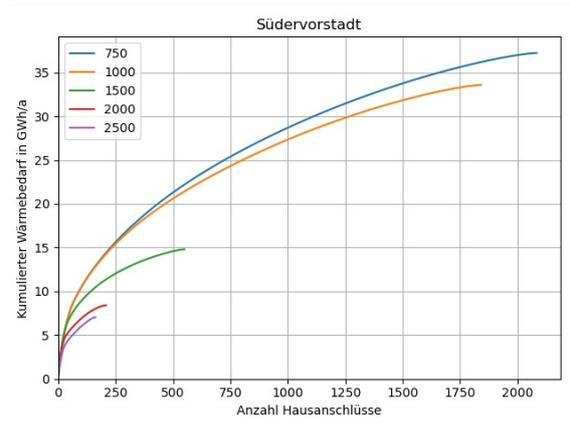
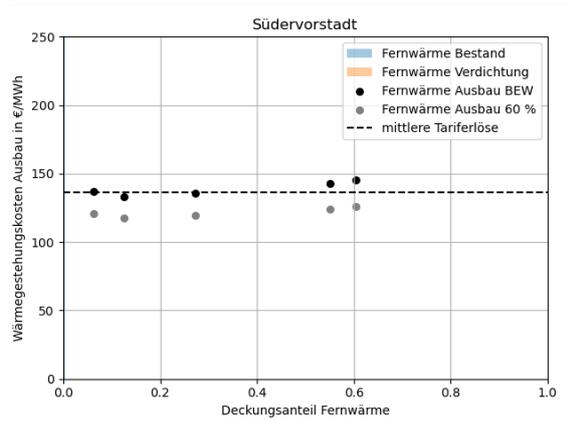
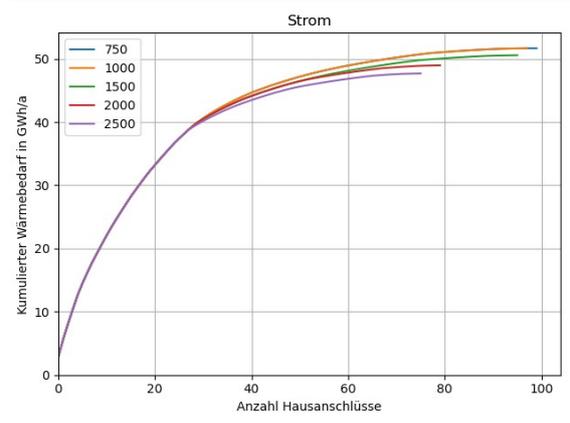
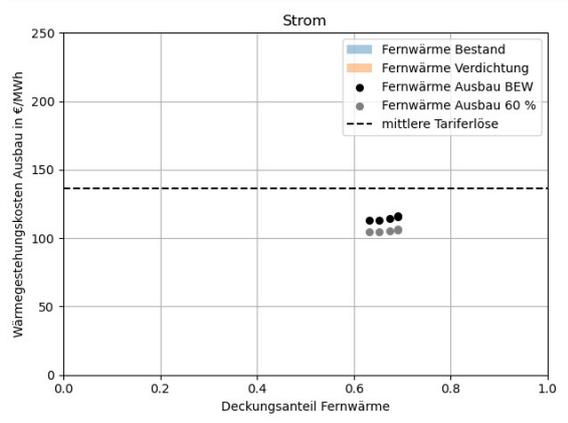
