

Kommunale Wärmeplanung der Stadt Oranienburg

Abschlussbericht

13.01.2025



Auftraggeber:



Auftragnehmer:



Kurzzusammenfassung

Die Stadt Oranienburg und Stadtwerke Oranienburg haben für die Erarbeitung der kommunalen Wärmeplanung einen Kooperationsvertrag geschlossen. Damit soll eine umsetzungsorientierte Wärmeplanung mit einem abgestimmten Maßnahmenkatalog und einer Wärmewendestrategie erarbeitet werden.

Parallel zur kommunalen Wärmeplanung erarbeiten die Stadtwerke Oranienburg einen Transformationsplan für die Fernwärmeversorgung. Diese sind eng miteinander verzahnt und werden in einem stetigen Austausch gemeinsam bearbeitet.

Zunächst erfolgte eine Bestandsaufnahme der Stadt Oranienburg, in der insbesondere die Gebäudestruktur und Wärmeversorgung erfasst wurden. Der Gebäudebestand umfasst 14.317 Wohngebäude und 5.384 Nichtwohngebäude. Über das gesamte Stadtgebiet beträgt der Wärmebedarf 740 GWh/a (15 MWh/Einwohnerin und Einwohner) inkl. Industrie. Diese Daten liegen in einem Gutachten und im digitalen Zwilling räumlich und zeitlich differenziert nach Baublöcken und Ortsteilen vor. Die Treibhausgasbilanz zeigt die Aufteilung u. a. nach Ortsteilen, Sektoren und Energieträgern. Für die Entwicklung des Wärmeverbrauchs wird eine Reduktion auf 604 GWh/a (Szenario 2) bis zum Zieljahr 2040 unterstellt.

Anschließend folgte die Potenzialanalyse für die Energieträger Großwärmepumpen, Tiefengeothermie, Freiflächensolarthermie, Abwärme- und Abkältenutzung. Zusätzlich wurden Fachgutachten zu den Themen Großwärmespeicher, Wärmenetze und dezentrale Erzeuger erarbeitet. Die Potenzialanalyse zeigt ausreichend große Potenziale für eine zukünftig emissionsfreie Wärmeversorgung Oranienburgs mit regenerativen Energien aus Tiefengeothermie, Solarthermie und Großwärmepumpen (Wärmequellen Lehnitzsee und Luft). Für die Nutzung von Geothermie sind nach der geologischen Kenntnisstandanalyse gute bis sehr gute Potenziale vorhanden. Demnach liegen in ca. 900 - 1.200 m Tiefe drei geeignete Schichten mit ca. 45 - 55 °C grädiger Sole vor. Geothermie kann für die Transformation der Wärmeversorgung Oranienburgs eine große grundlastfähige und wirtschaftlich attraktive Wärmequelle sein. Im Rahmen der Wärmeplanung sind vier Dubletten zur Förderung von Sole in den Horizonten Hettang Unterbank und Oberbank angesetzt, diese bieten ein Erzeugerpotenzial von ca. 18,4 MW.

Der Lehnitzsee bietet als Wärmequelle sehr gute Potenziale für eine 6 MW Großwärmepumpe. Zusätzlich ist im Stadtgebiet eine 2,5 MW Luftwärmepumpe geplant. Das Flächenscreening für Freiflächensolaranlagen ergibt vielversprechende technische Potenziale von bis zu 2.500 GWh Wärme pro Jahr. Dafür sind Solarthermieranlagen mit einer Leistung von etwa 80 MW notwendig.

Um die zuteilen saisonal verfügbare erneuerbare Wärme speichern und zeitlich versetzt wieder in die Fernwärme einspeisen zu können sind Großwärmespeicher notwendig. Im Rahmen der Wärmeplanung wurden verschiedene Technologien, insbesondere Erdbecken-, Aquifer- und Tankspeicher, betrachtet. Für eine ganzjährige Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien ist ein Erdbeckenspeicher mit einer Größe von ca. 42 GWh erforderlich.

Die Beteiligung von Industrie und Gewerbe blieb unter den Erwartungen. Trotz einer breiten Ansprache und die Einladung zu einem Fachforum für diese Beteiligungsgruppe erfolgten nur wenige Rückmeldungen zu nutzbaren Abwärme- und Abkältepotenzialen.

Im Rahmen der Wärmeplanung wurden dafür mehrere Konzepte für die Nutzung von Wärme aus Abwasser erarbeitet.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung erfolgte ebenfalls die Festlegung von zukünftigen Fernwärmeversorgungsgebieten. Dazu ist nennenswerter Ausbau der Fernwärmeleitungen um 22 km geplant. Bis 2040 sind dies durchschnittlich 1,5 km Netzausbau pro Jahr. Damit können bis 2040 weitere 1.900 Hausanschlüsse an die Fernwärme hergestellt werden. Im Zieljahr 2040 wird damit ein Fernwärmebedarf in Höhe von 174 GWh prognostiziert.

Mit dem favorisierten Erzeugerpark bestehend aus Tiefengeothermie, Solarthermie und Umweltwärme kann die Fernwärme bis 2040 vollständig auf regenerative Energien umgestellt und damit die Gebäude, die an die dann rund 43 km Fernwärmeleitungen angeschlossen sind, mit klimaneutraler Wärme versorgt werden.

Daneben bieten auch dezentrale Versorgung über kleinere Nahwärmenetze eine Alternative. In Schmachtenhagen ist z. B. die Erweiterung des bereits vorhandenen Nahwärmenetzes mit Wärme der ansässigen Biogasanlage ist eine Möglichkeit, die aber noch geprüft werden muss. Auch in den Ortsteilen Germendorf, Wensickendorf und Zehlendorf sind weitere dezentrale Nahwärmelösungen möglich.

Entgegen allen Bemühungen für einen umfassenden Fernwärmeausbau, wird es zukünftig jedoch weiterhin Gebiete geben, die nicht mit Fernwärme versorgt werden können. Hier müssen Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer den Umbau der Heizungen auf regenerative Energien selbst vorantreiben. Um den passenden Energieträger zu finden, stehen die Stadtwerke, die Verbraucherzentrale und Energieberaterinnen und -berater als Ansprechpersonen für die Eigentümerinnen und Eigentümer zur Verfügung.

Autorinnen- und Autorenverzeichnis

Elbing & Volkmann GmbH

Bismarckstraße 98
10625 Berlin

Dr. Clemens Elbing
Carolin Klatt
Pascal Müller
Vanessa Zabel

Elbing & Volkmann

GTN Geothermie Neubrandenburg GmbH

Seestraße 7A
17033 Neubrandenburg

Stefan Thiem
Julian Hebold
Batuhan Odyakmaz



HIC Hamburg Institut Consulting GmbH

Paul-Neumann-Platz 5
22765 Hamburg
Felix Landsberg

Kristina Schumacher
Dr. Henrik Pieper
Dr. Tobias Zimmermann
Dr. Nikolai Strodel



Theta Concepts GmbH

Strandstraße 96
18055 Rostock

Dr.-Ing. Dorian Holtz
Conrad Gierow
Raphael Wittenburg

THETA

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	15
1.1	Gesetzliche Grundlagen	15
1.2	Zielstellung kommunale Wärmeplanung	16
1.3	Allgemeine Grundlagen über Wärmenetze	18
2	Ausgangssituation	20
2.1	Stadt- und Einwohnerstruktur	20
2.2	Klimapolitische Zielsetzungen.....	21
3	Vorgehensweise	22
3.1	Arbeitsstruktur und Prozessbeschreibung	22
3.2	Datenaufnahme (allgemein)	25
3.3	Akteursbeteiligung und Kommunikation	27
3.4	CO ₂ -Bilanzierung.....	28
4	Bestandsanalyse	29
4.1	Gebäudestruktur	29
4.1.1	Typologie	30
4.1.2	Baualtersklassen	31
4.2	Struktur Wärmeversorgung / Energieversorgung.....	33
4.2.1	Wärmenetze	33
4.2.2	Gasnetze	34
4.2.3	Sonstige Erzeugungsanlagen und Energieträger	35
4.3	Energie- und Treibhausgasbilanz	36
4.3.1	Ist-Zustand	36
4.3.2	Endenergiebedarfe Wärme und Strom	39
4.3.3	THG-Emissionen.....	41
5	Ergebnisse Potenzialanalysen (Fachgutachten)	46
5.1	Wärmebedarf und Gebäudeenergieeffizienz.....	46
5.1.1	Einführung	46
5.1.2	Datengrundlage und Methodik.....	46
5.1.3	Ergebnisse.....	48
5.1.4	Wärmebedarfsprognose	56
5.1.5	Fazit	62
5.2	Abwärme / Abkälte.....	63
5.2.1	Einführung	63

5.2.2	Wärme aus Abwasser	63
5.2.3	Methodik	63
5.2.4	Betrachtete Standorte	65
5.2.5	Ergebnisse.....	66
5.2.6	Fazit	69
5.3	Großwärmepumpen	70
5.3.1	Einführung	70
5.3.2	Rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungsfähigkeit.....	70
5.3.3	Flächeneignungsprüfung.....	72
5.3.4	Potenzialanalyse Umweltwärmequellen.....	75
5.3.5	Wirtschaftlichkeit.....	98
5.3.6	Fazit	99
5.4	Tiefengeothermie	101
5.4.1	Geologische Kenntnisstandanalyse.....	101
5.4.2	Potenzial der Tiefengeothermie	105
5.4.3	Kosten.....	113
5.4.4	Fazit	113
5.5	Freiflächensolar	114
5.5.1	Einführung	114
5.5.2	Vorgaben auf Landes- und Regionalebene	115
5.5.3	Bewertungsmethodik.....	118
5.5.4	Genehmigungsprozess.....	119
5.5.5	Technische Spezifikation	120
5.5.6	Simulation.....	122
5.5.7	Wirtschaftlichkeit.....	127
5.5.8	Fazit	131
5.6	Feste Biomasse	132
5.7	Großwärmespeicher	133
5.7.1	Einführung	133
5.7.2	Technologieüberblick.....	134
5.7.3	Methodik	137
5.7.4	Flächeneignungsprüfung.....	139
5.7.5	Technische Spezifikation	143
5.7.6	Simulation.....	145

5.7.7	Fazit	149
5.8	Wärmenetze	151
5.8.1	Einführung	151
5.8.2	Methodik	151
5.8.3	Ergebnisse	154
5.9	Dezentrale Wärmeversorgung	160
5.9.1	Einführung	160
5.9.2	Erdwärmepumpen (oberflächennahe Geothermie)	160
5.9.3	Luftwärmepumpen	162
5.9.4	Eignungsgebiete für dezentrale Versorgung	164
5.10	Energiesystemmodell	166
5.10.1	Einführung	166
5.10.2	Potenziale erneuerbarer Energien und thermische Energiespeicher	166
5.10.3	Fernwärmebedarfsszenarien	168
5.10.4	Methodik	171
5.10.5	Simulationsergebnisse	174
5.10.6	Fazit	179
6	Wärmewendestrategie	180
6.1	Zielszenario bis 2040	180
6.2	Energetische (Stadt-)Sanierung	182
6.3	Sonstige Maßnahmen zur Energieeffizienz	182
6.4	Wärmenetzausbau	182
6.4.1	Ausweisung Wärmenetzeignungsgebiete	182
6.4.2	Gebiete für Ausbau Wasserstoffnetz	184
6.4.3	Eignungsgebiete dezentrale Versorgungslösung	185
6.5	Fördermittel	187
6.5.1	Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)	187
6.5.2	Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)	187
7	Controlling	192
8	Verstetigungsstrategie	195
9	Ausblick und Umsetzungsfahrplan	196
10	Literaturverzeichnis	198

Anlagen: Ortsteilsteckbriefe

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Zeitplan zum Projekt	22
Abbildung 2:	Terminplan, Fachgutachten und Phasen des Projekts.....	23
Abbildung 3:	Projektorganisation, Phasen und Fachgutachten.....	24
Abbildung 4:	Baualtersklassen für Wohngebäude	32
Abbildung 5:	Baualtersklassen aller Gebäude	32
Abbildung 6:	Räumliche Verteilung der THG-Emissionen nach dem Verursacherprinzip.	39
Abbildung 7:	Räumliche Verteilung der THG-Emissionen für die Wärme.....	42
Abbildung 8:	Räumliche Verteilung der THG-Emissionen für den Strom	43
Abbildung 9:	Wärmeverbrauch in MWh pro Block	48
Abbildung 10:	Überwiegende Gebäudenutzung pro Block	49
Abbildung 11:	Überwiegender Energieträger pro Block.....	50
Abbildung 12:	Überwiegender Sanierungsstand pro Block	52
Abbildung 13:	Sanierungspotenzial pro Block	53
Abbildung 14:	Wärmebedarfsprognose in drei Szenarien bis zum Zieljahr 2040	56
Abbildung 15:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Oranienburg	57
Abbildung 16:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Sachsenhausen	58
Abbildung 17:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Lehnitz	58
Abbildung 18:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Schmachtenhagen	59
Abbildung 19:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Friedrichsthal.....	59
Abbildung 20:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Germendorf.....	60
Abbildung 21:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Zehlendorf	60
Abbildung 22:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Wensickendorf	61
Abbildung 23:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Malz.....	61
Abbildung 24:	Kontaktierte und betrachtete Standorte zur Nutzung von Abwärme oder - kälte.....	64
Abbildung 25:	Haupteignungsflächen entlang Oberflächengewässern.....	74
Abbildung 26:	Messstellen und Fließgewässer im Raum Oranienburg	76
Abbildung 27:	Historische und synthetisierte Durchflussdaten zu Oranienburger Gewässern	77
Abbildung 28:	Hydrographische Vermessung des Lehnitzsees (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, 2024).....	78
Abbildung 29:	Messdaten Lehnitzsee, basierend auf (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, 2024).....	79

Abbildung 30:	Historische und synthetisierte Temperaturdaten zu Oranienburger Gewässern	80
Abbildung 31:	Theoretisches Potenzial Oberflächengewässer.....	80
Abbildung 32:	Technisches Potenzial Oberflächengewässer.....	81
Abbildung 33:	Wärmepumpe in der Schnellen Havel.....	82
Abbildung 34:	Wärmepumpe in der Oberen Havel	83
Abbildung 35:	Wärmepumpe im Oranienburger Kanal	83
Abbildung 36:	Wärmepumpe im Lehnitzsee	84
Abbildung 37:	Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden in der schnellen Havel.....	85
Abbildung 38:	Erzeugerlastprofil für eine 5 MW Wärmepumpe in der schnellen Havel	86
Abbildung 39:	Erzeugerlastprofil für eine 8,3 MW Wärmepumpe im Lehnitzsee	87
Abbildung 40:	Erzeugung von Wärme durch Umgebungsluft im Winterbetrieb.....	88
Abbildung 41:	Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden für Luft-Wärmepumpen nach Verschnitt mit dem Lastgang aus dem Jahr 2023 (unbegrenzter Volumenstrom, Auskühlung um 4 K).....	89
Abbildung 42:	Vereinfachte Schallausbreitung im Bereich des Friedenthaler Wegs ohne schallabsorbierende Barrieren (Quelle: noisetools.net)	90
Abbildung 43:	Wärmepumpe bei Nutzung des oberflächennahen geothermischen Potenzials	93
Abbildung 44:	Synthetisierte Durchflussraten und Temperaturprofil Abwassersiele.....	94
Abbildung 45:	Theoretisches Wärmepotenzial Abwassersiele.....	95
Abbildung 46:	Abwärmepotenzial über das Jahr.....	96
Abbildung 47:	Lastkurve über das Jahr (aus Datenschutzgründen qualitativ).....	96
Abbildung 48:	Technisches Potenzial Abwassernutzung Weiße Stadt	97
Abbildung 49:	Gegenüberstellung Wärmegestehungskosten Wärmepumpen	99
Abbildung 50:	Übersicht Datengrundlage zum geologischen Kenntnisstand; Lage der Tiefbohrungen, Verlaufslinien der reflexionsseismischen Profile und Lage der Salzstrukturen im Umkreis des Untersuchungsstandorts; HKW der Stadtwerke Oranienburg.	101
Abbildung 51:	Geologisches Vorprofil für den Standort am HKW der Stadtwerke Oranienburg; die potenziellen Nutzhorizonte sind gelb markiert.....	103
Abbildung 52:	Grundsätzliches Schema einer hydrothermalen Geothermieanlage mit einer gerichteten Bohrung.....	106
Abbildung 53:	Konzeptioneller Bohrplatz am Standort Oranienburg	108
Abbildung 54:	Das vereinfachte Schema des Thermalwasserkreislaufs bis zur Auskopplung der Wärme an die Wärmepumpenanlage	110

Abbildung 55:	Das vereinfachte Schema des Wärmepumpenkreislaufs bis zur Netzübergabepunkt.....	111
Abbildung 56:	Schema - Kriterien zur Flächenanalyse.....	115
Abbildung 57:	Bewertungskriterien verschiedener Prioritätsstufen	118
Abbildung 58:	Wetterdaten der solarthermischen Simulation	123
Abbildung 59:	Vorlauftemperaturen der beiden Szenarien	123
Abbildung 60:	Einspeisemenge der Vakuumröhren- und Flachkollektoren bei der Vorlauftemperatur RL + 15 K	124
Abbildung 61:	Einspeisemenge der Vakuumröhren- und Flachkollektoren bei vorgegebenen Vorlauftemperaturen	125
Abbildung 62:	Einspeisemenge der Flachkollektoren bei den unterschiedlichen Vorlauftemperaturen	126
Abbildung 63:	Einspeisemenge der Vakuumröhrenkollektoren bei den unterschiedlichen Vorlauftemperaturen	126
Abbildung 64:	Spezifische Kosten unterschiedlicher Kollektortypen	127
Abbildung 65:	Annuitäten für die Vorlauftemperaturen der Rücklauftemperatur + 15 K	129
Abbildung 66:	Annuitäten für die vorgegebene Vorlauftemperatur	129
Abbildung 67:	Erzeugungskosten nach Einbindungsszenario (Rücklaufanhebung und Direkteinspeisung).....	130
Abbildung 68:	Wald- und Siedlungsflächen zur Ermittlung des Potenzials holziger Biomasse	133
Abbildung 69:	Technologieradar mit Stand der Technik (Hochschule Luzern, 2024)	134
Abbildung 70:	Kategorisierungskriterien für Wärmespeichertechnologien	135
Abbildung 71:	Methodik und Fließschema zur iterativen Speicherpotenzialermittlung ..	137
Abbildung 72:	Grundwasserstände in Oranienburg (LfU Brandenburg, 2024)	140
Abbildung 73:	Eignungsflächen für Erdbeckenspeichern bei Berücksichtigung eines Mindestgrundwasserabstandes von 10 m und Mindestflächengröße	141
Abbildung 74:	Eignungsflächen für Erdbeckenspeichern bei Berücksichtigung eines Mindestgrundwasserabstandes von 5 m und Mindestflächengröße	142
Abbildung 75:	Anforderungsprofil an Bereitstellung von Speicherleistung aus dem Energiesystemmodell (Maximalvariante)	144
Abbildung 76:	Speicherbare Energiemenge in Abhängigkeit von gewählter Be- und Entladeleistung	144
Abbildung 77:	Vergleich Speicherverhalten Energiesystemmodell und physikalisches Modell Tankspeicher	145
Abbildung 78:	Vergleich Speicherverhalten Energiesystemmodell und physikalisches Modell Aquiferspeicher	147

Abbildung 79:	Vergleich Speicherverhalten Energiesystemmodell und physikalisches Modell Erdbeckenspeicher	148
Abbildung 80:	Beispielhafte Darstellung der Wärmenetzauslegung für einen Ortsteil einschließlich der genutzten Potenzialfläche.....	153
Abbildung 81:	Wärmebedarfsdichten und Wärmeliniedichten im gesamten Projektgebiet	155
Abbildung 82:	Günstigste Wärmeversorgungsvarianten für alle Ortslagen (Betrachtung der Kernstadt erfolgt gesondert)	156
Abbildung 83:	Wärmenetzverlauf und Potenzialfläche für den Ortsteil Germendorf	157
Abbildung 84:	Wärmenetzverlauf und Potenzialfläche für den Ortsteil Zehlendorf	158
Abbildung 85:	Wärmenetzverlauf und Potenzialfläche für den Ortsteil Wensickendorf..	159
Abbildung 86:	Eignung für die dezentrale Versorgung durch oberflächennahe Geothermie (Sondenfelder, 100 m Tiefe)	161
Abbildung 87:	Datengetriebene Methode zur Eignungsprüfung von Luftwärmepumpen für sämtliche zu beheizende Gebäude im Planungsgebiet auf Basis verfügbarer Flächen und Heizlasten	162
Abbildung 88:	Qualitative Schallindikation durch flächendeckenden Einsatz von Luftwärmepumpen.....	163
Abbildung 89:	Eignung für die dezentrale Versorgung durch Luftwärmepumpen inkl. Berücksichtigung potenzieller Lärmemissionen.....	164
Abbildung 90:	Bewertung der Eignung dezentraler Versorgungslösungen im Zieljahr 2040	165
Abbildung 91:	Fernwärmegebiete im Szenario "Maximaler Netzausbau"	169
Abbildung 92:	Fernwärmegebiete im Szenario "Mittlerer Netzausbau"	170
Abbildung 93:	Lastverlauf für den mittleren Netzausbau im Strompreisszenario Base-Case	175
Abbildung 94:	Zusammensetzung der Wärmeerzeugung bei mittlerem Netzausbau im Strompreisszenario Base Case	176
Abbildung 95:	Lastverlauf für den maximalen Netzausbau im Strompreisszenario Base-Case	177
Abbildung 96:	Zusammensetzung der Wärmeerzeugung bei maximalem Netzausbau im Strompreisszenario Base Case	178
Abbildung 97:	Gebietseinteilung im Zielszenario	181
Abbildung 98:	Gebietseinteilung zur Wärmenetzeignung.....	183
Abbildung 99:	Ausbaupfad für das Fernwärmenetz.....	184
Abbildung 100:	Einteilung der Eignungsgebiete für dezentrale Versorgung.....	186

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Jahresendenergiebedarf in Oranienburg, nach Sektoren	36
Tabelle 2:	Jahresendenergiebedarf in Oranienburg für die Wärmeversorgung, nach Energieträgern	37
Tabelle 3:	Energiebedarfe und Emissionen (gesamt), summiert über alle Gebäude in Oranienburg	38
Tabelle 4:	Jahresendenergiebedarf für Wohngebäude in Oranienburg	40
Tabelle 5:	Jahresendenergiebedarf in Oranienburg für Wärme, nach Sektoren	40
Tabelle 6:	Jahresendenergiebedarf in Oranienburg für Strom, nach Sektoren	41
Tabelle 7:	Jahres-Treibhausgasemissionen pro Einwohnerin und Einwohner in Oranienburg	43
Tabelle 8:	Emissionseinsparung in drei Szenarien im Zieljahr 2040	44
Tabelle 9:	Emissionen in drei Szenarien im Zieljahr 2040 nach Sektoren	44
Tabelle 10:	Emissionseinsparung in drei Szenarien im Zieljahr 2040 nach Sektoren	44
Tabelle 11:	Entwicklungsparameter für die drei Szenarien der Wärmebedarfsprognose..	47
Tabelle 12:	Sanierungsstände der Gebäude pro Ortsteil (absolut %)	51
Tabelle 13:	Kennzahlen pro Ortsteil	54
Tabelle 14:	Wärmebedarfsprognose in drei Szenarien bis zum Zieljahr 2040	56
Tabelle 15:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Oranienburg	57
Tabelle 16:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Sachsenhausen	58
Tabelle 17:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Lehnitz	58
Tabelle 18:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Schmachtenhagen	59
Tabelle 19:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Friedrichsthal	59
Tabelle 20:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Germendorf	60
Tabelle 21:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Zehlendorf	60
Tabelle 22:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Wensickendorf	61
Tabelle 23:	Wärmebedarfsprognose Ortsteil Malz	61
Tabelle 24:	Ergebnisübersicht Abwärmenutzung Industriebetrieb	67
Tabelle 25:	Ergebnisübersicht Wärmenetzerweiterung Biogasanlage Schmachtenhagen	68
Tabelle 26:	Möglichkeiten Wärmenetzerweiterung Schmachtenhagen	68
Tabelle 27:	Wärmepotenzial geeigneter Flächen im Einzugsbereich des Fernwärmegebietes	92
Tabelle 28:	Technisch nutzbares Wärmepotenzial geeigneter Flächen im Einzugsbereich	92
Tabelle 29:	Kenngrößen und Annahmen der Wirtschaftlichkeitsabschätzungen	98

Tabelle 30:	Zusammenfassung der maximal erreichbaren Wärmeerträge mithilfe von Großwärmepumpen.....	100
Tabelle 31:	Relevante geologische und fluidphysikalische Parameter der Nutzhorizonte mit möglichen Spannweiten, die fett gedruckten Werte stellen die wahrscheinlichsten anzutreffenden Werte dar; *unter Reservoirbedingungen.	104
Tabelle 32:	Betrachtete Varianten mit gegebenen geologischen Horizonten und Erschließungskonzepten.....	109
Tabelle 33:	Potenzial der Tiefengeothermie pro Dublette.....	112
Tabelle 34:	Kostenschätzung der Vorzugsvarianten	113
Tabelle 35:	Berücksichtigte Gunstflächen der Arbeitshilfen	116
Tabelle 36:	Berücksichtigte Abwägungsbereiche gem. Arbeitshilfen	116
Tabelle 37:	Berücksichtigte Ausschlussbereiche gem. Arbeitshilfen.....	117
Tabelle 38:	Solarthermie Prioritätsflächen und potenzielle Erträge	119
Tabelle 39:	Gegenüberstellung verschiedener Kollektortypen.	122
Tabelle 40:	Parameter für die Annualisierung der jährlichen Kosten	128
Tabelle 41:	Simulationsergebnisse Energiesystem-Optimierung in Bezug auf Speicherdimensionierung (1.Iteration)	143
Tabelle 42:	Zusammenfassung der Eigenschaften der verschiedenen Speichertypen und deren Eignung für Oranienburg.....	150
Tabelle 43:	Übersicht der im Energiesystemmodell berücksichtigten Potenziale.....	167
Tabelle 44:	Übersicht der Wärmebedarfe der Fernwärmebedarfsszenarien für das Zieljahr	171
Tabelle 45:	Nennleistungen der im Szenario "Mittlerer Netzausbau" eingesetzten Erzeugungsanlagen	176
Tabelle 46:	Nennleistungen der im Szenario "Maximaler Netzausbau" eingesetzten Erzeugungsanlagen	178
Tabelle 47:	Übersicht BEG-Förderquoten Einzelmaßnahmen.....	188
Tabelle 48:	Förderquoten BEG-Effizienzgebäudeklassen Nichtwohngebäude.....	189

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
ADL	Abwasserdruckleitung
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem
ATES	Aquiferspeicher (aquifer thermal energy storage)
BAFA	Bundesanstalt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrollen
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BbgBO	Brandenburgische Bauordnung
BbgWPV	Brandenburgische Wärmeplanungsverordnung
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BISKO	Bilanzierungs-Systematik Kommunal
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
B-Plan	Bebauungsplan
BTES	Erdwärmespeicher (borehole thermal energy storage)
COP	Coefficient of performance
CPC	Compound Parabolic Concentrator
CT	Casing Test
EFH	Einfamilienhaus
EE	Erneuerbare Energien
EW	Einwohnerin/Einwohner
FK	Flachkollektor
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GWB	Gesamtwärmebedarf
GWh	Gigawattstunde
INSEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
KEA	Klimaschutz und Energie
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KPI	Key performance indicator
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LBGR	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe
LEP HR	Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg
LEPro	Landesentwicklungsprogramm
LfU	Landesamt für Umwelt
LIAG	Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
MFH	Mehrfamilienhaus
MILP	Gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung
MWh	Megawattstunde
NBB	Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg
NEDB	Nordostdeutsches Becken
NH	Nachhaltigkeit
NWA	Niederbarnimer Wasser- und Abwasserzweckverband
NWG	Nichtwohngebäude
PtH	Power to heat
PV	Photovoltaik

PV-FFA	Photovoltaik-Freiflächenanlagen
PTES	Erdbeckenspeicher (pit thermal energy storage)
RREP	Regionaler Raumentwicklungsprogramm
ST-FFA	Solarthermie-Freiflächenanlagen
SWO	Stadtwerke Oranienburg
THG	Treibhausgas
TNO	Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung
TTES	Tankspeicher (thank thermal energy storage)
TUNB	Tiefer Untergrund Norddeutsches Becken
VRK	Vakuumröhrenkollektoren
WE	Wohneinheiten
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WP	Wärmepump
WPB	Worst performing building
WPG	Wärmeplanungsgesetz
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel

1 Einleitung

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Die kommunale Wärmeplanung gewinnt im Kontext der deutschen Klimapolitik zunehmend an Bedeutung und ist gesetzlich klar verankert. Mit dem Inkrafttreten des Wärmeplanungsgesetzes (WPG) auf Bundesebene im Jahr 2024 wurde ein einheitlicher rechtlicher Rahmen geschaffen, der die Pflicht zur Erstellung einer kommunalen Wärmeplanung für alle Städte und Gemeinden festlegt. Ziel des Gesetzes ist es, die Wärmeversorgung auf kommunaler Ebene langfristig klimaneutral zu gestalten und somit einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der nationalen Klimaziele zu leisten.

Wärmeplanungsgesetz auf Bundesebene

Das WPG stellt sicher, dass Gemeinden und Städte eine Wärmeplanung aufstellen. Abhängig von der Zahl der Einwohnerinnen und Einwohnern muss diese bis 2026 bzw. 2028 aufgestellt werden. Die Wärmeplanung muss dabei auf der Grundlage der vor-Ort Gegebenheiten eine detaillierte Bestands- und Potenzialanalyse durchführen. Wesentliche Akteurinnen und Akteure müssen beteiligt werden. Dabei soll eine schrittweise Reduktion fossiler Brennstoffe erreicht werden und der Ausbau erneuerbarer Energien vorangetrieben werden. Insbesondere die Integration von Wärmenetzen, die Nutzung unvermeidbarer industrieller Abwärme sowie die Einbindung von erneuerbaren Energien wie Solarthermie oder Geothermie stehen im Fokus. Im Ergebnis muss die Wärmeplanung eine Wärmewendestrategie und darin hinterlegte Maßnahmen aufzeigen, mit denen die klimaneutrale Wärmeversorgung erreicht werden kann.

Landesrechtliche Vorgaben in Brandenburg

Neben dem WPG des Bundes regelt in Brandenburg die Brandenburgische Wärmeplanungsverordnung – BbgWPV weitere Vorgaben für die Wärmeplanung der Städte und Gemeinden. Das Land Brandenburg hat sich zum Ziel gesetzt, bis spätestens 2045 klimaneutral zu werden, womit die kommunale Wärmeplanung auch auf Landesebene als Schlüsselinstrument verankert ist.

Ergänzend dazu sieht die Brandenburgische Bauordnung (BbgBO) vor, dass neue Bauprojekte bereits heute hohe energetische Standards erfüllen müssen, was die zukünftige Wärmeplanung wesentlich beeinflusst.

Kommunale Anforderungen und Zeitplan in Oranienburg

Bereits vor in Kraft treten des WPG und der BbgWPV hat die Stadt Oranienburg in enger Kooperation mit den Stadtwerken Oranienburg (SWO) die Bedeutung der kommunalen Wärmeplanung erkannt und das Vorhaben begonnen. Gemäß Zeitplan soll diese bis Anfang 2025 aufgestellt sein. Damit ist die Stadt Oranienburg deutlich schneller, als dass es das Wärmeplanungsgesetz bis 2028 vorgibt. Ziel ist es, eine umfassende Analyse der aktuellen Wärmeversorgung vorzunehmen und konkrete Maßnahmen zur Umstellung auf klimaneutrale Wärmequellen zu definieren. Dies umfasst sowohl die Identifikation bestehender Wärmequellen und Infrastrukturen als auch die Entwicklung von Maßnahmen zur Förderung erneuerbarer Energien und zur Optimierung der Energieeffizienz.

Für Oranienburg bedeutet die schnelle Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben, dass nach Vorlage der Ergebnisse im Jahr 2025 konkrete Umsetzungsschritte in den folgenden Jahren erfolgen können.

Auf der Grundlage können die Ziele der Stadt Oranienburg, des Landes und des Bundes zur Umstellung auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung bis 2040 erreicht werden.

Außerdem erhalten Bürgerinnen und Bürger früher als vorgeschrieben Planungssicherheit bezüglich ihrer Wärmeversorgung.

Zusammengefasst bilden WPG und BbgWPV den Rechtsrahmen für die kommunale Wärmeplanung der Stadt. Die bereits begonnene Planung ist ein wichtiger Schritt, um die Stadt in eine nachhaltige, klimafreundliche Zukunft zu führen und die nationalen und landesspezifischen Klimaziele zu erreichen.

1.2 Zielstellung kommunale Wärmeplanung

Die Zielstellung für die kommunale Wärmeplanung Oranienburgs ist den Weg zu einer klimafreundlichen, sicheren und bezahlbaren Wärmeversorgung für die Stadt inkl. der Ortsteile aufzustellen. Aus der übergeordneten Zielsetzung werden sich Teilziele und Maßnahmen in den Handlungsfeldern Energieeffizienz, Gebäudesanierung, Nutzung unvermeidbarer Abwärme, Einbindung regenerativer Erzeugungsanlagen, Ausbau Fernwärme und Entwicklung neuer dezentraler Wärmenetze ergeben.

Mit den aufgezeigten Maßnahmen wird die Wärmeversorgung Schritt-für-Schritt auf eine CO₂-neutrale Versorgung umgestellt, auf der Grundlage sollen die Mittel- und Langfristziele der Stadt, vom Land Brandenburg und Bund erzielt werden.

Transformation der Wärmenetze

Ein zentraler Bestandteil der Wärmeplanung ist die Modernisierung und der Ausbau der städtischen Wärmenetze durch die Stadtwerke. Diese sollen bis 2040 vollständig auf regenerative Erzeuger umgebaut werden. Ein weiteres Ziel ist es, die Effizienz der Wärmenetze zu erhöhen, indem Verluste in den Netzen minimiert und dezentrale Lösungen – wie Nahwärmenetze – vermehrt integriert werden. Hier spielt die enge Zusammenarbeit zwischen den Stadtwerken Oranienburg und der Stadt eine zentrale Rolle.

Im Rahmen des Wärmeplans wird Oranienburg auf verschiedene lokale Potenziale setzen, um eine möglichst nachhaltige und kosteneffiziente Wärmeversorgung zu gewährleisten. Darüber hinaus werden die Stadt und Stadtwerke konkrete Maßnahmen erarbeiten, um fossile Energieträger schrittweise zu ersetzen und den Energieverbrauch in bestehenden Gebäuden zu reduzieren.

Die Rolle der Stadtwerke Oranienburg

Die Stadtwerke Oranienburg sind als lokaler kommunaler Energieversorger ein zentraler Akteur in der Umsetzung der Wärmewende. Sie verantworten den Betrieb der Erzeugungsanlagen, den Ausbau und Betrieb der Wärmenetze sowie das Endkundengeschäft. Damit sind sie der zentrale Akteur für die Planung und Umsetzung von Projekten zur Integration erneuerbarer Energien in die Wärmeversorgung Oranienburgs. Die Stadtwerke arbeiten dabei eng mit der Stadt zusammen, um die Umstellung auf klimafreundliche Technologien im Wärmesektor zu gewährleisten. Durch innovative Lösungen und Investitionen in moderne Infrastruktur tragen sie zur Effizienzsteigerung und Senkung des Energieverbrauchs bei. Über den Ausbau der Wärmenetze bieten die Stadtwerke als Versorger zukünftig neuen Kunden Zugang zu einer regenerativen Wärmeversorgung.

Die Rolle der Stadt Oranienburg

Die Stadt Oranienburg koordiniert als planungsverantwortliche Stelle die Wärmeplanung, dabei werden Beteiligte der Stadt, Stadtwerke und Wohnungswirtschaft sowie Unternehmen und Bürgerinnen und Bürger beteiligt. Auf der Grundlage der Beschlüsse (Vorlage-Nr. 1045/2022 zum Klimaschutzkonzept und A/0093/2021 zu grünen Stadtwerken) und dem Klimaschutzgesetz, gibt es bereits Ziele für die Umstellung der Wärmeversorgung und Erreichung der Klimaneutralität bis 2040.

Als planungsverantwortliche Stelle schafft die Stadt Oranienburg mit der Wärmeplanung die erforderlichen Rahmenbedingungen, um auch zukünftig eine wirtschaftliche und nachhaltige Energie- und Wärmeversorgung in Oranienburg sicher zu stellen. Dabei müssen die Interessen der Stadt, Stadtwerke, Wohnungswirtschaft und Unternehmen sowie Bürgerinnen und Bürger abgewogen werden. Auf der Grundlage der Wärmeplanung sollen Unternehmen und Bürgerinnen und Bürger zukünftig Planungssicherheit für die Wärmeversorgung über das gesamte Stadtgebiet haben. Mit der Fernwärmenetzentwicklungsplanung werden Karten bereitgestellt, um den Schritt-für-Schritt Ausbau der Netze zu beschreiben. Damit können Unternehmen und Bürgerinnen und Bürger anhand der Wärmeplanung einsehen, welche Versorgungslösungen für einzelne Flurstücke und Straßen in Frage kommen. Dies umfasst den Ausbau der Fernwärme aber zukünftig auch Informationen über geplante dezentrale Versorgungslösungen.

Gemeinsame Entwicklungsperspektive

Die erfolgreiche Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung erfordert ein koordiniertes Vorgehen aller Akteurinnen und Akteure in Oranienburg. Die Zusammenarbeit zwischen der Stadt, den Stadtwerken, der kommunalen Wohnungswirtschaft und weiteren privaten Beteiligten – wie Wohnungsbaugesellschaften und Industriebetrieben – ist entscheidend, um eine ganzheitliche Entwicklungsperspektive zu schaffen. Durch gemeinsame Planungsprozesse können Synergien genutzt und Potenziale ausgeschöpft werden, um die Wärmewende effizient und effektiv voranzutreiben.

Gebäudeenergieeffizienz

Ein weiterer zentraler Bestandteil der kommunalen Wärmeplanung ist die Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden. Dies umfasst sowohl die energetische Sanierung bestehender Gebäude als auch die Umsetzung strenger Effizienzstandards bei Neubauten. Durch Maßnahmen wie bessere Dämmung, den Einsatz von energieeffizienten Heizsystemen und die Nutzung von erneuerbaren Energien in Gebäuden kann der Energieverbrauch erheblich gesenkt werden. Die Stadt setzt sich dafür ein, Anreize zu schaffen, um Hauseigentümerinnen und -eigentümer und Unternehmen zur energetischen Sanierung ihrer Gebäude zu motivieren.

Fazit

Die Zielstellung der kommunalen Wärmeplanung in Oranienburg ist klar: eine klimaneutrale und nachhaltige Wärmeversorgung für die Stadt zu schaffen. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen den Stadtwerken, der Stadt und anderen Beteiligten. Im gemeinsamen Interesse müssen die Gebäudesanierung, der Umbau des Erzeugerparks und der Ausbau der Fernwärme vorangetrieben werden. In den nicht Fernwärmeversorgten Gebieten muss die Umstellung der Heizungen auf regenerative Energien dezentral erfolgen.

Mit der Aufstellung der kommunalen Wärmeplanung ist die Stadt Oranienburg bereits den ersten wichtigen Schritt auf dem Weg zur klimaneutralen Wärmeversorgung bis 2040 gegangen.

1.3 Allgemeine Grundlagen über Wärmenetze

Die Versorgung mit Wärme und Kälte über Netze bietet im Vergleich zur gebäudeweisen Versorgung eine Reihe von Vorteilen. Diese sind jedoch nur dann wirtschaftlich, wenn eine ausreichende Wärmedichte vorhanden ist, also in einem Versorgungsgebiet hinreichend Abnehmer mit einem ausreichend hohen Wärmebedarf vorhanden sind. Bei einer zentralen Versorgung über ein Wärmenetz muss nicht jeder Abnehmer eigene Anlagen planen, bauen, betreiben und instandhalten, sondern die Energieversorgung wird zentral organisiert.

Die Effizienz und Flexibilität von Wärmenetzen machen sie zu einer Schlüsseltechnologie für die Erreichung der Klimaziele, insbesondere in urbanen Gebieten wie Oranienburg, wo viele Gebäude und Betriebe auf eine zuverlässige Wärmeversorgung angewiesen sind.

Funktionsweise und Aufbau von Wärmenetzen

Wärmenetze bestehen aus einem oder mehreren zentralen Erzeugungspunkten und einem Verteilnetz. In der zentralen Anlage wird Wärme erzeugt, entweder durch konventionelle Brennstoffe wie z. B. Gas oder zunehmend durch erneuerbare Energien wie Solarthermie, Biomasse oder Geothermie. Diese Wärme wird über ein verzweigtes Netz von Rohrleitungen zu den Endverbraucherinnen und -verbrauchern transportiert, wo sie für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung genutzt wird. Das Netz kann als Fernwärme- oder Nahwärmenetz ausgelegt sein, abhängig von der Größe des Versorgungsgebietes und der Distanz zwischen den Erzeugungsanlagen und den Abnehmern. Der Übergang zwischen Nah- und Fernwärme ist dabei fließend und nicht eindeutig definiert.

Konventionelle Wärmenetze arbeiten mit Vorlauftemperaturen von 70 bis 130 °C, was die Nutzung für verschiedene Arten von Gebäuden – von Wohnhäusern bis zu Industrieanlagen – ermöglicht. Moderne Systeme setzen jedoch verstärkt auf geringere Temperaturen unter 70 °C, um den Einsatz erneuerbarer Energien zu erleichtern und die Wärmeverluste zu verringern. Dadurch kann sowohl die Effizienz als auch die Nachhaltigkeit der netzgebundenen Wärmeversorgung gesteigert werden.

Vorteile von Wärmenetzen

Wärmenetze bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber individuellen Heizsystemen. Ein zentraler Vorteil liegt in ihrer ökologischen Effizienz. Durch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), den Einsatz von Abwärme oder regenerative Erzeugungsanlagen kann der Primärenergiebedarf gesenkt und die Umweltbelastung minimiert werden. Im Vergleich zu Einzelheizungen ermöglichen Wärmenetze auch die Einbindung großer Mengen an erneuerbaren Energien, was zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beiträgt.

Zudem bieten Wärmenetze die Möglichkeit, flexible Energiequellen zu integrieren. Fossile Energieträger spielen in vielen Netzen noch eine zentrale Rolle. Parallel können jedoch bereits erneuerbare Wärmequellen wie Solarthermie, Biomasse, Wärmepumpen und Geothermie in ein Netz eingespeist werden. Dies macht Wärmenetze zu einem wichtigen Instrument im Rahmen der Wärmewende, also der Umstellung auf eine nachhaltige und klimafreundliche Wärmeversorgung.

Herausforderungen bei Wärmenetzen

Trotz ihrer Vorteile stehen Wärmenetze vor mehreren Herausforderungen. Eine der größten ist die Modernisierung bestehender Netze. Viele Fernwärmenetze wurden vor Jahrzehnten gebaut und müssen je nach Zustand modernisiert werden, um den Anforderungen einer klimafreundlichen Wärmeversorgung gerecht zu werden.

Dies umfasst sowohl den Ausbau der Infrastruktur als auch die Anpassung an niedrigere Temperaturen im Netz, um die Integration erneuerbarer Energien zu erleichtern.

Ein weiteres Problem ist die Kostenstruktur. Der Aufbau und Betrieb von Wärmenetzen erfordert hohe Investitionen, weshalb die wirtschaftliche Tragfähigkeit von Netzen stark von der Verbrauchsdichte und der Effizienz des Systems abhängt. Um dies zu verbessern, ist eine enge Kooperation zwischen Kommunen, Energieversorgern und Immobilieneigentümerinnen und -eigentümern erforderlich.

Rolle der Wärmenetze in der kommunalen Wärmeplanung

Wärmenetze sind ein zentraler Bestandteil der kommunalen Wärmeplanung in Oranienburg. Sie bieten die Möglichkeit, die Wärmeversorgung in urbanen Gebieten effizient zu gestalten und schrittweise auf klimaneutrale Energiequellen umzustellen. Die Stadtwerke Oranienburg spielen dabei eine Schlüsselrolle, indem sie das Wärmenetz modernisieren und erweitern bzw. verdichten, um die Integration erneuerbarer Energien zu fördern. Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wird geprüft, welche Teile des bestehenden Netzes transformiert und wie zusätzliche Wärmequellen – wie Geothermie, Solarthermie oder Abwärme – eingebunden werden können, um die langfristige Klimaneutralität der Stadt zu erreichen. Auf der Grundlage der Prüfung der regenerativen Erzeugerpotenziale und Ausbaupotenziale für die Fernwärme wird eine Netzentwicklungsplanung aufgestellt, um den Schritt-für-Schritt Ausbau der Fernwärme aufzustellen.