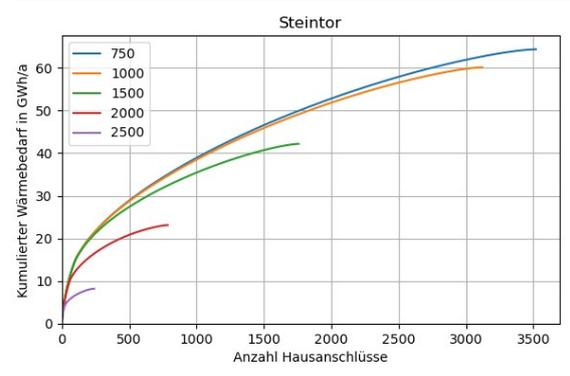
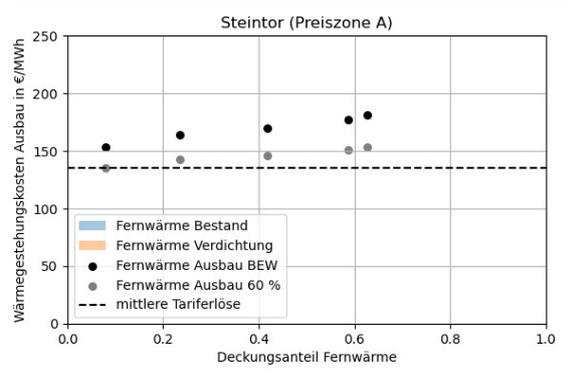
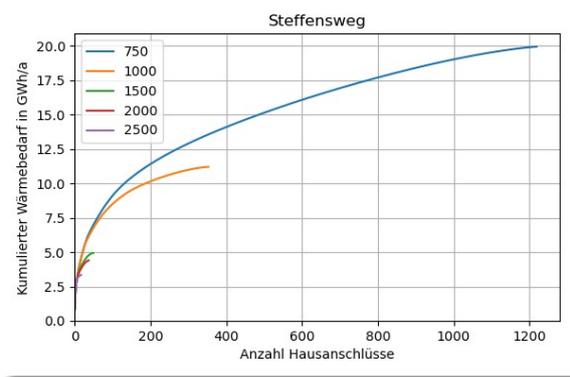
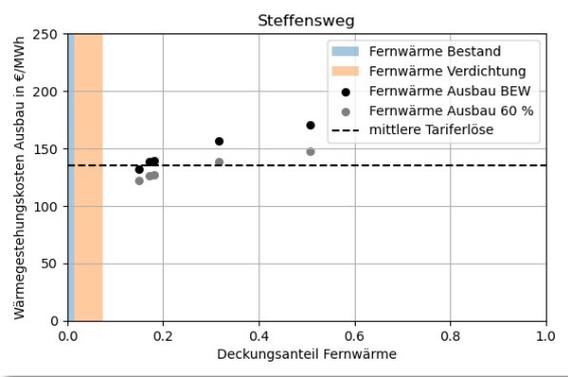