Fazit

Wärmenetze sind ein unverzichtbares Element moderner urbaner Wärmeversorgung und leisten einen entscheidenden Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen. In Oranienburg bilden sie die Grundlage für die kommunale Wärmewende und ermöglichen eine flexible und effiziente Nutzung erneuerbarer Energien. Die zukünftige Herausforderung besteht darin, bestehende Netze an die neuen Anforderungen anzupassen und die Wärmenetze als zentrales Instrument der Wärmeplanung auszubauen.

2 Ausgangssituation

2.1 Stadt- und Bevölkerungsstruktur

Oranienburg hat gem. Bevölkerungsstatistik der Stadt 49.486 Einwohnerinnen und Einwohner (Stand 31.12.2023). Während die Bebauung in der Kernstadt und den angrenzenden Ortsteilen dichter und urbaner ist, sind die äußeren Bereiche von Oranienburg durch eine überwiegend ländlich geprägte Bebauung gekennzeichnet. Diese Vielfalt der Siedlungsstrukturen erfordert differenzierte Ansätze zur zukünftigen Wärmeversorgung, die sowohl städtische als auch ländliche Bedürfnisse berücksichtigt.

Die Stadt Oranienburg gliedert sich in acht Ortsteile und 844 Baublöcke, die eine vielfältige Struktur sowohl in Bezug auf ihre Bebauung als auch ihre Bevölkerungsdichte aufweisen. Die Unterteilung in Baublöcke ermöglicht eine detaillierte kleinräumige Gliederung der Stadt. Die Baublöcke dienen als grundlegende Einheiten für die Erfassung von Bevölkerungs-, Gebäude- und Nutzungsstrukturen und bilden die Basis für Planungen, wie die kommunale Wärmeplanung.

Ein Baublock ist die kleinste räumliche Einheit, die von Straßen, Wegen oder anderen geografischen Elementen umschlossen wird. Innerhalb dieser Baublöcke wird die Bebauung erfasst, die je nach Lage innerhalb der Stadt oder der einzelnen Ortsteile unterschiedlich dicht ist. Die Einteilung in Baublöcke ermöglicht es, die städtische und ländliche Struktur Oranienburgs differenziert zu betrachten und gezielt auf die spezifischen Anforderungen in der Wärmeversorgung einzugehen. Diese kleinräumige Gliederung unterstützt dabei, individuelle Lösungen für unterschiedliche Gebiete zu entwickeln und die Wärmeplanung effizient und bedarfsgerecht zu gestalten.

In den stärker städtisch geprägten Bereichen wie Oranienburg, Lehnitz und Sachsenhausen sind die Baublöcke in der Regel kleiner und dichter bebaut. Hier befinden sich häufig Mehrfamilienhäuser und Gewerbegebiete, die eine höhere Anzahl Einwohnerinnen und Einwohnern und Gebäudedichte aufweisen. Der zentrale Ortsteil Oranienburg bildet die Kernstadt und ist das städtische Zentrum, in dem die meisten wirtschaftlichen und infrastrukturellen Aktivitäten konzentriert sind. Hier leben 32.945 Einwohnerinnen und Einwohner in 17.146 Gebäuden (Wohn- und Nichtwohngebäude). Die Ortsteile Lehnitz und Sachsenhausen grenzen unmittelbar an die Kernstadt an und fungieren als bedeutende Ortsteilzentren. In Lehnitz leben 3.772 Einwohnerinnen und Einwohner in 2.973 Gebäuden, während Sachsenhausen 3.261 Einwohnerinnen und Einwohner und 3.335 Gebäude aufweist. Diese Ortsteile sind eng mit dem städtischen Leben in Oranienburg verbunden und profitieren von der Nähe zur Kernstadt.

Die Ortsteile Germendorf, Zehlendorf, Wensickendorf und Schmachtenhagen besitzen jeweils eigenständige Ortsteilzentren. Germendorf hat 1.896 Einwohnerinnen und Einwohner und 1.767 Gebäude, während Zehlendorf 980 Einwohnerinnen und Einwohner in 1.319 Gebäuden aufweist. Wensickendorf und Schmachtenhagen zählen 1.128 bzw. 2.785 Einwohnerinnen und Einwohner mit 1.609 und 3.395 Gebäude. Die Baublöcke sind in der Regel größer, da die Bebauung weniger dicht ist und vorwiegend aus Einfamilienhäusern und landwirtschaftlichen Nutzflächen besteht. Hier dominiert eine ländliche Bebauung, jedoch sind die Verbindungen zur Kernstadt gut ausgebaut, was eine stärkere Anbindung an das städtische Leben ermöglicht. Die Struktur dieser Ortsteile erfordert besondere Ansätze in der Wärmeplanung, da sie weniger zentralisiert sind und die Wärmeversorgung hier größere Entfernungen überwinden muss.

Die Ortsteile Friedrichsthal und Malz befinden sich im Nordosten Oranienburgs, wobei sich die Ortsteilzentren an der gemeinsamen Ortsteilgrenze treffen. Friedrichsthal zählt 2.192 Einwohnerinnen und Einwohner und 2.454 Gebäude, während Malz mit 527 Einwohnerinnen und Einwohnern und 985 Gebäuden deutlich dünner besiedelt ist. Diese Bereiche sind durch eine überwiegend ländliche Bebauung gekennzeichnet und weisen eine geringere Bevölkerungsdichte auf.

In der Anlage zum Bericht liegen zu allen Ortsteilen Steckbriefe, diese fassen die Flächen, Gebäude, demografischen Daten und Wärmeversorgung systematisch zusammen.

2.2 Klimapolitische Zielsetzungen

Die Stadtverordnetenversammlung hat bereits 2022 die Umsetzung von 47 Maßnahmen aus dem integrierten Klimaschutzkonzept beschlossen. Darin enthalten sind auch Maßnahmen für den Umbau Wärmeversorgung und die energetische Sanierung des Gebäudebestands. Mit der kommunalen Wärmeplanung und Transformationsplanung werden nun auf der Grundlage der Bestands- und Potenzialanalyse umsetzbare Maßnahmen für die Wärmewende in Oranienburg erarbeitet.

Im Jahr 2021 hat die Stadtverordnetenversammlung Oranienburgs bereits einen Beschluss für die Entwicklung der Stadtwerke hin zu grünen Stadtwerken und zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 getroffen, die Stadtverwaltung soll dabei bereits als Vorbild bis 2035 klimaneutral sein.

3 Vorgehensweise

3.1 Arbeitsstruktur und Prozessbeschreibung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Oranienburg. Parallel dazu erarbeiten die Stadtwerke Oranienburg einen Transformationsplan.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt den Zeitplan zur Erarbeitung der kommunalen Wärmeplanung. Mit der Vorbereitung der Wärmeplanung wurde bereits im Jahr 2022 begonnen. Im Mai 2023 haben Stadt und Stadtwerke den Kooperationsvertrag zur gemeinsamen Bearbeitung der kommunalen Wärmeplanung und Transformationsplanung geschlossen. Über eine EU-weite Ausschreibung der Beratungsleistungen wurde von Q3 2023 bis Q2 2024 das Beraterinnen- und Beraterkonsortium beauftragt. Seit April 2024 erarbeitet das externe Team aus Beraterinnen und Beratern gemeinsam mit Stadt und Stadtwerken die Wärmeplanung. Im Mai 2024 gab es dazu ein Kick-off mit allen Projektbeteiligten. Seitdem erfolgte die Bearbeitung der Fachgutachten. Fertigstellung der Wärmeplanung ist durch die externe Beratung bis Ende Dezember 2024 planmäßig abgeschlossen worden. Im Januar 2025 wurde dem Projektlenkungsreis, den Gremien der Stadt und den Stadtwerken der Abschlussbericht übergeben.

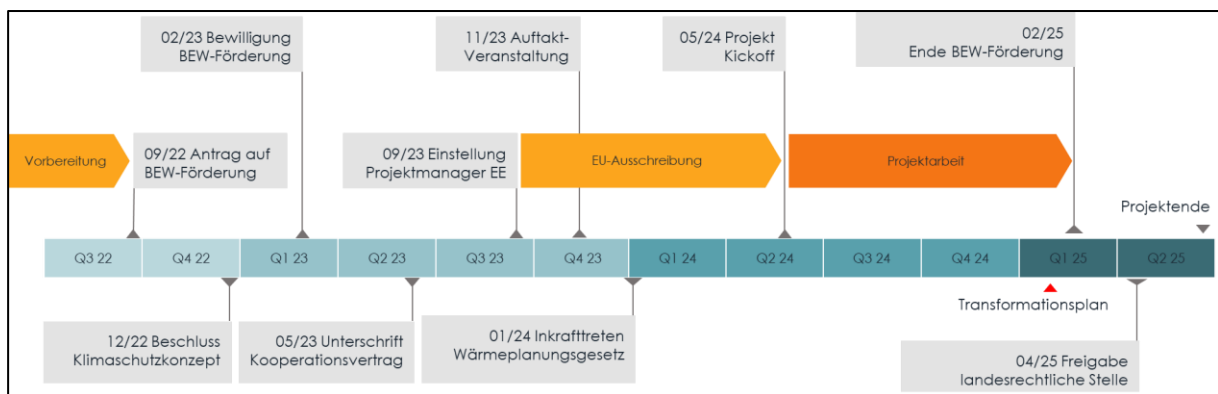


Abbildung 1: Zeitplan zum Projekt

Um die Wärmeplanung und Transformationsplanung eng verzahnt zu bearbeiten sind zahlreiche Fachgutachten Teil der Wärmeplanung, die in vier Bearbeitungsschritten erstellt werden.

Die vier Phasen der Wärmeplanung sind die Bestandsanalyse, Potenzialanalyse, Szenarioentwicklung und Erarbeitung der Wärmewendestrategie. Diese setzen sich als Ergebnisse aus den Fachgutachten zusammen. Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die vier Phasen inkl. der Fachgutachten und Terminplanung.

	2024						2025			
	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	
Projektauftritt	14.05.24 Auftakt									
Phase 1 Bestandsanalyse FG Gebäude- und Wärmeplanung	FG Gebäude und Wärmeplanung									
Phase 2 Potentialanalyse FG Großwärmepumpen FG Tiefengeothermie FG Abwärme / Abkälte FG Freiflächensolar FG Großwärmespeicher FG Wärmenetze / dezentrale Erz.	FG Großwärmepumpen FG Tiefengeothermie FG Abwärme / Abkälte FG Freiflächensolar FG Großwärmespeicher FG Wärmenetze FG Dezentrale Erzeugung									
Phase 3 Szenarioentwicklung FG Energiesystemmodell	FG Energiesystemmodell									
Phase 4 Wärmewendestrategie Transformationsplan FG Finanzierung	Transformationsplan FG Finanzierung									
Akteursbeteiligung	02.07.24 Fachforum 10.10.24 Bürgerforum I Anfang 2025 Bürgerforum II									
Begleitende Kommunikation und Steuerung	Sitzungen Kernteam (wöchentlich), Projektlenkungskreis/Kommunikationsteam (nach Bedarf)									
Verwendungsnachweis und Beschlussfassung										

Abbildung 2: Terminplan, Fachgutachten und Phasen des Projekts

Für die Bearbeitung hat die Stadt frühzeitig einen Projektlenkungskreis einberufen und die nachfolgend beschriebene Projektorganisation aufgebaut. Der Projektlenkungskreis gibt Zielvorgaben, nimmt Zwischen- und Endergebnisse ab. Zusätzlich ist das Kommunikationsteam für die Kommunikation und Information der Akteurinnen und Akteure sowie Bürgerinnen und Bürger eingesetzt. Für die Leitung des Projekts hat der Projektlenkungskreis einen Projektleiter bestellt der das Projekt gemeinsam mit der Generalkoordination (durch externe Beraterinnen und Berater) leitet, steuert und überwacht. Die Projektleitung hat für die inhaltliche Steuerung Unterstützung von Stadt und Stadtwerken. Gemeinsam wurde das Projekt inhaltlich durch das Kernteam bestehend aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Stadt, Stadtwerke und externen Beraterinnen und Beratern gesteuert und die gesamte inhaltliche Bearbeitung begleitet. Parallel zum Kernteam überwachte das Projektcontrollingteam Qualität, Termine, Ressourcen, Risiken und stellte damit die Zielerreichung aus Projektmanagementsicht sicher. Für jedes Fachgutachten wurde ein Projektteam einberufen um die inhaltliche Bearbeitung der Fachgutachten mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Stadt, Stadtwerke, Wohnungswirtschaft und weiteren Beteiligten inhaltlich zu begleiten und sämtliche beteiligte Interessen einzubringen.

Die nachfolgende Abbildung 3 gibt eine Übersicht zur beschriebenen Organisationsstruktur, den vier Phasen der Wärmeplanung und den Projektgruppen für die Bearbeitung der Fachgutachten.

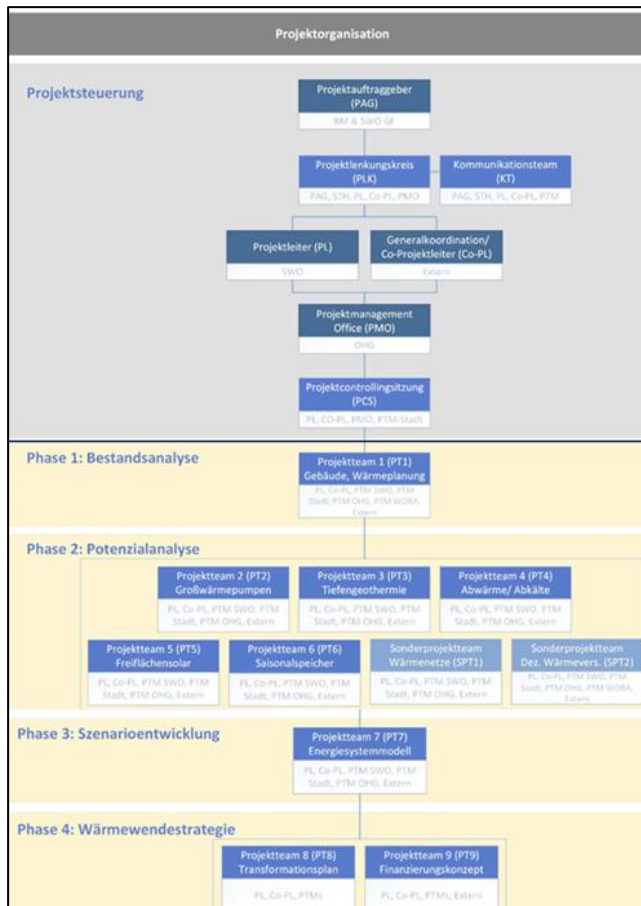


Abbildung 3: Projektorganisation, Phasen und Fachgutachten

Die inhaltliche Bearbeitung der Fachgutachten lag bei den externen Fachgutachtern als Spezialisten. Um die Zusammenarbeit zu steuern, Informationsbereitstellung sicherzustellen sowie Zwischen- und Endergebnisse abzustimmen fanden mindestens drei Treffen statt: Auftakt-, Zwischenpräsentations- und Abschlusstermin. Die Ergebnisse der Fachgutachten wurden nach dem Projektabschluss im Projektteam dem Projektleitungskreis zur Abnahme vorgestellt, um die Ergebnisse anschließend in die Wärmeplanung zu überführen.

Die Projektstruktur hat sich als äußerst geeignet herausgestellt, um die inhaltliche Bearbeitung und Steuerung des komplexen Projekts zu organisieren.

3.2 Datenaufnahme (allgemein)

Die Datenaufnahme im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung Oranienburg war ein entscheidender Schritt, um eine fundierte und detaillierte Grundlage für die verschiedenen Fachgutachten, darunter das Fachgutachten Wärmebedarf und Gebäudeenergieeffizienz, zu schaffen. Die erhobenen Daten bildeten die Basis für die Bestandsanalyse, Wärmebedarfsprognose, Potenzialermittlung und die Entwicklung von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaziele.

Datenbedarfsliste und strukturierte Erhebung

Zur effizienten Erfassung der erforderlichen Daten wurde eine umfassende Datenbedarfsliste erstellt. Diese Liste spezifizierte detailliert die Datenarten, die für die verschiedenen Fachgutachten und die Wärmeplanung benötigt wurden. Sie war in verschiedene Kategorien unterteilt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Bereiche abgedeckt wurden. Zu den erfassten Datenkategorien zählten:

- Daten zum aktuellen Wärmeverbrauch in privaten Haushalten, gewerblichen und industriellen Einrichtungen sowie in kommunalen Gebäuden.
- Informationen zur Anzahl der Gebäude, Gebäudetypen (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Gewerbe- und Industriebauten), Gebäudenutzflächen und dem Sanierungszustand.
- Daten zu den genutzten Energieträgern (Erdgas, Heizöl, Fernwärme, erneuerbare Energien) und zur bestehenden Wärmeversorgungsinfrastruktur, insbesondere zur Fernwärme.
- Daten zur Bevölkerungsentwicklung, zu geplanten Neubauprojekten und zur möglichen Zunahme der sanierten Gebäude in den kommenden Jahren.
- GIS-Daten zur Analyse der Potenziale für erneuerbare Energien.

Diese Datenbedarfsliste war nicht nur hilfreich, um eine strukturierte Erhebung sicherzustellen, sondern diente auch als Kontrollinstrument, um die Vollständigkeit und Qualität der Daten zu prüfen.

Datenquellen

Um eine vollständige und belastbare Datengrundlage zu schaffen, wurden Informationen von verschiedenen lokalen Akteurinnen und Akteuren und Institutionen erhoben:

Als einer der Hauptakteurinnen und Akteure der kommunalen Energieversorgung lieferten die Stadtwerke Oranienburg wichtige Informationen zur bestehenden Wärmeinfrastruktur und zu Verbrauchsdaten. Diese umfassten sowohl private Haushalte als auch gewerbliche und industrielle Nutzer. Zudem lieferten die Stadtwerke Daten über das bestehende Fernwärmenetz sowie die vorhandenen Nahwärmenetze und die verwendeten Energiequellen.

Von der Stadtverwaltung wurden städtebauliche Plandaten, Bevölkerungsprognosen und Zukunftsprojekte aus dem INSEK 2035+ (Integriertes Stadtentwicklungskonzept) bereitgestellt. Diese Daten waren besonders wichtig, um den zukünftigen Neubaubedarf und die Stadtentwicklung in den Prognosen zu berücksichtigen. Zudem wurden Daten zu kommunalen Liegenschaften und ihrer Energieeffizienz sowie zur Nutzung erneuerbarer Energien erfasst. Ein weiterer wichtiger Baustein waren die GIS-Daten zur Analyse der Freiflächen u. a. zur Nutzung von Solarthermie.

Die Wohnungswirtschaft, insbesondere WOBA und OWG, die die größten Bestandhalter in Oranienburg sind, stellten detaillierte Informationen über den Sanierungsstand der Gebäude, die Gebäudenutzflächen und den Wärmeverbrauch zur Verfügung. Diese Daten waren essenziell, um den energetischen Zustand des Gebäudebestandes zu erfassen und gezielte Sanierungspotenziale zu identifizieren.

Einige große industrielle und gewerbliche Verbraucherinnen und Verbraucher wurden angefragt, Daten zu ihren Energieverbräuchen, den eingesetzten Energieträgern und den vorhandenen Wärmeerzeugungsanlagen bereitzustellen. Mit Unterstützung der IHK Potsdam wurden Industrie- und Gewerbeunternehmen angefragt einen Fragebogen zu Energie- und Wärmeverbräuchen auszufüllen. Zudem wurde ein Fachforum für Unternehmen durchgeführt, bei dem Unternehmen informiert wurden und ein Austausch stattfinden konnte. Mit einigen wenigen Unternehmen konnten im Anschluss Einzelgespräche vereinbart werden, bei denen auch Informationen ausgetauscht wurden. Diese Informationen waren besonders wichtig, um die Industrie- und Gewerbestruktur im Stadtgebiet zu verstehen und die spezifischen Anforderungen an die zukünftige Wärmeversorgung in diesen Sektoren zu berücksichtigen. Zudem sind die Ergebnisse in die weiteren Fachgutachten eingeflossen, insbesondere in das Fachgutachten Abwärme und Abkälte.

Von den Schornsteinfegern wurden aggregierte Daten zu dezentralen Feuerstätten erhalten, aus denen Versorgungsarten entnommen und Gebäuden zugeordnet werden konnten. Zudem wurden weitere Versorgungsbetriebe wie die Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg (NBB) oder der Niederbarnimer Wasser- und Abwasserzweckverband (NWA Zehlendorf), die uns aggregierte Verbrauchsdaten für die gasversorgten Gebäude bzw. den Verlauf des Abwassernetzes in den Ortsteilen Schmachtenhagen, Wensickendorf und Zehlendorf lieferten.

Datenzusammenführung und Auswertung

Nach der Erhebung der Daten wurden diese in einem systematischen Prozess zusammengeführt und auf ihre Kohärenz und Vollständigkeit geprüft. Die gesammelten Daten wurden anschließend für die Bestandsanalyse, die Erstellung der Wärmebedarfsprognose sowie die Potenzialermittlung verwendet.

Die systematische und detaillierte Datenaufnahme war ein zentraler Baustein der Kommunalen Wärmeplanung Oranienburg. Sie lieferte die notwendigen Informationen, um fundierte Analysen und Prognosen zu erstellen, die der Stadt helfen, ihren Wärmebedarf langfristig effizient, nachhaltig und klimafreundlich zu gestalten. Die enge Zusammenarbeit mit den Stadtwerken, der Stadtverwaltung, der Wohnungswirtschaft sowie den Versorgungs- und Industrieunternehmen war entscheidend, um eine belastbare Datengrundlage zu schaffen. Auf dieser Basis können nun gezielte Maßnahmen entwickelt werden, um die Wärmewende erfolgreich umzusetzen und die CO₂-Neutralität bis 2040 zu erreichen.

3.3 Akteursbeteiligung und Kommunikation

Im Rahmen der Wärmeplanung erfolgt die Beteiligung der relevanten Akteurinnen und Akteure über unterschiedliche Formate. Dabei gilt es einerseits, diese in die Erarbeitung der Wärmeplanung und die Datenbereitstellung einzubinden, aber auch bereits umgesetzte Maßnahmen zu identifizieren und die Akteurinnen und Akteure als Gestalter der Wärmewende in Oranienburg zu gewinnen.

Über die Projektorganisation sind bereits wesentliche Akteurinnen und Akteure der Stadt, Stadtwerke und Wohnungswirtschaft eingebunden, die sich in den Projektleitungskreis und die Facharbeitsgruppen mit einbringen.

Im Rahmen der Wärmeplanung Oranienburg kommen darüber hinaus weitere Formate der Beteiligung relevanter Gruppen zur Anwendung. Zur Beteiligung von Industrie und Gewerbe wurde in enger Abstimmung mit der IHK eine Fragebogenaktion zur Datenerhebung durchgeführt. Oranienburger Unternehmen wurden zu einem Fachforum eingeladen in dem über die Wärmeplanung, die erhobenen Daten, mögliche Maßnahmen und die erwarteten Ergebnisse als Grundlage für die zukünftige Wärmeplanung für Oranienburger Unternehmen berichtet.

Mit einzelnen Unternehmen gab es im Nachgang Einzelinterviews, um deren Energie- und Wärmebedarfe, umgesetzte und mögliche Maßnahmen im Detail zu besprechen.

Für die Akteurinnen und Akteure der Wohnungswirtschaft wurde auch ein Fragebogen an diese versendet, die zurückgemeldeten Daten wurden ausgewertet und im Rahmen der Bestands- und Potenzialanalyse mit aufgenommen. Mit der WOBA und OWG gab es außerdem Einzelinterviews, um die Daten zum Gebäudebestand, energetischen Zustand, den bereits umgesetzten Maßnahmen und weiteren geplanten Sanierungsmaßnahmen im Detail zu besprechen.

Für die Bürgerinnen und Bürger und alle interessierten Beteiligten wurden außerdem öffentliche Bürgerinnen- und Bürgerinformationsveranstaltungen organisiert. Bei diesen wurde über den Stand der Wärmeplanung berichtet und die Möglichkeit geboten Fragen zu stellen.

Zur Beteiligung der Träger öffentlicher Belange ist zum Abschluss der Wärmeplanung eine öffentliche Einsichtnahme der Ergebnisse geplant.

Über Pressemeldungen, die Webseite der Stadt und Stadtwerke wurde außerdem zu unterschiedlichen Zeitpunkten über den Stand der Wärmeplanung berichtet.

3.4 CO₂-Bilanzierung

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung für die Stadt Oranienburg spielt die CO₂-Bilanzierung eine zentrale Rolle. Sie liefert eine fundierte Grundlage zur Bewertung der aktuellen Klimabelastung und zeigt Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG) im Wärmebereich auf. Um eine einheitliche und vergleichbare Datenerhebung sowie die Berechnung der CO₂-Emissionen sicherzustellen, wurde die Bilanzierung nach dem „BISKO“-Standard (Bilanzierungs-Systematik Kommunal) durchgeführt.

Der BISKO-Standard teilt die CO₂-Bilanzierung in verschiedene Sektoren auf, um eine möglichst genaue und sektorspezifische Erhebung zu gewährleisten. Folgende Sektoren werden gemäß BISKO-Standard empfohlen:

- Private Haushalte: Emissionen, die durch die Heizung und Warmwasserbereitstellung in Wohngebäuden entstehen.
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD): Emissionen, die im gewerblichen und öffentlichen Bereich durch die Wärmenutzung verursacht werden.
- Industrie: Emissionen aus industriellen Prozessen und deren Wärmebedarf.
- Kommunale Einrichtungen: Die Emissionen der öffentlichen Gebäude und Infrastrukturen, wie Schulen, Verwaltungsgebäude und Sporteinrichtungen, die von der Kommune betrieben werden. In Oranienburg werden hier ebenso die öffentlichen Gebäude, die vom Landkreis verwaltet werden, erfasst.

Für die Bilanzierung wird der Energieverbrauch der verschiedenen Sektoren erhoben und in CO₂-Emissionen umgerechnet.

Besonderheiten der Bilanzierung in Oranienburg

Die CO₂-Bilanzierung nach BISKO wurde für die gesamte Stadt Oranienburg durchgeführt, einschließlich ihrer acht Ortsteile. Aufgrund der ländlichen Prägung der Außenbereiche und des teilweise hohen Anteils an Einfamilienhäusern variieren die Wärmebedarfe und damit die CO₂-Emissionen zwischen den Ortsteilen erheblich.

Die Bilanzierung nach BISKO ist ein kontinuierlicher Prozess, der in den kommenden Jahren fortgesetzt wird. Die regelmäßig aktualisierten CO₂-Bilanzen werden dabei helfen, den Fortschritt der Maßnahmen zur Dekarbonisierung des Wärmesektors in Oranienburg zu überprüfen und neue Einsparpotenziale zu identifizieren. Ziel ist es, die Treibhausgasemissionen im Wärmebereich durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien und die Optimierung der Energieeffizienz nachhaltig zu senken.

4 Bestandsanalyse

Die Bestandsanalyse bildet den zentralen ersten Schritt im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung und stellt die Basis für die Erarbeitung eines zukunftsorientierten Wärmekonzepts dar. Gemäß den Vorgaben des Wärmeplanungsgesetzes ist jede Kommune verpflichtet, eine detaillierte Erfassung und Auswertung des energetischen Zustands ihres Gebäudebestands sowie der bestehenden Energieinfrastruktur vorzunehmen. Dabei liegt der Fokus auf der Identifizierung von Potenzialen zur Energieeinsparung, der Bewertung der aktuellen Wärmeversorgung sowie der Prüfung von Möglichkeiten zur Integration erneuerbarer Energien.

Für die Stadt Oranienburg, die sich aus acht Ortsteilen zusammensetzt und eine heterogene Struktur aus städtischer und ländlicher Bebauung aufweist, stellt diese Analyse eine besondere Herausforderung dar. Die insgesamt 34.983 Gebäude, verteilt auf die Kernstadt und die angrenzenden Ortsteile, müssen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs, der vorhandenen Heiztechnologien und des Sanierungsbedarfs untersucht werden. Ziel der Bestandsanalyse ist es, fundierte Daten zur Wärmeversorgung und den daraus resultierenden Emissionen zu erheben, um so die Grundlage für eine klimaneutrale und sozialverträgliche Wärmeversorgung bis 2040 zu schaffen.

Begriffserklärung:

Energiebedarf = bilanzierte/ berechnete Verbrauchsdaten

Energieverbrauch = reale Verbrauchsdaten

Aus diesem Grund unterscheiden sich Energieverbrauch und Energiebedarf voneinander. Beide Ergebnisse sind hinsichtlich ihrer Bezugsgröße korrekt.

4.1 Gebäudestruktur

Die Analyse der Gebäudestruktur ist Kern der Bestandsanalyse im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung. Eine detaillierte Untersuchung der Gebäudetypologie, der Baualtersklassen sowie der Siedlungsentwicklung ermöglicht es, die energetischen Eigenschaften der Gebäude präzise zu erfassen und gezielt Potenziale für energetische Optimierungen zu identifizieren.

In Oranienburg zeigt sich eine vielfältige Gebäudelandschaft. Diese umfasst eine breite Palette an Gebäudetypen, von Einfamilienhäusern über Mehrfamilienhäuser bis hin zu gewerblich genutzten Gebäuden, die sich sowohl in der Kernstadt als auch in den Ortsteilen befinden. Die Baualtersklassen sind ebenfalls breit gefächert und spiegeln unterschiedliche Bauphasen wider, von Vorkriegsbauten bis hin zu modernen Neubauten. Dies führt zu einer großen Vielfalt in den energetischen Standards und in der Qualität der Wärmedämmung.

Darüber hinaus ist die Siedlungsentwicklung ein zentraler Aspekt, um zu verstehen, wie sich die Besiedlungsstruktur auf die Wärmeversorgung auswirkt. In der Kernstadt dominieren verdichtete Wohnquartiere, während in den Ortsteilen wie Schmachtenhagen und Zehlendorf eher lockere Bebauungsstrukturen mit Einfamilienhäusern vorherrschen. Diese Unterschiede beeinflussen die Effizienz von Wärmenetzen und die Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien erheblich.

Die im Folgenden detailliert dargestellten Analysen der Gebäudetypologie, Baualtersklassen und der Siedlungsentwicklung liefern die Grundlage für die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur energetischen Sanierung und zur Optimierung der Wärmeversorgung in Oranienburg.

4.1.1 Typologie

Die Gebäudetypologie in Oranienburg bildet die Grundlage für die Wärmeplanung und ist ein zentraler Faktor zur Ermittlung des Energiebedarfs sowie der Sanierungspotenziale. Eine genaue Analyse der Typologie ermöglicht es, differenzierte Maßnahmen zu entwickeln, die auf die spezifischen Anforderungen der unterschiedlichen Gebäudetypen zugeschnitten sind.

In Oranienburg gibt es insgesamt 14.317 Wohngebäude und 5.384 Nichtwohngebäude mit Wärmebedarf, was die große Bandbreite der Nutzungsarten und Strukturen verdeutlicht. Die Wohngebäude umfassen Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser sowie Reihenhäuser, die sowohl in den verdichteten städtischen Gebieten als auch in den ländlich geprägten Außenbereichen zu finden sind. Einfamilienhäuser dominieren dabei in den Ortsteilen wie Wensickendorf, Zehlendorf und Schmachtenhagen, während in der Kernstadt und den angrenzenden Stadtteilen wie Lehnitz und Sachsenhausen verstärkt Mehrfamilienhäuser vorherrschen.

Die Nichtwohngebäude setzen sich aus einer Vielzahl von Gewerbeimmobilien, öffentlichen Gebäuden wie Schulen und Verwaltungsgebäuden sowie Sonderbauten wie Krankenhäusern und Einkaufszentren zusammen. Diese Gebäude haben einen besonders differenzierten Energiebedarf, der stark von der Nutzung abhängt. Während bei Wohngebäuden der Wärmebedarf meist konstant und berechenbar ist, zeigen Nichtwohngebäude oft größere Schwankungen im Energieverbrauch, je nach Nutzungsart und Betriebszeiten.

Ein besonderer Aspekt der Analyse der Gebäudetypologie ist die Heterogenität der Wärmebedarfe. Die spezifischen Wärmebedarfe pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche sind über das gesamte Stadtgebiet ungleich verteilt. Es gibt nur wenige Baublöcke, die einen außergewöhnlich hohen Wärmebedarf aufweisen, was auf den teils fortgeschrittenen Stand der Sanierung im Stadtgebiet hinweist. In vielen Bereichen der Stadt, insbesondere in den Wohnquartieren, wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, die den Energieverbrauch deutlich gesenkt haben. Trotzdem gibt es noch Gebiete, in denen der Sanierungsbedarf hoch ist und in denen die Gebäude nicht den aktuellen energetischen Standards entsprechen.

Diese Heterogenität stellt für die kommunale Wärmeplanung eine besondere Herausforderung dar. Es gilt, sowohl den Bedarf an energetischen Sanierungen zu ermitteln als auch die Potenziale für die Nutzung erneuerbarer Energien in den verschiedenen Gebäudetypen zu identifizieren. Beispielsweise bieten Mehrfamilienhäuser in urbanen Gebieten aufgrund ihrer größeren Dachflächen häufig gute Voraussetzungen für die Installation von Solaranlagen oder die Integration in Nah- und Fernwärmenetze, während sich für Einfamilienhäuser in ländlichen Bereichen oft individuelle Lösungen wie Wärmepumpen eignen. Insgesamt ist die Gebäudetypologie in Oranienburg sehr vielfältig und erfordert eine differenzierte Betrachtung im Rahmen der Wärmeplanung. Durch die genaue Erfassung der verschiedenen Gebäudetypen und deren spezifischen Energiebedarfe können maßgeschneiderte Strategien zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur Erhöhung der Energieeffizienz entwickelt werden.

4.1.2 Baualtersklassen

Die Baualtersklassen der Gebäude in Oranienburg sind ein entscheidender Faktor zur Bewertung des energetischen Zustands der Gebäude und damit ein zentrales Element in der kommunalen Wärmeplanung. Die Gebäude in Oranienburg wurden in verschiedenen Phasen der Siedlungsentwicklung errichtet, die jeweils unterschiedliche Anforderungen an die Energieeffizienz und den Wärmeschutz hatten. Dies beeinflusst den heutigen Energieverbrauch maßgeblich und gibt Hinweise auf den Sanierungsbedarf der Gebäude.

Eine zentrale Erkenntnis aus der Bestandsanalyse ist die starke Konzentration der Gebäude auf bestimmte Baualtersklassen. Ein Blick auf die Verteilung der Baualtersklassen, basierend auf den Zensus-Daten 2022, zeigt, dass rund 35 % der Wohngebäude in Oranienburg vor 1949 errichtet wurden. Diese Gebäude wurden in einer Zeit erbaut, in der es noch keine oder nur sehr geringe gesetzliche Anforderungen an den Wärmeschutz gab. Diese Gebäude sind in der Regel energetisch ineffizient und weisen einen hohen Wärmebedarf auf. Sie sind oft nicht oder nur unzureichend gedämmt und bieten daher ein großes Potenzial für energetische Sanierungsmaßnahmen, die sowohl den Wärmebedarf senken als auch den Wohnkomfort erhöhen.

Die zweite bedeutende Baualtersklasse umfasst die Gebäude, die zwischen 1950 und 1989 errichtet wurden. In dieser Phase, insbesondere nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs, wurden viele Wohn- und Gewerbebauten errichtet, um den wachsenden Bedarf an Wohnraum zu decken. Diese Gebäude machen laut Zensus 2022 etwa 21 % des Wohngebäudebestands aus und wurden in einer Phase errichtet, in der erste gesetzliche Regelungen zum Wärmeschutz eingeführt wurden. Dennoch sind auch diese Gebäude oft nicht auf dem Stand der modernen Energieeffizienzanforderungen, was sie zu einem weiteren Schwerpunkt für mögliche Sanierungen macht. Die verwendeten Baumaterialien und Bauweisen dieser Zeit entsprechen oft nicht mehr den heutigen Standards, was zu einem vergleichsweise hohen Energieverbrauch führt.

Im digitalen Zwilling konzentrieren sich der Großteil der Gebäude in Oranienburg auf die Baujahre 1979 bis 1983. Dies ist jedoch nicht nur durch eine tatsächliche Bautätigkeit in dieser Zeit zu erklären, sondern durch die systembedingte Erfassung von Gebäuden ohne genaues Baujahr. Für Gebäude, deren Baujahr nicht eindeutig bekannt ist, wird im digitalen Zwilling das Jahr 1983 als Referenzwert genutzt, da dies den gemittelten Wärmebedarf von Gebäuden in Oranienburg am besten widerspiegelt und somit als repräsentativer Wert für den energetischen Zustand vieler Gebäude dient. Dies führt jedoch dazu, dass über 50 % der Gebäude in dieser Baualtersklasse zu finden sind, was in der Auswertung als verzerrendes Element zu berücksichtigen ist. Um zumindest für die Wohngebäude einen Vergleichswert liefern zu können, wurden die Zensus-Daten von 2022 verwendet. Diese Vergleichswerte sollten bei der Analyse berücksichtigt werden, um Maßnahmen gezielt auf den tatsächlichen Bauzustand der Gebäude abzustimmen.

Nach Zensus 2022 wurden in dem Jahrzehnt vor und nach der deutschen Wiedervereinigung 9 bzw. 16 % der Wohngebäude erbaut. In dieser Zeit wurden die energetischen Standards deutlich erhöht und viele Neubauten dieser Zeit entsprechen bereits den heutigen Anforderungen an Wärmedämmung und Energieeffizienz. Ab dem Jahr 2000 wurde etwa 28 % des heutigen Wohngebäudebestands errichtet. Diese neueren Gebäude entsprechen in der Regel den aktuellen Standards in Bezug auf Wärmedämmung und Energieeffizienz und tragen somit nur in geringem Maße zum Gesamtwärmebedarf der Stadt bei.

Die folgende Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Baualtersklassen für Gebäude mit Wohnnutzung in Oranienburg, basierend auf den Zensus-Daten 2022, und verdeutlicht die Aufteilung des Gebäudebestands auf die verschiedenen Bauperioden:

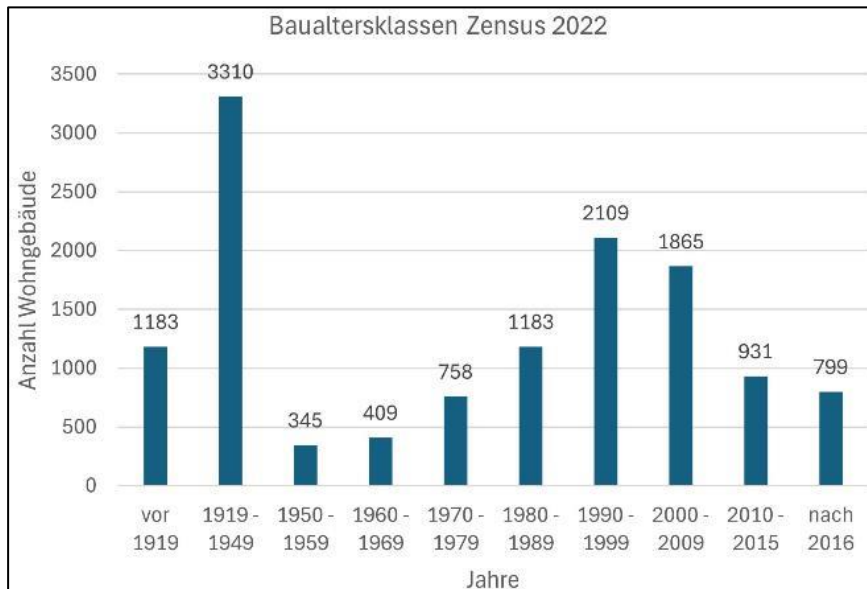


Abbildung 4: Baualtersklassen für Wohngebäude (Daten: Zensus 2022)

Zusätzlich zeigt die Abbildung 5 die Konzentration der Baujahre 1979 bis 1983. Diese entsteht dadurch, dass das Jahr 1983 im digitalen Zwilling genutzt wird, um den Wärmebedarf von Gebäuden mit unbekanntem Baujahr zu schätzen. Diese methodische Besonderheit führt zu einer überproportional hohen Anzahl von Gebäuden, die in dieser Baualtersklasse erfasst sind:

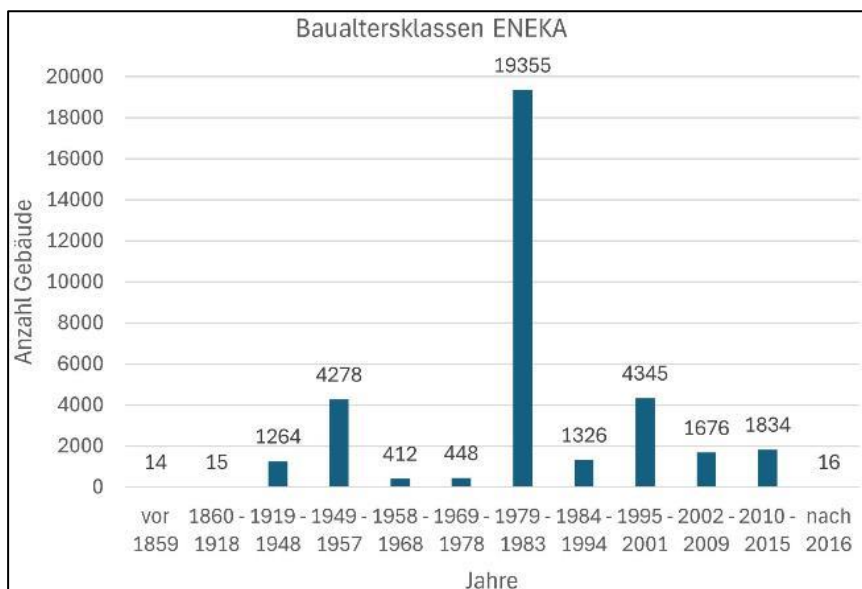


Abbildung 5: Baualtersklassen aller Gebäude (Daten: ENEKA Energiekartografie)

Die Verteilung der Baualtersklassen bietet wichtige Hinweise darauf, welche Gebäudegruppen priorisiert werden sollten, um den Wärmebedarf zu senken und die Energieeffizienz in Oranienburg zu steigern. Besonders ältere Gebäude aus der Zeit vor 1949 sowie Gebäude aus der Nachkriegszeit bis 1989 erfordern eine umfassende energetische Sanierung. Diese Maßnahmen könnten die Wärmeverluste erheblich reduzieren und somit zur Erreichung der Ziele einer klimaneutralen Wärmeversorgung beitragen.

4.2 Struktur Wärmeversorgung / Energieversorgung

Die Analyse der bestehenden Struktur der Wärme- und Energieversorgung ist ein wesentlicher Bestandteil der kommunalen Wärmeplanung und bildet die Grundlage für die zukünftige Entwicklung einer nachhaltigen und klimafreundlichen Energieversorgung in Oranienburg. Eine fundierte Untersuchung der vorhandenen Versorgungsinfrastrukturen ist notwendig, um den aktuellen Zustand zu bewerten und Potenziale für Optimierungen und Erweiterungen zu identifizieren.

In Oranienburg wird die Wärmeversorgung durch ein komplexes Netz aus verschiedenen Energieträgern und Infrastrukturen gewährleistet. Dazu zählen bestehende Wärmenetze, die vor allem in der Kernstadt und den dichter besiedelten Ortsteilen eine wichtige Rolle spielen. Ergänzt wird diese Infrastruktur durch das Gasnetz, das weite Teile des Stadtgebiets abdeckt und einen Großteil der Haushalte und Gewerbe mit Erdgas versorgt. Hinzu kommen zahlreiche individuelle Erzeugungsanlagen, die in den äußeren Ortsteilen verbreitet sind. Diese basieren oft auf fossilen Brennstoffen, aber auch zunehmend auf erneuerbaren Energien wie Holzpellets oder Wärmepumpen.

Der folgende Abschnitt widmet sich der detaillierten Analyse dieser bestehenden Strukturen. Es werden die Verteilung und der Ausbauzustand der Wärmenetze und Gasnetze untersucht, sowie die Rolle sonstiger Erzeugungsanlagen und Energieträger betrachtet. Ziel ist es, eine belastbare Grundlage zu schaffen, auf der zukünftige Maßnahmen zur Dekarbonisierung und Effizienzsteigerung im Wärmebereich aufgebaut werden können.

4.2.1 Wärmenetze

Die Wärmenetze in Oranienburg stellen eine zentrale Komponente der Wärmeversorgung dar und sind insbesondere in der Kernstadt und den angrenzenden Ortsteilen von Bedeutung. Die Stadtwerke Oranienburg betreiben zwei Hauptheizzentralen, die das Fernwärmenetz mit Wärme versorgen. Diese Heizkraftwerke befinden sich in der Klagenfurter Straße und der Kremmener Straße. Beide Anlagen sind mit Kraft-Wärme-Kopplung ausgestattet und nutzen als primäre Energieträger Erdgas und Erdöl. Die maximale thermische Leistung der beiden Heizkraftwerke beträgt 41 MW, was eine stabile Wärmeversorgung der angeschlossenen Gebäude gewährleistet.

Neben diesem großen Fernwärmenetz gibt es in Oranienburg auch mehrere kleinere Nahwärmenetze, die spezifische Quartiere versorgen. Diese Netze befinden sich beispielsweise in der Kaserne Lehnitz, an der Neckarstraße und an der Mathias-Thesen-Straße. In Schmachtenhagen existiert ein weiteres Nahwärmenetz, das durch eine Biogasanlage gespeist wird und von der Schmachtenhagener Biogas GmbH betrieben wird. Diese Biogasanlage hat eine elektrische Leistung von 778 kW sowie eine thermische Leistung von 844 kW und versorgt ein kleines Quartier. Damit zeigt sich, dass in Oranienburg bereits erste Schritte unternommen wurden, um erneuerbare Energien in die Wärmeversorgung zu integrieren.

Das Fernwärmenetz in der Kernstadt selbst umfasst etwa 21.000 Trassenmeter, was es zu einem der bedeutendsten Infrastruktureile der Wärmeversorgung macht. Aufgrund der Dichte der Bebauung und der Vielzahl an Mehrfamilienhäusern in der Kernstadt bietet das Fernwärmenetz eine besonders effiziente Lösung zur Wärmeverteilung.

Es ist jedoch deutlich, dass die Fernwärme noch aus fossilen Quellen gespeist wird und mittelfristig eine Umstellung auf erneuerbare Energieträger erforderlich ist, um die Klimaziele und die gesetzlichen Vorgaben zu erreichen.

Die kleineren Nahwärmenetze, wie sie in Lehnitz oder Schmachtenhagen existieren, könnten als Modell für eine dezentrale und nachhaltige Energieversorgung in anderen Teilen Oranienburgs dienen.

Die zukünftige Entwicklung der Wärmenetze in Oranienburg muss sich an den Zielen der CO₂-Reduktion orientieren. Hierfür ist ein schrittweiser Übergang von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien erforderlich. Maßnahmen könnten die schrittweise Ersetzung der bestehenden Erdgas- und Erdölanlagen durch Biomasse, Solarthermie oder Geothermie umfassen. Diese Transformation würde nicht nur zur Klimaneutralität beitragen, sondern auch die Versorgungssicherheit erhöhen, da erneuerbare Energien weniger abhängig von globalen Energiepreisschwankungen sind. Darüber hinaus kann so ein großer Teil der Wertschöpfung bei der Wärmeversorgung vor Ort erfolgen.

4.2.2 Gasnetze

Das Gasnetz in Oranienburg spielt eine bedeutende Rolle in der Wärmeversorgung, insbesondere in Gebieten, die nicht an das Fern- oder Nahwärmenetz angeschlossen sind. Das Gasnetz ist in zwei Bereiche aufgeteilt: Zum einen wird die Kernstadt sowie die Ortsteile Lehnitz und Sachsenhausen von den Stadtwerken Oranienburg (SWO) mit Gas versorgt. Zum anderen deckt das Gasnetz des Netzbetreibers NBB (Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg) die äußeren Ortsteile Germendorf, Malz, Friedrichsthal, Schmachtenhagen, Zehlendorf und Wensickendorf ab.

Das Gasnetz stellt eine zentrale Energiequelle für Haushalte dar, die auf individuelle Heizlösungen setzen, besonders in den ländlicheren Ortsteilen, wo zentrale Wärmenetze nicht wirtschaftlich sind. Traditionell basiert die Gasversorgung in diesen Gebieten auf Erdgas, einem fossilen Brennstoff, der zwar effizient in der Anwendung ist, aber erheblich zu den CO₂-Emissionen beiträgt. Mit Blick auf die kommunalen Klimaziele und den angestrebten Übergang zu klimaneutralen Energieträgern wird jedoch mittelfristig eine Umstellung der Gasinfrastruktur notwendig sein.

Eine potenzielle Strategie zur Dekarbonisierung des Gasnetzes könnte die Einführung von grünen Gasen wie Biogas oder Wasserstoff sein. Die Integration solcher klimafreundlichen Gase würde es ermöglichen, die bestehende Infrastruktur weitgehend weiter zu nutzen, während gleichzeitig die Treibhausgasemissionen reduziert werden. Erste Schritte in diese Richtung sind bereits in Schmachtenhagen zu beobachten, wo die Biogasanlage nicht nur ein Nahwärmenetz speist, sondern auch perspektivisch als Modell für eine breitere Nutzung von Biogas dienen könnte.

Die Herausforderung für die Zukunft liegt darin, den Übergang von fossilem Erdgas zu erneuerbaren Gasen zu gestalten und dabei gleichzeitig die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Investitionen in die Modernisierung und Umrüstung des Gasnetzes werden notwendig sein, um es an die Anforderungen einer klimaneutralen Versorgung anzupassen. Gleichzeitig sollten Strategien entwickelt werden, um in Gebieten, in denen keine zentralen Wärmenetze vorhanden sind, alternative Lösungen wie Wärmepumpen oder Hybridheizsysteme zu fördern.

4.2.3 Sonstige Erzeugungsanlagen und Energieträger

Neben den zentralen Wärme- und Gasnetzen spielen in Oranienburg eine Reihe weiterer Energieträger und Erzeugungsanlagen eine wichtige Rolle in der Wärmeversorgung. Diese dezentralen Systeme sind insbesondere in den ländlichen Ortsteilen verbreitet und ergänzen die fossile Versorgung durch alternative Energieträger. Ihre Bedeutung wird in den kommenden Jahren weiter steigen, da die Dekarbonisierung und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien eine zentrale Rolle in der kommunalen Wärmeplanung einnehmen werden.

Die Wärmeversorgung in Oranienburg erfolgt bisher überwiegend auf der Basis fossiler Energieträger. Laut der aktuellen Bestandsanalyse entfallen der Großteil des Wärmeverbrauchs auf Erdgas, das etwa 770 GWh pro Jahr zur Versorgung beiträgt.

Die Fernwärme hat dagegen mit 63 GWh/a einen geringen Anteil an der Wärmeversorgung der Stadt Oranienburg. Weitere fossile Energieträger wie Heizöl werden noch in einigen Gebieten eingesetzt und machen etwa 59 GWh des Wärmeverbrauchs aus, während kleinere Mengen an Flüssiggas (4 GWh) und Braunkohle (4 GWh) verwendet werden.

Trotz der überwiegend fossilen Struktur gibt es in Oranienburg auch eine zunehmende Nutzung von erneuerbaren Energieträgern. So spielen Holzpellets eine kleine, aber wachsende Rolle, insbesondere in den ländlichen Gebieten, wo sie als Alternative zu Öl- und Gasheizungen eingesetzt werden. Der Verbrauch an Holzpellets beträgt derzeit etwa 3 GWh pro Jahr. Auch Wärmepumpen werden zunehmend installiert, vor allem in Neubauten und umfassend sanierten Gebäuden, die über gute Dämmstandards verfügen. Der derzeitige Beitrag der Wärmepumpen zum Gesamtwärmeverbrauch liegt bei etwa 0,49 GWh, was noch gering ist, aber in den kommenden Jahren stark ansteigen dürfte.

Ein weiteres Potenzial für die Dekarbonisierung liegt in der verstärkten Nutzung von Biogas. Die Biogasanlage in Schmachtenhagen, die bereits ein kleines Nahwärmenetz versorgt, kann als Modell für die künftige Erweiterung der Biogasnutzung dienen.

Interessanterweise zeigt die Analyse, dass Heizstrom mit 17 GWh einen signifikanten Teil des Wärmeverbrauchs ausmacht. Dies deutet darauf hin, dass elektrischen Heizlösungen, die oft ineffizient sind, noch in einigen Bereichen verwendet werden. Angesichts der steigenden Elektrifizierung im Wärmesektor, etwa durch Wärmepumpen, könnte sich der Anteil von Heizstrom ändern, sollte dieser durch effizientere, erneuerbare Lösungen ersetzt werden.

Die Herausforderung für Oranienburg besteht darin, die bestehenden fossilen Energieträger schrittweise durch erneuerbare Alternativen zu ersetzen, ohne dabei die Versorgungssicherheit zu gefährden. Dies erfordert nicht nur den Ausbau erneuerbarer Energieerzeugungsanlagen, sondern auch gezielte Investitionen in die Modernisierung der Heizsysteme auf Haushaltsebene, insbesondere in den ländlichen Gebieten. In Kombination mit einer verstärkten Nutzung von Biogas, Wärmepumpen und Geothermie kann Oranienburg eine nachhaltige Wärmeversorgung sicherstellen, die den Anforderungen des Klimaschutzes gerecht wird.

4.3 Energie- und Treibhausgasbilanz

Die Ermittlung der Energie- und Treibhausgasbilanz ist ein zentrales Element der kommunalen Wärmeplanung. Sie bietet eine umfassende Bestandsaufnahme des aktuellen Energiebedarfs und -verbrauchs sowie der damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Diese Bilanzierung ist entscheidend, um den Ist-Zustand der Energieversorgung in Oranienburg zu bewerten und potenzielle Maßnahmen zur Reduktion von CO₂-Emissionen abzuleiten.

Der vorliegende Abschnitt analysiert den aktuellen Wärmebedarf und -verbrauch, der sowohl durch zentrale Wärmenetze als auch durch dezentrale Heizsysteme gedeckt wird. Weiterhin wird der Strombedarf berücksichtigt, da eine zunehmende Elektrifizierung, etwa durch den Einsatz von Wärmepumpen, Auswirkungen auf den gesamten Energieverbrauch hat.

Besonders wichtig ist die Betrachtung der resultierenden CO₂-Emissionen, die durch den Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas, Heizöl und Kohle entstehen. Durch die Bilanzierung des Status quo wird deutlich, in welchen Bereichen die größten Emissionen verursacht werden und wo die größten Potenziale zur Reduktion liegen. Diese Analyse legt somit die Grundlage für die Planung konkreter Maßnahmen, um Oranienburg auf den Weg zur Klimaneutralität zu bringen.

4.3.1 Ist-Zustand

Um die Energie- und Treibhausgasbilanz Oranienburgs fundiert darzustellen, werden die Daten in verschiedenen Bereichen erfasst und ausgewertet. Die Bilanzierung kann dabei nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen, wie zum Beispiel nach Wirtschaftssectoren oder den Funktionen der Gebäude. Eine detaillierte Aufschlüsselung ermöglicht es, den Energieverbrauch und die Emissionen zielgerichtet zu analysieren und gezielte Maßnahmen abzuleiten.

Eine wichtige Unterteilung erfolgt nach den Gebäudefunktionen, die in Wohnen (private Haushalte), Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD), Industrie und kommunale Einrichtungen kategorisiert werden. Diese Sektoren unterscheiden sich stark hinsichtlich ihres Energiebedarfs und ihrer CO₂-Emissionen, was in der Tabelle 1 mit dem Jahresendenergiebedarf veranschaulicht wird. Zum Zeitpunkt der Untersuchung beträgt der Jahresendenergiebedarf in Oranienburg 845,2 GWh.

Tabelle 1: Jahresendenergiebedarf in Oranienburg, nach Sektoren (absolut, spezifisch pro Gebäudenutzfläche sowie pro Einwohnerin und Einwohner)

Sektor	Ist [GWh/a]	Ist [kWh/m ²]	Ist [MWh/EW]
Private Haushalte	623,0	105,6	12,6
GHD/ Sonstige	137,9	23,4	2,8
Industrie	61,9	10,5	1,3
Kommunale Einrichtungen	22,4	3,8	0,5

Erläuterungen zur Tabelle mit dem Jahresendenergiebedarf pro Einwohnerin und Einwohner aufgeteilt in Sektoren nach dem BSKO-Standard:

- Private Haushalte (Ein- und Mehrpersonenhaushalte, einschließlich der Personen in Gemeinschaftsunterkünften)

- GHD/ Sonstige (alle bisher nicht erfassten wirtschaftlichen Betriebe – Gewerbe, Handel, Dienstleistungen sowie Betriebe des Bergbaus, der Gewinnung von Steinen und Erden, dem verarbeitenden Gewerbe mit weniger als 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und landwirtschaftliche Betriebe)
- Industrie (Betriebe des verarbeitenden Gewerbes)
- Kommunale Einrichtungen (Verwaltungsgebäude der Stadt und vom Land Brandenburg, Schulen, Kindertagesstätten und Straßenbeleuchtung)

Darüber hinaus spielt die Wahl der Energieträger eine wesentliche Rolle in der Bilanz. Fossile Brennstoffe wie Erdgas, Heizöl und Kohle tragen wesentlich stärker zur CO₂-Belastung bei als erneuerbare Energien oder effiziente Heizsysteme wie Wärmepumpen. Die Tabelle 2 zeigt den aktuellen Anteil der verschiedenen Energieträger und unterstreicht, wie stark fossile Energien in Oranienburg noch genutzt werden. Nutzer erneuerbarer Energien und moderner Technologien wie Wärmepumpen haben einen wesentlich geringeren Einfluss auf die CO₂-Bilanz als diejenigen, die fossile Energieträger verwenden.

Die Angaben sind über alle Sektoren, damit sind auch die Kennzahlen pro m² und Einwohnerin und Einwohner inkl. Industrie. Aus der Tabelle wird deutlich, dass regenerative Energien bisher nur zu einem geringen Anteil genutzt werden.

Tabelle 2: Jahresendenergiebedarf in Oranienburg für die Wärmeversorgung, nach Energieträgern (absolut, spezifisch pro Gebäudenutzfläche sowie pro Einwohnerin und Einwohner)

Energieträger	Ist [GWh/a]	Ist [kWh/m ²]	Ist [kWh/EW]
Abwärme EE	0	0	0
Abwärme konventionell	0	0	0
Biogas	0,5	0,08	9,6
Umweltwärme	0,1	0,02	1,6
Biomasse (Holzpellets)	3,3	0,56	66,8
Solarthermie	0	0	0
Braunkohle	3,7	0,63	74,6
Steinkohle	0,1	0,01	1,3
Flüssiggas	4,6	0,78	92,5
Heizöl	81,7	13,85	1.651,1
Fernwärme	79,8	13,53	1.613,0
Erdgas	643,6	109,08	13.005,6
Heizstrom	25,1	4,26	507,9

Die Transformation der Wärmeversorgung hin zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung muss Schritt-für-Schritt den Anteil an erneuerbaren Energieträgern wie Abwärme, Biogas, Umweltwärme, Biomasse und Solarthermie erhöhen. Dies muss im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung in den nächsten Schritten betrachtet werden.

Zusätzlich gibt die Tabelle 3 einen Überblick über den gesamten Energieverbrauch sowie die damit verbundenen Treibhausgasemissionen in Oranienburg.

Diese Zusammenstellung bietet eine klare Grundlage, um die größten Emissionsquellen zu identifizieren und zu priorisieren, welche Maßnahmen zur Senkung des CO₂-Ausstoßes am effektivsten sind.

Tabelle 3: Energiebedarfe und Emissionen (gesamt), summiert über alle Gebäude in Oranienburg

Parameter	Wert	Einheit	Beschreibung
Gebäudenutzfläche	5.887.124,93	m ²	Gebäudenutzfläche AN nach DIN V 18599
Gebäudegrundfläche	3.627.867,45	m ²	Fläche des kompletten unteren Gebäudeabschlusses
Energiebedarf	736,96	GWh/a	Summe der bilanzierten Nutzenergiebedarfe (Wärme- und Strombedarf)
Endenergiebedarf	845,23	GWh/a	Summe der bilanzierten Endenergiebedarfe (Wärme- und Strombedarf)
Endenergiebedarf pro Einwohner*in	14,89	MWh/Kopf	Summe der bilanzierten Nutzenergiebedarfe (Wärme- und Strombedarf) / Einwohner*innenzahl
Energieverbrauch	1.151,41	GWh/a	Summe der bilanzierten und/oder gemessenen Endenergieverbräuche (Wärme + Strom)
Energieverbrauch pro Einwohner*in	23,27	MWh/Kopf	Summe der bilanzierten und/oder gemessenen Endenergieverbräuche (Wärme + Strom) / Einwohner*innenzahl
Emissionen (gesamt)	358,21	kt CO ₂ /a	Summe der THG-Emissionen (auf Basis bilanzierter und/oder gemessener Endenergieverbräuche (Wärme + Strom)) (CO ₂ -Äquivalente)
Emissionen pro Kopf	7,24	t CO ₂ /Kopf	Summe der THG-Emissionen (auf Basis bilanzierter und/oder gemessener Endenergieverbräuche (Wärme + Strom)) (CO ₂ -Äquivalente) / Einwohner*innenzahl

Energiebedarfe sind dabei ausschließlich bilanzierte Nutzenergiebedarfe. Energieverbräuche stellen Endenergiebedarfe bzw. -verbräuche dar und beinhalten vom Nutzer eingetragene Energieverbräuche und/oder bilanzierte Endenergiebedarfe für die Gebäude, welchen kein Endenergieverbrauch zugeordnet wurde. Die THG-Emissionen basieren auf den Endenergieverbräuchen jeweils für Wärme und Strom, summiert über alle Gebäude im Untersuchungsgebiet.

In Abbildung 6 ist die räumliche Verteilung der Verursacher von Emissionen dargestellt. Berücksichtigt wurden die Gesamtemissionen für Wärme und Strom. Ein Beispiel für Verursacher können Betriebe oder im Allgemeinen die Gebäude sein. Die wirklichen Emittenten, wie z. B. Kraftwerke einer zentralisiert organisierten Energieversorgung, können woanders verortet sein.

Diese umfassende Analyse des Ist-Zustands zeigt auf, welche Sektoren und Energieträger den größten Handlungsbedarf haben. Sie bildet damit die Grundlage für eine zielgerichtete und effektive Planung der nächsten Schritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen und klimaneutralen Wärmeversorgung in Oranienburg.

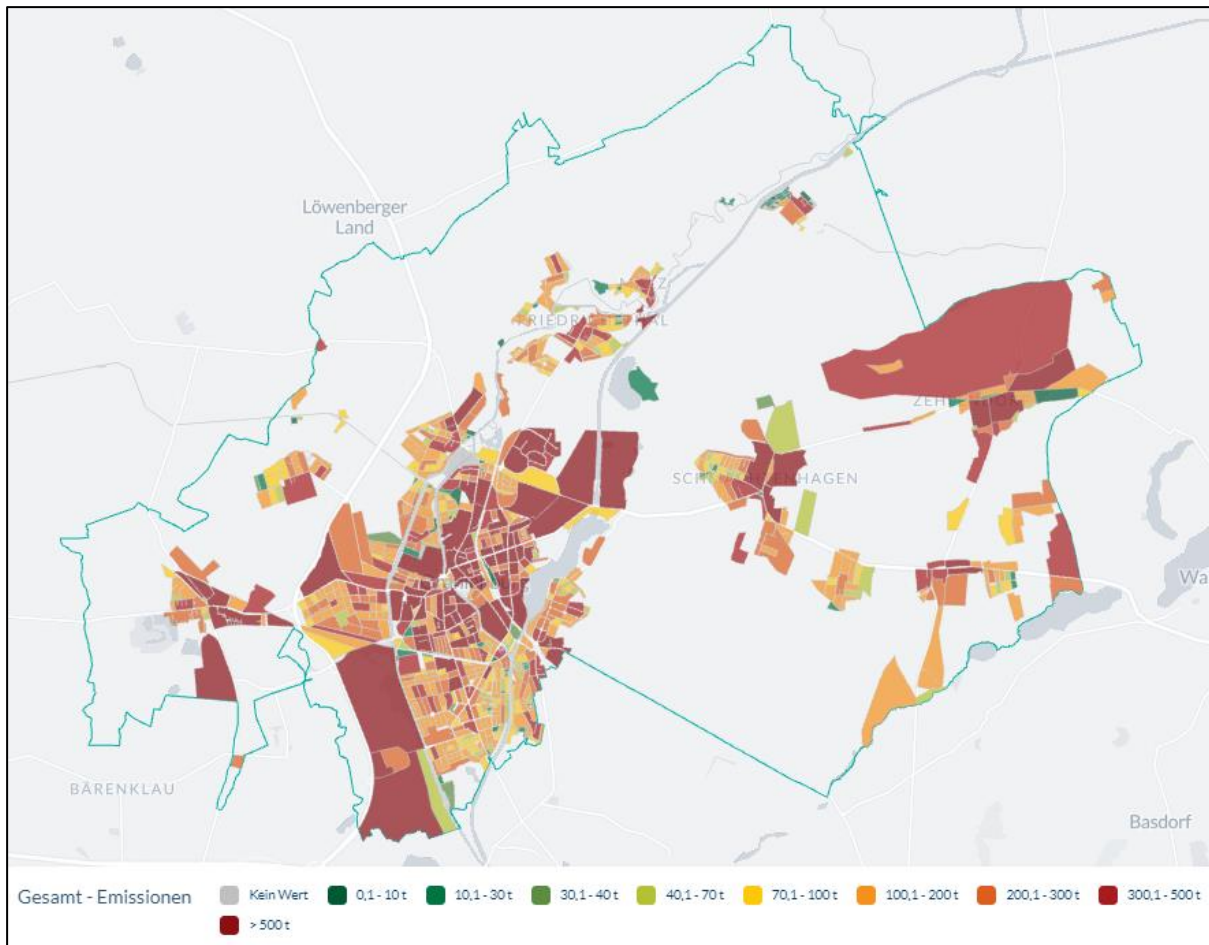


Abbildung 6: Räumliche Verteilung der THG-Emissionen nach dem Verursacherprinzip (Quelle ENEKA Energiekartografie, Stand: 30.09.2024)

4.3.2 Endenergiebedarfe Wärme und Strom

Im Rahmen der Kommunalen Wärmeplanung Oranienburgs bildet die Analyse der Endenergiebedarfe für Wärme und Strom einen zentralen Bestandteil. Der Endenergiebedarf beschreibt die tatsächlich von den Endnutzern verbrauchte Energiemenge, die nach Umwandlungs- und Verteilungsverlusten zur Verfügung steht. Die Betrachtung dieser Bedarfe ist essenziell, um den energetischen Ist-Zustand der Stadt zu erfassen und eine fundierte Grundlage für die Entwicklung von Maßnahmen zur Reduktion von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen zu schaffen. Dabei fließen sowohl die Anforderungen an Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme als auch der Strombedarf für Haushalte, Gewerbe, Industrie und kommunale Einrichtungen in die Betrachtung ein. In Anbetracht der heterogenen Struktur Oranienburgs, die von urbanen Bereichen in der Kernstadt bis hin zu ländlich geprägten Ortsteilen reicht, müssen unterschiedliche Verbrauchsmuster und bauliche Gegebenheiten berücksichtigt werden, um eine zielgerichtete und nachhaltige Wärme- und Energieversorgung für die Zukunft zu planen.

Die Tabelle 4 stellt den Jahresendenergiebedarf für Wärme und Strom von Wohngebäuden in Oranienburg dar, differenziert nach Wohngebäudetypen. Es wird deutlich, dass der Energiebedarf je nach Gebäudetyp variiert. Ausgenommen wird der Wohngebäudetyp Hochhaus, da dieser nicht in ausreichender Relevanz in Oranienburg vorhanden ist.

Einfamilienhäuser weisen demnach mit 221,4 kWh/m² den höchsten spezifischen Endenergiebedarf pro Quadratmeter auf, gefolgt von Mehrfamilienhäusern mit 216,1 kWh/m². Im Vergleich dazu haben große Mehrfamilienhäuser und sonstige Wohngebäude mit 146,1 kWh/m² bzw. 154,8 kWh/m² niedrigere Bedarfe.

Tabelle 4: Jahresendenergiebedarf für Wohngebäude in Oranienburg pro m² Wohnfläche und pro Einwohnerin und Einwohner

Wohngebäudetyp	Endenergie [kWh/m ² Wohnfläche]	Endenergie [kWh/EW]
Einfamilienhaus	221,4	18.289,9
Großes Mehrfamilienhaus	146,1	6.089,3
Hochhaus	715,5	28.989,2
Mehrfamilienhaus	216,1	13.546,8
Reihenhaus	187,4	17.060,2
Sonstige Wohngebäude	154,8	9.794,4
Gesamt	201,0	12.627,4

Die Tabelle 5 und Tabelle 6 zum Jahresendenergiebedarf in Oranienburg zeigen eine klare Differenzierung des Energieverbrauchs nach Sektoren für Wärme und Strom. Im Bereich Wärme ist der Sektor der privaten Haushalte mit einem jährlichen Bedarf von 572,5 GWh/a der größte Verbraucher, was einem spezifischen Bedarf von 97,0 kWh/m² Gebäudenutzfläche und 11,57 MWh pro Einwohnerin und Einwohner entspricht. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle der Haushalte in der Wärmeplanung. Kommunale Einrichtungen hingegen haben einen Wärmebedarf von 16,9 GWh/a, was mit einem spezifischen Bedarf von 2,9 kWh/m² und 0,34 MWh pro Einwohnerin und Einwohner verbunden ist.

Tabelle 5: Jahresendenergiebedarf in Oranienburg für Wärme, nach Sektoren absolut, spezifisch pro Gebäudenutzfläche sowie pro Einwohnerin und Einwohner

Sektor	Ist [GWh/a]	Ist [kWh/m ²]	Ist [MWh/EW]
Private Haushalte	572,5	97,0	11,57
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	107,8	18,3	2,18
Industrie	43,0	7,3	0,87
Kommunale Einrichtungen	16,9	2,9	0,34

Auch beim Stromverbrauch dominieren die privaten Haushalte mit 50,5 GWh/a, was einem spezifischen Bedarf von 8,6 kWh/m² und 1,02 MWh/EW entspricht (Tabelle 6). Diese Zahlen verdeutlichen, dass die privaten Haushalte nicht nur beim Wärmeverbrauch, sondern auch beim Strom die größten Endenergieverbraucher in Oranienburg darstellen, während andere Sektoren, insbesondere kommunale Einrichtungen, deutlich niedrigere Verbräuche aufweisen.

Tabelle 6: Jahresendenergiebedarf in Oranienburg für Strom, nach Sektoren (absolut, spezifisch pro Gebäudenutzfläche sowie pro Einwohnerin und Einwohner)

Sektor	Ist [GWh/a]	Ist [kWh/m ²]	Ist [MWh/EW]
Private Haushalte	50,5	8,6	1,02
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	30,2	5,1	0,61
Industrie	19,0	3,2	0,38
Kommunale Einrichtungen	5,5	0,9	0,11

4.3.3 THG-Emissionen

Die THG-Emissionen resultieren maßgeblich aus der Verbrennung fossiler Energieträger zur Deckung des Energiebedarfs in den Bereichen Wärme, Strom und Verkehr. Sie sind der zentrale Indikator für die klimarelevanten Auswirkungen und bilden die Grundlage für die Festlegung von Reduktionszielen. In diesem Kapitel wird eine detaillierte Analyse der aktuellen Emissionen vorgenommen, unterteilt nach den verschiedenen Sektoren wie Haushalte, Gewerbe, Industrie und kommunale Einrichtungen. Diese Analyse ermöglicht es, die größten Emissionsquellen zu identifizieren und darauf aufbauend gezielte Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen zu entwickeln.

Wie im Kapitel zum Ist-Zustand beschrieben, belaufen sich die Gesamtemissionen für Oranienburg auf 358,21 kt CO₂ pro Jahr. Umgerechnet auf die Bevölkerungszahl liegen die Emissionen bei 7,24 t CO₂ pro Person.

Die Emissionen können ebenso wie die Endenergiebedarfe auf Wärme oder Strom verteilt werden. Die Abbildung 7 zeigt die Emissionen für die Wärme in den Baublöcken. Hohe Emissionen sind in Bereichen zu finden, wo eine hohe Bebauungsdichte vorliegt oder Industrie- und Gewerbeunternehmen angesiedelt sind.

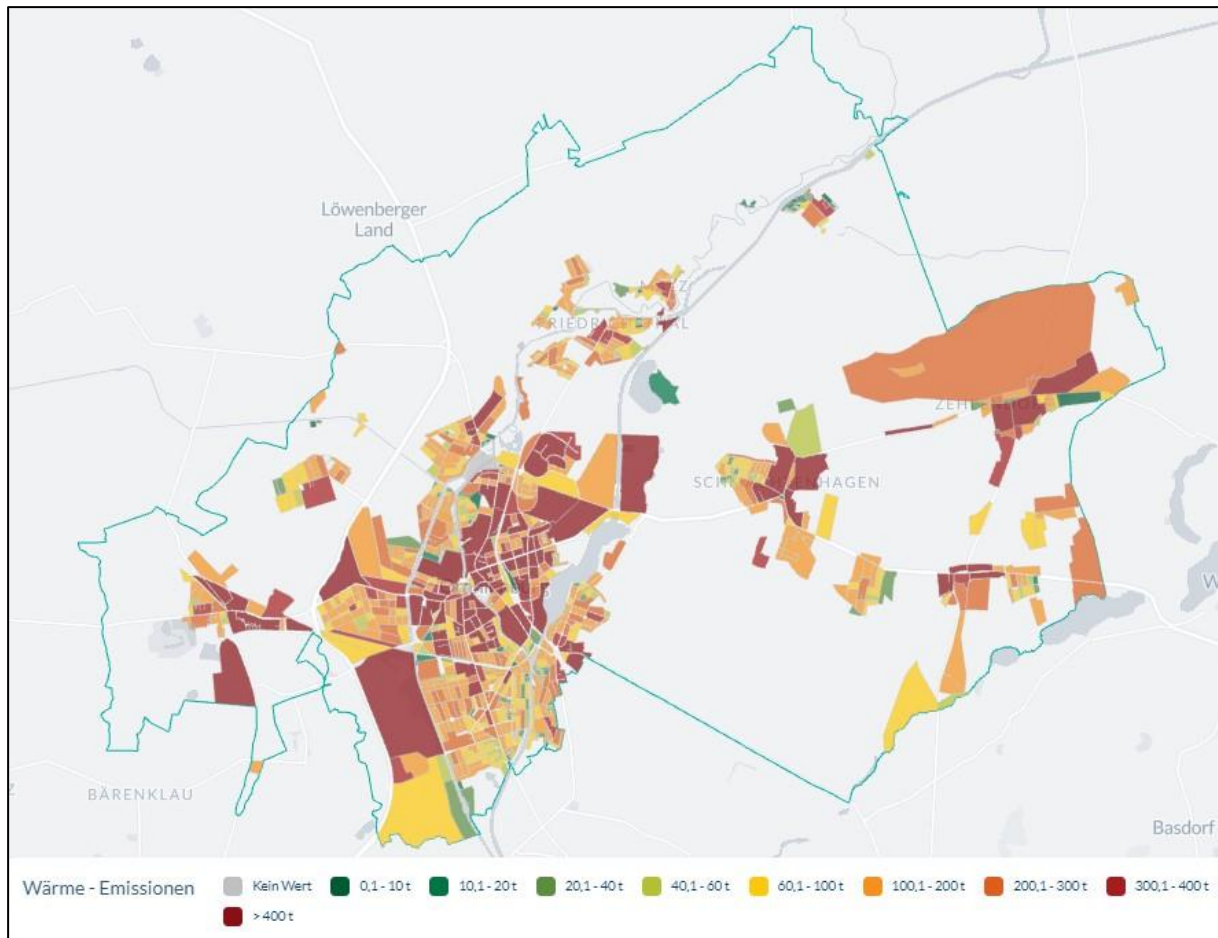


Abbildung 7: Räumliche Verteilung der THG-Emissionen für die Wärme (Quelle ENEKA Energiekartografie, Stand: 25.09.2024)

Die Abbildung 8 zur räumlichen Verteilung der Treibhausgasemissionen für Strom zeigt die unterschiedlichen Belastungen durch THG-Emissionen in den verschiedenen Ortsteilen Oranienburgs.

In der Kernstadt sowie den angrenzenden Ortsteilen wie Lehnitz und Sachsenhausen sind die Emissionen vergleichsweise höher, was auf die dichtere Besiedlung und den höheren Strombedarf sowohl in privaten Haushalten als auch im Gewerbe- und Dienstleistungsbereich zurückzuführen ist. In den äußeren Ortsteilen wie Wensickendorf oder Malz hingegen sind die THG-Emissionen pro Fläche niedriger, was die geringere Bevölkerungsdichte und den geringeren Energiebedarf widerspiegelt.

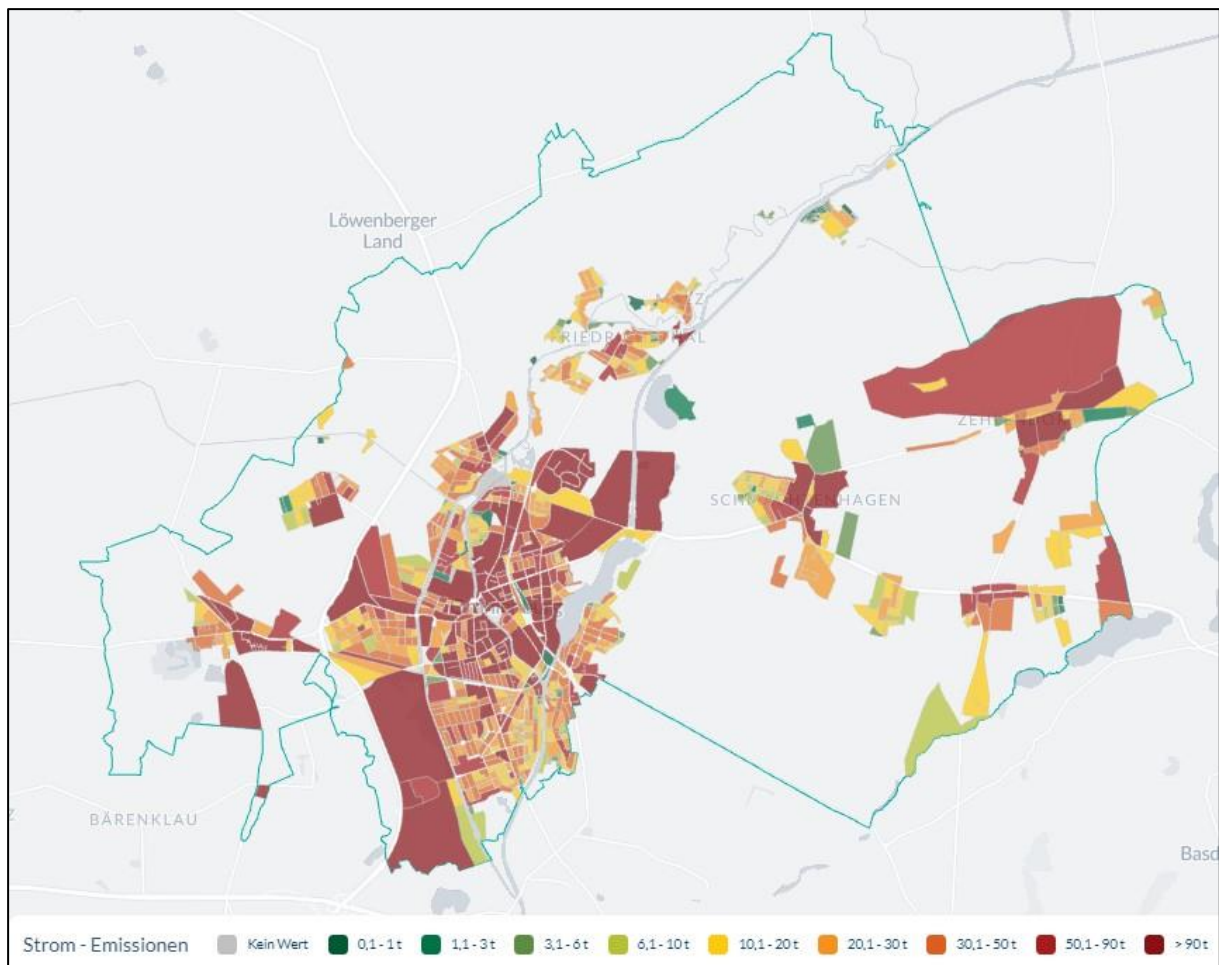


Abbildung 8: Räumliche Verteilung der THG-Emissionen für den Strom

Die Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Treibhausgasemissionen pro Einwohnerin und Einwohner in Oranienburg, differenziert nach Verbrauchssektoren nach dem BSKO-Standard. Der größte Anteil der Emissionen entfällt dabei auf die privaten Haushalte, die mit 3,18 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Kopf den höchsten Wert aufweisen. Dies spiegelt den erheblichen Energieverbrauch der Haushalte wider, insbesondere in Bezug auf Wärme und Strom. Der Industriesektor folgt mit 2,52 Tonnen CO₂ pro Einwohnerin und Einwohner, was auf den intensiven Einsatz von Energie in Produktionsprozessen zurückzuführen ist. Gewerbe, Handel und Dienstleistungen tragen mit 1,37 Tonnen CO₂ pro Kopf ebenfalls signifikant zu den Gesamtemissionen bei, wenn auch in geringerem Maße als die Haushalte oder die Industrie. Die kommunalen Einrichtungen haben mit 0,17 Tonnen CO₂ pro Einwohnerin und Einwohner den niedrigsten Emissionswert, was auf deren meist geringere Energienutzung zurückzuführen sein könnte.

Tabelle 7: Jahres-Treibhausgasemissionen pro Einwohnerin und Einwohner in Oranienburg, nach Sektoren

Sektor	Emissionen [t CO ₂ /EW]
Private Haushalte	3,18
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1,37
Industrie	2,52
Kommunale Einrichtungen	0,17

Ausgehend von dem Ist-Zustand zum Jahr 2023 wurden im Rahmen des Fachgutachtens Wärmebedarf und Gebäudeenergieeffizienz drei Szenarien für die Wärmebedarfsprognose berechnet. Diese Ergebnisse lassen sich ebenfalls in THG-Emissionen bzw. der Reduktion dieser bis zum Zieljahr 2040 darstellen. Die Tabelle 8 zeigt den prognostizierten Endenergiebedarf im Zieljahr 2040 sowie die durch die Reduktion des Energiebedarfs entstandene prozentuale Einsparung bei den THG-Emissionen.

Tabelle 8: Emissionseinsparung in drei Szenarien im Zieljahr 2040

	Endenergiebedarf [GWh/a]	Emissionseinsparungen [%]
Szenario 1	721,5	-14,6
Szenario 2	710,9	-28,2
Szenario 3	693,7	-41,1

Im Szenario 3, dem ambitioniertesten Szenario mit der höchsten Sanierungsrate und den besten Neubaustandards, können bis zu 41 % der Emissionen eingespart werden. Im Szenario 1, mit einer unveränderten Sanierungsrate und aktuellen gesetzlichen Vorlagen für Neubauten, können noch bis zu 15 % der THG-Emissionen bis 2040 eingespart werden.

Diese Einsparungen lassen sich auch auf die BSKO-Sektoren verteilen. In der Tabelle 9 sind die THG-Emissionen pro Person nach den Sektoren dargestellt. Zudem wird in

Tabelle 10 die prozentuale Einsparung pro Sektor beziffert.

Tabelle 9: Emissionen in drei Szenarien im Zieljahr 2040 nach Sektoren

Emissionen [t CO ₂ /Kopf]	Private Haushalte	GHD	Industrie	Kommunale Einrichtungen
Szenario 1	2,75	1,15	2,13	0,14
Szenario 2	2,31	0,97	1,79	0,12
Szenario 3	1,88	0,80	1,48	0,10

Tabelle 10: Emissionseinsparung in drei Szenarien im Zieljahr 2040 nach Sektoren

Emissions- einsparungen	Private Haushalte	GHD	Industrie	Kommunale Einrichtungen
Szenario 1	-13,5%	-16,1%	-15,5%	-17,6%
Szenario 2	-27,4%	-29,2%	-29,0%	-29,4%
Szenario 3	-40,9%	-41,6%	-41,3%	-41,2%

In Szenario 1, welches die geringsten Emissionsreduktionen vorsieht, werden die Emissionen in allen Sektoren leicht gesenkt, wobei die privaten Haushalte mit 2,75 t CO₂ pro Kopf weiterhin den höchsten Wert aufweisen. Die Reduktionen im Vergleich zu den aktuellen Werten betragen hier zwischen 13,5 % (private Haushalte) und 17,6 % (kommunale Einrichtungen).

In Szenario 2, welches ambitioniertere Klimaschutzmaßnahmen impliziert, sinken die Emissionen deutlicher. Private Haushalte kommen auf 2,31 t CO₂ pro Kopf, während die kommunalen Einrichtungen mit 0,12 t CO₂ am stärksten profitieren. Die Einsparungen reichen hier bis zu etwa 29 % in allen Sektoren.

Das ambitionierteste Szenario 3 sieht die größten Emissionsreduktionen vor, mit einer Senkung der Emissionen bei privaten Haushalten auf 1,88 t CO₂ pro Kopf und ähnlichen Reduktionen in den anderen Sektoren. Insgesamt werden hier Einsparungen von etwa 40 % in allen Bereichen angestrebt.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass allein die Sanierung und bessere Standards im Neubau noch nicht ausreichen, um die THG-Emissionen im Zieljahr 2040 auf 0 Tonnen zu senken. Die Transformation der Wärmeversorgung spielt eine ebenso entscheidende Rolle.

5 Ergebnisse Potenzialanalysen (Fachgutachten)

5.1 Wärmebedarf und Gebäudeenergieeffizienz

5.1.1 Einführung

Das Fachgutachten „Wärmebedarf und Gebäudeenergieeffizienz“ stellt einen essenziellen Baustein der kommunalen Wärmeplanung für Oranienburg dar. Es bildet die Grundlage für alle weiteren Schritte der Wärmeplanung, zur Optimierung der Wärmeversorgung und Erreichung der Klimaziele. Durch die umfassende Analyse des bestehenden Gebäudebestands und die Prognose des zukünftigen Wärmebedarfs in drei Szenarien bietet das Gutachten eine fundierte Entscheidungsbasis für die Entwicklung konkreter Maßnahmen zur Reduktion von CO₂-Emissionen und zur Steigerung der Energieeffizienz.

Die Ergebnisse des Fachgutachtens sind von entscheidender Bedeutung für die Wärmeplanung, da sie nicht nur den aktuellen Zustand der Gebäude und der Wärmeversorgung detailliert erfassen, sondern auch zukünftige Entwicklungen berücksichtigen. Diese Erkenntnisse fließen direkt in die Entwicklung von Szenarien und Transformationsstrategien ein. Die Ergebnisse dieses Fachgutachtens fließen zudem in die Bearbeitung der weiteren Fachgutachten ein und beeinflussen maßgeblich deren Ergebnisse, da die Auslegung von zukünftigen Versorgungsanlagen oder der Ausbau/die Verdichtung des Wärmenetzes von der Wärmebedarfsprognose für das Zieljahr 2040 abhängig sind. Durch die Verbindung der Bestandsanalyse mit den zukünftigen Anforderungen kann Oranienburg gezielt Maßnahmen ergreifen, um eine klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen und dabei gleichzeitig die Versorgungssicherheit und den Komfort der Bewohner zu gewährleisten.

Um den Wärmebedarf und die Energieeffizienz der Gebäude in Oranienburg präzise zu erfassen, wird eine systematische Methodik angewandt, die verschiedene Ebenen der Datenerhebung und -auswertung umfasst. Diese Methodik gewährleistet eine umfassende und räumlich differenzierte Analyse.

5.1.2 Datengrundlage und Methodik

Die Datengrundlage für das Fachgutachten „Wärmebedarf und Gebäudeenergieeffizienz“ basiert auf dem digitalen Zwilling von ENEKA, einem umfassenden Gebäudemodell, das auf den ALKIS-Daten (Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem) aufbaut. Diese Daten bieten eine detaillierte räumliche und strukturelle Abbildung des Gebäudebestands in Oranienburg. Zur Validierung des Modells wurden zusätzlich eine Vielzahl von Datenquellen einbezogen, um eine hohe Genauigkeit der Analyse zu gewährleisten. Dazu zählen Informationen der Stadtwerke Oranienburg und der Netzgesellschaft Berlin-Brandenburg zu Verbräuchen von Fernwärme und Gas, sowie den Wärmenetzen. Von den Schornsteinfegern wurden Informationen zu den Dezentralen Feuerstätten geliefert. Die Stadtverwaltung hat neben kommunalen Gebäudedaten auch Informationen zur Bevölkerung sowie Konzepte und Pläne, u.a. zum Wohnraumprognose, zu Industrie- und Gewerbeflächen und dem Integrierten Stadtentwicklungskonzept, geliefert. Von der WOBA und OWG, den mit insgesamt knapp 7.000 WE größten Bestandhaltern in Oranienburg, konnten Informationen zum Gebäudebestand sowie Verbrauchsdaten zur Modellvalidierung genutzt werden.