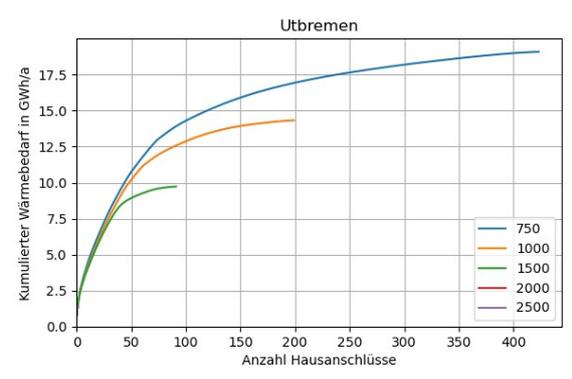
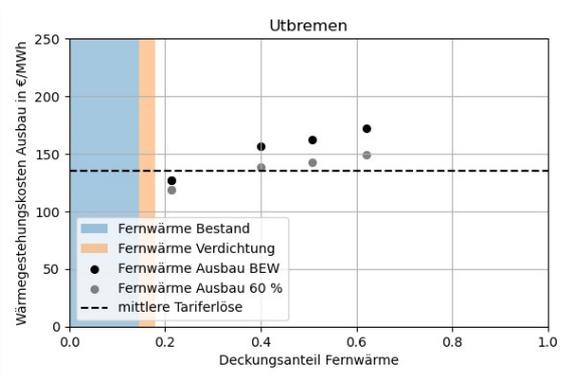
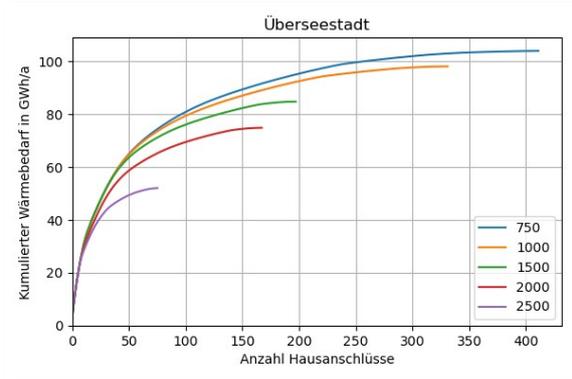
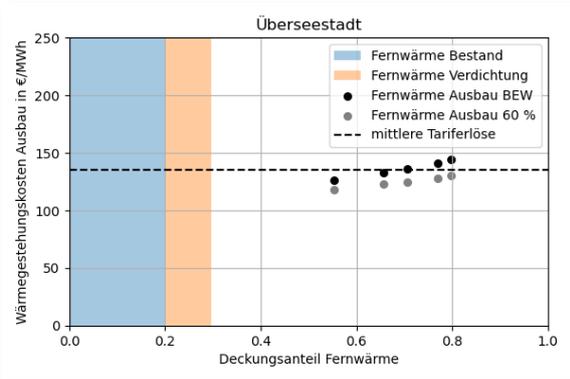
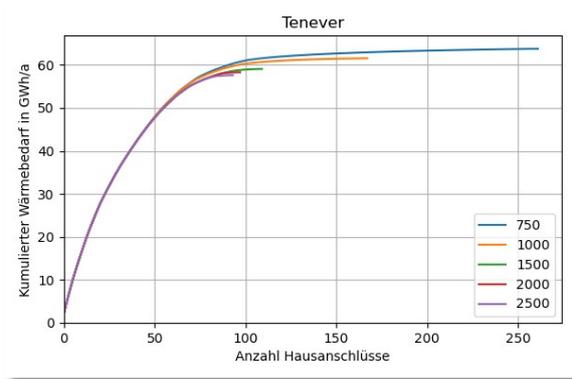
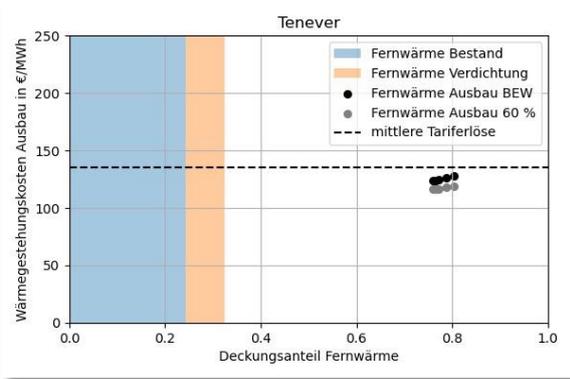
Rekum liegt außerhalb des Suchbereichs für ein neues Wärmenetz in Bremen Nord und wurde aufgrund der geringen Wärmedichte nicht vertiefend auf die wirtschaftliche Erschließbarkeit durch ein Wärmenetz untersucht.