Im Gebäudemodell sind 19.701 Gebäude mit Wärmebedarf vorhanden. Davon konnte 39 % der Gebäude ein Verbrauch zu Fernwärme oder Gas sowie 39 % ein Stromverbrauch zugeordnet werden.

Bei 4 % der Gebäude konnten dezentrale Feuerstätten ergänzt werden und bei 1 % bzw. 0,6 % sind Gebäudedaten der WOBA und OWG bzw. der kommunalen Liegenschaften zur Validierung eingeflossen.

Damit konnte knapp 50 % der Gebäude zumindest ein Verbrauch oder eine Versorgungsart zugewiesen werden, wodurch im Vergleich zu anderen Wärmeplanungen eine sehr gute Datengrundlage vorliegt. Für Gebäude, für die kein Verbrauch vorliegt, wurde für die weiteren Berechnungen der Wärmebedarf genutzt. Durch diese breite Datengrundlage konnte eine präzise Abbildung des aktuellen Wärmebedarfs und der Energieeffizienz des Gebäudebestands sichergestellt werden.

Ausgehend von der sehr guten Datengrundlage, kann die Bearbeitung der Bestandsanalyse erfolgen. Die Bestandsanalyse umfasst eine detaillierte Erfassung des aktuellen Wärmebedarfs und des energetischen Zustands des Gebäudebestands in Oranienburg. Hierbei werden alle relevanten Daten zur Gebäudetypologie, dem Sanierungsstand, den vorhandenen Heizsystemen sowie den spezifischen Energieverbräuchen der Wohn- und Nichtwohngebäude erhoben. Die Ergebnisse dieser Analyse ermöglichen eine präzise Bewertung des Ist-Zustands und zeigen auf, in welchen Bereichen der größte Handlungsbedarf für Sanierungen und Effizienzsteigerungen besteht.

Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der räumlichen Darstellung dieser Daten, um gezielte Maßnahmen in den unterschiedlichen Ortsteilen Oranienburgs planen zu können. Diese differenzierte Betrachtung bildet die Grundlage für die Identifizierung von Sanierungspotenzialen und die Ableitung geeigneter Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz.

Auf Basis der Bestandsanalyse wird eine Wärmebedarfsprognose erstellt, die in drei Szenarien unterschiedliche Entwicklungen für die kommenden Jahre abbildet. Diese Szenarien ermöglichen es, verschiedene Annahmen bezüglich des Bevölkerungswachstums, der Sanierungsraten und der Energieeffizienz von Neubauten zu berücksichtigen. Die entsprechenden Parameter für die Szenarien werden in der Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Entwicklungsparameter für die drei Szenarien der Wärmebedarfsprognose

Parameter	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Abnahme Heiztage/a	1	1	1
Bevölkerungszuwachs /a	814	600	100
Jährliche Sanierungsrate	0,7 %	1 %	1,3 %
Wohnungsgröße Neubau EFH	127 m ²	127 m ²	127 m ²
spez. Wärmeverbrauch Neubau EFH	38 kWh/m ² a (GEG)	28 kWh/m ² a (BEG)	15 kWh/m ² a (Passivhaus)
Wohnungsgröße Neubau MFH	77 m ²	77 m ²	77 m ²
spez. Wärmeverbrauch Neubau MFH	35 kWh/m ² a (GEG)	25 kWh/m ² a (BEG)	15 kWh/m ² a (Passivhaus)

- **Szenario 1:** Dieses Szenario setzt auf einen Anstieg bei der Bevölkerungszunahme und berücksichtigt eine gleichbleibende Sanierungsrate. Neubauten orientieren sich an den gesetzlichen Mindeststandards des Gebäudeenergiegesetzes (GEG).
- **Szenario 2:** Hier wird auf die Fortführung der bestehenden Trends in Bezug auf Bevölkerungswachstum gesetzt sowie ein moderater Anstieg der Sanierungsrate sowie eine energieeffizientere Bauweise im Neubau berücksichtigt, basierend auf den Förderstandards der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).
- **Szenario 3:** Das ambitionierte Szenario geht von einem deutlich höheren Sanierungsfortschritt und der Umsetzung von Passivhausstandards bei Neubauten aus. Es zeigt, wie durch konsequente Maßnahmen die größten Energieeinsparungen und CO₂-Reduktionen erzielt werden können.

5.1.3 Ergebnisse

Wärmeverbrauch und Energiebedarf

Die gesamte Stadt Oranienburg hat für das Ausgangsjahr 2023 einen jährlichen Wärmeverbrauch von 922 GWh. Dieser Wert ist aus den Verbrauchsdaten und berechneten Bedarfen des Gebäudemodells kombiniert und dient in den folgenden Abbildungen und Auswertungen der Ortsteile als Grundlage. In der Abbildung 9 ist der Wärmeverbrauch auf Blockebene dargestellt.

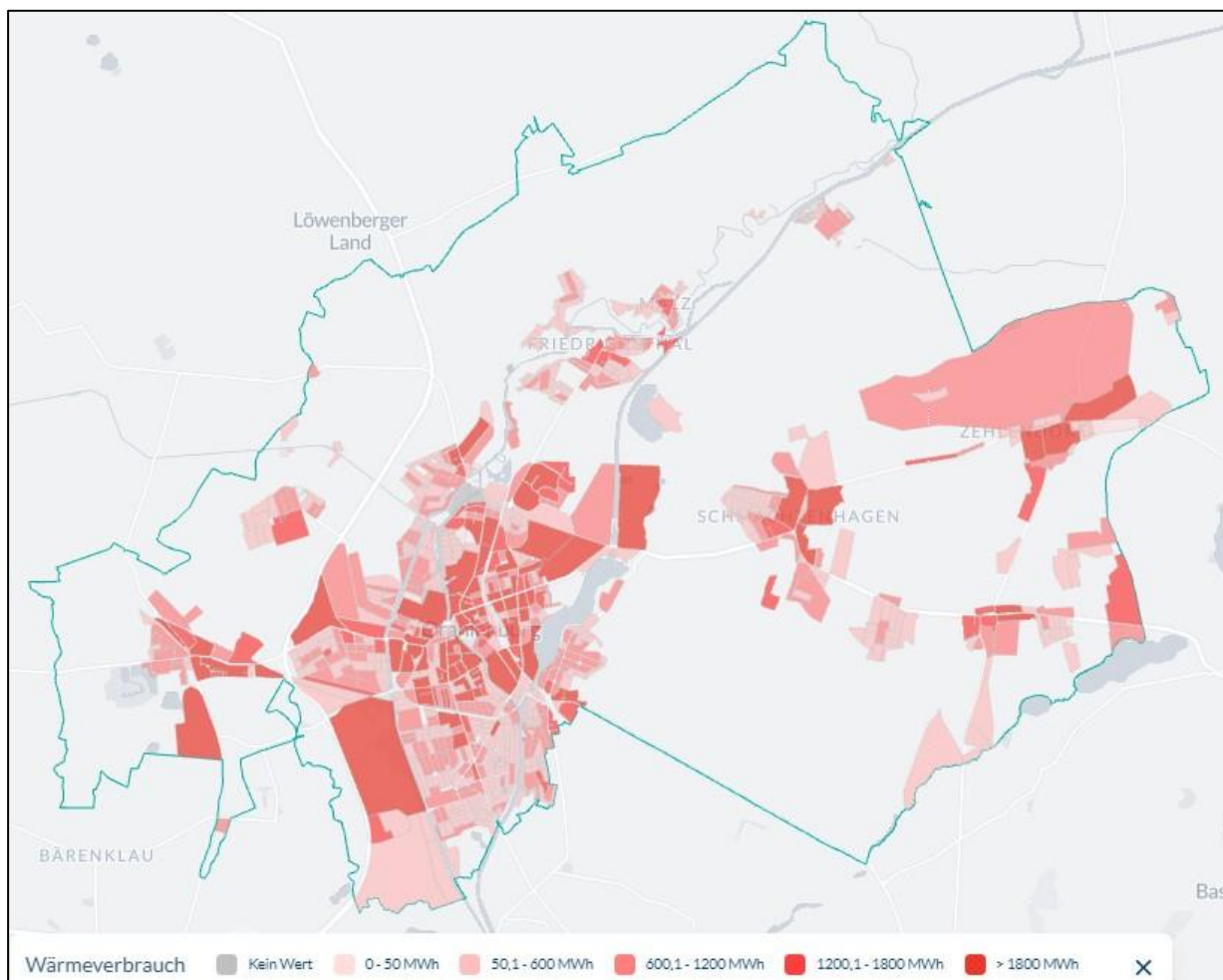


Abbildung 9: Wärmeverbrauch in MWh pro Block (Quelle: ENEKA Energiekartografie, Stand: 25.09.2024)

Mit einer Bevölkerungszahl von 49.486 Einwohnerinnen und Einwohnern im Ausgangsjahr 2023, ergibt sich ein Wärmeverbrauch von 19 MWh/Einwohnerin und Einwohner. Bezogen auf die Gebäudenutzfläche werden 157 kWh/m² Wärme verbraucht. Bei diesen Zahlen sind die Verbräuche aus dem Sektor Industrie mit einbezogen. Wird der Sektor Industrie nicht berücksichtigt, werden pro Einwohner 13 MWh Wärme verbraucht und bezogen auf die Gebäudenutzfläche 121 kWh/m².

Zur Einordnung der Wärmeverbräuche kann die Karte zu den Hauptnutzungsarten der Baublöcke herangezogen werden. Die überwiegende Gebäudenutzung ist in der Abbildung 10 dargestellt.

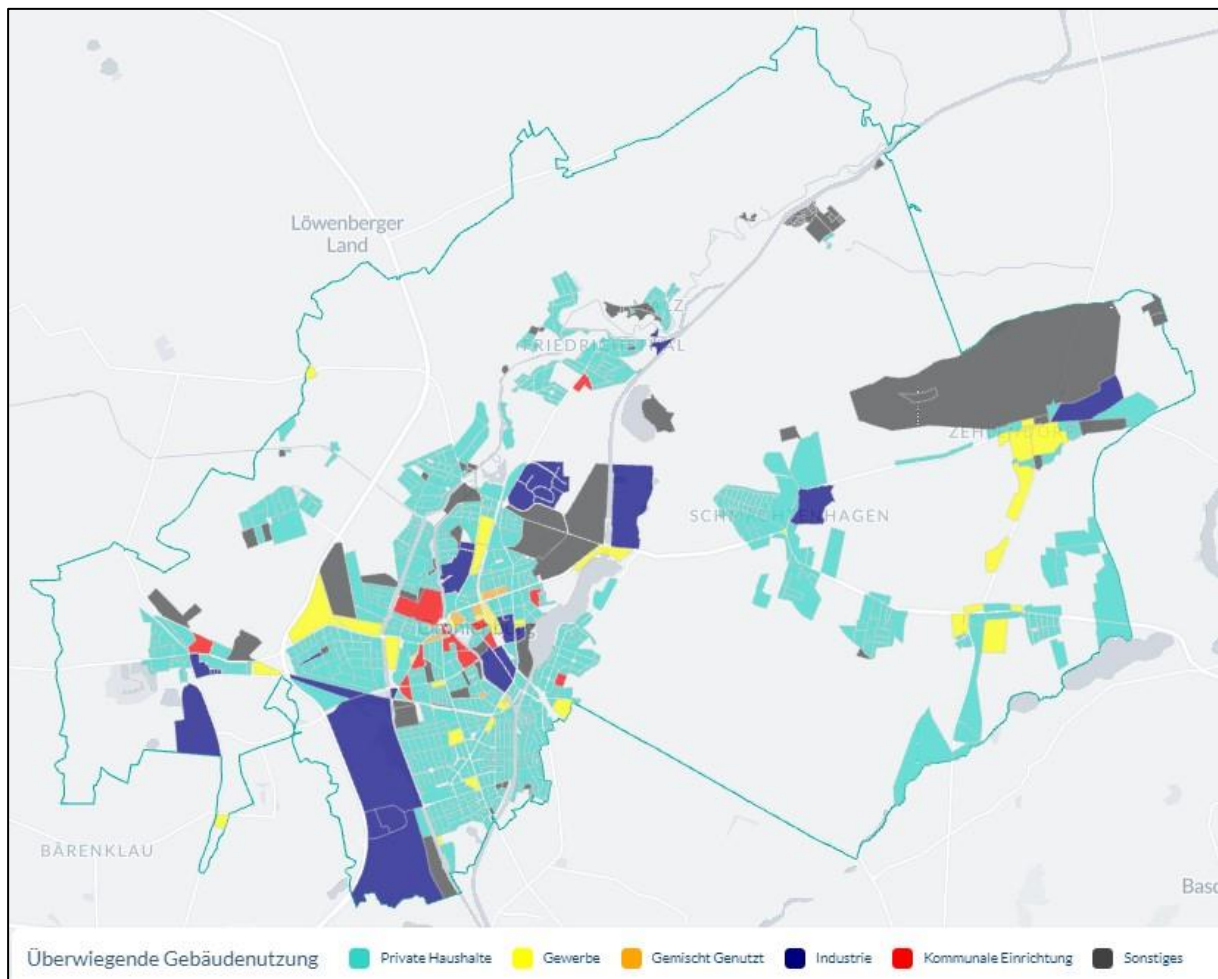


Abbildung 10: Überwiegende Gebäudenutzung pro Block (Quelle ENEKA Energiekartografie, Stand: 25.09.2024)

Baublöcke mit überwiegend Gebäuden zur Nutzung durch Industrie und Gewerbe sind blau bzw. gelb eingefärbt. Die Baublöcke mit überwiegend kommunaler Nutzung sind rot und Private Haushalte türkis markiert. In der Kernstadt sind einige Baublöcke durch kommunale Liegenschaften geprägt, aber die meisten Baublöcke sind vorwiegend durch private Haushalte genutzt.

Die Überlagerung des Wärmeverbrauchs mit der Karte zu den Hauptnutzungsarten zeigt, dass Baublöcke mit den höchsten Verbräuchen zum Teil auch Baublöcke sind, in denen hauptsächlich Industrie- und Gewerbeunternehmen ansässig sind. Zudem sind hohe Verbräuche hauptsächlich in der Kernstadt sowie auch in den Zentren der Ortsteile zu finden, die vorwiegend private Haushalte als Gebäudenutzung aufweisen.

Der Wärmeverbrauch setzt sich aus verschiedenen Energiequellen zusammen. Die Abbildung 11 zeigt die überwiegenden Energieträger auf Baublockebene.

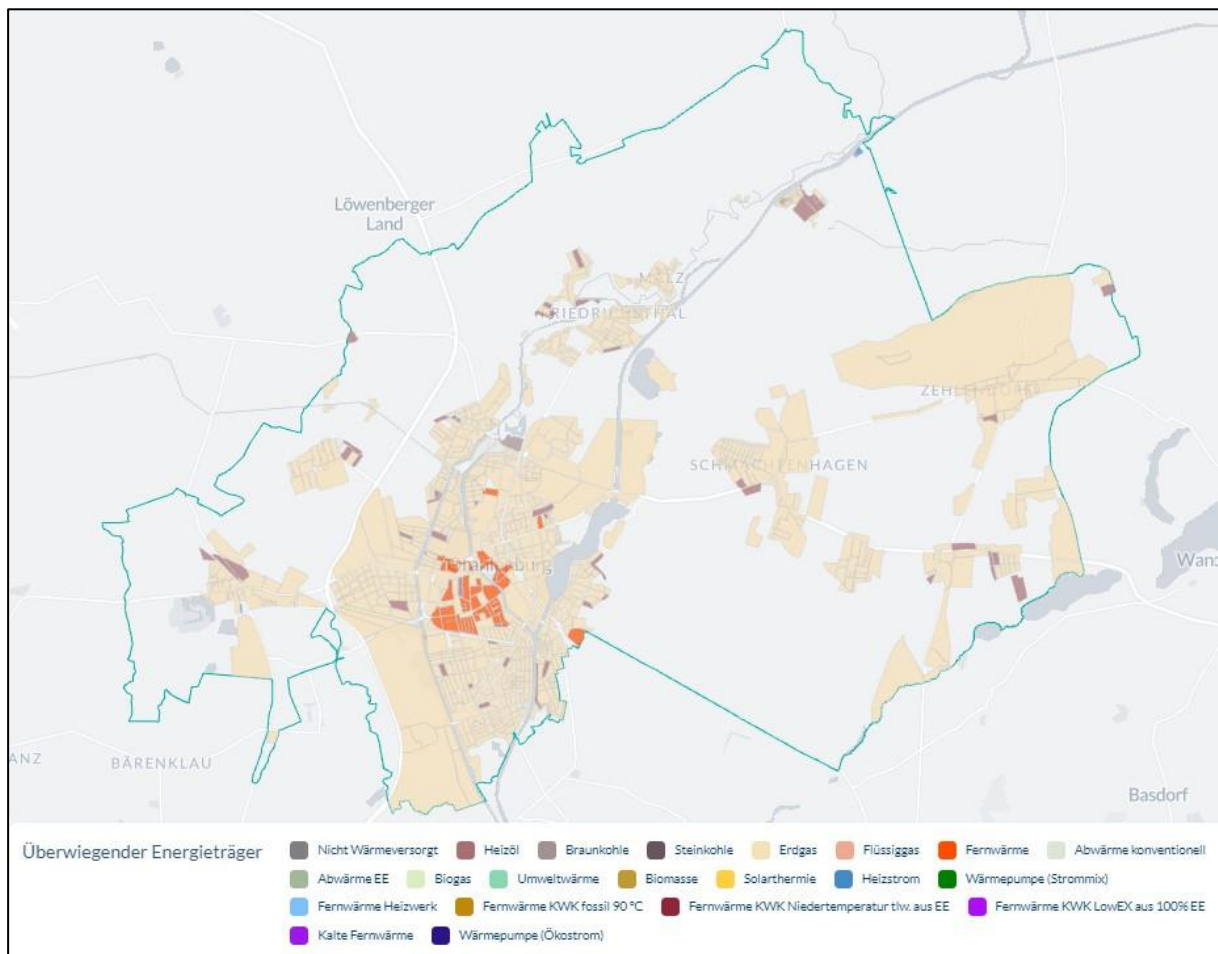


Abbildung 11: Überwiegender Energieträger pro Block (Quelle ENEKA Energiekartografie, Stand: 25.09.2024)

Erdgas dominiert mit 770 GWh, was etwa einem Anteil von 84 % des gesamten Wärmeverbrauchs entspricht. Fernwärme wird hauptsächlich in der Kernstadt genutzt, aber mit 63 GWh ist sie im Vergleich zu Erdgas noch unterrepräsentiert. Weitere genutzte Energieträger sind:

- Heizöl: 59 GWh,
- Heizstrom: 17 GWh,
- Flüssiggas: 4 GWh,
- Braunkohle 4 GWh,
- Holzpellets 3 GWh.

Weiterhin gibt es einen kleinen Anteil der Energieträger Biogas, Steinkohle und Wärmepumpen, die zusammen unter 0,5 GWh liegen.

Der Gesamtenergieverbrauch (Wärme und Strom) der Stadt liegt bei 1.151 GWh/a, wobei der Stromverbrauch 229 GWh/a ausmacht. Der Vergleich mit dem ermittelten Energieverbrauch aus dem Klimaschutzkonzept für das Jahr 2018, zeigt zunächst eine große Differenz der beiden Werte.

Im Klimaschutzkonzept wurde ein Energieverbrauch von 891 GWh/a ermittelt, allerdings sind dort auch keine Verbräuche eingeflossen und es handelt sich lediglich um einen bilanzierten Wert. Für eine Vielzahl der Gebäude wurden Verbrauchsdaten hinterlegt, die einen enormen Einfluss auf den ermittelten Energieverbrauch haben.

Eine Hochrechnung der übermittelten Verbräuche auf die wärmeversorgten Gebäude zeigt, dass der angegebene Gesamtenergieverbrauch von 1.151 GWh/a, ermittelt aus Verbrauchsdaten und berechneten Bedarfen, durchaus plausibel ist. Die Verteilung des Wärmeverbrauchs auf die BSKO Sektoren zeigt, dass private Haushalte mit 512 GWh/a den größten Anteil tragen, gefolgt von der Industrie mit 386 GWh/a und dem Gewerbe, Handel, Dienstleistungen mit 224 GWh/a. Kommunale Einrichtungen nehmen nur 29 GWh/a in Anspruch. Die Übersicht der derzeitigen Energieträger für die Wärmeerzeugung in Oranienburg zeigt, dass die Stadt noch stark von fossilen Energieträgern abhängig ist. Nur ein sehr geringer Teil der Wärmeerzeugung stammt aus erneuerbaren Energien, wie Holzpellets und Wärmepumpen. Um die Ziele der CO₂-Neutralität zu erreichen, muss sich die Wärmeversorgung grundlegend ändern. Fossile Energieträger sind die Hauptquelle für Treibhausgasemissionen und tragen wesentlich zum Klimawandel bei. Wenn Oranienburg weiterhin auf Erdgas und Heizöl setzt, wird es nicht möglich sein, die Klimaziele zu erreichen. Der Umstieg auf erneuerbare Energien wie Solarthermie, Wärmepumpen, Geothermie und der Ausbau der Fernwärme, sowie die Transformation der Wärmenetze, ist daher unerlässlich.

Zusammengefasst erfordert die derzeit geringe Nutzung erneuerbarer Energien eine umfassende Transformation der Wärmeversorgung, hin zu klimafreundlichen und nachhaltigen Lösungen, um die ambitionierten Klimaziele für 2040 zu realisieren.

Sanierungsstand und Sanierungspotenzial

Die Gebäude in Oranienburg weisen einen gemischten Sanierungsstand auf, was ein großes Potenzial für Effizienzsteigerungen bedeutet. Im Gebäudemodell von ENEKA werden die Sanierungsstände unsaniert, teilsaniert und vollsaniert berücksichtigt. Die folgende Tabelle 12 zeigt den Sanierungsstand der Gebäude in den Ortsteilen und die erheblichen Unterschiede dieser. Im digitalen Zwilling werden Gebäude als Polygonstrukturen erfasst. Ein Gebäude kann somit mehrere Polygone umfassen, weshalb die absolute Anzahl der Gebäude in der folgenden Tabelle von der zuvor genannten Zahl an wärmeversorgten Gebäuden abweicht.

Tabelle 12: Sanierungsstände der Gebäude pro Ortsteil (absolut | %)

Ortsteil	Anzahl Gebäude unsaniert		Anzahl Gebäude teilsaniert		Anzahl Gebäude vollsaniert	
Friedrichsthal	327	13 %	2.115	86 %	12	0 %
Germendorf	589	33 %	1.174	66 %	4	0 %
Lehnitz	566	19 %	2.149	72 %	258	9 %
Malz	179	18 %	806	82 %	0	0 %
Oranienburg	3.334	19 %	13.402	78 %	410	2 %
Sachsenhausen	428	13 %	2.869	86 %	38	1 %
Schmachtenhagen	925	27 %	2.464	73 %	6	0 %
Wensickendorf	260	16 %	1.325	82 %	24	1 %
Zehlendorf	200	15 %	1.117	85 %	2	0 %

Der Ortsteil Lehnitz hat einen hohen Anteil sanierter Gebäude. Lediglich 19 % sind unsaniert. Die übrigen 2.149 Gebäude sind teilsaniert und 258 vollsaniert.

Malz hingegen ist überwiegend unsaniert, mit 179 unsanierten, 806 teilsanierten und keinem vollsanierten Gebäude.

In der Kernstadt Oranienburg befinden sich die meisten Gebäude. Davon sind 3.334 unsaniert, 13.402 teilsaniert und 410 vollsaniert.

Die Visualisierung dieser Daten in der Abbildung 12 zeigt klar, dass die Sanierungspotenziale gleichmäßig über das gesamte Stadtgebiet verteilt sind, mit einigen Baublöcken, die bereits über einen hohen Anteil sanierter Gebäude verfügen. Vor allem im Stadtzentrum ist der Sanierungsgrad höher als in den ländlicheren Ortsteilen.

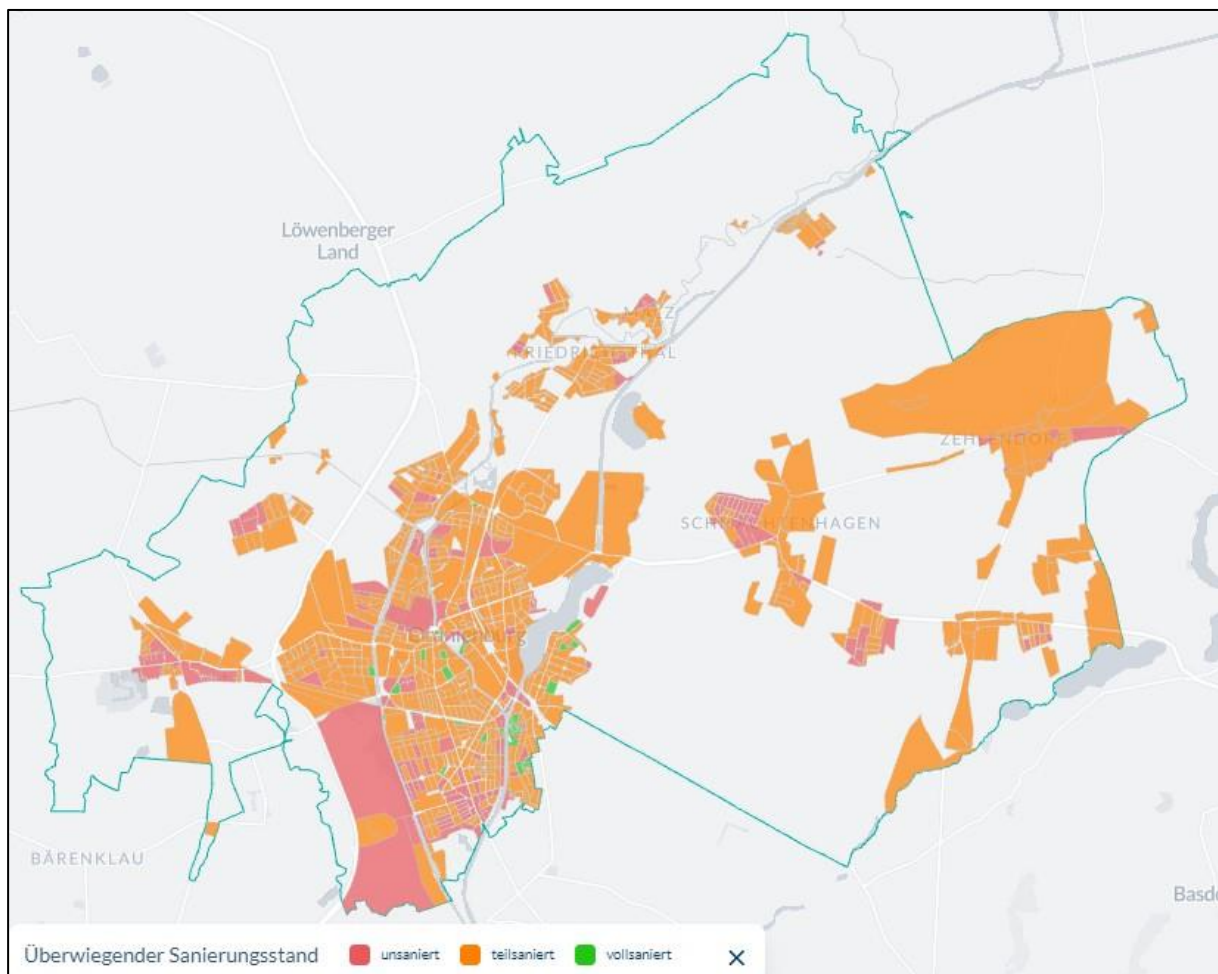


Abbildung 12: Überwiegender Sanierungsstand pro Block (Quelle ENEKA Energiekartografie, Stand: 25.09.2024)

Die Analyse der Sanierungspotenziale in Abbildung 13 zeigt, dass in fast allen Baublöcken erhebliche Potenziale bestehen. Baublöcke mit mehr als 80 % unsanierten Gebäuden sind weit verbreitet, was auf eine dringende Notwendigkeit zur energetischen Optimierung hinweist. Diese unsanierten Gebäude sind überwiegend in den Randbereichen der Stadt zu finden, während die Kernstadt mit einigen vollsanierten Blöcken bereits fortgeschrittenere Sanierungsmaßnahmen aufweist.

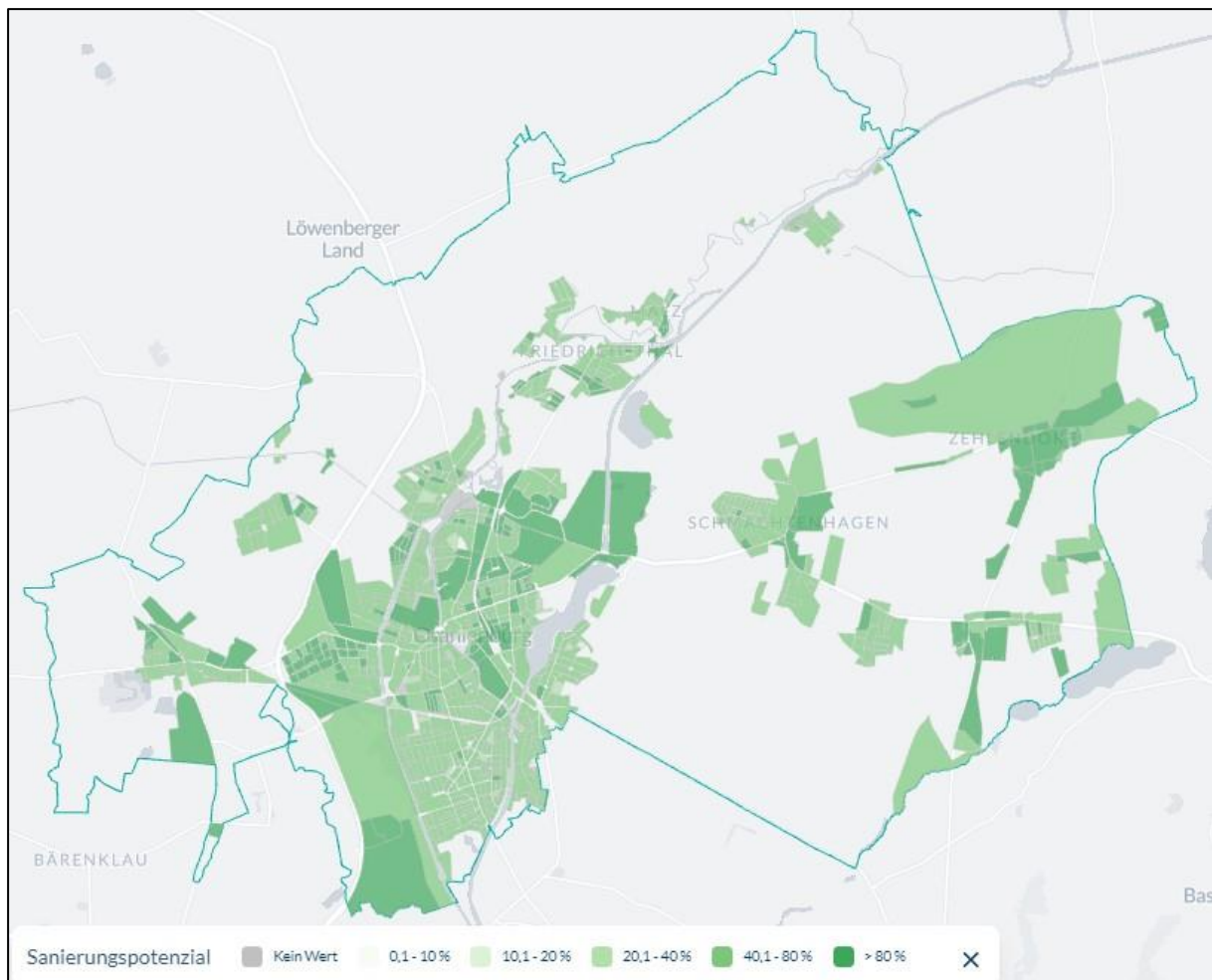


Abbildung 13: Sanierungspotenzial pro Block (Quelle ENEKA Energiekartografie, Stand: 25.09.2024)

Wärmebedarfe der Ortsteile

Der Wärmebedarf der Ortsteile in Oranienburg variiert stark und wird maßgeblich von der Gebäudestruktur, den Nutzungsarten sowie dem Sanierungsstand der Gebäude beeinflusst. Diese Unterschiede sind entscheidend für die Entwicklung einer effektiven Wärmeplanung, da Ortsteile mit hoher Wärmedichte oft besser für zentralisierte Lösungen wie den Fernwärmeausbau geeignet sind, während in ländlicheren Gebieten dezentrale Versorgungslösungen effizienter sein könnten.

Die Kernstadt Oranienburg weist mit 642.489 MWh/a den höchsten Gesamtwärmebedarf auf. Mit einer Wärmedichte von 172,6 kWh/m² Gebäudenutzfläche und 20,4 kWh/m² Ortsteilfläche stellt die Kernstadt den idealen Ort für den Fernwärmeausbau dar. Der Wärmebedarf pro Einwohnerin und Einwohner liegt bei 19,5 MWh/a, was im städtischen Durchschnitt hoch ist, insbesondere aufgrund der dichten Bebauung und der Vielzahl teilsanierter Gebäude. Diese hohe Wärmedichte schafft günstige Voraussetzungen, um Fernwärmenetze effizient zu betreiben und mit erneuerbaren Energien zu speisen.

Die folgende Tabelle 13 verdeutlicht die Gesamtwärmebedarfe (GWB) und die Wärmedichte der einzelnen Ortsteile.

Tabelle 13: Kennzahlen pro Ortsteil

Ortsteil	EW	Gebäude	GWB [MWh/a]	GWB/m ² Ortsteil- fläche [kWh/a]	GWB/m ² Gebäude- nutzfläche [kWh/a]	GWB/EW [MWh/a]
Friedrichsthal	2.192	2.454	27.585	4,9	103,4	12,6
Germendorf	1.896	1.767	64.719	4,2	242,0	34,1
Lehnitz	3.772	2.973	42.506	3,6	109,0	11,3
Malz	527	985	7.372	0,4	84,2	14,0
Oranienburg	32.945	17.146	642.489	20,4	172,6	19,5
Sachsenhausen	3.261	3.335	48.590	3,3	123,1	14,9
Schmachtenhagen	2.785	3.395	38.205	1,3	99,6	13,7
Wensickendorf	1.128	1.609	24.414	1,1	144,4	21,6
Zehlendorf	980	1.319	25.869	1,7	126,1	26,4

Germendorf zeigt mit einem Wärmebedarf von 64.719 MWh/a und einer Wärmedichte von 242,0 kWh/m² Gebäudenutzfläche ein großes Potenzial für energetische Optimierungen. Mit einem Wärmebedarf pro Einwohnerin und Einwohner von 34,1 MWh/a ist der Ortsteil der ineffizienteste in der Stadt. Dies liegt an den vielen unsanierten oder teilsanierten Gebäuden, die dringend energetisch optimiert werden sollten, aber auch an dem Gewerbegebiet, welches einen sehr hohen Wärmeverbrauch hat.

Mit einer Wärmedichte von 103,4 kWh/m² und einem Wärmebedarf von 12,6 MWh/a pro Einwohnerin und Einwohner liegt Friedrichsthal im mittleren Bereich. Fernwärme könnte in den zentralen Bereichen des Ortsteils eine sinnvolle Ergänzung sein, jedoch müsste der hohe Anteil teilsanierter Gebäude weiter verbessert werden.

Lehnitz hat einen moderaten Wärmebedarf von 42.506 MWh/a bei einer Wärmedichte von 109,0 kWh/m² Gebäudenutzfläche. Die Wärmeplanung könnte hier eine Hybridlösung vorsehen, bei der dezentrale Heizsysteme in Kombination mit Fernwärme in dichter bebauten Gebieten effizient arbeiten könnten. Der Wärmebedarf pro Einwohnerin und Einwohner liegt bei 11,3 MWh/a, was im Vergleich zu anderen Ortsteilen, dank des höheren Sanierungsstandes, relativ niedrig ist.

Malz hat den geringsten Gesamtwärmebedarf mit 7.372 MWh/a, und eine sehr niedrige Wärmedichte von 84,2 kWh/m² Gebäudenutzfläche. Dezentrale Heizsysteme, wie Wärmepumpen oder Pelletheizungen, wären hier die effizienteste Lösung. Die ländliche Struktur und die geringe Bebauungsdichte machen eine Fernwärmeerschließung vermutlich unwirtschaftlich.

In den äußeren Ortsteilen Schmachtenhagen, Wensickendorf und Zehlendorf ist der Wärmebedarf pro Einwohnerin und Einwohner relativ hoch. Diese Gebiete zeichnen sich durch geringere Wärmedichten (z.B. 126,1 kWh/m² in Zehlendorf) aus, was auf größere Abstände zwischen den Gebäuden und weniger energieeffiziente Gebäude hinweist.

Hier sollte der Fokus auf dezentrale Energieversorgung gelegt werden, um den Zugang zu erneuerbaren Energien wie Solarthermie und Wärmepumpen zu erleichtern.

Die höchste Wärmedichte in der Kernstadt Oranienburg und der hohe Gesamtwärmebedarf bieten ideale Bedingungen für einen weiteren Ausbau der Fernwärmeversorgung. Besonders im Zentrum könnten zentrale Wärmelösungen durch den Einsatz grüner Fernwärme signifikante CO₂-Einsparungen erzielen. In den weniger dicht besiedelten Ortsteilen bieten dezentrale Lösungen auf Basis erneuerbarer Energien, wie Wärmepumpen oder Solarthermie, die besten Optionen zur Effizienzsteigerung und zur Reduktion des Energieverbrauchs.

Folgende Optionen zur Wärmeplanung ergeben sich aus der Analyse der Wärmedichten und Wärmebedarfe in den Ortsteilen. Eine genaue Analyse der zukünftigen Erzeuger und Wärmeversorgungen findet im Rahmen des Fachgutachtens Wärmenetze und Dezentrale Wärmeversorgung statt.

In der Kernstadt Oranienburg kann der Ausbau des Fernwärmenetzes, kombiniert mit dem Einsatz erneuerbarer Energien zur Reduzierung fossiler Brennstoffe eine Option sein.

Bei mittleren Wärmedichten wie in Lehnitz und Sachsenhausen wird der Einsatz von Hybridlösungen, mit Fernwärme in zentralen Bereichen und dezentralen Lösungen in Randgebieten ein gängiger Weg sein.

Die ländlichen Ortsteile wie Malz, Wensickendorf und Zehlendorf werden auf den Einsatz dezentraler Heizsysteme wie Wärmepumpen und Pelletheizungen setzen müssen, um die Energieeffizienz zu steigern und den CO₂-Ausstoß zu senken.

5.1.4 Wärmebedarfsprognose

Die Wärmebedarfsprognose für die Stadt Oranienburg wurde unter Berücksichtigung von drei Szenarien erstellt, die verschiedene Entwicklungswege für die Zukunft abbilden. Diese Szenarien basieren auf Parametern wie Bevölkerungswachstum, Sanierungsmaßnahmen, und Neubautätigkeit, die im Kapitel zur Datengrundlage und Methodik vorgestellt wurden. Jedes Szenario bietet einen unterschiedlichen Pfad zur Reduzierung des Wärmebedarfs bis zum Jahr 2040.

Gesamtstädtische Entwicklung

Die Grafik in Abbildung 14 zeigt die Absenkung des Wärmebedarfes in den drei Szenarien bis 2040 sowie den Zwischenjahren 2030 und 2035.

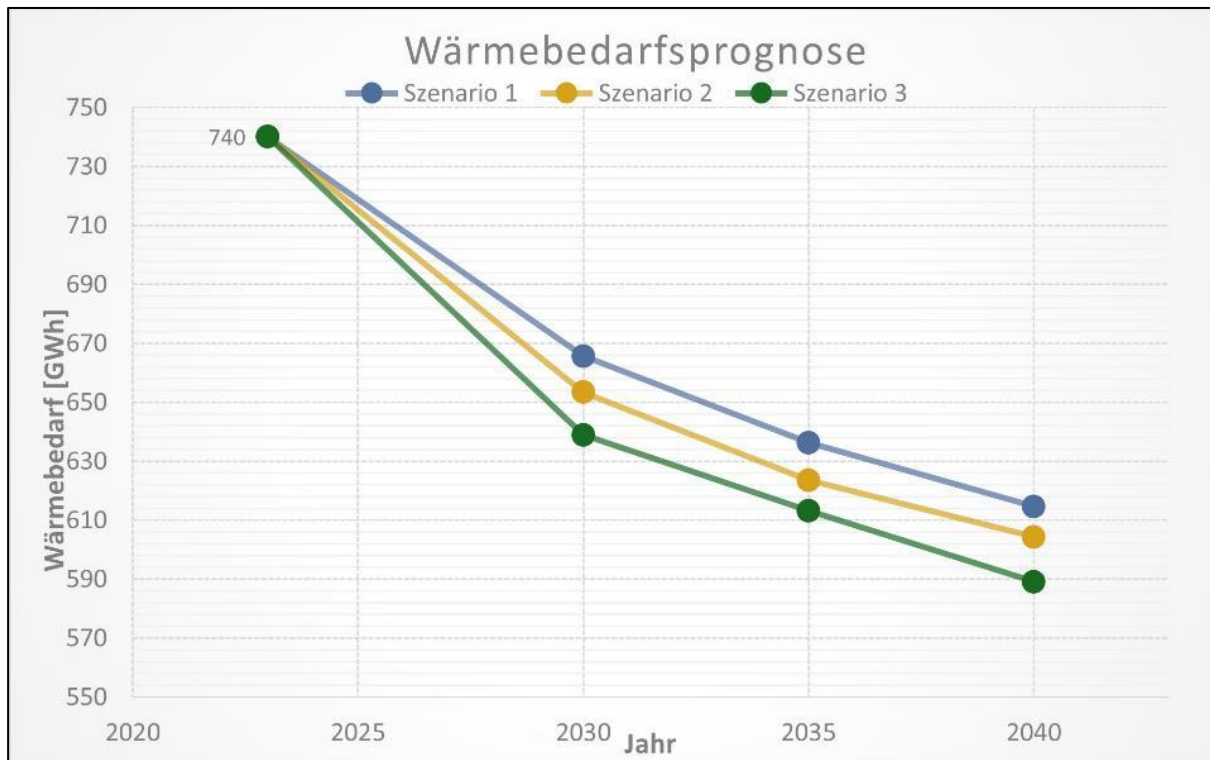


Abbildung 14: Wärmebedarfsprognose in drei Szenarien bis zum Zieljahr 2040

Die zuvor grafisch dargestellte Wärmebedarfsentwicklung ist nachfolgend ebenfalls tabellarisch erfasst (Tabelle 14). Neben den Wärmebedarfen sind auch die prozentualen Abnahmen angegeben.

Tabelle 14: Wärmebedarfsprognose in drei Szenarien bis zum Zieljahr 2040

	2023	2030	2035	2040
Szenario 1 Wärmebedarf [GWh]	740	666	636	615
Szenario 1 [%]	100	90	86	83
Szenario 2 Wärmebedarf [GWh]	740	653	624	604
Szenario 2 [%]	100	88	84	82
Szenario 3 Wärmebedarf [GWh]	740	639	613	589
Szenario 3 [%]	100	86	83	80

In allen drei Szenarien wird eine allgemeine Reduktion des Wärmebedarfs prognostiziert, wobei der Unterschied in der Höhe der Einsparungen liegt:

- **Szenario 1:** Zeigt eine moderate Abnahme des Wärmebedarfs, die auf einer stabilen Neubautätigkeit und moderaten Sanierungsraten basiert. Der Wärmebedarf sinkt bis 2040 auf 83 % des Ausgangswertes, was einem Gesamtbedarf von 615 GWh entspricht.
- **Szenario 2:** Dieses Szenario sieht eine stärkere Reduktion vor, vor allem durch verstärkte Sanierungen und einen geringeren Zuwachs an Neubauten. Der Wärmebedarf sinkt hier auf 81,7 % des Ausgangswertes, was einem Bedarf von 604 GWh entspricht.
- **Szenario 3:** In diesem ambitionierten Szenario wird die höchste Effizienzsteigerung durch umfangreiche Sanierungen und einen deutlich reduzierten Neubau erreicht. Der Wärmebedarf sinkt auf 79,6 % des Ausgangswertes, was einem Gesamtbedarf von 589 GWh im Jahr 2040 entspricht.

Diese Szenarien zeigen, dass selbst bei verschiedenen Entwicklungsannahmen eine signifikante Abnahme des Wärmebedarfs erreicht werden kann, wenn energetische Sanierungen konsequent umgesetzt werden und die Neubautätigkeit energieeffizient gestaltet wird.

Entwicklung pro Ortsteil

Die Prognosen für den Wärmebedarf in den einzelnen Ortsteilen zeigen, dass sich die Entwicklungen je nach Bevölkerungswachstum, Sanierungsrate und Gebäudestruktur stark unterscheiden.

In der Kernstadt Oranienburg, mit ihrem hohen Bevölkerungsanteil und dichten Bauweise, wird in allen drei Szenarien eine erhebliche Reduktion des Wärmebedarfs prognostiziert (Tabelle 15, Abbildung 15). Im Szenario 1 sinkt der Wärmebedarf bis 2040 auf 83,6 % des Ausgangswertes, was einem Bedarf von 364 GWh entspricht. In Szenario 3 beträgt der Wärmebedarf sogar nur noch 81,8 %, was 356 GWh entspricht.

Tabelle 15: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Oranienburg

Oranienburg	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	435,0	389,4	374,6	363,9
Szenario 1 [%]	100	89,5	86,1	83,6
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	435,0	383,7	369,3	361,1
Szenario 2 [%]	100	88,2	84,9	83,0
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	435,0	377,0	366,2	355,7
Szenario 3 [%]	100	86,7	84,2	81,8

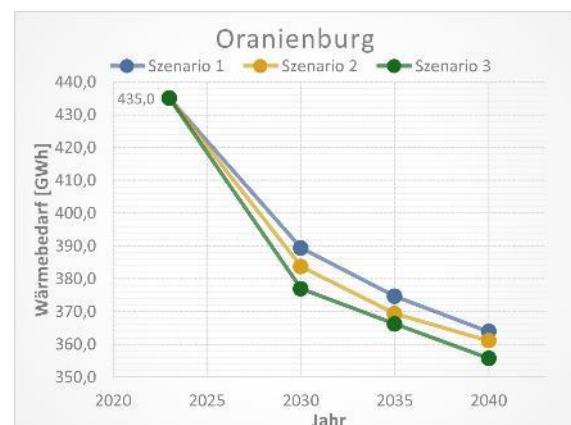


Abbildung 15: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Oranienburg

In Sachsenhausen wird der Wärmebedarf in Szenario 1 bis 2040 auf 87,3 % des Ausgangswertes reduziert, was einem Bedarf von 54 GWh entspricht (Tabelle 16, Abbildung 16). In Szenario 3 sinkt der Wärmebedarf stärker, auf 80,2 %, und beträgt 50 GWh. Die starke zusätzliche Reduktion des Wärmebedarfs im Szenario 3 von 2035 auf 2040 lässt sich damit erklären, dass in Sachsenhausen im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Gebäude relativ wenige unsanierte Gebäude sind. Da bei der Sanierung der Gebäude davon ausgegangen wird, dass Gebäude mit hohem Wärmebedarf zuerst saniert werden, kommt es bis 2040 dazu, dass in Sachsenhausen alle unsanierten Gebäude saniert werden. Somit sind nur noch teil- und vollsanierte Gebäude vorhanden, die einen deutlich geringeren Wärmebedarf besitzen als unsanierte Gebäude. Durch die komplette Sanierung von unsanierten Gebäuden fällt der prognostizierte Wärmebedarf in Sachsenhausen im Szenario 3 bis 2040 nochmal deutlich ab. Dies zeigt den starken Einfluss, den Sanierungstätigkeiten auf den zukünftigen Wärmebedarf haben.

Tabelle 16: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Sachsenhausen

Sachsenhausen	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	62,1	58,0	55,9	54,2
Szenario 1 [%]	100	93,9	89,9	87,3
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	62,1	57,2	55,1	53,5
Szenario 2 [%]	100	92,0	88,6	86,1
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	62,1	56,1	54,1	49,8
Szenario 3 [%]	100	90,2	87,1	80,2

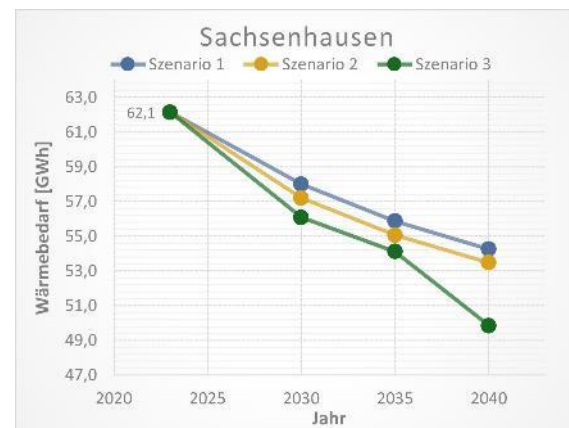


Abbildung 16: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Sachsenhausen

Der Ortsteil Lehnitz profitiert ebenfalls von Sanierungen und energieeffizientem Neubau. Im Szenario 1 wird der Wärmebedarf bis 2040 auf 85,9 % des Ausgangswertes sinken, was 42 GWh entspricht (Tabelle 17, Abbildung 17). In Szenario 3 sinkt der Bedarf auf 82,1 %, was einem Verbrauch von 40 GWh entspricht.

Tabelle 17: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Lehnitz

Lehnitz	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	49,1	45,6	43,6	42,2
Szenario 1 [%]	100	92,8	88,8	85,9
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	49,1	44,8	42,8	41,3
Szenario 2 [%]	100	91,1	87,1	84,1
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	49,1	43,7	41,8	40,3
Szenario 3 [%]	100	88,9	85,1	82,1

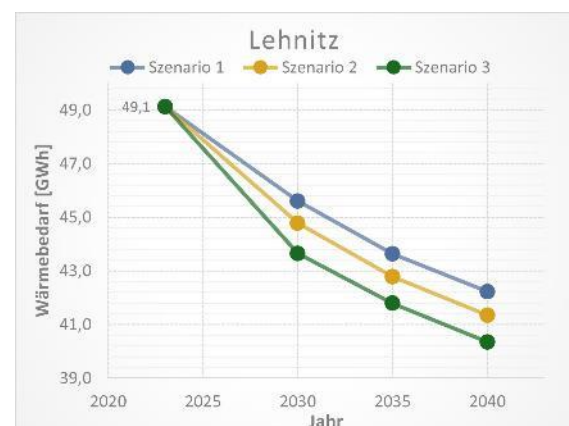


Abbildung 17: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Lehnitz

Schmachtenhagen zeigt ebenfalls in allen Szenarien eine deutliche Reduktion des Wärmebedarfs (Tabelle 18, Abbildung 18). Im Szenario 1 sinkt der Bedarf auf 80,3 %, was 37 GWh entspricht. In Szenario 3 wird der Bedarf sogar auf 72,5 % gesenkt, was einem Verbrauch von 33 GWh entspricht.

Tabelle 18: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Schmachtenhagen

Schmachtenhagen	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	45,5	41,1	38,5	36,6
Szenario 1 [%]	100	90,3	84,7	80,3
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	45,5	39,9	37,0	34,8
Szenario 2 [%]	100	87,6	81,3	76,4
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	45,5	38,5	35,5	33,0
Szenario 3 [%]	100	84,5	77,9	72,5

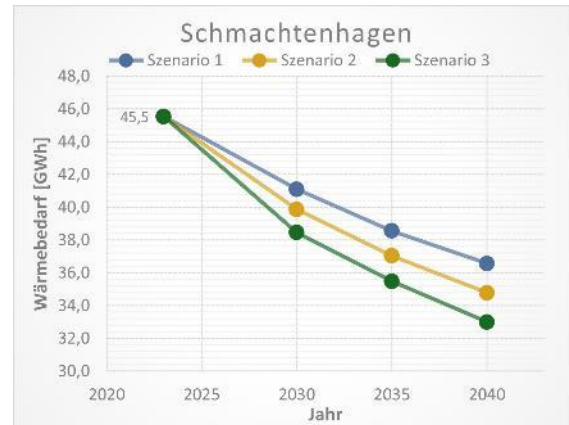


Abbildung 18: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Schmachtenhagen

In Friedrichsthal ist im Vergleich eine moderate Reduktion des Wärmebedarfs zu erwarten. Im Szenario 1 wird der Wärmebedarf bis 2040 auf 87,9 % sinken, was 34 GWh entspricht (Tabelle 19, Abbildung 19). In Szenario 3 wird der Wärmebedarf weiter auf 85,0 % gesenkt, was 33 GWh entspricht.

Tabelle 19: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Friedrichsthal

Friedrichsthal	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	38,5	36,3	34,9	33,8
Szenario 1 [%]	100	94,4	90,7	87,9
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	38,5	35,8	34,3	33,3
Szenario 2 [%]	100	93,0	89,2	86,5
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	38,5	35,0	33,7	32,7
Szenario 3 [%]	100	91,1	87,6	85,0

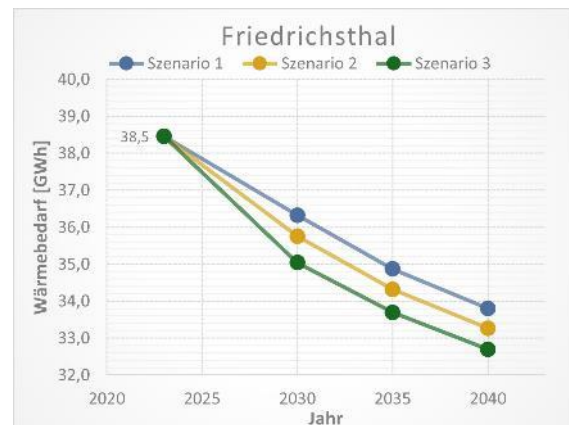


Abbildung 19: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Friedrichsthal

Germendorf verzeichnet die größte prozentuale Reduktion des Wärmebedarfs. Im Szenario 1 sinkt der Bedarf auf 71,1 % des Ausgangswertes, was 27 GWh entspricht (Tabelle 20, Abbildung 20). Im Szenario 3 erreicht der Wärmebedarf 63,9 %, was einem Verbrauch von 24 GWh entspricht.

**Tabelle 20: Wärmebedarfsprognose Ortsteil
Germendorf**

Germendorf	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	37,3	30,7	28,3	26,5
Szenario 1 [%]	100	82,3	75,9	71,1
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	37,3	29,5	26,9	25,1
Szenario 2 [%]	100	79,1	72,1	67,3
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	37,3	28,2	25,6	23,8
Szenario 3 [%]	100	75,7	68,8	63,9

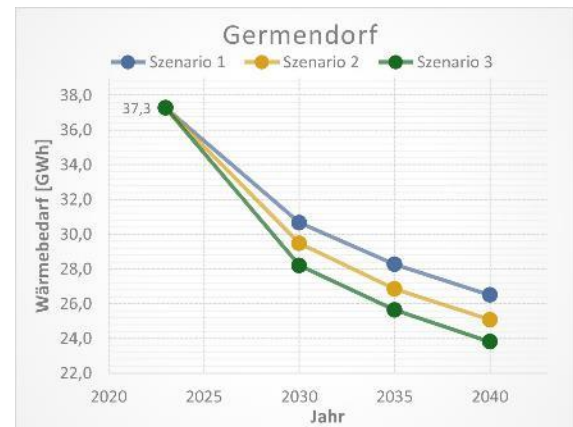


**Abbildung 20: Wärmebedarfsprognose Ortsteil
Germendorf**

Auch in Zehlendorf ist eine starke prozentuale Reduktion des Wärmebedarfs zu erwarten. Im Szenario 1 sinkt der Bedarf auf 73,9 %, was 25 GWh entspricht. Im Szenario 3 sinkt der Bedarf noch weiter auf 68,1 %, was einem Verbrauch von 23 GWh entspricht.

**Tabelle 21: Wärmebedarfsprognose Ortsteil
Zehlendorf**

Zehlendorf	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	33,4	28,6	26,4	24,6
Szenario 1 [%]	100	85,6	79,0	73,9
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	33,4	27,5	25,0	23,4
Szenario 2 [%]	100	82,5	74,9	70,2
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	33,4	26,3	23,9	22,7
Szenario 3 [%]	100	79,0	71,7	68,1

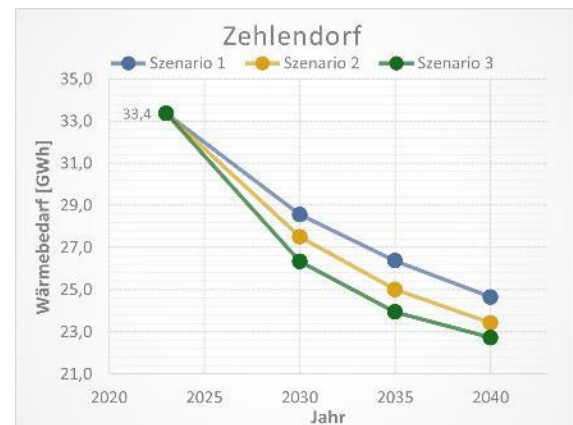


**Abbildung 21: Wärmebedarfsprognose Ortsteil
Zehlendorf**

In Wensickendorf wird der Wärmebedarf bis 2040 ebenfalls deutlich sinken. Im Szenario 1 wird der Wärmebedarf auf 83,3 % des Ausgangswertes reduziert, was einem Verbrauch von 24 GWh entspricht. In Szenario 3, dem ambitioniertesten Szenario, wird der Bedarf sogar auf 79,2 % gesenkt, was einem Verbrauch von 23 GWh entspricht.

Tabelle 22: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Wensickendorf

Wensickendorf	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	29,0	26,5	25,1	24,1
Szenario 1 [%]	100	91,6	86,7	83,3
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	29,0	25,9	24,5	23,5
Szenario 2 [%]	100	89,4	84,5	81,3
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	29,0	25,2	23,9	23,0
Szenario 3 [%]	100	86,8	82,4	79,2

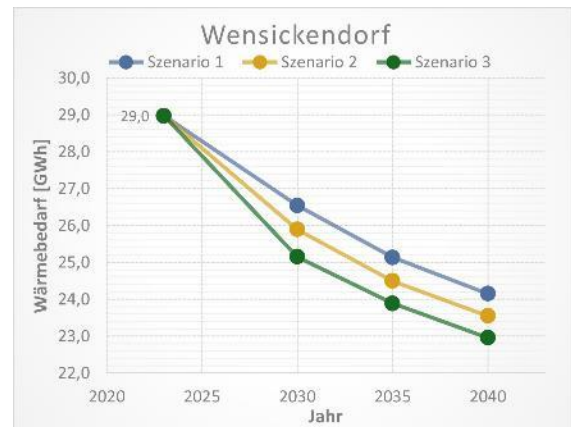


Abbildung 22: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Wensickendorf

In Malz wird der Wärmebedarf im Szenario 1 auf 84,0 % reduziert, was 9 GWh entspricht. Im ambitionierten Szenario 3 sinkt der Bedarf auf 78,4 %, was 8 GWh entspricht.

Tabelle 23: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Malz

Malz	2023	2030	2035	2040
Szenario 1				
Wärmebedarf [GWh]	10,2	9,5	9,0	8,6
Szenario 1 [%]	100	92,7	88,0	84,0
Szenario 2				
Wärmebedarf [GWh]	10,2	9,3	8,7	8,3
Szenario 2 [%]	100	90,7	85,3	81,2
Szenario 3				
Wärmebedarf [GWh]	10,2	9,0	8,5	8,0
Szenario 3 [%]	100	88,2	82,8	78,4

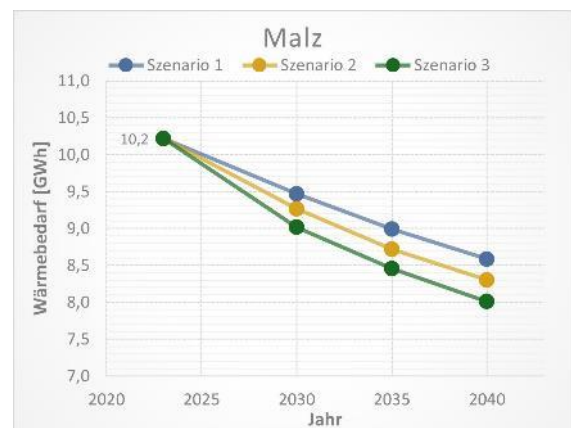


Abbildung 23: Wärmebedarfsprognose Ortsteil Malz

Die verschiedenen Szenarien zeigen, dass durch eine konsequente Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen und eine Reduzierung der Neubautätigkeit der Wärmebedarf in allen Ortsteilen von Oranienburg erheblich gesenkt werden kann. In den ambitioniertesten Szenarien, wie Szenario 3, kann der Wärmebedarf bis auf unter 65 % des Ausgangswertes reduziert werden, was eine signifikante Verbesserung der Energieeffizienz darstellt.

Für die zukünftige Wärmeplanung bedeutet dies, dass sowohl stadtweite Maßnahmen als auch ortsteilbezogene Strategien entwickelt werden müssen, um die Effizienzpotenziale in vollem Umfang auszuschöpfen. Vor allem die Ortsteile mit hohen Sanierungspotenzialen, wie Germendorf und Schmachtenhagen, bieten große Chancen für eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs.

5.1.5 Fazit

Das Fachgutachten zur Wärmebedarfsanalyse und Gebäudeenergieeffizienz zeigt deutlich, dass in Oranienburg erhebliche Potenziale zur Reduzierung des Wärmebedarfs bestehen. Der derzeitige Wärmeverbrauch basiert noch überwiegend auf fossilen Energieträgern, insbesondere Erdgas, während der Einsatz erneuerbarer Energien gering ist. Um die CO₂-Neutralitätsziele bis 2040 zu erreichen, müssen umfangreiche Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und zum Umstieg auf klimafreundliche Wärmesysteme ergriffen werden.

Die Bestandsanalyse zeigt, dass viele Gebäude nur teilweise oder gar nicht saniert sind, wodurch sich ein großes Potenzial für energetische Sanierungen eröffnet. Besonders die Kernstadt Oranienburg und die angrenzenden dichteren Ortsteile wie Lehnitz und Sachsenhausen bieten gute Voraussetzungen für den Ausbau der Fernwärme.

Die Wärmebedarfsprognose in drei Szenarien bis 2040 verdeutlicht, dass eine Reduktion des Wärmebedarfs um bis zu 20 % erreichbar ist. Dies erfordert jedoch eine konsequente Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen, den Einsatz effizienter Neubautechnologien und den Ausbau von grünen Wärmequellen. Die Prognosen zeigen außerdem, dass sich die Wärmebedarfe je nach Ortsteil unterschiedlich entwickeln werden, wodurch die Wärmeplanung individuell auf die jeweiligen Gebäudestrukturen und Potenziale der Ortsteile zugeschnitten werden muss.

Für die weiteren Arbeitsschritte im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung wird das Szenario 2 empfohlen. Der Wärmebedarf sinkt hier bis 2040 auf 604 GWh bzw. auf 82 % des Ausgangsniveaus.

Zusammenfassend bietet das Fachgutachten eine solide Grundlage für die strategische Ausrichtung der kommunalen Wärmeplanung in Oranienburg. Es zeigt, dass eine signifikante Senkung des Wärmebedarfs möglich ist, wenn energieeffiziente Technologien und Sanierungsmaßnahmen gezielt eingesetzt werden. Neben der Gebäudesanierung wird die Transformation der Wärmenetze die zweite zentrale Säule zur Erreichung der Ziele bis 2040 sein.

5.2 Abwärme / Abkälte

5.2.1 Einführung

Abwärme bezeichnet die Wärme, die bei industriellen Prozessen, im Gebäudebetrieb oder durch technische Anlagen ungenutzt entweicht. Sie stellt ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz dar. Da es sich bei Abkälte genau genommen um Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau handelt, wird nachfolgend lediglich der Begriff Abwärme, unabhängig der vorliegenden Temperatur, verwendet. Die Technologien zur Abwärmenutzung sind vielfältig und an die jeweiligen Anforderungen und Bedingungen der Industrie und der Gebäudetechnik angepasst. Häufig wird Abwärme durch Wärmeübertrager auf einem ähnlichen Temperaturniveau zurückgeführt und wiederverwendet. Diese direkte Nutzung von Abwärme stellt oft die konstruktiv einfachste und kostengünstigste Lösung dar. Es gibt jedoch auch alternative Anwendungen, etwa zur Erwärmung von Luft, Wasser oder anderen Prozessmedien. Bei der indirekten Nutzung wird die Wärmeenergie aus der Abwärmequelle nicht in denselben Prozess zurückgeführt, sondern in andere Energieformen umgewandelt. Hierbei können unterschiedliche Energieträger wie Wärme bei höheren Temperaturen, Kälte oder mechanische Energie erzeugt werden. Grundlegend bei der Nutzung von Abwärme ist die Abstimmung von Quelle und Senke. Dabei spielen vor allem das thermische Gefälle, die räumliche Nähe, die zeitliche Deckung, die Versorgungssicherheit und auch die Wirtschaftlichkeit entscheidende Rollen. Im Idealfall überschneiden sich diese Parameter bei Quelle(n) und Senke(n). Unterscheiden sich räumliche und/oder zeitliche Deckung, können sich die Verteilung über Wärmenetze und der Einsatz von Wärmespeichern anbieten ((Fritz & Pehnt, 2018), (Buri, et al., 2004)).

5.2.2 Wärme aus Abwasser

Die Gewinnung von Wärme aus Abwasser basiert ebenfalls auf dem Prinzip der Wärmerückgewinnung. Das durchschnittliche Temperaturniveau von Abwasser liegt je nach Jahreszeit zwischen 10 °C und 20 °C und eignet sich somit nicht zur direkten Abwärmenutzung in Gebäuden oder Industrieprozessen. Um die Temperatur auf ein nutzbares Niveau anzuheben, ist eine Wärmepumpe notwendig. Im Fachgutachten Abwärme/Abkälte wurde deshalb nur das Wärmepotenzial des Abwassers betrachtet, welches die Grundlage für die Auslegung der Großwärmepumpen liefert. Die Ergebnisse zu den hier untersuchten und beschriebenen Gebiete zur Nutzung der Abwasserwärme, werden in Kapitel 5.6 aufgezeigt (Buri, et al., 2004), (Gürtler, et al., 2022), (Rothe, Schmidt, & Quass, 2024), (Fritz & Pehnt, 2018)).

5.2.3 Methodik

Als Datengrundlage diente ein Fragebogen, der Fragen zum Vorhandensein von Abwärme- und Abkältequellen, deren Temperaturniveaus und Leistungen sowie der bereits durchgeführten und zukünftig geplanten Effizienzmaßnahmen beinhaltete. Dieser wurde an alle Industrie- und Gewerbeunternehmen innerhalb des betrachteten Gebiets versendet. Des Weiteren wurde die Möglichkeit der Wärmenutzung aus Abwasserleitungen betrachtet. Dafür wurden vor allem Abwasserdruckleitungen betrachtet, da diese tendenziell die höchsten Trockenwetterabflüsse aufweisen. Somit konnten zunächst Standorte identifiziert werden, die für die energetische Nutzung von Abwärme – entweder als Quelle oder als Senke – infrage kommen könnten. Diese sind in Abbildung 24 dargestellt.

Da das Potenzial der Abwasserrohrleitungen als Quelle für Großwärmepumpen dient, werden die betrachteten Standorte zwar hier aufgezeigt, die Potenziale und Ergebnisse allerdings im Kapitel 5.3 genauer betrachtet werden.

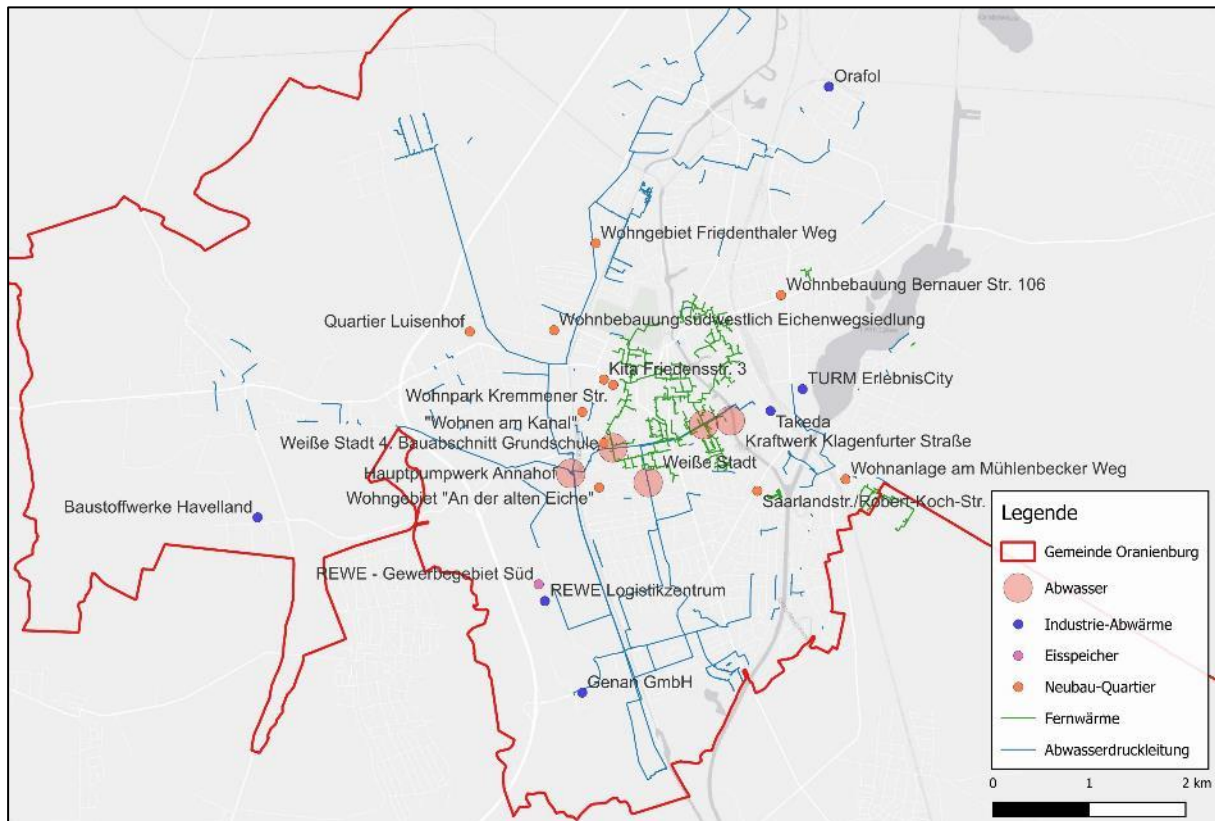


Abbildung 24: Kontaktierte und betrachtete Standorte zur Nutzung von Abwärme oder -kälte

Aus den Antworten der Fragebögen und daraus hervorgehenden Informationen konnten verschiedene Standorte mit unterschiedlichen Abwärme- und Abkältepotenzialen ausfindig gemacht werden. Unter Berücksichtigung umliegender nutzbarer Freiflächen, netzgebundener Energieinfrastrukturen, der Entfernung zu potenziellen Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie der zeitlichen Verfügbarkeit, der auftretenden Energiemenge bzw. Leistung und des Temperaturniveaus der nutzbaren Abwärme, konnten Vorzugsgebiete zur detaillierteren Betrachtung bestimmt werden. Dazu zählen das Wohnquartier Weiße Stadt, der Kraftwerksstandort Klagenfurter Straße, das Hauptpumpwerk Annahof sowie die TURM ErlebnisCity. Diese zeichnen sich auf den ersten Blick aufgrund der kontinuierlich auftretenden und ausrechend hohen Abwassermengen als gut geeignete Abwärmequellen.

Weitere Standorte bzw. Unternehmen konnten aufgrund ausbleibender Informationsbereitstellung trotz vielversprechender Ausgangslage nicht genauer betrachtet werden und wurden deshalb nachfolgend auch nicht weiter berücksichtigt. Nutzbare Abkältequellen konnten durch den Fragebogen demnach nicht ermittelt werden.

Somit konnten potenziell geeignete Standorte ermittelt werden, dessen Potenzial nachstehend beschrieben wird.

5.2.4 Betrachtete Standorte

Industriebetrieb (im verarbeitenden Gewerbe)

Auf Grundlage der Fragebögen konnte eine bisher ungenutzte industrielle Abwärmequelle lokalisiert werden. Die Abwärme tritt dabei vor allem während der Arbeitszeiten in Form von Abluft an. Ohne Anhebung des Temperaturniveaus liegt die durchschnittliche Temperatur der Abluft bei 27 °C. Der zeitliche Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch kann entweder durch Pufferspeicher kurzzeitig über einige Stunden oder saisonal mittels Großwärmespeicher erfolgen.

Hauptpumpwerk Annahof

Aus dem Hauptpumpwerk wird das Abwasser aus einer Abwasserdruckleitung (ADL) abgeleitet, weshalb das Pumpwerk dauerhaft in Betrieb ist. Neben der Abwasserleitung bietet auch der Abwasserbehälter großes Potenzial zur Nutzung der Abwasserwärme mittels Wärmepumpen. Dieser könnte unter Umständen auch als Zwischenspeicher genutzt werden und somit die zeitliche Verfügbarkeit der Abwasserwärme an den Wärmeverbrauch der umliegenden Gebiete anpassen. Aktuell werden aufgrund von Geruchsbelästigungen Umbauarbeiten am Hauptpumpwerk Annahof durchgeführt. Die Temperatur des Abwassers liegt je nach Jahreszeit zwischen 10 °C und 25 °C. Das Wärmepotenzial aus dem Abwasser kann mithilfe einer Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben werden. Dafür wird ein Wärmetauscher entweder in oder um die Abwasserleitung installiert und dient so als Quelle für die Wärmepumpe.

Wohnquartier Weiße Stadt

Das Wohnquartier Weiße Stadt in Oranienburg, gelegen in der südlichen Innenstadt, wurde in den 1930er Jahren nach Plänen des Bauhaus-Schülers Franz Ehrlich errichtet. Es zeichnet sich durch seine charakteristischen weißen Fassaden aus, die dem Quartier seinen Namen verliehen haben, der auch noch heute gebräuchlich ist.

Durch die ADL südlich der weißen Stadt fließt Abwasser mit Temperaturen zwischen 10 °C und 25 °C. Das Abwärmepotenzial aus dem Abwasser kann mithilfe einer Wärmepumpe auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben werden und entweder direkt am Standort als dezentrale Energieversorgung genutzt oder in das etwa 200 m entfernte Fernwärmenetz eingespeist werden. Als Wärmequelle dient der Wärmetauscher, der um die Abwasserdruckleitung installiert werden kann.

Kraftwerkstandort Klagenfurter Straße

Neben dem Kraftwerksgelände Klagenfurter Straße führt eine Abwasserleitung das komplette Abwasser des westlichen Teil Oranienburgs über zwei Düker von einer Seite der Havel zur anderen. Von dort aus wird das Abwasser am Pumpwerk Lehnitzstraße in die gleiche Abwasserdruckleitung geleitet, welche auch für den Standort „Weiße Stadt“ betrachtet wurde.

Da zwischen den beiden Standorten (Lehnitzstraße und „Weiße Stadt“) keine weiteren Zuflüsse vorhanden sind, ist auch das Potenzial der Abwärme aus der ADL identisch. Die Temperatur des Abwassers liegt sowohl in den Dückern als auch der Abwasserdruckleitung je nach Jahreszeit zwischen 10 °C und 25 °C und kann durch eine Wärmepumpe auf ein nutzbares Niveau angehoben werden. Die gewonnene Abwärme kann direkt in der Heizzentrale in das bestehende Fernwärmenetz eingespeist werden.

Die ADL am Pumpwerk Lehnitzstraße bietet sich vor allem bei einem Neubau der Heizzentrale in unmittelbarer Nähe an. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass das hier betrachtete Potenzial der Abwasserdruckleitung ausschließlich an einem der beiden Standorte ausgeschöpft werden kann, wodurch es gegebenenfalls zu Nutzungskonkurrenz kommen könnte.

TURM ErlebnisCity

Die TURM ErlebnisCity ist ein Sport- und Freizeitzentrum TURM mit Sport- und Erlebnisbad, Saunalandschaften, Fitnesscenter sowie Bowlingbahnen, Kletterwänden und einer Sporthalle für weitere Hallensportarten. Zur Aufrechterhaltung der hygienischen Anforderungen an das Sport- und Spaßbad ist ein kontinuierlicher Austausch des Wassers notwendig. Der Wasseraustausch erfolgt dabei primär während der Öffnungszeiten und in Abhängigkeit der Besucherzahlen. Dadurch ist an den Wochenenden und in den Ferienzeiten mit einem höheren Wasseraustausch und somit Abwärme zu rechnen. Außerdem unterliegt das Wärmepotenzial auch saisonalen Schwankungen und ist im Sommer geringer als im Winter. Pro Besucher werden dabei im Schnitt 30 Liter ausgetauscht. Die nutzbare Abwärme bietet ein Temperaturniveau von 30 °C. Dadurch kann sie entweder direkt als Niedertemperaturwärme genutzt oder mithilfe einer Wärmepumpe auf ein höheres Niveau gebracht werden.

Nahwärmenetz Schmachtenhagen

Das bestehende Nahwärmenetz in Schmachtenhagen versorgt aktuell eine kleine Anzahl an Gebäuden mit Wärme. Das gesamte Wärmepotenzial liegt dabei jedoch über der bisherig abgenommenen Wärmemenge, wodurch auch hier noch ungenutztes Potenzial besteht.

Abwärme aus der Beheizung und Kühlung von Gebäuden

Zusätzlich zu den konkreten Standorten mit voraussichtlich großen Mengen an nutzbarer Abwärme, wurde die Raumwärme, die beim Lüften von Gebäuden entweicht, für jedes beheizte Gebäude in der Gemeinde Oranienburg betrachtet. Diese Lüftungsverluste lassen sich mithilfe einer Zu- und Abluftanlage kontrollieren und die Wärme durch einen integrierten Wärmetauscher teilweise zurückgewinnen.

Die anfallenden Lüftungswärmeverluste wurden anhand der Baualtersklassen, des Sanierungsstandes sowie der Nutzung der Gebäude in Abhängigkeit des gesamten Raumwärmebedarfs abgeschätzt. Bei konservativer Auslegung können rund 50 % der Lüftungswärmeverluste zurückgeführt werden (Göppel & Westermann, 2024). Für eine detaillierte Abschätzung ist dabei allerdings jedes Gebäude individuell zu betrachten.

5.2.5 Ergebnisse

Industriebetrieb (im verarbeitenden Gewerbe)

Mit den Erkenntnissen aus Fragebogen und Einzelinterview sowie getroffenen Annahmen konnte ein Abwärmepotenzial zwischen 1.015 und 1.520 MWh in Form von Abluft aus industriellen Prozessen ermittelt werden.

Dieses Potenzial tritt gleichmäßig über das Jahr verteilt mit einer durchschnittlichen Temperatur von 27 °C auf. An Wochenenden und arbeitsfreien Tagen fällt keine Abwärme an. Die maximale Leistung beträgt dabei ca. 210 kW.

Um dieses Potenzial nutzen zu können sind Investitionskosten für Wärmetauscher und weiteren technischen Anlagen von ca. 1,5 - 2,2 Mio. € erforderlich. Über einen Zeitraum von 30 Jahren und einem Strombezugspreis von 16,65 ct/kWh führt dies zu Kosten für die Auskopplung der Wärme von 15,5 ct/kWh.

Da die Abwärme bei einem Temperaturniveau von unter 30 °C in den meisten Fällen nicht für die Deckung des Raumwärme- und Trinkwarmwasserbedarfs genutzt werden kann, ist eine Wärmepumpe zur Temperaturerhöhung erforderlich. In Kombination mit einem Großwärmespeicher zum Ausgleich der saisonalen Diskrepanz zwischen Verfügbarkeit der Abwärme und Bedarf können zwischen 1.500 und 1.900 MWh an die umliegenden Wohngebiete geliefert werden. Dafür ist allerdings auch eine Wärmenetzinfrastruktur erforderlich. Um die Abwärme potenziellen Abnehmern zur Verfügung zu stellen sind weitere Investitionen in Höhe von 4 Mio. € bis 7 Mio. € je nach genauer Größe des Wärmespeichers und der erforderlichen Trassenlänge des Wärmenetzes. Das führt zu Kosten für die Wärmeauskopplung und -bereitstellung von 35,7 ct/kWh bis 47,5 ct/kWh.

Voraussetzung dafür ist jedoch, dass eine dauerhafte und außerdem gleichbleibende Produktion auf heutigem Niveau über einen Zeitraum von 30 Jahren gewährleistet wird. Tabelle 24 zeigt eine Übersicht der ermittelten Ergebnisse.

Tabelle 24: Ergebnisübersicht Abwärmenutzung Industriebetrieb

Kategorie	Wert
Gesamtwärmepotenzial pro Jahr	1.015 - 1.520 MWh/a
Maximal verfügbare Leistung	210 kW
Durchschnittliches Temperaturniveau	27 °C
Investitionskosten*	1,5 - 2,2 Mio. €
Kosten zur Wärmeauskopplung*	15,5 ct/kWh
Entfernung zum Wärmenetz	2.000 - 4.000 m
Investitionskosten**	5,9 - 8,9 Mio. €
Kosten zur Wärmeauskopplung**	35,7 - 47,5 ct/kWh

* ohne Wärmenetzinfrastruktur, ** mit Wärmenetzinfrastruktur

Es lässt sich ableiten, dass der hier betrachtet Standort aufgrund der hohen Investitionskosten und damit verbundenen spezifischen Kosten zur Bereitstellung einer Kilowattstunde Wärme, nicht für die externe Abwärmenutzung geeignet ist. Eine interne Nutzung könnte dennoch lukrativ sein.

Hauptpumpwerk Annahof, Wohnquartier Weiße Stadt, Kraftwerkstandort Klagenfurter Straße, TURM ErlebnisCity

Siehe Kapitel 5.3

Nahwärmenetz Schmachtenhagen

Unter der Berücksichtigung bereits angeschlossener Verbraucher konnte das verfügbare Wärmepotenzial der Erzeugungsanlagen ermittelt werden. Dieses liegt zwischen 3.500 und 4.200 MWh pro Jahr. Da die Wärme konstant über das Jahr zur Verfügung steht, ist der jahreszeitliche Verlauf des verfügbaren Wärmepotenzials stark vom Wärmeverbrauch der bereits angeschlossenen Gebäude abhängig.

Unter der Berücksichtigung bereits angeschlossener Verbraucherinnen und Verbraucher konnte das verfügbare Wärmepotenzial der Erzeugungsanlagen ermittelt werden. Dieses liegt zwischen 3.500 und 4.200 MWh pro Jahr.

Dabei ist deutlich erkennbar, dass im Sommer wird die maximale Leistung von ca. 650 kW kaum ausgeschöpft, wohingegen in den Wintermonaten die verfügbare Abwärme deutlich geringer ausfällt.

Tabelle 25: Ergebnisübersicht Wärmenetzerweiterung Biogasanlage Schmachtenhagen

Kategorie	Wert
Gesamtwärmepotenzial pro Jahr	3.500 - 4.200 MWh/a
davon technisch nutzbar	2.600 - 3.200 MWh/a
Maximal verfügbare Leistung	650 kW

Aufgrund der bereits bestehenden Wärmenetzinfrastruktur in kleinen Teilen Schmachtenhagens sowie der bereits bestehenden Wärmeerzeugungsanlagen, bietet sich in Schmachtenhagen eine Erweiterung des Wärmenetzes an. Dabei gibt es unterschiedliche Ansätze, wie diese Erweiterung gestaltet werden kann. Insgesamt ist über ein gesamtes Jahr ein technisch nutzbares Gesamtwärmepotenzial von ca. 2.600 bis 3.200 MWh verfügbar. Da dieses nicht auf den Bedarf anpassbar ist, sondern kontinuierlich anfällt, kann der außerhalb der Heizperiode anfallende Wärmeüberschuss mit einem Großwärmespeicher saisonale Schwankungen ausgleichen, um so viele Gebäude wie möglich über das Wärmenetz zu versorgen. Alternativ können die Anzahl anzuschließender Gebäude auf die aktuell (bzw. zukünftig) verfügbare Leistung ohne respektive möglichst kleinem Wärmespeicher angepasst werden. Tabelle 26 zeigt die zusätzliche Wärmeabnahme der angeschlossenen Gebäude, die dafür benötigte zusätzliche Trassenlänge, die Anzahl der zusätzlich angeschlossenen Gebäude sowie die gesamten Investitionskosten und Kosten pro abgenommener Kilowattstunde Wärme über einen Zeitraum von 30 Jahren der beiden Möglichkeiten zur Wärmenetzerweiterung an. Dabei entspricht der minimale Wert jeweils der Erweiterung ohne Großwärmespeicher und der maximale Wert jeweils der Erweiterung mit Großwärmespeicher, also der Ausnutzung des gesamten technisch nutzbaren Potenzials.

Tabelle 26: Möglichkeiten Wärmenetzerweiterung Schmachtenhagen

Kategorie	Wert
Zusätzliche Wärmeabnahme pro Jahr	527 - 2.880 MWh/a
Zusätzliche Trassenlänge WN	550 - 4.400 m
davon zusätzliche Verteilleitungen	220 - 2.500 m
Zusätzlich angeschlossene Gebäude	16 - 125
Investitionskosten (ohne Hausanschlüsse)	200.000 - 5.200.000 €
Kosten zur Wärmeauskopplung	2,8 - 12,9 ct/kWh

Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Nutzung der vorhandenen Wärme kostenlos erfolgt und keine weiteren Verwaltungskosten im Betrieb für die zusätzlichen Gebäude entstehen. Auf dieser Grundlage, ist sowohl eine minimale als auch eine maximale Erweiterung des Wärmenetzes in Schmachtenhagen zu empfehlen. Die genaue Ausgestaltung ist dabei jedoch stark von den Zielen und Vorstellungen der Wärmenetzbetreiberin abhängig und Bedarf einer detaillierten Betrachtung.

Gebäudebeheizung und -kühlung

Zunächst lässt sich sagen, dass die Abwärme nicht für die Einspeisung in ein Wärmenetz geeignet ist. Ein Grund ist, dass die Abwärme kleinteilig und breit gestreut über das gesamte Stadtgebiet Oranienburgs anfällt. Außerdem sind die Temperaturen die bei der kontrollierten Wohnraumlüftung (und -kühlung) anfallen, deutlich unter dem für Wärmenetze (Anergienetze ausgenommen) notwendigen Temperaturniveau. Nichtsdestotrotz lässt sich diese Wärme im Rahmen einer kontrollierten Raumlüftung innerhalb eines Gebäudes nutzen, um den Heizenergiebedarf deutlich zu reduzieren. Auf Grundlage der aktuellen Energieverbräuche lässt sich ein grobes Potenzial abschätzen, mit welcher Abwärme zu rechnen ist. Nach Durchführung energetischer Sanierungsmaßnahmen sinkt dieses Potenzial aufgrund der insgesamt geringeren Wärmeverluste sowie verbesserte Luftdichtheit. Außerdem kann die Lüftung mithilfe einer Zu- und Abluftanlage bedarfsgeführt betrieben werden, wodurch keine unkontrollierten Wärmeverluste wie bei der manuellen Fensterlüftung entstehen. Das Potenzial für alle Gebäude in Oranienburg beläuft sich im aktuellen Zustand der Gebäude auf 54.377 MWh/a bis 66.461 MWh/a. Dabei sind mit kumulierten Investitionskosten für alle Gebäude von 193 Mio. € bis 483 Mio. € zu rechnen. Im Mittel sind mit Investitionen in Höhe von 338 Mio. € bei einem Abwärmepotenzial von 60.419 MWh/a zu rechnen.

5.2.6 Fazit

Das Fachgutachten liefert eine Übersicht über mögliche Wärmequellen im Bereich industrieller Abwärme und Abwasserwärme. Dabei wurden unterschiedliche Standorte identifiziert, an denen diese Wärmepotenziale vorliegen. Auf Grundlage von Fragebögen, Einzelinterviews und Volumenstrommessungen konnten die Potenziale genauer betrachtet und eine Aussage über mögliche maximale Leistung und verfügbare Wärmemenge getroffen werden. Die Potenziale für die Nutzung der Abwasserwärme sind maßgeblich von der Durchflussmenge und Wassertemperatur abhängig und werden im Kapitel Großwärmepumpen genauer betrachtet.

Neben den Abwasserkanälen wurden auch andere Arten der Abwärmenutzung betrachtet. Doch auch hier ergibt sich ein ähnliches Bild. Aufgrund der geringen verfügbaren Leistung respektive Wärmemengen oder der zu hohen Gestehungskosten eignet sich die Abwärme an diesen Standorten nur bedingt für eine externe Nutzung. Lediglich das bestehende Wärmenetz in Schmachtenhagen bietet noch weiteres, wirtschaftlich sinnvolles Ausbaupotenzial. Im vorliegenden Fachgutachten wurden zwei mögliche Ausbaustufen betrachtet, die zu unterschiedlichen Wärmepreisen führten. Inwiefern und in welchem Umfang sich diese Wärmenetzerweiterungen eignen, ist auch individuell und detailliert zu betrachten. Dafür bietet sich auch der direkte Austausch mit potenziellen Abnehmern an.