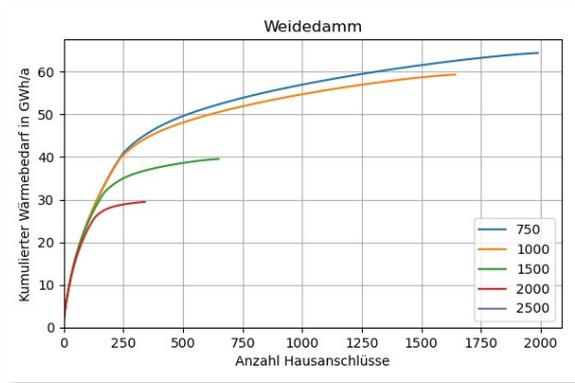
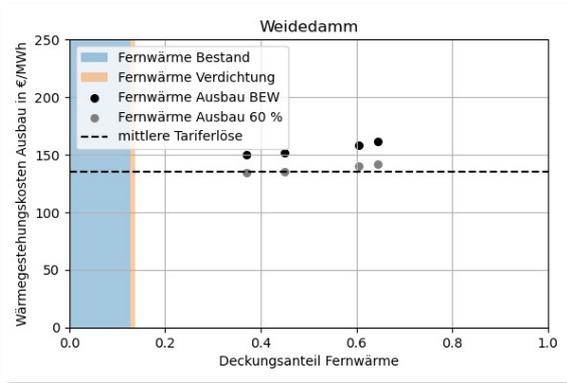
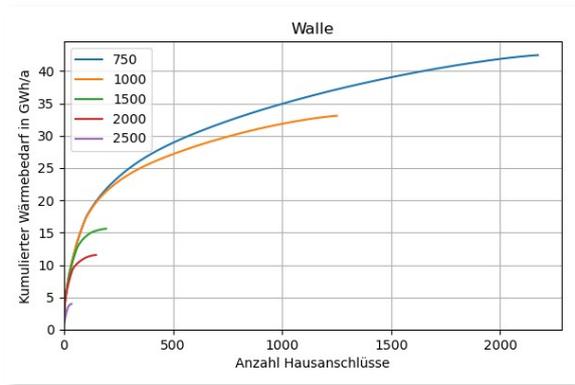
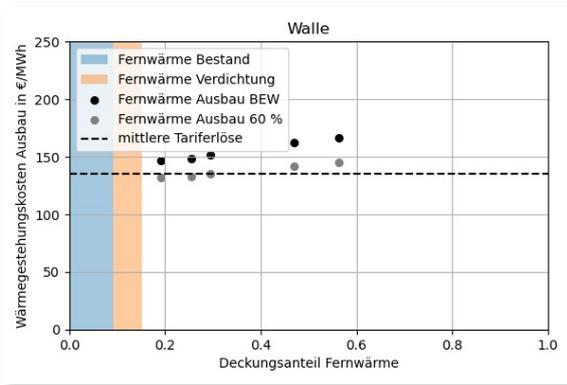
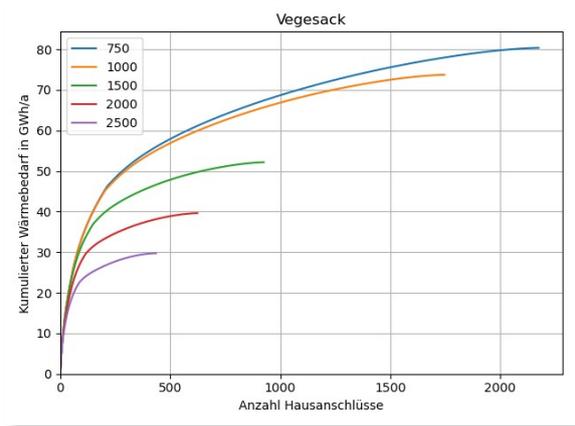
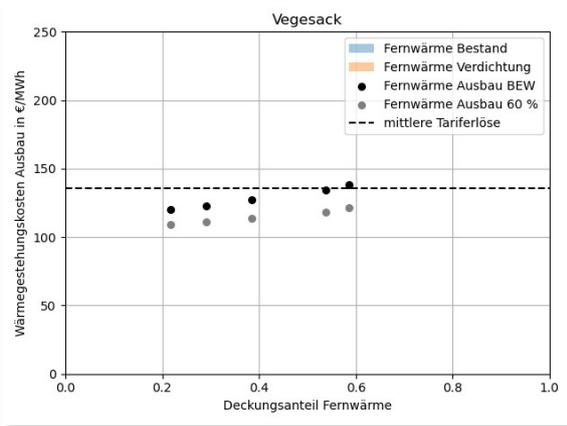