Für die Fortschreibung der Wärmeplanung empfiehlt es sich dennoch die hier betrachteten Abwasserkanäle unabhängig des Ergebnisses weiter zu betrachten und die Durchfluss- und Temperaturmessungen auf mindestens ein Jahr zu erweitern, um verlässliche Messwerte für die Eignungsprüfung vorliegen zu haben.

Des Weiteren wird die detaillierte Betrachtung einer möglicher Wärmenetzerweiterung in Schmachtenhagen inklusive Bürgerinnen- und Bürgerbefragung empfohlen, um somit Wärmenetzausbaubereiche ausschreiben zu können.

5.3 Großwärmepumpen

5.3.1 Einführung

Großwärmepumpen ermöglichen es, emissionsfreie Umweltwärmequellen in der Umgebung eines Wärmenetzes auf das erforderliche Temperaturniveau eines Fernwärmenetzes anzuheben. Für die Stadt Oranienburg werden die Potenziale von Oberflächengewässern, Abwasser, oberflächennaher Geothermie und Luft zur Nutzung mittels Wärmepumpen betrachtet.

Zunächst werden einige aktuelle (planungs-)rechtliche und standortspezifische Rahmenbedingungen aufgezeigt, die die Nutzung der entsprechenden Wärmequellen limitieren oder die bei der Aufstellung von Wärmepumpen beachtet werden müssen. In einer ausführlichen Flächenprüfung werden Eignungsflächen zur Aufstellung von Großwärmepumpen sowie für die benötigten Einbindungsanlagen, wie Erdwärmesonden bei der oberflächennahen Geothermie, Rückkühlwerken für die Nutzung von Luftwärme oder Entnahmebauwerke und Rohrleitungen bei Flüssen, aufgezeigt.

Daraufhin werden alle benannten örtlichen Umweltwärmepotenziale und die zugehörigen Technologien beschrieben und quantifiziert. Es wird jeweils die vorliegende Datenlage ausgewertet, um theoretische und technische Wärmemengen und -leistungen auszuweisen. Die Leistungspotenziale werden unter verschiedenen Zielsetzungen quantifiziert, erreichbare Leistungszahlen und Volllaststunden werden ausgewiesen. Für beispielhafte Auslegungen werden Abschätzungen zu den zu erwartenden Wärmegestehungskosten gegeben.

In Absprache mit den Stadtwerken Oranienburg wurde die Mindestleistung pro Anlage auf 1 MW Heizleistung festgelegt, um zu viele kleinteilige Anlagen im System zu vermeiden.

5.3.2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungsfähigkeit

In diesem Kapitel werden die rechtlichen Rahmenbedingungen für Großwärmepumpen der Quellen Wasser und Luft im Landkreis Oberhavel erläutert.

Oberflächengewässer

Für die Errichtung und den Betrieb von Wärmepumpen, die das Wasser von oberirdischen Gewässern als Wärmequelle nutzen, bedarf es einer wasserrechtlichen Erlaubnis bzw. Bewilligung gem. §§ 8, 9 Wasserhaushaltsgesetz (WHG).

Voraussetzung für die Erteilung einer Erlaubnis bzw. Bewilligung ist, dass keine schädlichen, auch durch Nebenbestimmungen nicht vermeidbare oder nicht ausgleichbare Gewässerveränderungen zu erwarten sind und die Anforderungen aus anderen öffentlich-rechtlichen Vorschriften erfüllt werden. Oberirdische Gewässer sind, soweit sie nicht als künstlich oder erheblich verändert eingestuft werden, so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung ihres ökologischen und ihres chemischen Zustands vermieden wird. Im Übrigen steht die Erteilung gemäß § 12 Abs. 2 WHG im pflichtgemäßen Ermessen (Bewirtschaftungsermessen) der zuständigen Behörde.

Da in der Regel ein erheblicher Eintrag thermischer Energie aus der Umgebung stattfindet, ist bei der Abkühlung eines Gewässers durch Wärmepumpen tendenziell eher von einem positiven Effekt auszugehen. Zur maximalen Temperaturabsenkung eines Gewässers gibt es keine einheitliche Regelung, sodass die Bodensee-Richtlinie als Orientierung angesetzt werden kann.

Diese gibt vor, dass die maximalen Temperaturänderungen außerhalb des Mischbereiches 1 K nicht überschreiten dürfen (IGKB, 2023). Eine Rücksprache mit der Unteren Wasserbehörde des Landkreises Oberhavel ergab, dass innerhalb der Region bisher keine Referenzprojekte umgesetzt wurden und die Auskühlung des gesamten Wasserkörpers bei maximal 1 bis 3 K liegen sollte. Um eine hohe Genehmigungswahrscheinlichkeit zu gewährleisten, wird daher von einer Auskühlung des gesamten Volumenstroms von maximal 1 K ausgegangen.

In Oranienburg ist kein Überschwemmungsgebiet oder Hochwasserrisikogebiet ausgewiesen, welches bei der Planung der Aufstellorte berücksichtigt werden muss. Allerdings sind Havel, Schnelle Havel und der Lehnitzsee Vorranggewässer für ökologische Durchgängigkeit mit einer herausragenden Bedeutung für Fischpopulationen (Prioritätsstufe 2) (LUGV Brandenburg, 2013). Die Definition der Prioritätsstufe 2 zur ökologischen Durchgängigkeit des Landes Brandenburg beschreibt u.a.: „Ein Neubau von Querbauwerken, Rückhaltebecken, Stauen oder Wasserkraftanlagen ist gemäß EU-WRRL grundsätzlich auszuschließen“ (LfU Brandenburg, 2024).

Die Einstufung der Flüsse als Prioritätsstufe 2 steht der Genehmigungsfähigkeit einer Wärmepumpe (unabhängig von deren Konzeption) jedoch nicht per se entgegen. Die Nutzung eines Flusses zum Betrieb einer Wärmepumpe durch Entnahme hat auf dessen Durchgängigkeit keinen zwingenden Einfluss. Es handelt sich nicht um ein (seiner Natur nach) die Durchgängigkeit beeinträchtigendes Querbauwerk. Darunter zu verstehen sind Sohlschwellen, Kreuzungs- und Regelungsbauwerke, Hochwasserrückhaltebecken, Verrohrungen, Schöpfwerke, Pegelanlagen sowie Wasserkraftanlagen (Verein Kleinwasserkraft, 2024) oder eine Stauanlage. Als letzteres wird eine Anlage bezeichnet, „die durch Hemmen des Wasserabflusses den Wasserspiegel heben oder Wasser ansammeln sollen“ (Riedel, 2022).

Bei Wärmepumpen bzw. den hierzu erforderlichen Entnahmebauwerken beeinflussen die Aspekte der Durchgängigkeit und des Fischschutzes daher voraussichtlich lediglich das "Wie" einer Genehmigung (Anpassung der Entnahmemenge zum Erhalt der Mindestwasserführung, Anpassung der Ansauggeschwindigkeit zur Vermeidung von Gefahren für Fische), nicht aber das "Ob" der Genehmigung.

Luft

Für Luft-Wärmepumpen kommen die allgemeinen Genehmigungsvoraussetzungen und Pflichten des Immissionsschutzrechts und des Baurechts in Betracht.

Luft-Wärmepumpen sind für sich betrachtet nach Immissionsschutzrecht grundsätzlich genehmigungsfrei. Im Falle der Verwendung von Ammoniak als Kältemittel gilt die Wärmepumpe ab einer Füllmenge von 3 t als genehmigungsbedürftige Anlage, ab 50 t gilt zusätzlich die Störfallverordnung und die dortigen Betriebspflichten. Für die Verwendung von Kohlenwasserstoffen als Kältemittel ist die Störfallverordnung ab 50 t anwendbar (verflüssigte, entzündbare Gase), woraus sich ebenfalls eine Genehmigungspflicht ergeben kann.

Die Pflicht zur Durchführung eines immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens kommt bei Luft-Wärmepumpen auch dann in Betracht, wenn die Wärmepumpe und die hierzu erforderlichen Rückkühlwerke am Standort einer bestehenden – ihrerseits nach Immissionsschutzrecht genehmigungsbedürftigen - Anlage desselben Betreibenden (wie bspw. an einem Heizkraftwerk) errichtet wird.

Es kann sich hieraus das Erfordernis einer Änderungsgenehmigung für die Bestandsanlage gemäß § 16 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ergeben, wenn die Wärmepumpe im jeweiligen Einzelfall als „wesentliche Änderung“ nach dieser Vorschrift eingestuft wird.

Für nicht genehmigungsbedürftige Großwärmepumpen gilt lediglich eine Anzeigepflicht. Jedoch sind auch diese gemäß den Betriebspflichten so zu errichten, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind und unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden (§ 22 BImSchG).

Unabhängig von der Genehmigungspflicht ergeben sich immissionsschutzrechtliche Betriebspflichten für Luft-Wärmepumpen insbesondere aus den möglichen Umwelteinwirkungen durch **Kältemittel** und **Lärm**. Für letztere sind die Grenzwerte der TA Lärm zu beachten, die an die Gebietseinteilung nach der Baunutzungsverordnung (BauNVO) anknüpfen. Für Wohngebiete gelten hiernach beispielsweise strengere Grenzwerte als für Industrie- oder Gewerbegebiete, was auch bei der Prüfung der baurechtlichen Genehmigungsfähigkeit zu beachten ist.

Hinsichtlich des Baurechts ist ferner zu beachten, dass Luft-Wärmepumpen im Außenbereich mangels ausdrücklicher Privilegierung nach der derzeitigen Rechtslage tendenziell als nicht genehmigungsfähig gelten. Sofern Standorte im Außenbereich (d. h. Flächen ohne Bebauungsplan und außerhalb im Zusammenhang bebauter Ortsteile) ins Auge gefasst werden, wäre dort in der Regel zunächst ein Bauleitplanverfahren erforderlich.

5.3.3 Flächeneignungsprüfung

Bei der Flächeneignungsprüfung wurde äquivalent zum Vorgehen im Fachgutachten Solarthermie (Kapitel 5.5) vorgegangen. Auf Landesebene wurden keine konkreten Eignungs- oder Ausschlussflächen für Großwärmepumpen benannt. Die gewählten Kriterien ergeben sich daher u. a. aus den rechtlichen Vorgaben des Landes Brandenburg und orientieren sich in Teilen an der „Gemeinsame Arbeitshilfe Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) Gestaltungs- und Steuerungsmöglichkeiten für Kommunen im Land Brandenburg“.

Die Abwägungskriterien wurden im Fall der Luft-Wärmepumpen um einen Mindestabstand zum Siedlungsbereich von 50 m ergänzt. Zusätzlich wurde im Falle der Nutzung von Oberflächengewässern berücksichtigt, dass sich Eignungsflächen zur Aufstellung der Wärmepumpen in einem Umkreis von max. 2 km zum Gewässer befinden sollten, um zu große Wärmeverluste und Kosten bei der Wärmeübertragung zu vermeiden. Für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie wurden des Weiteren alle Wasserschutzgebiete, schutzwürdige Böden sowie Einzugsgebiete von Brunnenanlagen als Ausschlusskriterium definiert.

Nach Absprache mit der unteren Wasserschutzbehörde wurde außerdem deutlich, dass im Gegensatz zur Solarthermie kein Gewässerrandstreifen von 50 m freigehalten werden muss, da Großwärmepumpen einen deutlich geringeren Platzbedarf aufweisen.

Für die Aufstellung von Wärmepumpen zur Nutzung von Oberflächengewässern wird nur eine Fläche von ca. 200 m²/MW benötigt. Da das Vorgehen zur Flächenermittlung jedoch auf einem gröberen Flächenraster von ca. 1 ha basiert, wurden im Fall der Oberflächengewässer-Wärmepumpen stattdessen zusätzlich manuell Flächen analysiert.

Dazu wurde geprüft, welche Flächen entlang der Oberflächengewässer sich bereits im öffentlichen Eigentum befinden. Eine energietechnische Nutzung dieser Flächen ließe sich voraussichtlich schneller und kostgünstiger umsetzen. Die Auswertung der kommunalen Flurstücke zeigt, dass entlang aller Gewässer Flächen im kommunalen Besitz vorliegen.

Aus Gesprächen mit den Stadtwerken Oranienburg ging hervor, dass eine Fläche entlang der Havel, auf der gegenüberliegenden Seite des Kraftwerksstandorts als besonders geeignet für eine neue Energiezentrale eingestuft wird. In der vorhergegangenen Analyse wurde diese Fläche ausgeschlossen, da laut Bebauungsplan bereits eine Gebäudeplanung für diese Flächen vorgesehen ist – dies stellt in diesem Fall aber laut Stadtwerken Oranienburg kein Ausschlusskriterium dar. Auf der gegenüberliegenden Seite des Kraftwerks wären ca. 45.000 m² verfügbar.

Um die Wärmeentnahme am Lehnitzsee möglichst effizient umzusetzen, sollte die Entnahmestelle im tiefsten Bereich des Sees eingebracht werden, da dann Durchmischungseffekte vermindert werden und auch im Winter im tiefsten Bereich gemäßigte Temperaturen erwartet werden können. Der See ist in großen Teilen sehr flach, im Zentrum gibt es jedoch einen Bereich mit bis zu 13 m Tiefe bei ca. 52.752 °N, 13.262 °E. Am zugehörigen westlichen Uferbereich gibt es drei Flurstücke in kommunaler Hand, von denen eines jedoch Naherholungsgebiet und bewaldet ist und auf einem befindet sich der Tennisvereins. Das letzte Flurstück an der Ludwigshafener Str. weist die höchste Eignung auf, allerdings ist auch diese Fläche zurzeit bewaldet und es ist unklar, ob die deutliche Änderung im Landschaftsbild gewünscht wäre. Zunächst wird daher davon ausgegangen, dass auch die Seewasser-Wärmepumpe auf dem Gelände am Kraftwerksstandort platziert würde und eine Anbindungsleitung über ca. 1,6 km realisiert werden müsste.

Auch entlang des Oranienburger Kanals wurden drei mögliche Eignungsflächen in kommunaler Hand identifiziert, von denen zwei jedoch laut aktuellem Bebauungsplan von der Umnutzung ausgeschlossen werden. Dieser Ausschluss könnte jedoch von der Stadt evtl. angepasst werden. Die Fläche am Friedenthaler Weg wird zunächst als Vorrangstandort eingestuft. Die wichtigsten Vorrangflächen je Gewässer sind in Abbildung 25 zusammengefasst.



Abbildung 25: Haupteignungsflächen entlang Oberflächengewässern

Da oberflächennahe Geothermie aufgrund der nötigen Sondenabstände von 10 m bzw. 86 m² Einzugsgebiet pro Sonde einen sehr großen Flächenbedarf von ca. 2 bis 5 ha (in Abhängigkeit der lokalen Wärmeleitfähigkeiten) je 1 MW Leistung aufweist, werden nur zusammenhängende Flächen größer 2 ha berücksichtigt.

Im öffentlichen Bericht werden keine konkreten Flächen, die neben kommunalen Eignungsflächen auch solche im privaten Besitz darstellen, abgebildet. Das Kartenwerk liegt der Auftraggeberin vor.

Die Betrachtung der geeigneten Nutzungsflächen für oberflächennahe Geothermie zeigt, dass einige kleinere Potenzialgebiete zentral im Fernwärmeeinzugsbereich liegen, jedoch nicht die gebotene Mindestgröße von 2 ha erfüllen. In Summe liegen 244 ha Flächen mit einer individuellen Flächengröße > 2 ha im identifizierten Eignungsgebiet. Diese befinden sich im vorrangig im Nordwesten und teilweise im Südwesten des Stadtgebiets. Das theoretische Flächenangebot übersteigt damit deutlich den Wärmebedarf der Region. Da die Nutzung von Flächen, welche sich bereits in kommunaler Hand befinden, das Planungsverfahren deutlich beschleunigt und vergünstigt, werden zunächst die kommunalen Flurstücke im Eignungsgebiet näher betrachtet.

Es gibt drei Eignungsflächen im Besitz der Stadt, von denen zwei Flächen die Mindestgrößenanforderung von 2 ha aufweisen. Eine Fläche im Norden am Friedenthaler Weg wird zurzeit als Ackerland genutzt, die andere im Südwesten entlang der B96 südlich des PV-Parks ist aktuell Grünland.

Für die Auswertung der Potenzialflächen für Luft-Wärmepumpen ergeben sich sehr ähnliche Potenzialflächen wie bei der oberflächennahen Geothermie. Aufgrund des Schallschutzes wird zusätzlich ein Abstand zur Wohnbebauung von 50 m vorgesehen, sodass die Potenzialflächen auch eher am Stadtrand gesehen werden. Der spezifische Flächenbedarf für Luft-Wärmepumpen liegt mit ca. $1.000 \text{ m}^2/\text{MW}$ deutlich unter dem Flächenbedarf der oberflächennahen Geothermie. In Summe wurden 590 ha Potenzialflächen identifiziert. Entsprechend wird zunächst vorausgesetzt, dass zum Ausbau von Luft-Wärmepumpen hinreichend große Flächen verfügbar sind und keine räumliche Obergrenze des Potenzials festgelegt werden muss.

5.3.4 Potenzialanalyse Umweltwärmequellen

5.3.4.1 Oberflächengewässer

Nutzungsformen

Oberflächengewässer weisen aufgrund ihrer thermischen Trägheit eine ganzjährig hohe Eignung zur thermischen Nutzung durch Wärmepumpen auf. Die Wärmepumpensysteme können entweder als offene oder geschlossene Kreisläufe umgesetzt werden. Bei offenen Systemen wird Wasser aus dem Fluss oder See entnommen und an anderer Stelle durch den Wärmeübertrager geleitet. Bei geschlossenen Systemen befindet sich der Wärmeübertrager direkt im Gewässer, sodass Wärme üblicherweise erst an einen Zwischenkreislauf und anschließend an den Verdampfer der Wärmepumpe übergeben wird.

Aufgrund der hohen geplanten Mindestleistung von 1 MW pro Anlage wird von offenen Systemen zur Nutzung ausgegangen, da diese eher für hohe Entzugsleistungen geeignet sind. Offene Systeme weisen ein Filtersystem vor dem Wärmeübertrager auf, welches vor starker Verschmutzung schützt. Bei der Platzierung des Einleit- und Entnahmerohres ist vor allem beim See darauf zu achten, dass ein ausreichender Abstand eingehalten wird, um einen thermischen Kurzschluss zu vermeiden.

Für die genaue Dimensionierung der Einleitstelle und Entnahmemenge sollten limnophysikalische Modellierungen durchgeführt, welche die bestmögliche Konfiguration bei minimaler Störung der Umwelt ermitteln. In Seen können zusätzliche Probleme durch vertikale thermische Durchmischung, Biofouling aufgrund hoher Nährstoffgehalte oder zu steile Abhänge für die Installation der Anlagen bestehen.

Datenlage

Im Stadtgebiet Oranienburgs gibt es vier potenziell nutzbare Gewässer: der Oranienburger Kanal im Westen, die Schnelle Havel im Norden sowie die Obere Havel und den Lehnitzsee im Osten. Zur Einschätzung der Eignung der entsprechenden Gewässer für eine thermische Nutzung sind insbesondere Daten zum Durchfluss und der Temperatur relevant. In Abbildung 26 sind die verschiedenen Fließgewässer und die Messstellen des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oder-Havel (WSV) (Wasser- und Schifffahrtsamt, Fachbereich Schifffahrt, 2024) sowie des Landesamtes für Umwelt (LfU) (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft, 2024) dargestellt. Daten lagen in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung und für verschiedene Bezugsjahre vor.

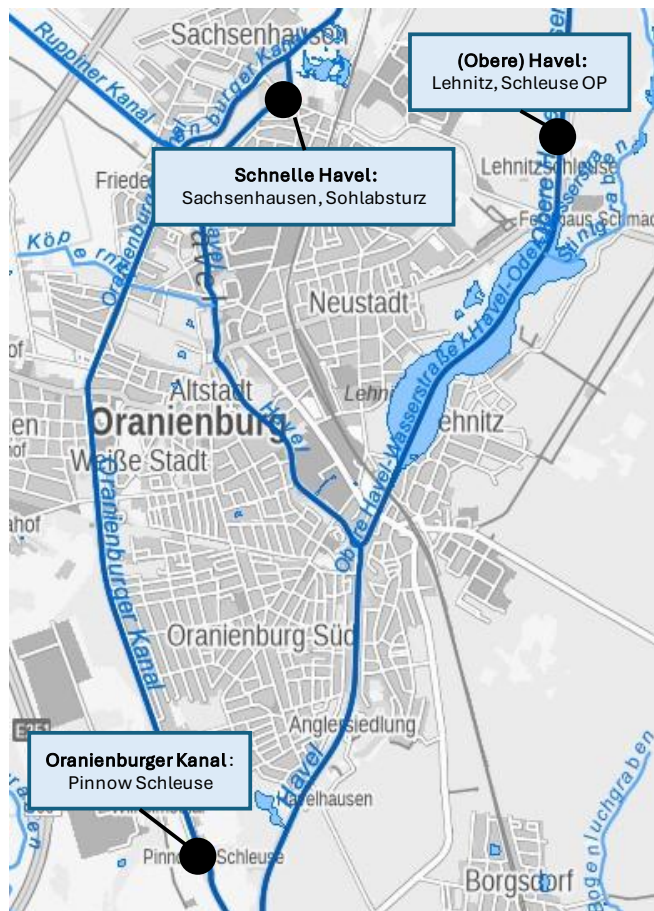


Abbildung 26: Messstellen und Fließgewässer im Raum Oranienburg

Da der Durchfluss von Flüssen stark vom Niederschlag und auch von der Umgebungstemperatur abhängt, wurde das Jahr 2023 als gemeinsames Bezugsjahr gewählt.

Für die Schnelle Havel lagen an der Messtelle Sachsenhausen Sollabsturz tägliche Messwerte für das Jahr 2023 vor (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft, 2024). Der Momentanwert der Tagesmessung wurde für jede Stunde des betroffenen Tages angenommen. Im Falle des Oranienburger Kanals und der Oberen Havel vor dem Lehnitzsee lagen keine Messdaten für den Bezugszeitraum vor. Hier wurden aus historischen Durchfluss-Daten des Jahres 1999 bzw. der Jahre 2014 bis 2019 (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft, 2024) und Wasserstandsmessungen dieser Jahre (Wasser- und Schifffahrtsamt, Fachbereich Schifffahrt, 2024) Faktor-Zeitreihen für den Zusammenhang dieser beiden Messungen abgeleitet. Diese Faktorreihe wurde dann auf vorhandene Wasserstandsmessungen aus dem Bezugsjahr (Wasser- und Schifffahrtsamt, Fachbereich Schifffahrt, 2024) angewendet, um Durchfluss-Zeitreihen abzuleiten.

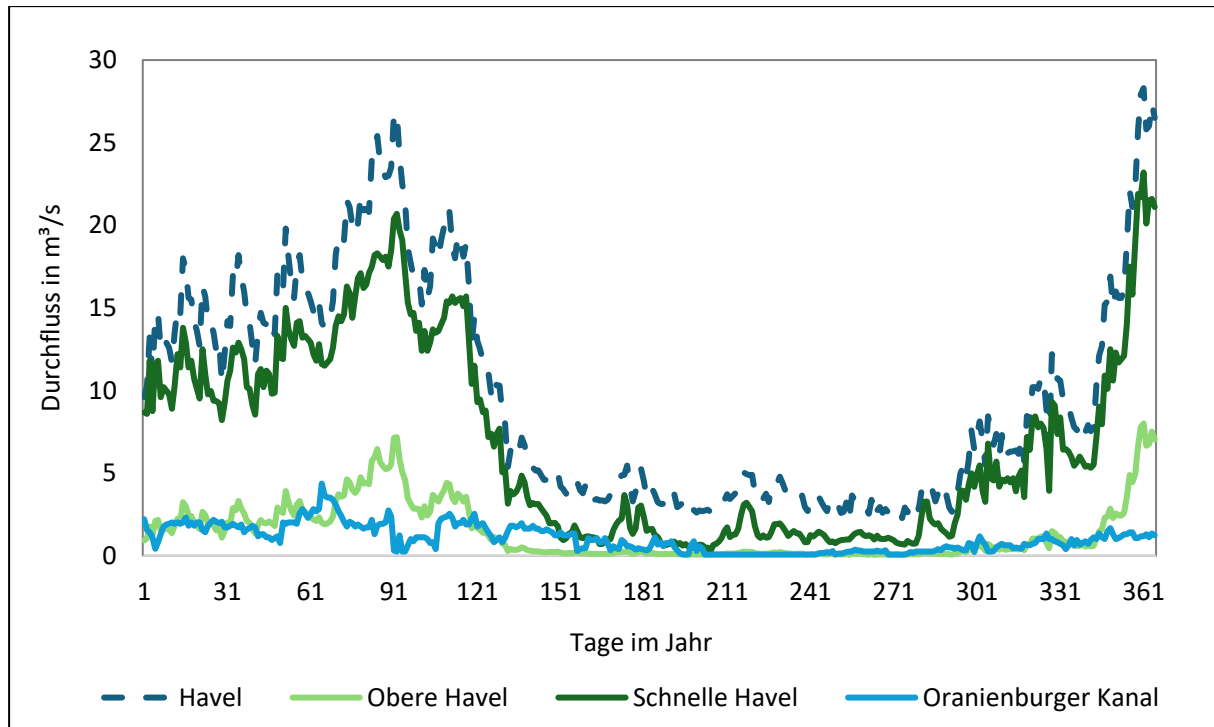


Abbildung 27: Historische und synthetisierte Durchflussdaten zu Oranienburger Gewässern

Der mit Abstand größte Durchfluss tritt in der Schnellen Havel (Messstelle Sachsenhausen) auf. Gleichzeitig wird die starke jahreszeitliche Schwankung des Durchflusses der Schnellen Havel deutlich. Im Sommer liegt der Durchfluss aufgrund von Trockenheit im Mittel bei etwa einem Zehntel des winterlichen Durchflusses. Die Volumenströme des Oranienburger Kanals und der Oberen Havel variieren weniger und liegen insgesamt auf einem geringen durchschnittlichen Niveau von 1 bzw. 1,4 m³/s.

Für den Lehnitzsee ist keine Durchflussrate bekannt. Stattdessen wird die Erneuerungsrate von ca. 30 Tagen und das Volumen von 3 Mio. m³ berücksichtigt. Daraus ergibt sich eine theoretische Fließgeschwindigkeit im See von 1,15 m³/s.

Temperaturdaten waren in täglicher Auflösung nur für die Messstelle Lehnitz, Schleuse OP verfügbar (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft, 2024). Aufgrund der geografischen Nähe und räumlichen Ähnlichkeit wurden diese Daten für alle Fließgewässer gleichermaßen angenommen. Dieser Ansatz wurde einer Interpolation von monatlichen Messdaten an den übrigen Messstellen vorgezogen, um extreme Wettersituationen und insbesondere stark ausgekühlte Zustände abzubilden.

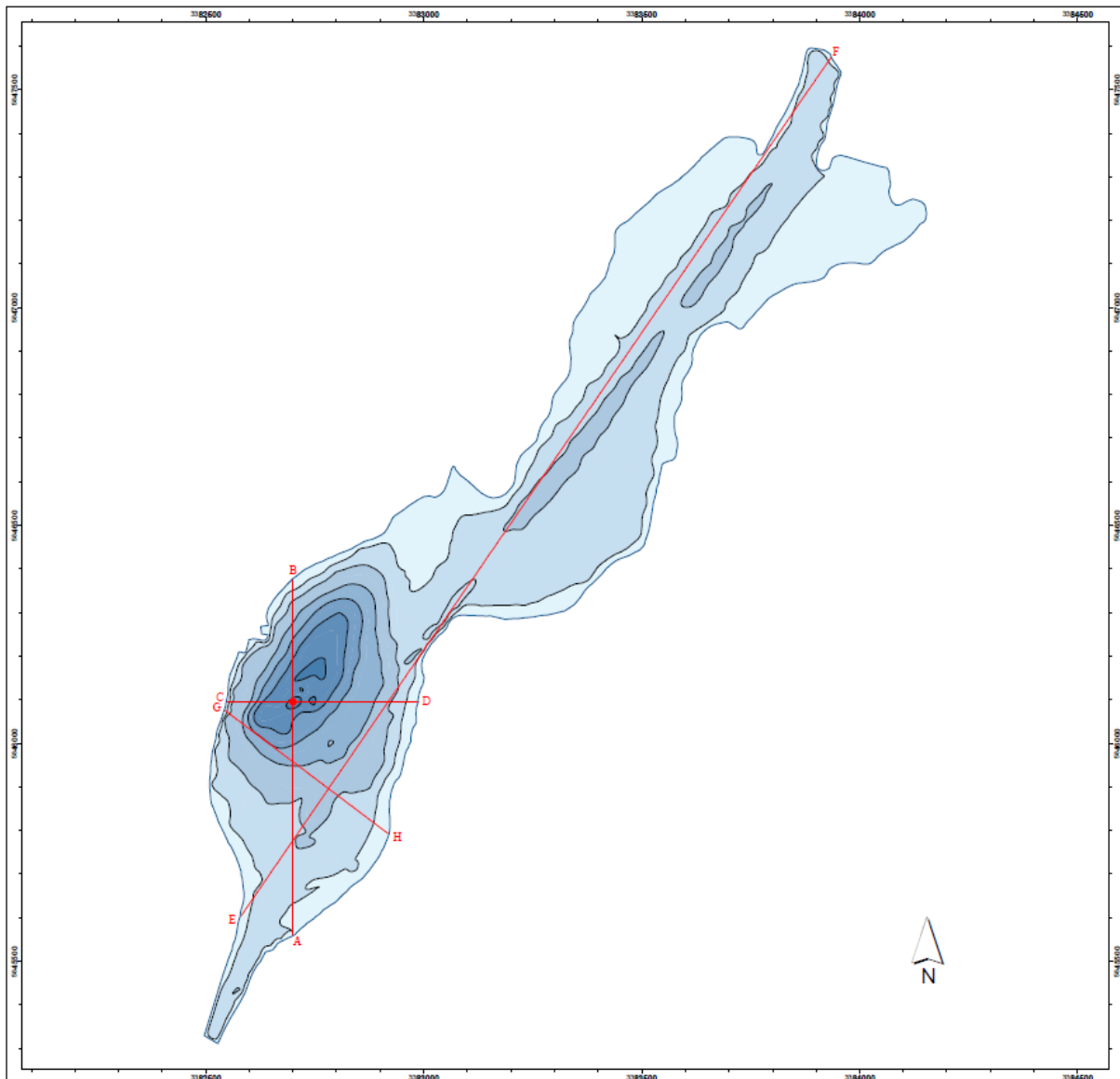


Abbildung 28: Hydrographische Vermessung des Lehnitzsees (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, 2024)

Für den Lehnitzsee wurden durch das Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg in unregelmäßigen Abständen stichprobenartige Temperaturmessungen in mehreren Tiefenschichten durchgeführt (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, 2024). Abbildung 28 zeigt, dass der See in großen Teilen sehr flach ist, im Zentrum jedoch bis zu 13 m Tiefe nutzbar sind. Dabei liegen für das Jahr 2023 jeweils Messdaten für einen Tag der Monate April, Mai, Juni, Juli, August und Oktober vor. Zusätzlich konnten Daten aus dem Jahr 2017 für die Monate Oktober und November verwendet werden. Leider gibt es keine Messdaten für die Wintermonate. Die Messdaten sind in Abbildung 29 für verschiedene Tiefen abgetragen.

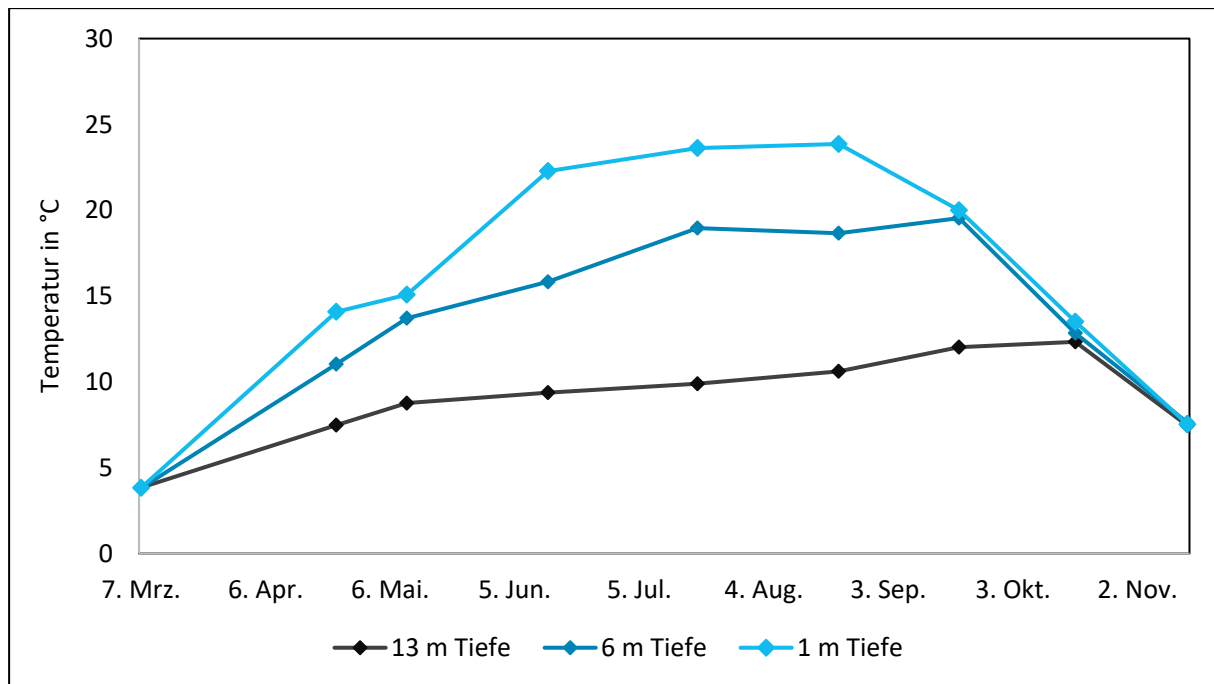


Abbildung 29: Messdaten Lehnitzsee, basierend auf (Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, 2024)

Insgesamt gilt, dass tiefere Wasserregionen weniger kurzfristige Temperaturschwankungen aufweisen und weniger durch vertikale Durchmischungsereignisse, wie Stürme, betroffen sind. Im Sommer wärmt sich der untere Wasserkörper langsamer auf, da die unteren Wasserschichten geringere solare Einträge erhalten. Gleichzeitig sind aufgrund der Dichteanomalie von Wasser unten im Ruhezustand im Wasserkörper ganzjährig mindestens ca. 4 °C zu erwarten, was zunächst für die verbleibenden Wintermonate angenommen wird.

Obwohl in den Wasserschichten nahe der Oberfläche höhere Temperaturen erreicht werden können, wird im Folgenden von einer Einzugsstelle an der tiefsten Stelle des Sees ausgegangen, um im Winter (in der Heizperiode) möglichst konstante und hohe Temperaturen zu erreichen. Bevor eine weitere Planung verfolgt wird, sollten jedoch unbedingt eine zusätzliche und enger aufgeschlüsselte Temperaturmessung erfolgen.

Die Messpunkte wurden mittels einer Funktion 5. Grades angenähert, um aus den Messpunkten stündliche Messdaten abzuleiten. Die verwendeten Daten in tagesspezifischer Auflösung sind in Abbildung 30 visualisiert.

Die Flusswassertemperatur bewegt sich in 1,5 m Tiefe zwischen 0,7 °C und 23,8 °C. Die rote Linie zeigt die Temperaturuntergrenze an, welche das Gewässer aufweisen muss, um auch nach Auskühlung im Wärmeübertrager nicht zu gefrieren (4 °C). Insgesamt fielen im Jahr 2023 61 Tage in diesen Bereich. Die synthetisierte Temperatur des Lehnitzsees liegt fast ganzjährig unterhalb des Niveaus der Flusswassertemperaturmessungen. Eine Abweichung besteht jedoch im Winter, während die Flusstemperatur auf unter 4 °C absinkt, fällt die Temperatur des Sees nicht unter 4 °C.

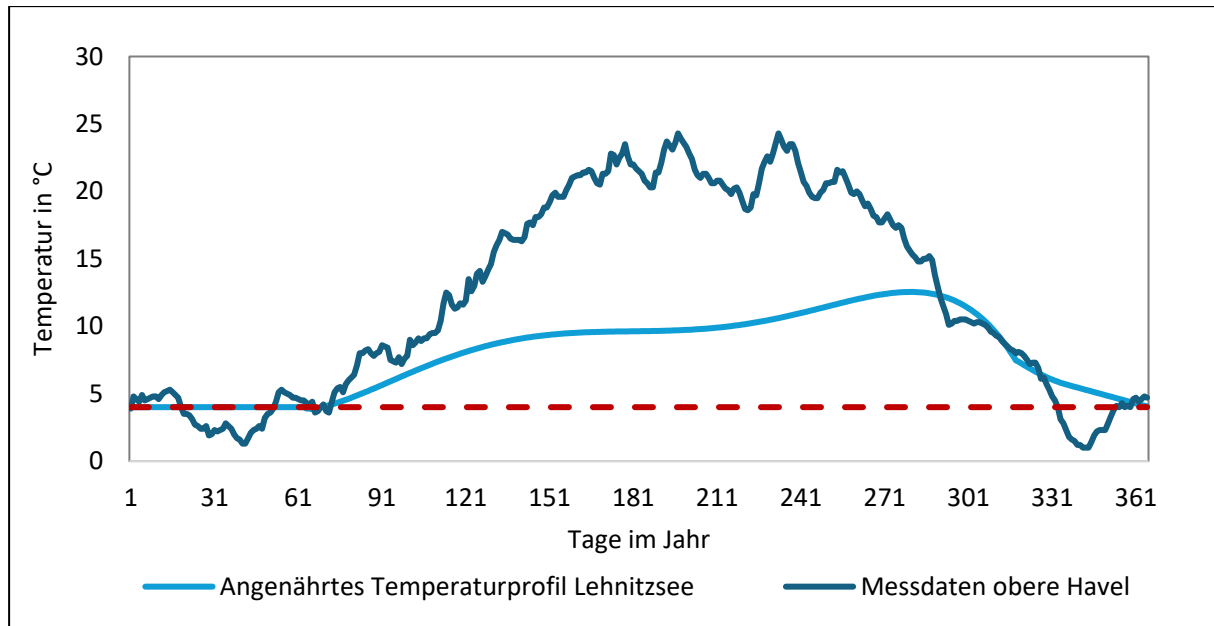


Abbildung 30: Historische und synthetisierte Temperaturdaten zu Oranienburger Gewässern

Theoretisches Potenzial

Für eine Abschätzung des nutzbaren theoretischen Potenzials wurde zunächst von einer Auskühlung des gesamten Volumenstroms um 1 K ausgegangen, was der gesichert regulatorisch zulässigen Auskühlung entspricht. Über die thermodynamische Grundgleichung wurde die zur Verfügung stehende Wärmemenge über das Jahr hinweg integriert, die durch Stromeinsatz nachträglich in der Wärmepumpe angehoben werden kann. Zusätzlich ist die mittlere theoretische Wärmeleistung je Gewässer angegeben.

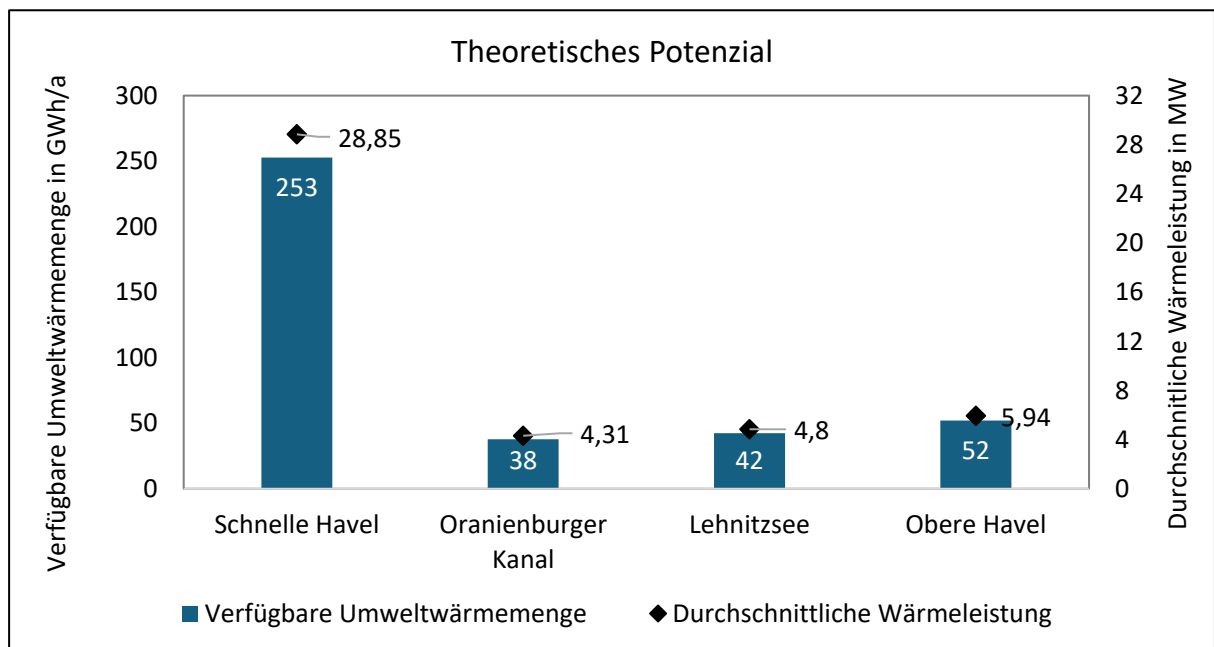


Abbildung 31: Theoretisches Potenzial Oberflächengewässer

Aus Abbildung 31 geht klar hervor, dass das theoretische Potenzial der Schnellen Havel das der übrigen beiden Gewässerarme bzw. des Lehnitzsees deutlich übersteigt. Dies korreliert direkt mit dem durchschnittlichen Durchfluss, der für den Oranienburger Kanal und die Obere Havel deutlich geringer ausfällt.

Technisches Potenzial

Das technische Potenzial bezieht sich nicht auf die nutzbare Wärmemenge im Fluss, sondern auf die kondensatorseitig verfügbare Wärmemenge nach Nutzung der Wärmepumpe. Die Effizienz der Wärmepumpe wurde dabei stundenspezifisch durch temperaturabhängige Leistungszahlen ermittelt. Diese basieren auf den vorliegenden Gewässertemperaturen (Quelle), Vorlauftemperaturen (Senke) und einem angenommenen Lorenz-Gütegrad von 0,5. Unter Bezugnahme auf die zukünftige Netzfahrweise mit maximalen Temperaturen von 85 °C im Vorlauf und 50 °C im Rücklauf ergibt sich eine Jahresarbeitszahl von 2,78 für die Flüsse und den Kanal und von 2,93 für den Lehnitzsee.

Da für eine sinnvolle Auslegung des Wärmeübertragers der Wärmepumpe eine größere Auskühlung des Wassers als 1 K nötig ist, wurde im ersten Schritt der Anteil des nutzbaren Volumenstroms der Flüsse auf 20 % bzw. auf 30 % beim Lehnitzsee reduziert, um weiterhin sicher die Gesamtauskühlung des Flusses auf maximal 1 K zu begrenzen. Mithilfe dieses Volumenstroms wurde die resultierende maximale thermisch nutzbare Leistung sowie die erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe ermittelt. Sinken die Quelltemperaturen unter 4°C, wird der Betrieb der Wärmepumpe ausgeschaltet, um Frostschäden zu vermeiden. Es wird ein offenes System ohne Zwischenkreislauf und entsprechende Wärmeverluste im zusätzlichen Wärmeübertrager vorausgesetzt.

Im zweiten Analyse Schritt zur Ermittlung des technischen Potenzials wurde zudem berücksichtigt, dass in der Realität nur eine bestimmte Wärmepumpen-Kapazität installiert werden kann. Wird diese geringer ausgelegt als auf die maximal verfügbare Wärmeleistung, treten im Jahresverlauf Stunden auf, in denen die zuvor ermittelte Wärmeleistung nicht vollumfänglich genutzt werden kann. Abschließend wurde der Lastgang der Wärmepumpe mit dem Lastgang des Wärmenetzes verschnitten, um eine sinnvolle Auslegungsleistung zu ermitteln.

Die Methodik wurde auf alle drei nutzbaren Fließgewässer sowie den Lehnitzsee angewendet.

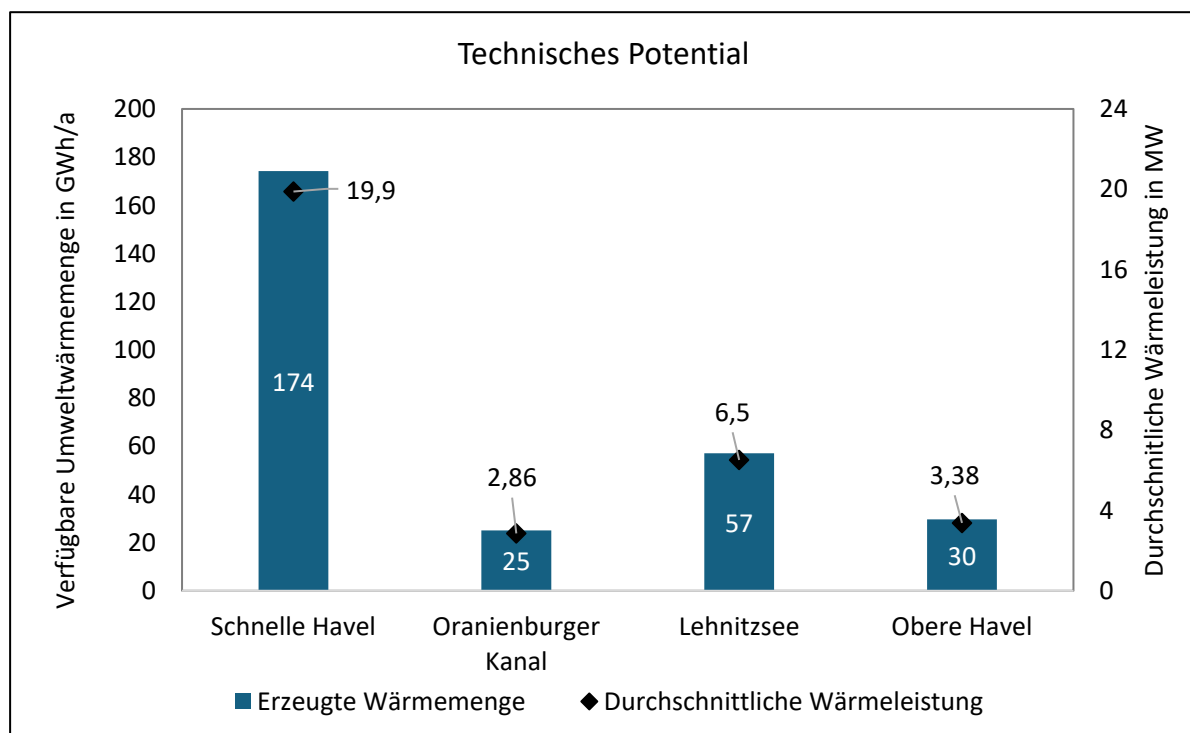


Abbildung 32: Technisches Potenzial Oberflächengewässer

Abbildung 32 visualisiert, dass das technische Potenzial aller Fließgewässer im Vergleich zum zuvor dargestellten theoretischen Potenzial geringer ausfällt. Dies ist auf die nun berücksichtigte Betriebsbegrenzung bei zu geringen Gewässertemperaturen im Winter (Temperaturen $< 4\text{ °C}$) zurückzuführen. Dieser Fall tritt bei der Nutzung des Lehnitzsees aufgrund der höher angenommen Temperaturen nur zu 140 Stunden auf, sodass das technische Potenzial hier über dem theoretischen liegt (aufgrund des zusätzlichen Einsatzes elektrischer Energie in der Wärmepumpe).

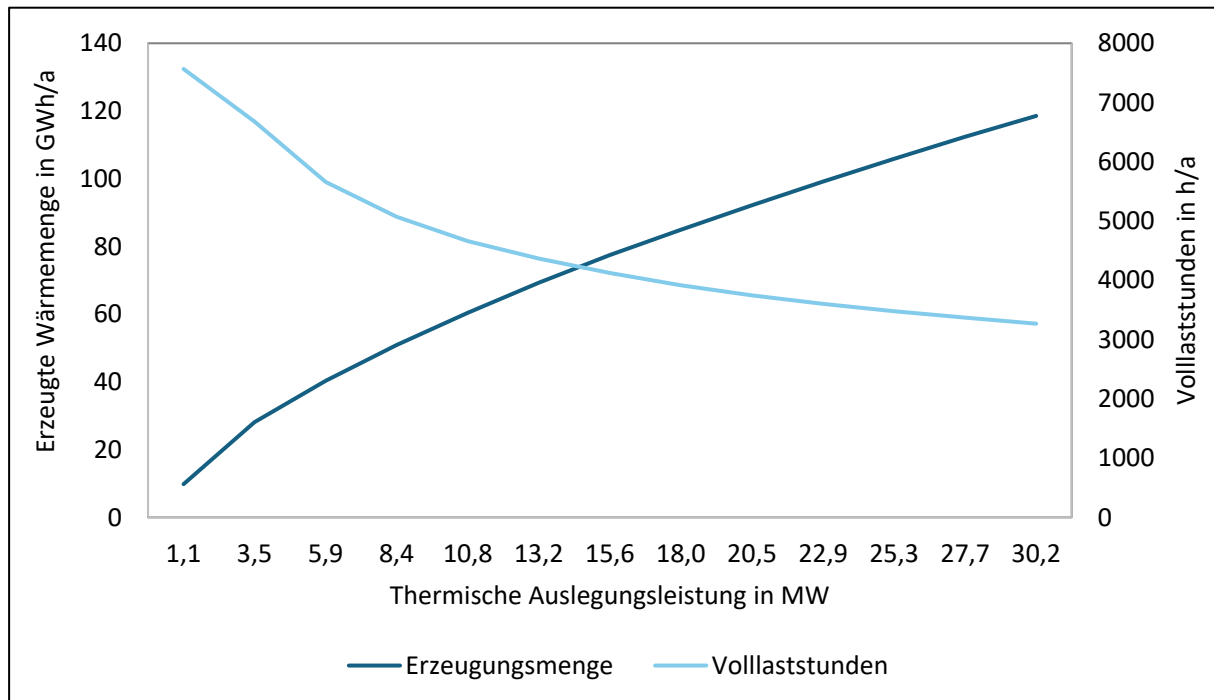


Abbildung 33: Wärmepumpe in der Schnellen Havel Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden nach Begrenzung der Auslegungsleistung (anteilige Nutzung des Volumenstroms um 20 %, Auskühlung um 3 K)

In Abbildung 33 sind die wichtigsten Kenngrößen des Wärmepumpenbetriebs am Beispiel der Schnellen Havel aufgetragen. Die Volllaststunden beziehen sich dabei auf die durchschnittlich erreichbare Leistung der Wärmepumpe bei der Jahresarbeitszahl. Bei Wärmepumpen muss berücksichtigt werden, dass die erzielbare Leistung nicht konstant ist, sondern bei gleicher Auslegung und unterschiedlichen nutzbaren Temperaturen unterschiedliche Nutzleistungen erzielt werden können. Die an der Abszisse abgetragene Auslegungsleistung bezieht sich auf die Mindestleistung im kältesten Auslegungspunkt. Die Volllaststunden ergeben sich aus der über das Jahresprofil ermittelten erzeugbaren Wärmebezogen bezogen auf die durchschnittlich erreichbare Leistung der Wärmepumpe bei der Jahresarbeitszahl (nicht bezogen auf die Auslegungsleistung).

Es wird deutlich, dass bei einer sehr geringen thermischen Auslegungsleistung die höchsten Volllaststunden erreicht werden. Dennoch werden auch bei der minimalen Auslegung nie 8.760 Volllaststunden möglich, da die Nutzung auch durch zu geringe Volumenströme im Sommer und zu geringe Temperaturen im Winter begrenzt wird. Gleichzeitig können durch eine größere Dimensionierung der Wärmepumpe höhere Leistungen abgefahren werden und größere Wärmemengen werden nutzbar. Im Auslegungsprozess muss eine Abwägung zwischen diesen beiden Kriterien in Abhängigkeit des gesamten Erzeugerparcs und des Bedarfs nach Grundlastanlagen mit hohen Betriebsstunden oder einer höheren Leistung erfolgen.

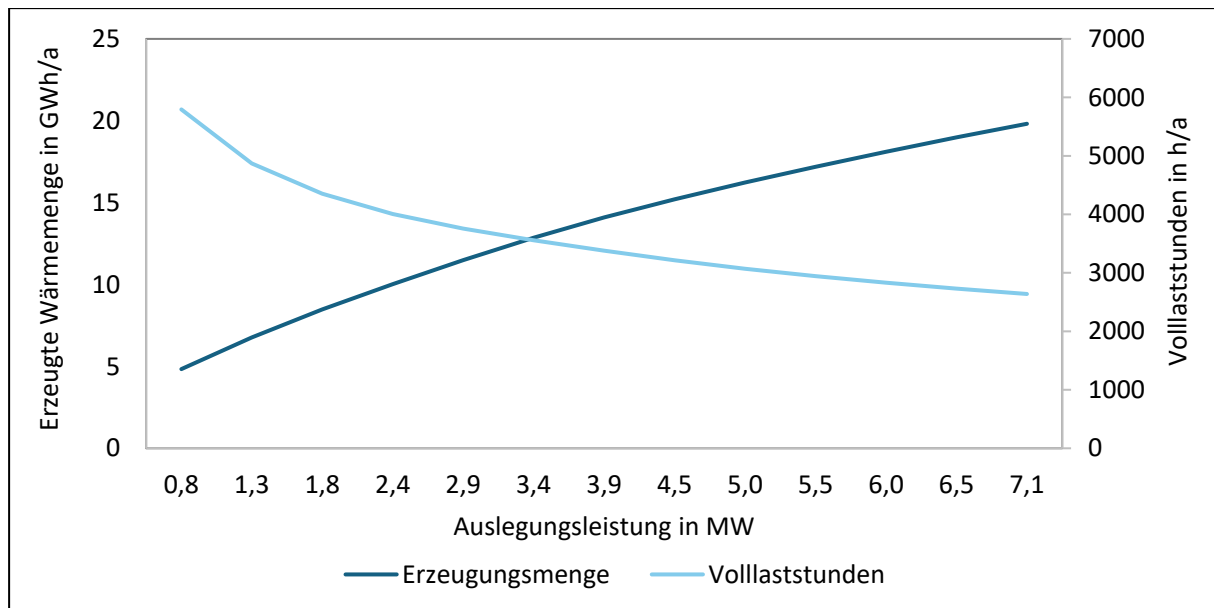


Abbildung 34: Wärmepumpe in der Oberen Havel Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden nach Begrenzung der Auslegungsleistung (anteilige Nutzung des Volumenstroms um 20 %, Auskühlung um 3 K)

Die Auswertung von Abbildung 34 zum technischen Potenzial der Oberen Havel zeigt deutlich, dass aufgrund des geringen Durchflusses, die Wärmepumpenleistung zur Erreichung ausreichender Volllaststunden so gering dimensioniert werden müsste, dass die allgemein festgelegte Untergrenze zur minimalen Kapazität pro Erzeuger im Energiesystem von 1 MW nicht erreicht werden könnte. Daher wird die Nutzung der Oberen Havel im Folgenden nicht näher betrachtet.

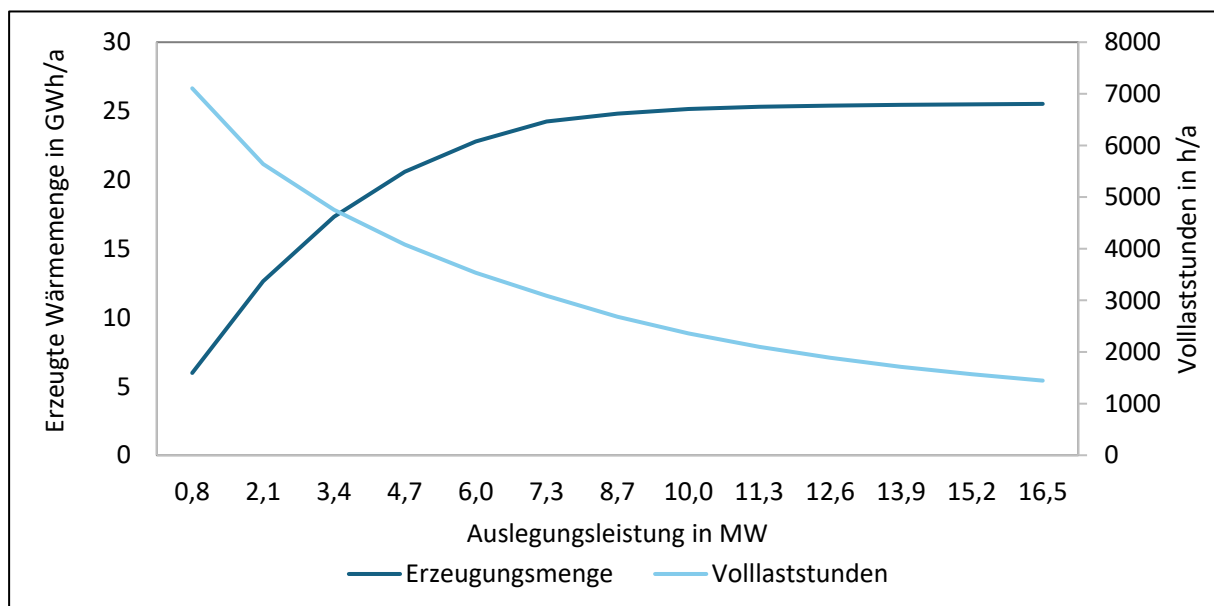


Abbildung 35: Wärmepumpe im Oranienburger Kanal Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden nach Begrenzung der Auslegungsleistung (anteilige Nutzung des Volumenstroms um 20 %, Auskühlung um 3 K)

Auch in Bezug auf den Oranienburger Kanal wird deutlich, dass die Volllaststunden bei einer Auslegung von größer 1,4 MW installierter thermischer Leistung bereits unter 6.000 Stunden fallen würden. Zusätzlich zeigt sich hier zudem, dass ab einer Leistung größer ca. 8 MW durch zusätzliche Leistung beinahe kein Mehrwert mehr erzeugt werden kann, da mit dieser Auslegungsleistung bereits das maximale vorhandene Umweltwärmepotenzial ausgeschöpft werden könnte.

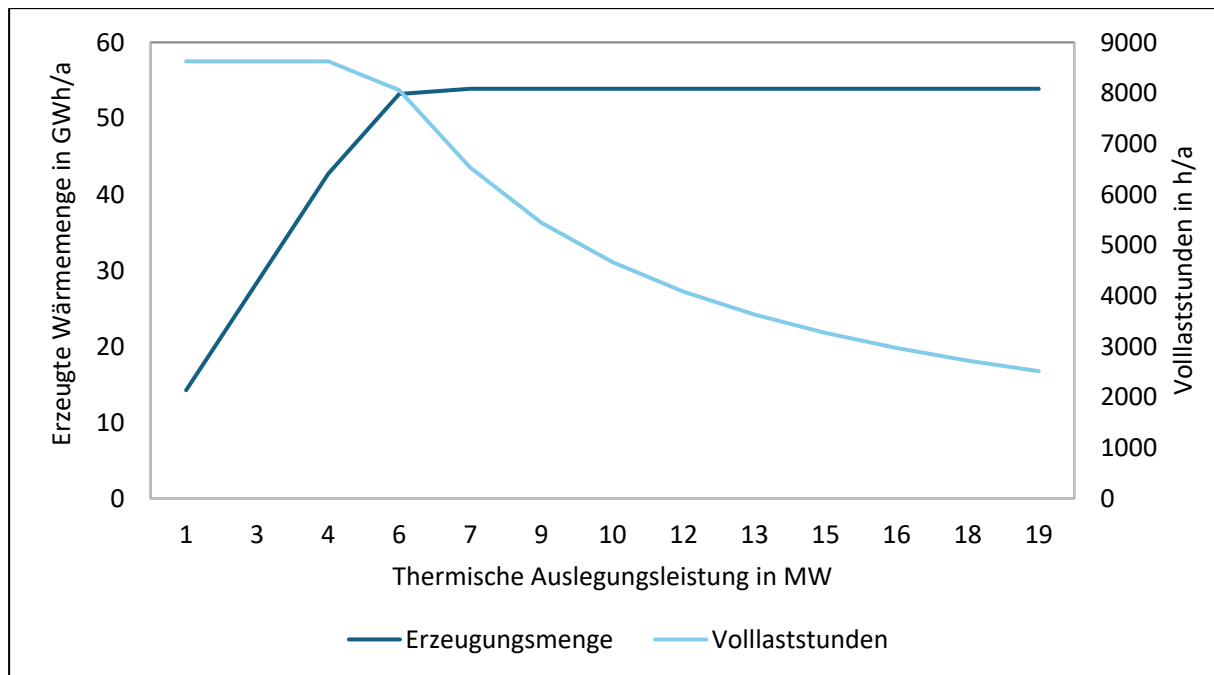


Abbildung 36: Wärmepumpe im Lehnitzsee Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden nach Begrenzung der Auslegungsleistung (anteilige Nutzung des Volumenstroms um 30 %, Auskühlung um 3 K)

In Abbildung 36 ist deutlich der Unterschied gegenüber den zuvor dargestellten Flussnutzungsoptionen erkennbar. Im Bereich bis zu einer thermischen Auslegungsleistung von ca. 2 MW thermisch liegen die Volllaststunden unverändert bei ungefähr 8.630 Stunden und gleichzeitig steigt die erzeugte Wärmemenge linear an. Aufgrund des konstant verfügbaren Volumenstroms werden die Volllaststunden hier nur durch die verfügbare Temperatur und entsprechende fehlende Verfügbarkeiten bzw. verringerte COPs (Coefficient of Performance) beeinflusst. Ab einer Auslegungsleistung von 7 MW nehmen die Volllaststunden deutlich ab und es kann keine zusätzliche Wärmemenge mehr durch die zusätzlich installierte Leistung bereitgestellt werden, da die nutzbarere Leistung dann durch den verfügbaren Volumenstrom begrenzt ist.

Wirtschaftliches Potenzial

Eine wirtschaftlich sinnvolle Auslegungsgröße und Leistungsabgabe einer Wärmepumpe wird durch die mögliche Aufnahmeleistung des Fernwärmenetzes bestimmt. Diese hängt einerseits von der Höhe des Bedarfs und andererseits von der Einspeiseleistung weiterer Erzeuger ab. Es wird der Jahreslastgang, der im Fachgutachten Energiesystemmodell für das Jahr 2045 ermittelt wurde, zugrunde gelegt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass Wärmepumpen in der Grundlast betrieben würden, also gegenüber anderen Erzeugern priorisiert würden.

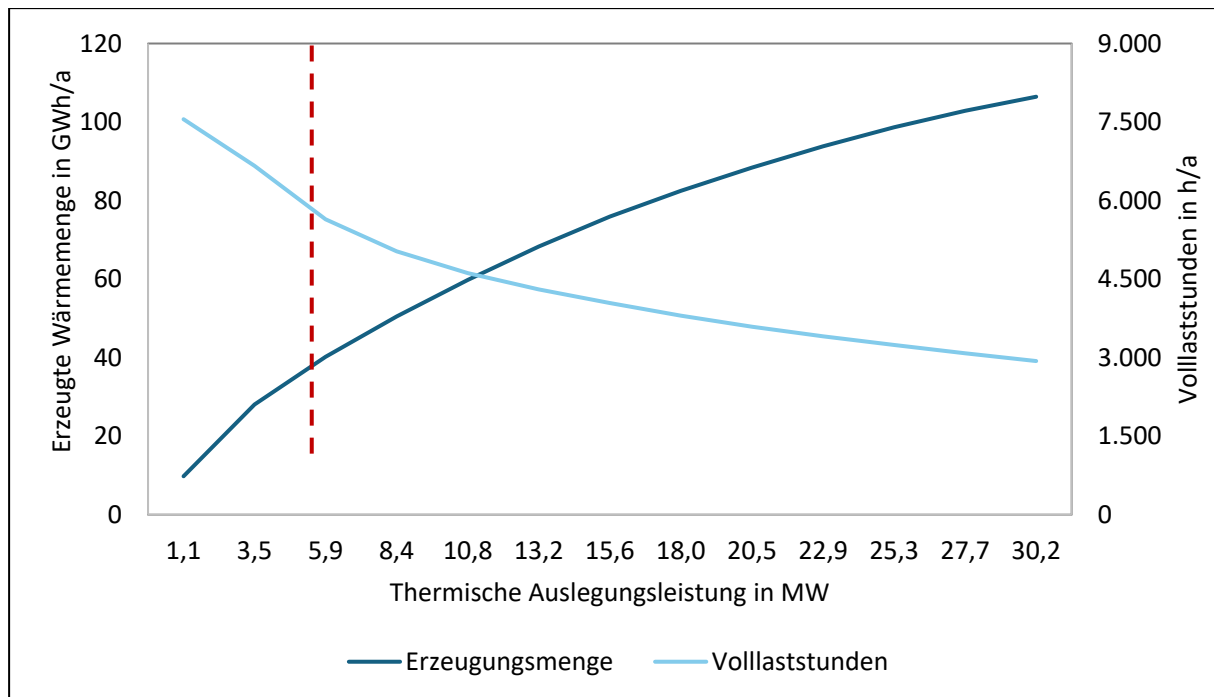


Abbildung 37: Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden in der schnellen Havel nach Verschnitt mit dem Lastgang aus dem Jahr 2023 (anteilige Nutzung des Volumenstroms um 30 %, Auskühlung um 3 K)

Im Fall der Schnellen Havel verdeutlicht die obige Abbildung, dass gegenüber dem Fall ohne Begrenzung durch die zulässige Lastabnahme (Abbildung 33), nur eine geringfügige Abweichung im Verhalten auftritt.

Um einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb mit kurzer Amortisationsdauer der Anlage zu ermöglichen, sollten grundsätzlich hohe Vollbenutzungsstunden angestrebt werden. Um mindestens 6.000 Vollbenutzungsstunden zu ermöglichen, sollte die Auslegungsleistung daher nicht 5 MW übersteigen (rote Linie in Abbildung 37). Abbildung 38 visualisiert beispielhaft das Erzeugerlastprofil einer Wärmepumpe mit 5 MW thermischer Auslegungsleistung in der Schnellen Havel und die verbleibende Residuallast im Netz. Die Abbildung zeigt die Wärmemenge, die durch die Wärmepumpe erzeugt werden kann und welche Wärme zusätzlich aus dem Netz bezogen werden muss (Residuallast), um die Bedarfe des Versorgungsgebietes zu decken.

Es wird deutlich, dass die Wärmepumpe dieser Auslegung nicht durch den Lastverlauf begrenzt wird, sondern durch das zur Verfügung stehende Potenzial.

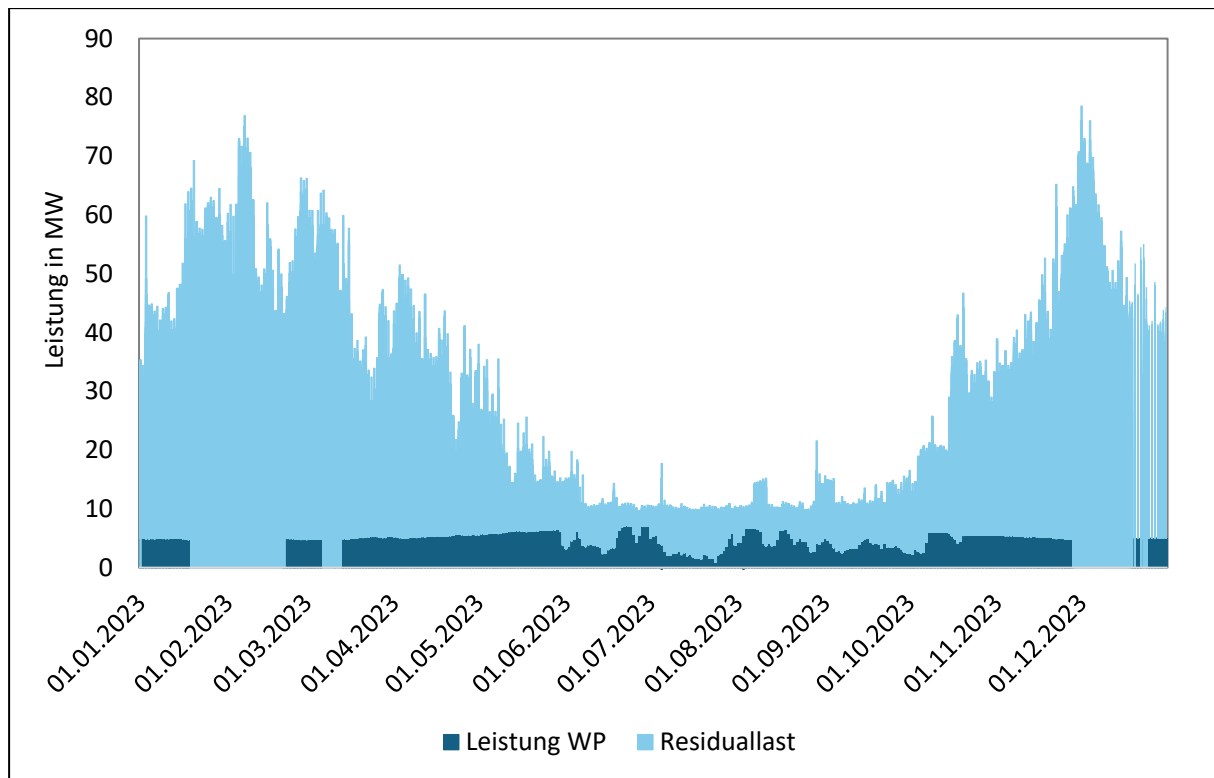


Abbildung 38: Erzeugerlastprofil für eine 5 MW Wärmepumpe in der schnellen Havel

Um mindestens 4.000 Volllaststunden zu ermöglichen, was als Untergrenze für einen wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpe angenommen wird, sollten maximal 17 MW thermischer Leistung installiert werden.

Das obige Vorgehen wird äquivalent auf die Potenziale von Oranienburger Kanal und Lehnitzsee angewendet. Für den Oranienburger Kanal und den Lehnitzsee hat die Einspeisebegrenzung durch die begrenzte Aufnahmefähigkeit des Netzes beinahe keinen Einfluss auf das Erzeugerlastprofil, da der Volumenstrom des Kanals bzw. Sees deutlich beschränkender wirkt. Das wirtschaftliche Potenzial entspricht daher der Darstellung des technischen Potenzials.

Die geeignete Auslegungsgröße zur Erreichung von 6.000 bzw. 4.000 Volllaststunden beträgt im Falle des Oranienburger Kanals 1,6 MW bzw. 3,7 MW thermisch. Im Falle des Lehnitzsees ergibt sich eine Auslegungsleistung von 8,3 MW thermisch zur Erreichung von 6.000 Volllaststunden und von 11,8 MW zur Erreichung von 4.000 Volllaststunden. Aufgrund des konstanteren Temperaturprofils und der fehlenden Stillstandzeit ergäbe sich ein gleichmäßigeres Erzeugerprofil.

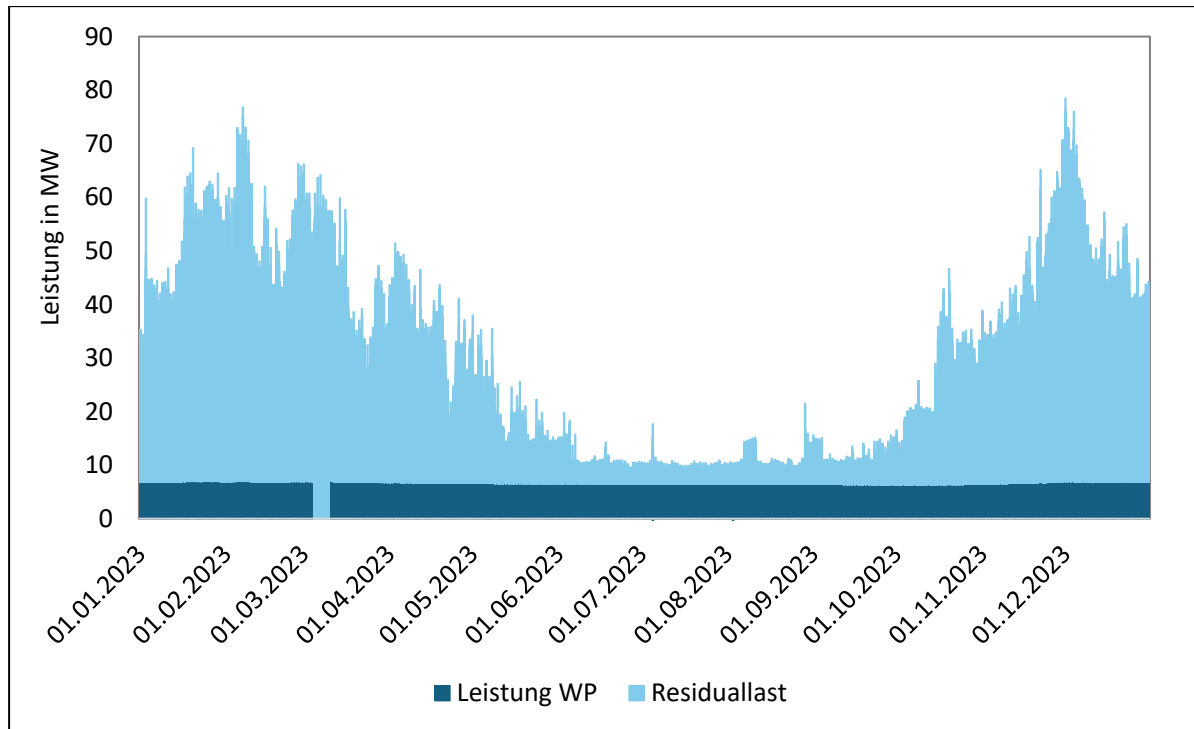


Abbildung 39: Erzeugerlastprofil für eine 8,3 MW Wärmepumpe im Lehnitzsee

5.3.4.2 Luft

Nutzungsform

Durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe kann Wärme aus der Umgebungsluft für die Nutzung im Wärmenetz bereitgestellt werden. Allerdings ist die Temperatur der Umgebungsluft, welche die Effizienz der Wärmepumpe bestimmt, stark abhängig von der Jahreszeit und schwankt in Oranienburg in einem Bereich zwischen -10 und 36 °C (Deutscher Wetterdienst, 2024). Durch die Schwankung der Umgebungstemperatur variiert der COP sowie die Heizleistung einer umgebungsluftbetriebenen Wärmepumpe. Hohe verfügbare COPs und Heizleistungen treten daher gegenläufig zum Heizbedarf von Gebäuden auf. Das bedeutet, dass im Winter, wenn die Heizlast am größten ist, der COP und die Heizleistung der Wärmepumpe am niedrigsten sind. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass 75 - 90 % der bereitgestellten Heizwärme bei Umgebungstemperaturen von über 0 °C anfällt.

Des Weiteren können Luft-Wärmepumpen auch bei Temperaturen unter 0 °C betrieben werden, da entweder Sekundärkreisläufe oder das Kältemittel der Wärmepumpe genutzt werden können, um die Kühleroberflächen frostfrei zu halten und so einen Betrieb unterhalb der Gefriergrenze ganzjährig zu ermöglichen. Praxisbeispiele aus Dänemark, in denen Großwärmepumpen ganzjährig in Wärmenetze einspeisen, zeigen dass die technische Umsetzbarkeit bis zu -18 °C gewährleistet werden kann. Je nach Anlage werden 1 bis 2,5 % der jährlichen Wärmeproduktion zum Frostschutz eingesetzt. In Abbildung 40 ist eine exemplarische Luft-Wärmepumpenanlage den Winterbetrieb dargestellt.



Abbildung 40: Erzeugung von Wärme durch Umgebungsluft im Winterbetrieb

Der Flächenbedarf der Rückkühlwerke inkl. der Groß-Wärmepumpe beträgt ca. 1.000 m²/MW (Danish Energy Agency, 2024).

In der benötigten Größenordnung werden Luft-Wärmepumpen durch übliche Wasser-Wasser-Wärmepumpenmodule in Kombination mit Rückkühlwerken umgesetzt, in welchen die Auskühlung der Luft erfolgt. Die Wärme der Luft wird über einen Sole-Kreislauf, z.B. ein Ethylenglykol-Gemisch, von den Rückkühlwerken an den Verdampfer der Wärmepumpe übergeben. Die Sole würde zwischen den Großwärmepumpen und dem Aufstellort der Rückkühlwerke unterirdisch in einem Rohrleitungssystem verlaufen. Dabei ist zu beachten, dass beispielsweise ein Ethylenglykol-Gemisch zur Wassergefährdungsklasse 1 zählt und somit die Rohrleitungen so beschaffen sein sollten, dass im Falle einer Leckage kein Ethylenglykol-Gemisch in das Grundwasser bzw. Erdreich gelangen kann. Alternativ könnte bei entsprechender Materialwahl der Rohrleitungen auch eine Salzwasserlösung zum Einsatz kommen, welches nicht wassergefährdend ist.

Wirtschaftliches Potenzial

Bei der Nutzung von Außenluft liegt keine Beschränkung des nutzbaren Volumenstroms vor, da dieser anhand der Anzahl der Rückkühlwerke unabhängig von lokalen Gegebenheiten festgelegt werden kann. Deshalb wird für Luft kein theoretisches und technisches Potenzial ausgewiesen, sondern ein wirtschaftliches Potenzial in Abhängigkeit des Lastgangs ermittelt. Für die ersten Berechnungen wurde von einer Auskühlung der Luft um 4 K, einem Lorenz-Gütegrad von 0,5 und keiner Temperaturuntergrenze ausgegangen. Die verwendeten Temperaturen beziehen sich auf Messwerte des Deutschen Wetterdienstes aus Potsdam für das Jahr 2023 (Deutscher Wetterdienst, 2024).

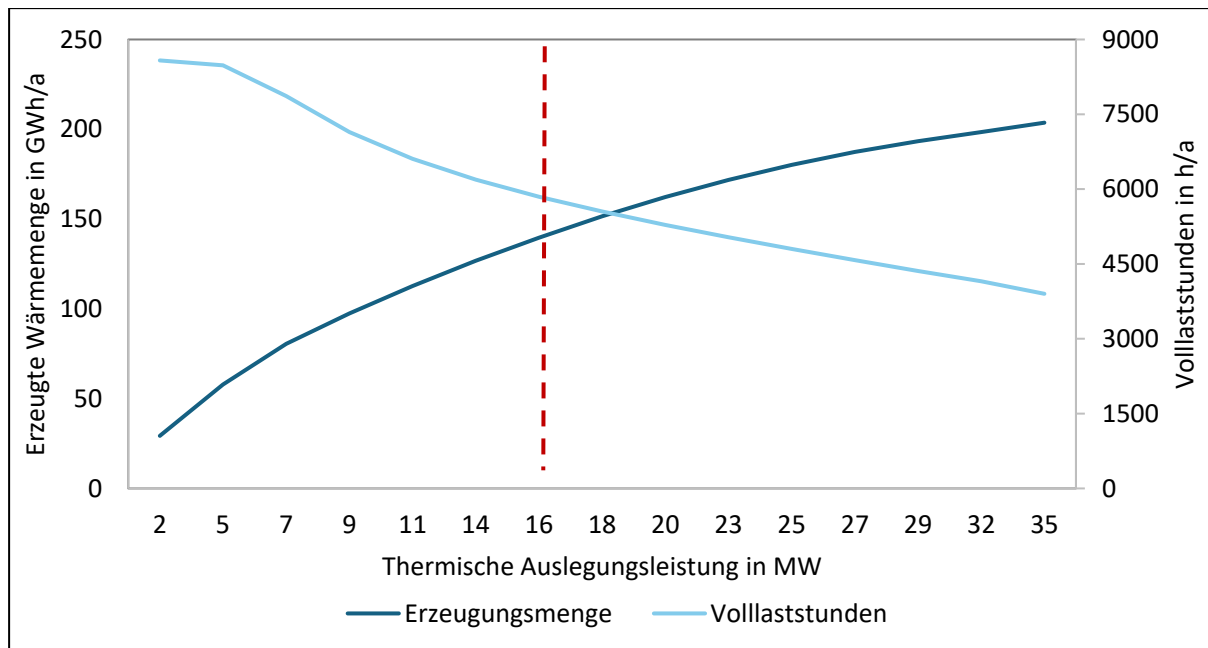


Abbildung 41: Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden für Luft-Wärmepumpen nach Verschnitt mit dem Lastgang aus dem Jahr 2023 (unbegrenzter Volumenstrom, Auskühlung um 4 K)

In Bezug auf die Nutzung von Luft ergibt sich eine Auslegungsleistung von maximal 16 MW zur Erreichung von mindestens 6.000 Volllaststunden und 34 MW zur Erreichung von 4.000 Volllaststunden. Dadurch dass keine Stillstandszeiten oder Begrenzungen durch Volumenströme beachtet werden müssen, verhält sich die erzeugte Wärmemenge nahezu proportional zur Auslegungsleistung.

Schallemissionen

Für die Beurteilung der schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche ist im Regelfall auf die Richtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden nach Nummer 6.1 der TA Lärm abzustellen. Die Immissionsrichtwerte sind auf Immissionsorte außerhalb von Gebäuden bezogen und unterscheiden sich nach Tageszeiten und jeweiliger Gebietseinteilung nach der Baunutzungsverordnung.

Zur Sicherstellung des rechtmäßigen Schutzniveaus vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Lärm wird im Regelfall auf die Gesamtbelastung am Immissionsort abgestellt. Im Falle einer Lärm-Vorbelastung müssen die Richtwerte daher im Regelfall durch die Summe aller Lärmquellen am Immissionsort eingehalten werden. Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens sind daher im Regelfall folgende Werte zu ermitteln:

1. Prognose der Geräuschimmissionen der Anlage selbst
2. Bestimmung der Vorbelastung durch andere Anlagen
3. Gesamtbelastung

Exemplarisch wird mithilfe eines am Markt verfügbaren Rückkühler-Modells die Schallausbreitung von Luftwärmepumpen auf der kommunalen Freifläche am Beispiel Friedenthaler Weg abgeschätzt. Die Schalleistung eines einzelnen Rückkühlmoduls beträgt 73 dB(A) und der Schalldruckpegel in 10 m Entfernung 41 dB(A). Bei dem Vorhandensein mehrerer Module überlagern sich die Schallemissionen, wodurch eine höhere Gesamtgeräuschkulisse zu erwarten ist.

Eine vereinfachte Darstellung der Schallausbreitung auf der kommunalen Freifläche am Beispiel Friedenthaler Weg ist in Abbildung 42 dargestellt. Die einzelnen Markierungen stehen für 100 individuelle Rückkühlwerke für 8 MW Leistung im Abstand von 4 m zueinander und längsaneinander gereiht.

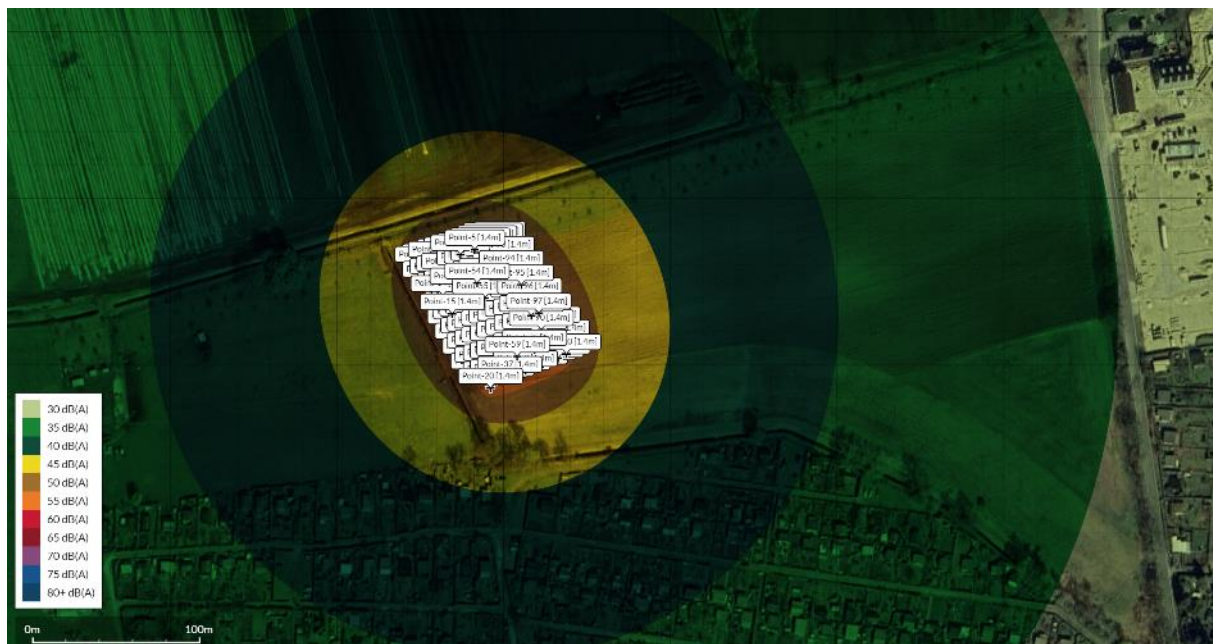


Abbildung 42: Vereinfachte Schallausbreitung im Bereich des Friedenthaler Wegs ohne schallabsorbierende Barrieren
(Quelle: noisetools.net)

Bei der Aufstellung von 100 Rückkühlwerken am äußeren westlichen Rand des Grundstücks ergäben sich im Bereich der Wohnbebauung maximal 44 dB(A) an der äußeren nördlichen Grenze des Wohngebietes. Damit lägen die Immissionswerte unterhalb des Tages-Grenzwerts von 55 dB(A), jedoch oberhalb des nächtlichen Grenzwerts von 40 dB(A).

Werden westlich und südlich der Rückkühlanlagen Absorptionswände mit 3 m Höhe aufgestellt, können die Immissionsgrenzwerte überall eingehalten werden.

5.3.4.3 Oberflächennahe Geothermie

Nutzungsform

Bei der oberflächennahen Geothermie wird die Wärme des Bodens in den oberen Bodenschichten in bis zu 400 m Tiefe genutzt. In den oberen Bodenschichten ist der Energiegehalt des Bodens auf den Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung und Niederschlag zurückzuführen.

Zur Erschließung des Potenzials sind zahlreiche Technologien, wie Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren, Direktverdampfung, Energiepfähle, Grundwasserbrunnen oder Koaxialbrunnen verfügbar. Allerdings ist vorrangig die Nutzung über Erdwärmesonden für größere Wärmenetze geeignet, da bei dieser Nutzungsform keine Grundwasservorkommen vorausgesetzt werden und der Flächenbedarf im Vergleich zu den übrigen genannten Technologien geringer ausfällt.

Erdwärmesonden sind U-förmige Kunststoffrohre, die in 100 bis 150 m Tiefe eingebracht werden. Es zirkuliert ein Wärmeträgerfluid durch die Sonde (Durchmesser ca. 15 bis 25 cm), nimmt Wärme aus dem Untergrund auf und gibt sie über eine Sammelleitung weiter.

Der erzielbare Wärmeertrag hängt dabei einerseits von den Bodeneigenschaften (Temperatur, Wärmeeinspeicherungs- und Leitungseigenschaften) sowie andererseits von den Betriebsstunden und der belegten Fläche ab.

Die Temperatur des Bodens liegt in 100 m Tiefe aufgrund des geothermischen Gradienten ganzjährig bei ca. 10 °C. Jedoch sinkt die Temperatur im anliegenden Bereich bei Betrieb einer Geothermieanlage ab. Um eine ausreichende Regeneration des Bodens zu ermöglichen, sollte die Betriebsstundenzahl der Anlage auf ca. 2.100 Volllaststunden begrenzt werden. Dann kann für die gesamte Nutzungsdauer von Temperaturen im Untergrund von 8 °C ausgegangen werden. Dem Auskühlungseffekt kann entgegengewirkt werden, wenn dem Boden im Sommer Wärme durch Gebäudekühlung wieder zugeführt wird. Zurzeit ist diese Option jedoch nicht vorgesehen.