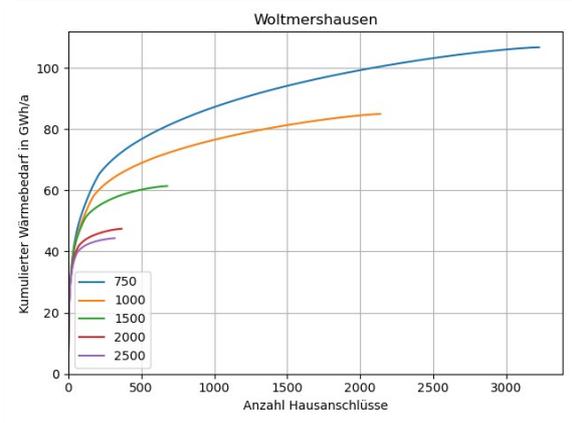
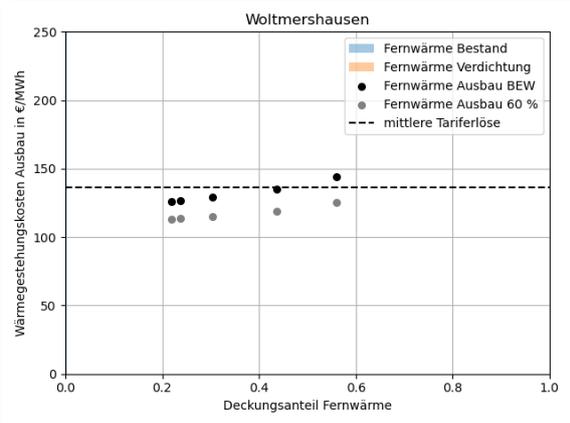
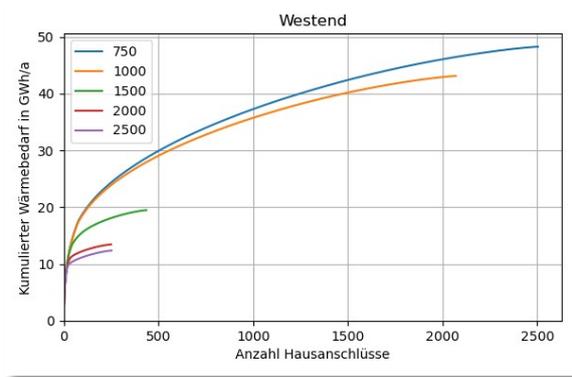
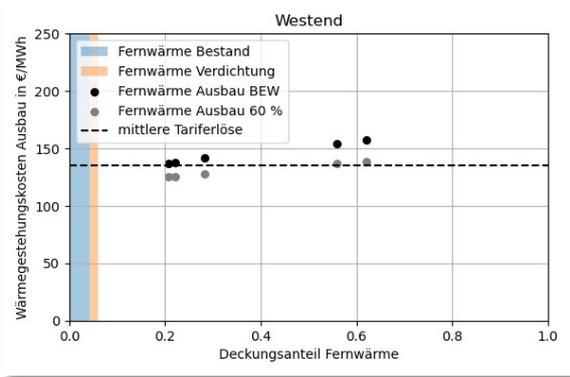








Werderland - kein Bestand an Wärmenetzen sowie kein Ausbau als Ergebnis der Betrachtung (selbst bei 750 Wh/m²*a)



Fachgutachten
zur kommunalen Wärmeplanung
für die Freie Hansestadt Bremen

Gebiete für Fern- und Nahwärmeversorgung:
Räumliche Abgrenzung und
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Bearbeitet von:

Qoncept Energy GmbH
Mayenfeldstraße 21
34125 Kassel
www.qoncept-energy.de
info@qoncept-energy.de

Im Auftrag von:

Freie Hansestadt Bremen
Der Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft
Referat 41 (Wärmewende)
An der Reeperbahn 2
28217 Bremen

Kassel, September 2024