Datenlage

Die spezifische Entzugsleistung hängt neben der Volllaststundenzahl auch von den Bodeneigenschaften ab. Die Wärmeleitfähigkeit des Bodens resultiert aus der Mineralart, Porosität und dem Wassergehalt des Bodens. Abfragen im Geothermieportal des Landesamts für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Landes Brandenburgs, haben für das identifizierte Potenzialgebiet im Nordwesten der Stadt eine mittlere Wärmeleitfähigkeit des Bodens im Bereich von 0 bis 100 m von 1,7 W/mK ergeben (Landesamt für Bergbau, 2024). Dieser Wert ist nicht über die gesamte Ausdehnung der Fläche und Tiefe einheitlich, sondern stellt einen Mittelwert dar. Die Eignung des Bodens zur Wärmeentnahme liegt entsprechend im unteren mittleren Bereich. Nach linearer Interpolation von Angaben in der VDI4640 lässt sich für die angenommene Volllaststundenzahl von 2.100 Stunden und Betrieb zum Heizen und Warmwasser (entsprechend hohe Vorlauftemperaturen) eine Entzugsleistung von 27,86 W/m ermitteln.

Theoretisches Potenzial

Die maximal verfügbare Wärmeleistung $\dot{Q}_{Sonde}$ kann über die Länge der Sonde und die spezifische Entzugsleistung bestimmt werden.

$$\dot{Q}_{Sonde} = \dot{q}_E \cdot l_{Sonde}$$

Nach Abfrage beim Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg wurde deutlich, dass aufgrund beginnender Versalzung des Grundwasserleiters im betrachteten Bereich eine Nutzung des Untergrundes bis zum Antreffen der Rupeltonformation zu beschränken. Diese wird im Bereich von -145 bis -170 m Tiefe erwartet, sodass die Sondenlänge auf 140 m beschränkt wird. Es ist zu beachten, dass bei einer Bohrtiefe > 100 m das Einvernehmen der BASE nach Bergrecht einzuholen ist.

Wird diese Bohrtiefe nicht überschritten, ist auch keine Behandlung der Anlage nach Bergrecht nötig. Je Sonde ergibt sich so eine verfügbare Leistung von 3,9 kW. Um eine gegenseitige thermische Beeinflussung der Sonden untereinander zu vermeiden, müssen ausreichende Sondenabstände eingehalten werden. Insbesondere da zur Deckung des hohen Wärmebedarfs eines Fernwärmenetzes große Sondenflächen benötigt werden, werden Abstände von wenigstens 10 m angestrebt, sodass sich ein Flächenbedarf von ca. 80 m² je Sonde ergibt.

Tabelle 27 stellt die bestimmten Entzugsleistungen und nutzbaren Wärmemengen aufgeschlüsselt auf die verschiedenen möglichen Nutzungsgebiete im Nordwesten der Stadt dar.

Diese Nutzungsgebiete sind im ersten Betrachtungsschritt auf Flächen im Eigentum der Stadt begrenzt, theoretisch könnten zusätzlich weitere Flächen erschlossen werden.

Tabelle 27: Wärmepotenzial geeigneter Flächen im Einzugsbereich des Fernwärmegebietes

Mögliche Fläche	Fläche [ha]	Max. Entzugsleistung [MW]	Max. Wärmemenge [MWh]
Friedenthaler Weg	6,241	3,043	6,39
Westlich B96	3,438	1,68	3,52
Summe	9,679	4,72	9,91
Theo. Potenzial	244	119	249,9

Technisches Potenzial

Zur Abschätzung des technischen Potenzials wird die Nutzung des vorhandenen Potenzials über eine Wärmepumpe vorausgesetzt. Dabei wird erneut von einem Lorenz-Gütegrad von 0,5 und den gleitenden Vorlauftemperaturen von maximal 85 °C ausgegangen. Es wird berücksichtigt, dass die Wärmepumpe voraussichtlich in dem Zeitraum der höchsten Last betrieben würde und die 2.100 möglichen Betriebsstunden sich daher auf den Winter verlagern würden. Die Jahresarbeitszahl in diesem Zeitraum beträgt 3,1.

Tabelle 28: Technisch nutzbares Wärmepotenzial geeigneter Flächen im Einzugsbereich des Fernwärmegebietes

Fläche	Max. thermische Leistung Wärmepumpe [MW]	Max. nutzbare Wärmemenge [MWh]
Friedenthaler Weg	4,49	9,52
Westlich B96	2,48	5,42
Summe	6,97	14,94

Tabelle 28 stellt dar, welche Wärmeleistung maximal durch den Einsatz einer Wärmepumpe erzielt werden könnte. Alle Flächen weisen ein sehr großes technisches Potenzial auf. Allerdings liegen die Volllaststunden für alle Szenarien bei max. 2.100 Stunden. Daher fällt die maximale nutzbare Wärmemenge im Verhältnis zur installierten Leistung gering aus.

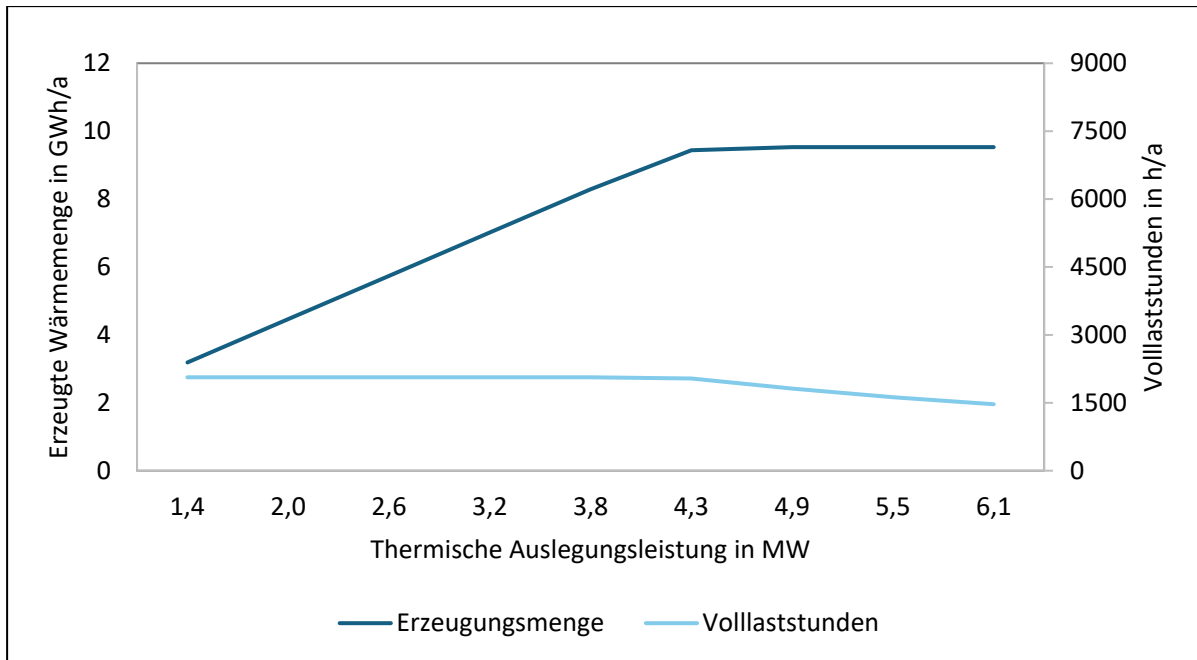


Abbildung 43: Wärmepumpe bei Nutzung des oberflächennahen geothermischen Potenzials der Fläche 5. Erzeugte Energiemenge und erreichbare Volllaststunden nach Begrenzung der Auslegungsleistung (3,3 MW Entzugsleistung)

Dieser Zusammenhang wird auch in Abbildung 43 deutlich, welche die Auswirkungen verschiedener Wärmepumpenauslegungen zur Ausnutzung der Fläche 5 darstellt. Unabhängig von der gewählten Auslegungsleistung kann die Volllaststundenzahl nicht weiter erhöht werden, um eine zu große Auskühlung des Bodens zu vermeiden.

5.3.4.4 Abwasser

Nutzungsform

Abwasser stellt eine weitere geeignete Wärmequelle für Wärmepumpen dar, welche ganzjährig mit Temperaturen von ca. 10 - 24 °C zur Verfügung steht und somit eine zuverlässige Wärmeversorgung ermöglicht. Die Erschließung der Wärme kann entweder zentral an einem Klärwerk oder dezentral in Abwassersielen erfolgen. Im Falle Oranienburgs liegt das Klärwerk zu weit vom Fernwärmenetz entfernt, sodass nur die dezentrale Einbindung geprüft wurde.

Die Vorprüfung möglicher Abwärmepotenziale aus dem Abwassersystem der Stadt Oranienburg wurde im Fachgutachten Abwärme/ Abkälte durchgeführt.

Am Kraftwerksstandort in der Klagenfurter Straße sowie bei der TURM ErlebnisCity sind jeweils DN 600 Rohrdurchmesser gegeben, welche Einbauten von Abwasser-Wärmeübertragern erlauben. Am Kraftwerksstandort in der Klagenfurter Straße 41 entspricht der größte Rohrleitungsquerschnitt einer DN 400 Leitung. In der Weißen Stadt sind 355 mm Rohrdurchmesser gegeben. Dieser Durchmesser stellt die Untergrenze zum Einbau von Wärmeübertragern dar.

Die Erschließungsoptionen sind abhängig von dem Durchmesser und der davon abhängigen Durchflussmenge des Abwassers. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, einen Abwasserwärmetauscher direkt in das Siel/die Kanalisation einzusetzen oder das Abwasser über eine Bypass-Lösung einem Wärmetauscher bereitzustellen.

Ein Abwasserwärmetauscher als direkte Lösung im Siel bietet sich jedoch erst ab einem Rohrdurchmesser DN 400 - 800 an. Darüber hinaus ist für eine wirtschaftliche Nutzung des Abwassers ein Trockenwetterabfluss von 10 bis 15 l/s notwendig.

Datenlage

Leider war es nicht möglich bis zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieses Fachgutachtens belastbare Messungen in den identifizierten Abflussrohren durchzuführen (unpassendes Messequipment, außerordentlicher Betrieb der Anlagen aufgrund von Revision etc.). Im Fachgutachten Abwärme/Abkälte wurde für die Standorte Annahof und Weiße Stadt aus individuellen Messdaten für den Monat September Jahresdurchflussprofile abgeleitet. Für den Standort am Kraftwerk wurde im Fachgutachten Abwärme anhand von Informationen zu angeschlossenen Gebäuden und Nutzern der Jahresabfluss abgeschätzt. Über ein Standarddurchflussprofil wurde für diese Jahresmenge ein Durchflusszeitreihe abgeleitet. Temperaturmessungen konnten nicht vorgenommen werden. Stattdessen wurde ein Standardtemperaturprofil für Abwassersiele ohne Regenwasser verwendet. Die angenommenen Durchflüsse und Temperaturen sind in Abbildung 44 aufgetragen.

Die Ergebnisse der nachfolgenden Betrachtung sind aufgrund der mangelnden Datenlage mit sehr hohen Unsicherheiten verbunden. Sollte die Nutzung des Abwasserpotenzials im Energiesystemmodell als Vorzugslösung eingeordnet werden, sollten dringend Messungen vor Ort durchgeführt werden.

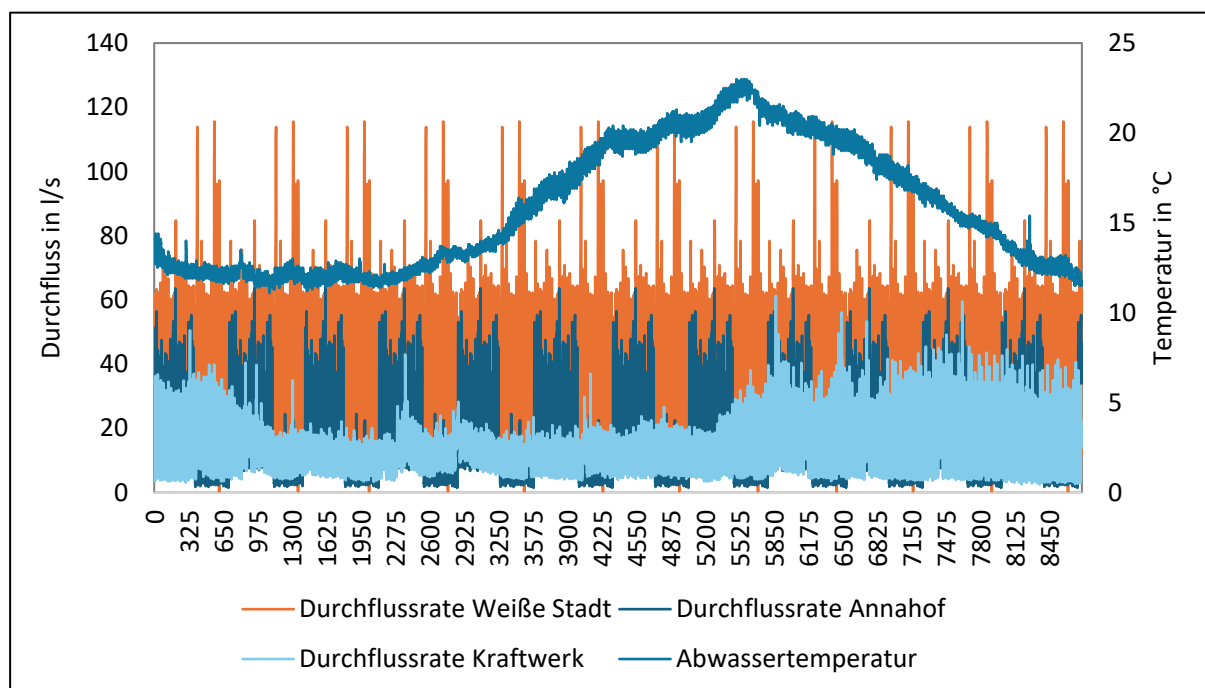


Abbildung 44: Synthetisierte Durchflussraten und Temperaturprofil Abwassersiele

Theoretisches Potenzial

Zunächst wurde aus den synthetisierten Daten für den Standort am TURM Erlebnisbad ein durchschnittlicher Durchfluss von 0,6 l/s ermittelt, der damit weit unterhalb dem benötigten Trockenwasserabfluss liegt, sodass dieser Standort für die Abwärmenutzung im Fernwärmenetz ausgeschlossen wird.

Beim Standort Annahof liegt der durchschnittliche Durchfluss bei 19 l/s, allerdings ist der Verlauf sehr unregelmäßig und zu über 3.200 Stunden im Jahr liegt der angenommene Durchfluss unter der Mindestdurchflussmenge von 10 l/s.

Zudem ist an diesem Standort vermutlich keine ausreichend lange, gerade Rohrstrecke gegeben, in die ein Wärmeübertrager eingebaut werden könnte und der kontaminierte Untergrund würde Baumaßnahmen erschweren.

Am Standort am Kraftwerk liegt der durchschnittliche synthetisierte Durchfluss bei 15 l/s, zu 2.400 Stunden liegt der angenommene Durchfluss bei unter 10 l/s. Am Standort der Weißen Stadt liegt der durchschnittliche Durchfluss bei 43 l/s.

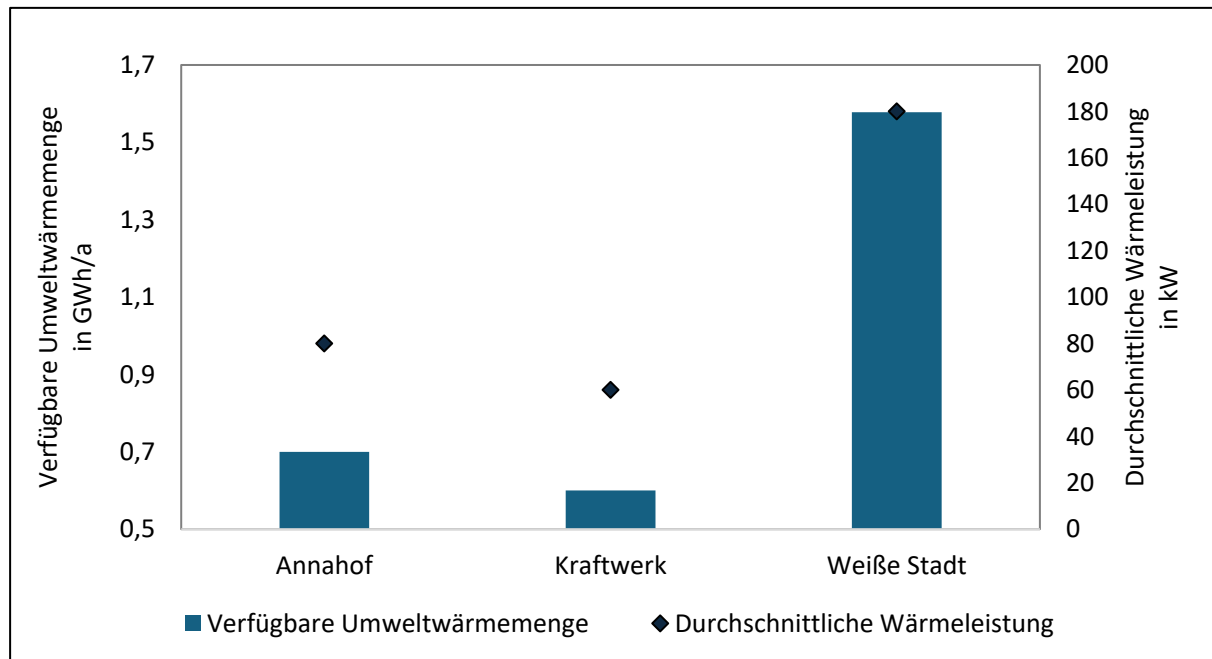


Abbildung 45: Theoretisches Wärmepotenzial Abwassersiele

Wird von einer Auskühlung des gesamten Volumenstroms um 1 K ausgegangen, kann ein theoretisches Wärmepotenzial von 0,7 bzw. 0,6 GWh pro Jahr für die Standorte am Annahof und Kraftwerk ermittelt werden. Die durchschnittliche verfügbare Wärmeleistung liegt jeweils deutlich unter 100 kW. Für die Weiße Stadt liegt das ermittelte Potenzial mit durchschnittlich 180 kW und 1,58 GWh/a verfügbarer Energiemenge pro Jahr über den anderen beiden Standorten. Nach Einbezug einer durchschnittlichen JAZ von 3,5 und maximalen Auskühlung von 1,5 K liegt die durchschnittliche thermische Nutzleistung im Abwassersiel der Weißen Stadt bei 380 kW.

Es wird deutlich, dass für alle Standorte die durchschnittliche Nutzleistung deutlich unterhalb der Kapazitätsgrenze von 1 MW für die Einbindung der Wärmequelle in das Fernwärmenetz liegt. Eine Nutzung der Abwasserkanäle wird daher (auf Basis der aktuellen Datenlage) nicht weiter für die Transformation des Fernwärmenetzes betrachtet. Der Standort in der Weißen Stadt könnte sich ggf. für eine Nutzung im Nahwärmenetz anbieten.

Nahwärmelösung südlich der weißen Stadt

Zur Ermittlung einer geeigneten Auslegungsgröße einer Wärmepumpe beim Abwassersiel der Weißen Stadt wird das Vorgehen zur Ermittlung des technischen Potenzials entsprechend Abschnitt 5.3.4.1 durchgeführt.

Es wird von einer vollständigen Nutzung des vorhandenen Durchflusses und einer Auskühlung um 1,5 K ausgegangen, bei welcher davon ausgegangen wird, dass die biochemischen Vorgänge im nachgelagerten Klärwerk nicht gestört werden.

Es wird deutlich, dass bis zu einer Auslegungsleistung von 0,6 MW durch zusätzliche installierte Leistung mehr Energie bereitgestellt werden kann und bei einer Steigerung darüber hinaus nahezu kein weiterer energetischer Mehrwert erzielt wird. Daher wird eine Auslegung von 0,6 MW empfohlen, bei der ca. 4.500 Volllaststunden erzielt werden können (Abbildung 46).

Die Wärmeentnahme könnte dafür mit einem ca. 200 m langen Mantelrohrbündel-Wärmeübertrager aus Edelstahl umgesetzt werden. Abbildung 47 zeigt das Potenzial über das Jahr.

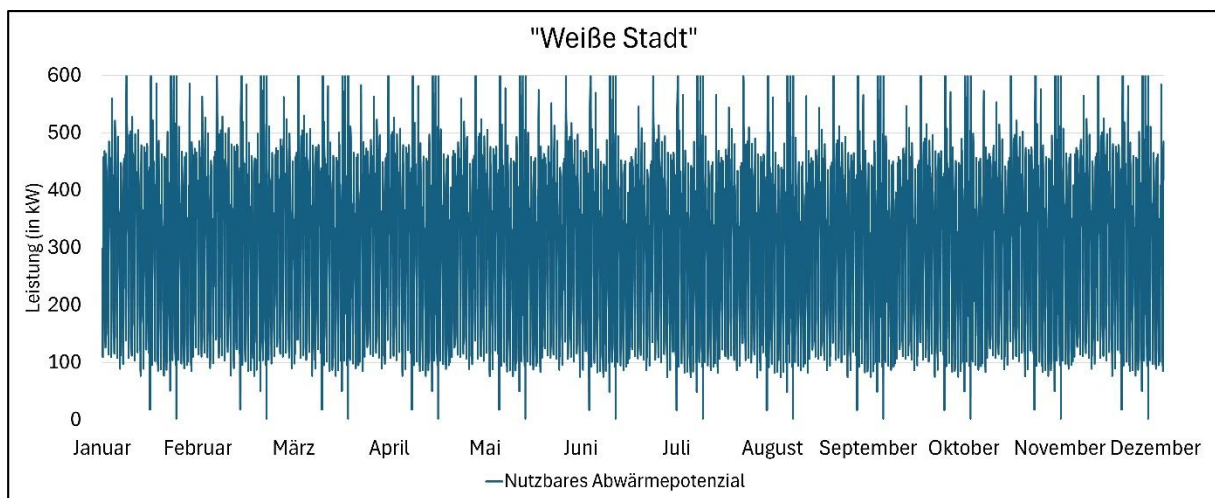


Abbildung 46: Abwärmepotenzial über das Jahr

Als Großwärmekunde bietet sich die Caritas am Standort St. Johannesberg an. Hier werden Wohneinrichtungen und Werkstätten bereits mit einem Nahwärmenetz geheizt. Abbildung 47 zeigt qualitativ das modellierte Lastprofil über das Jahr. Nach ersten Berechnungen könnten durch das Abwasserpotenzial bis zu 80 % des aktuellen Gasverbrauchs auf Kundenseite eingespart werden. Die Wärmepumpe müsste dafür durch einen großen Warmwasser-Tankspeicher ergänzt werden.

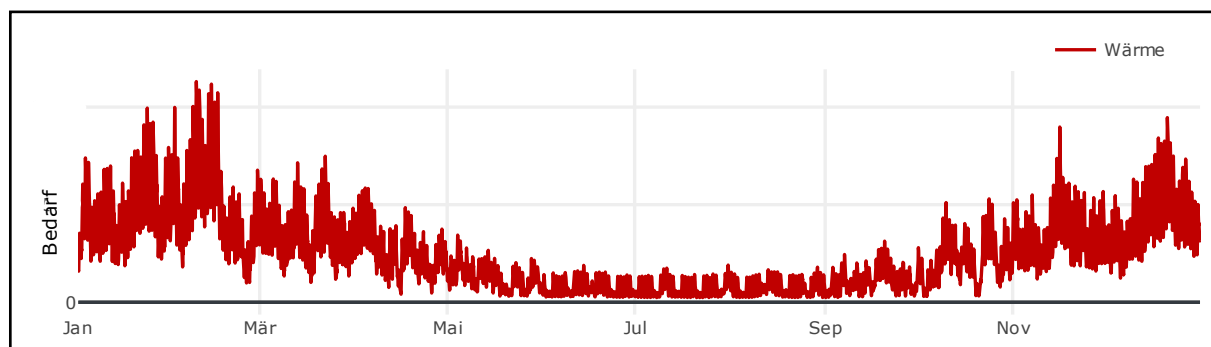


Abbildung 47: Lastkurve über das Jahr (aus Datenschutzgründen qualitativ)

Erste Zahlen für 20 Jahre Betrieb einer Nahwärmelösung mit Wärmepumpe und Speicher ergeben Wärmegestehungskosten von 5,82 ct/kWh. Für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ergeben sich 7,83 ct/kWh. Die Machbarkeitsstudie dazu ist noch in Bearbeitung.

Technisches Potenzial

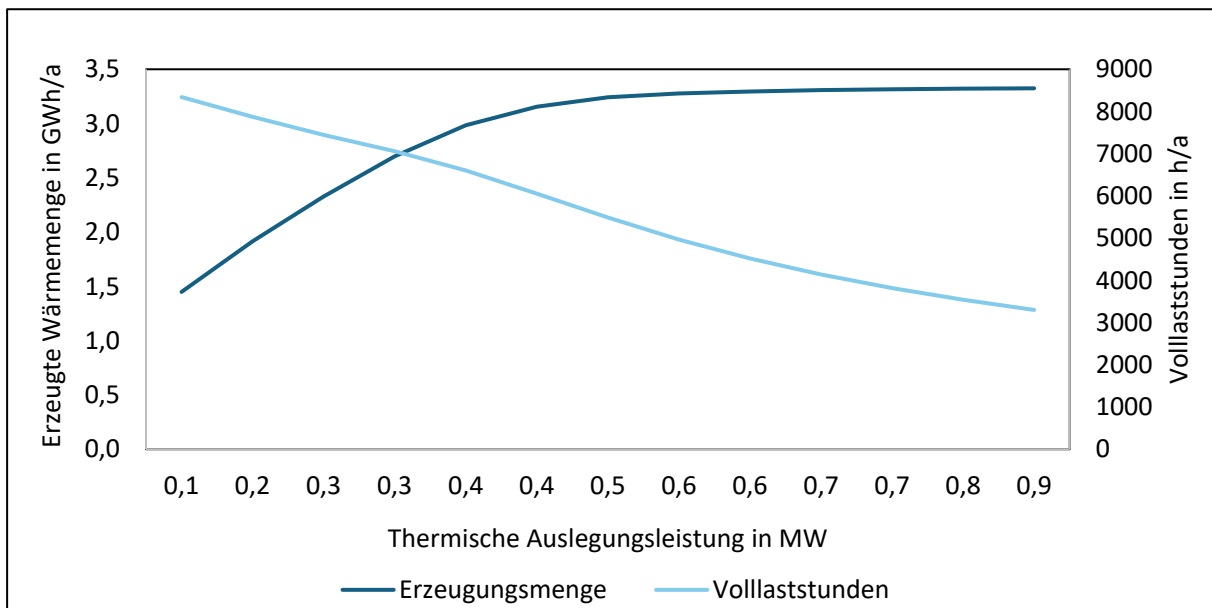


Abbildung 48: Technisches Potenzial Abwassernutzung Weiße Stadt

Zur Ermittlung einer geeigneten Auslegungsgröße einer Wärmepumpe beim Abwassersiel der Weißen Stadt wird das Vorgehen zur Ermittlung des technischen Potenzials entsprechend Abschnitt 5.3.4.1 durchgeführt. Es wird von einer vollständigen Nutzung des vorhandenen Durchflusses und einer Auskühlung um 1,5 K ausgegangen, bei welcher davon ausgegangen wird, dass die biochemischen Vorgänge im nachgelagerten Klärwerk nicht gestört werden.

Es wird deutlich, dass bis zu einer Auslegungsleistung von 0,6 MW durch zusätzliche installierte Leistung mehr Energie bereitgestellt werden kann und bei einer Steigerung darüber hinaus nahezu kein weiterer energetischer Mehrwert erzielt wird. Daher wird eine Auslegung von 0,6 MW empfohlen, bei der ca. 6.600 Volllaststunden erzielt werden können.

Die Wärmeentnahme könnte dafür mit einem ca. 200 m langen Mantelrohrbündel-Wärmeübertrager aus Edelstahl umgesetzt werden.

Fazit:

Die Nutzung von Abwasserwärme kann grundsätzlich einen Beitrag zur Wärmewende leisten. Allerdings sind der technische und finanzielle Aufwand im Verhältnis zur erzielbaren Wärmemenge hoch. Häufig bietet sich diese Form der Wärmegewinnung für Einzellösungen an, z. B. in Krankenhäusern oder Hotels. Diese müssten im Einzelfall geprüft werden.

Aus diesem Grund ist die Gewinnung von Abwärme aus Abwasser kein Bestandteil der folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

5.3.5 Wirtschaftlichkeit

Für eine erste Indikation der entstehenden Kosten und Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenlösungen, werden exemplarisch für jede der geeigneten Umweltwärmequellen die Wärmegestehungskosten berechnet. Jeweils wird von einer Auslegung auf die maximale thermische Leistung zur Erreichung von mindestens 4.000 Volllaststunden ausgegangen.

Dabei werden folgende Annahmen zugrunde gelegt, die auf Richtpreisangeboten, Projekterfahrung und Gesprächen mit den Stadtwerken Oranienburg basieren.

Tabelle 29: Kenngrößen und Annahmen der Wirtschaftlichkeitsabschätzungen

Parameter	Wert
Bezugsjahr	2024
Strombezugspreis	200 €/MWh
WACC	2,5 %
Förderquote (Investition)	40 %
Abschreibungsdauer Leitungen	40 Jahre
Abschreibungsdauer restliche Investitionskosten	20 Jahre
Kosten Anlagenbau und Planung (bezogen auf Investitionskosten WP und Quell Einbindung)	20 %
Kosten elektrische Anbindung (bezogen auf Investitionskosten WP und Quell Einbindung)	15 %
Variable Betriebskosten WP	8 €/MWh _{th}
Feste Betriebskosten WP	4.250 €/MW _{th}
Spez. Kosten Wärmepumpe 1 – 4 MW	480.600 €/MW _{th}
Spez. Kosten Wärmepumpe > 4 MW	800.000 €/MW _{th}
Kosten See-/Flusswasser-Entnahme	379.000 €/MW _{th}
Rückkühlwerke (Luft-WP)	667.000 €/MW _{th}
Leitungsbau Quellanbindung	
DN300	2.500 €/m
DN450 – DN 500	3.000 €/m
DN650 – DN700	3.500 €/m
Volllaststunden je Wärmepumpe	4.000 h/a

Bei den Berechnungen wurden mögliche Investitions- und Betriebskostenförderungen über die Förderrichtlinie BEW berücksichtigt. In Abbildung 49 sind die Wärmegestehungskosten für die verschiedenen Wärmepumpenkonzepte angegeben und nach Kostenanteilen aufgeschlüsselt.

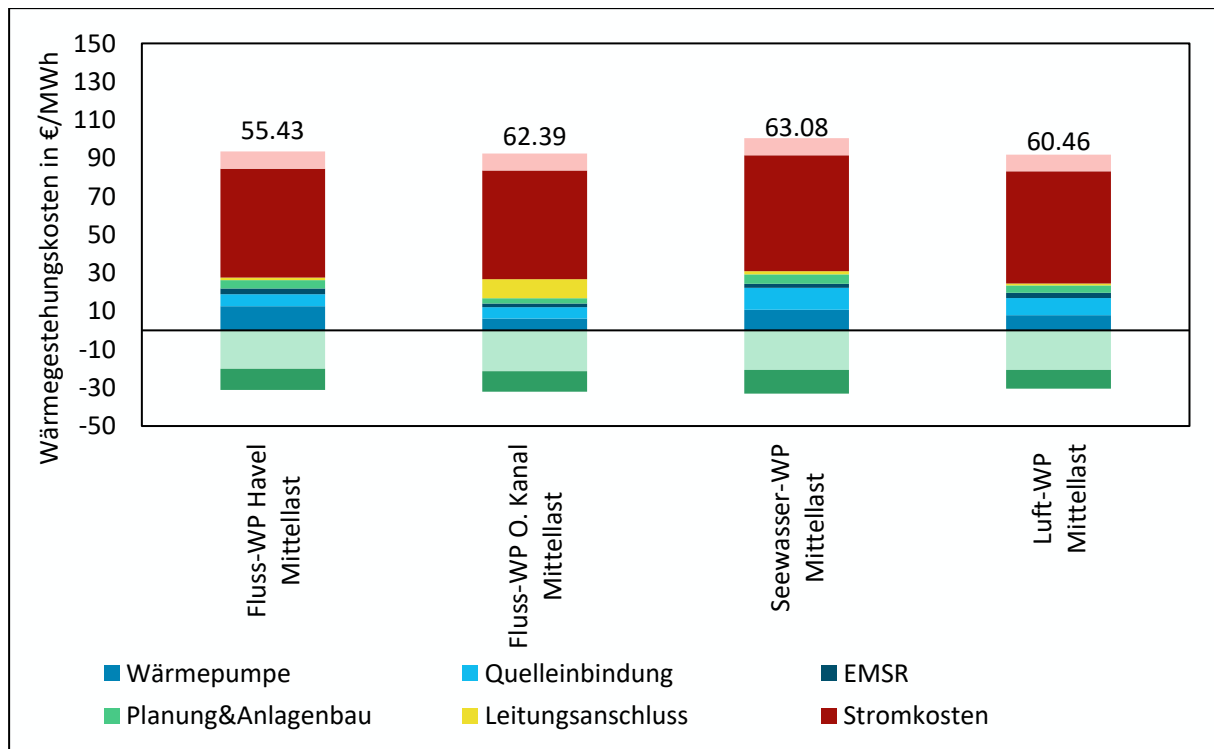


Abbildung 49: Gegenüberstellung Wärmegestehungskosten Wärmepumpen

Es fällt auf, dass von den betrachteten Fällen, die Wärmegestehungskosten im Falle der Nutzung der Schnellen Havel am geringsten ausfallen. Die Stromkosten machen in allen Optionen ca. 60 bis 70 % der Kosten aus. Die Seewasser-Wärmepumpe ist insbesondere aufgrund der hohen Kosten für die Entnahmeleitung des Seewassers über 1,6 km die teuerste Lösung. Die Quelleinbindung entspricht hier 17 % der Wärmegestehungskosten. Im Fall der Fluss-Wärmepumpe im Oranienburger Kanal machen die Kosten zur Anbindung an das Fernwärmenetz 16 % der Kosten aus, da nur eine geringe thermische Leistung installiert werden kann (keine Umverteilung der Leitungskosten auf hohe Leistung) und die Eignungsfläche ca. 1 km vom Fernwärmenetz entfernt liegt. Obwohl für die Nutzung von Luft dieselbe Fläche und damit Entfernung zum Fernwärmenetz zugrunde gelegt wurde, sind die anteiligen Kosten aufgrund der ca. 10-fach höheren Leistung deutlich geringer.

Ohne Förderung lägen die Kosten jeweils ca. 1/3 höher als aktuell bestimmt.

5.3.6 Fazit

Die Auswertung des Fachgutachtens Großwärmepumpen hat große nutzbare niederkalorische Wärmepotenziale im Bereich Oranienburgs offengelegt. Gleichzeitig wurde eine Nutzung der Oberen Havel und der Abwassersiele am Annahof, TURM Erlebnisbad und der Klagenfurter Straße aufgrund des zu geringen Durchflusses (auf Basis der aktuellen Datenlage) ausgeschlossen. Die oberflächennahe Geothermie stellt aufgrund der geringen zulässigen Volllaststunden ohne Möglichkeit der Regeneration und des sehr hohen Platzbedarfs ebenfalls keine empfehlenswerte Lösung dar.

In Tabelle 30 sind die Ergebnisse der Potenzialanalyse unter Berücksichtigung aller bekannten Limitationen zusammengefasst.

Tabelle 30: Zusammenfassung der maximal erreichbaren Wärmeerträge mithilfe von Großwärmepumpen

	Max. Heizleistung [MW] (für ca. 4.000 Volllaststunden)	Nutzbare Energiemenge bei Auslegung auf max. Heizleistung [GWh/a]	JAZ	Wärmege- stehungskosten [€/MWh _{th}]
Seewasser-WP	11,8	53,7	3,30	73 – 62
Flusswasser-WP Schnelle Havel	17,1	75,9	3,52	57 – 55
Flusswasser-WP Oranienburger Kanal	3,7	17,8	3,52	65 – 64
Luft-WP	34,0	203,5	3,41	59 – 53
Summe	66,6	350,4		

Die ermittelten Wärmepotenziale aus der Nutzung von Wärmepumpen überschreiten dabei bilanziell die erwartete Jahreswärmelast der Stadt von 220 GWh/a im Jahr 2045. Zur Umsetzung eines wirtschaftlichen Nutzungskonzeptes ist jedoch in Hinblick auf Wärmepumpen zu berücksichtigen, dass möglichst viele Volllaststunden angestrebt werden sollten. Somit treten die verschiedenen Wärmepumpenkonzepte untereinander und mit anderen Erzeugungstechnologien in Konkurrenz.

Bei den Potenzialen der Gewässer-Wärmepumpen ist zu beachten, dass aufgrund der geringen Gewässertemperaturen im Oranienburger Kanal und der Schnelle Havel zu ca. 1.440 Stunden und im Lehnitzsee in 144 Stunden kein Betrieb möglich ist. Diese Zeit liegt gleichzeitig in der Zeit des höchsten Wärmebedarfs im Winter. Eventuell könnten Betriebszeiten durch eine Verringerung der Auskühlung im Wärmeübertrager verlängert werden, dies würde jedoch gleichzeitig zu einer deutlichen Verringerung der nutzbaren Leistung führen.

5.4 Tiefengeothermie

5.4.1 Geologische Kenntnisstandanalyse

5.4.1.1 Datenlage

Die Einschätzung des mitteltiefen Geothermiepoteziels für den Standort Oranienburg ist bei der vorliegenden sehr eingeschränkten Datenlage mit großen Unsicherheiten behaftet. Zur Bewertung des geothermischen Potenziels können sieben Tiefbohrungen, die im Umfeld von 15 km abgeteuft wurden und wenige reflexionsseismische Datensätze liefern, herangezogen werden. Eine Übersicht zu den vorhandenen Datensätzen (Bohrungen und 2D Seismik) ist aus Abbildung 50 ersichtlich. Bohrungen wie auch seismische Datensätze wurden vor > 40 Jahren im Zuge der Kohlenwasserstoffexploration akquiriert. Folglich gilt es zu beachten, dass (a) nur z. T. qualitativ minderwertige Datensätze, die der damals verfügbaren Methodik geschuldet ist, von Tiefbohrungen und Seismik vorliegen und (b) die komplexe geologische Situation eine interpretative Herausforderung darstellt.

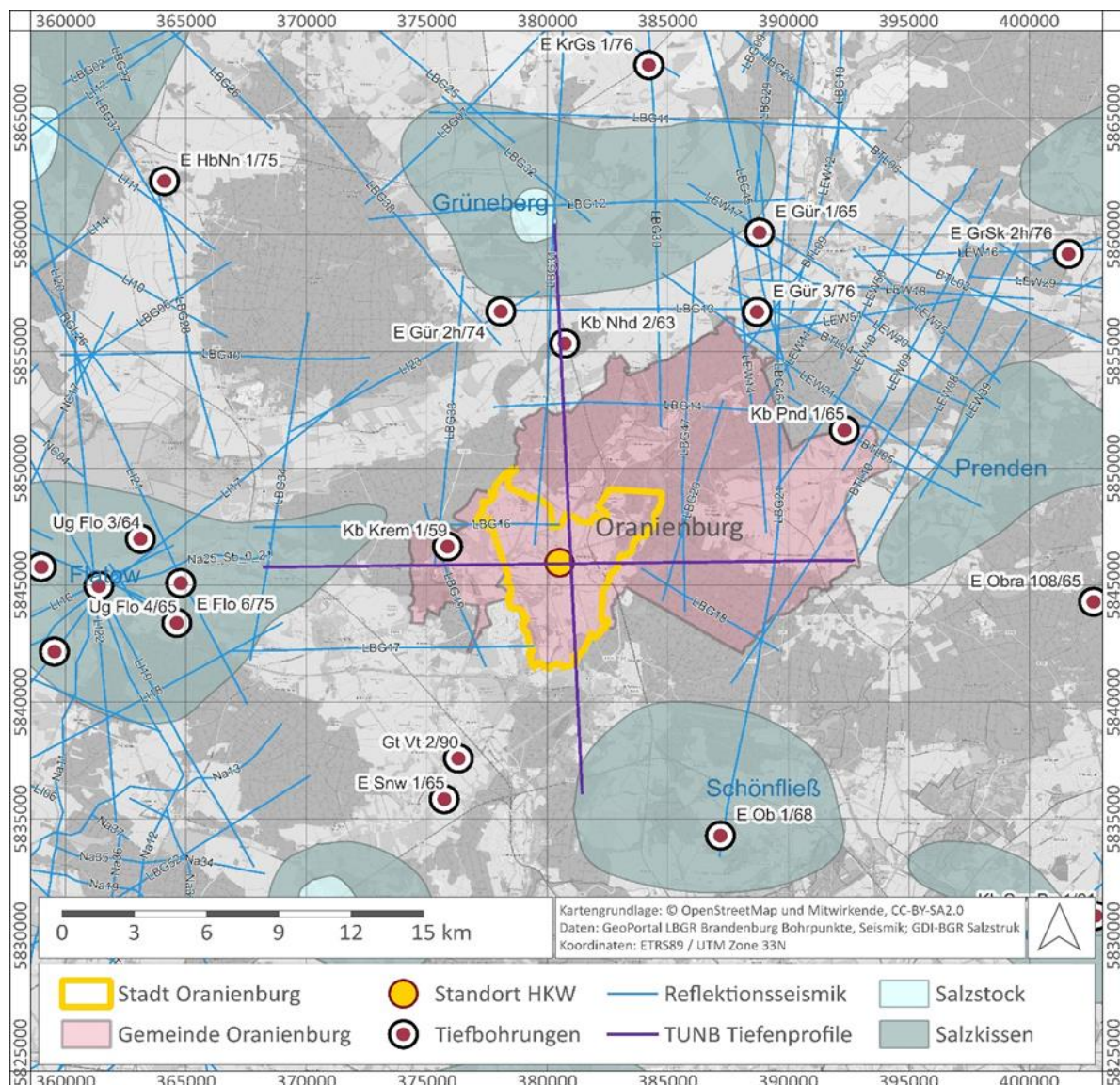


Abbildung 50: Übersicht Datengrundlage zum geologischen Kenntnisstand; Lage der Tiefbohrungen, Verlaufslinien der reflexionsseismischen Profile und Lage der Salzstrukturen im Umfeld des Untersuchungsstandorts; HKW der Stadtwerke Oranienburg.

Neben den vorhandenen Bohrungs- und Seismikdaten stehen regionale Modelle wie bspw. die der BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – TUNB-Modell (Tiefer Untergrund Norddeutsches Becken), des LBGR (Landesamt Brandenburg – geologisches Landesmodell Brandenburg 3D (BB 3D) und der GNT/LIAG (GNT und Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik – Fazies-Verbreitungskarten (GeotIS)) zur Verfügung. Eine Abschätzung der Tiefenlage der potenziellen Nutzhorizonte im Untersuchungsgebiet ist somit möglich.

Regionalgeologie

Der tiefe Untergrund des Standortes Oranienburg kann dem Norddeutschen Becken zugeordnet werden. Die potenziellen sedimentären Gesteine, die für eine geothermische Nutzung in Frage kommen, kamen in einem Teilbereich des Beckens zur Ablagerung.

Insgesamt wurden über einen Zeitraum von 300 Mio. Jahren über 8.000 m Sediment in mehreren Zyklen akkumuliert. Die größten Mächtigkeiten sind hierbei im Beckenzentrum anzutreffen; zum Beckenrand hin nehmen die Mächtigkeiten entsprechend ab. So ist im Großraum Berlin die Beckenfüllung ca. 3.500 - 4.000 m mächtig.

Für das Norddeutsche Becken charakteristisch sind u. a. die salinaren Ablagerungen des Zechsteins. Diese großflächigen, sehr mächtigen Salzabfolgen haben sich infolge ihrer Rheologie bei zunehmendem Druck durch die überlagernden Gesteinshorizonte und tektonischen Bewegungen zu den für das Norddeutsche Becken typischen Salzstöcken und -kissen entwickelt (halokinetische Aktivitäten). Diese (sukzessive) aufsteigenden Salzstrukturen prägen die darüber sedimentierten siliziklastische Ablagerungen maßgeblich (Erosion, Randsenken, Muldenstrukturen etc.). Im folgendem wird die spezifische geologische Situation am Untersuchungsstandort im Detail betrachtet.

Geologisches Vorprofil und Vorauswahl geeigneter Nutzhorizonte

Zur besseren Charakterisierung der potenziellen Nutzhorizonte wurde ein geologisches Vorprofil, auf Basis der naheliegenden Bohrungen nebst den relevanten Kartenwerken, wie bspw. dem Atlas zur Geologie von Brandenburg, Geothermische Ressourcen im Nordteil der DDR, Blatt Berlin 1:200.000 erstellt. Ein Teufenfehler von +/- 100 m wurde einkalkuliert.

Die potenziellen Nutzhorizonte sind im Vorprofil in Abbildung 51 gelb markiert und werden im Abschnitt 5.4.1.2 aufgegriffen.

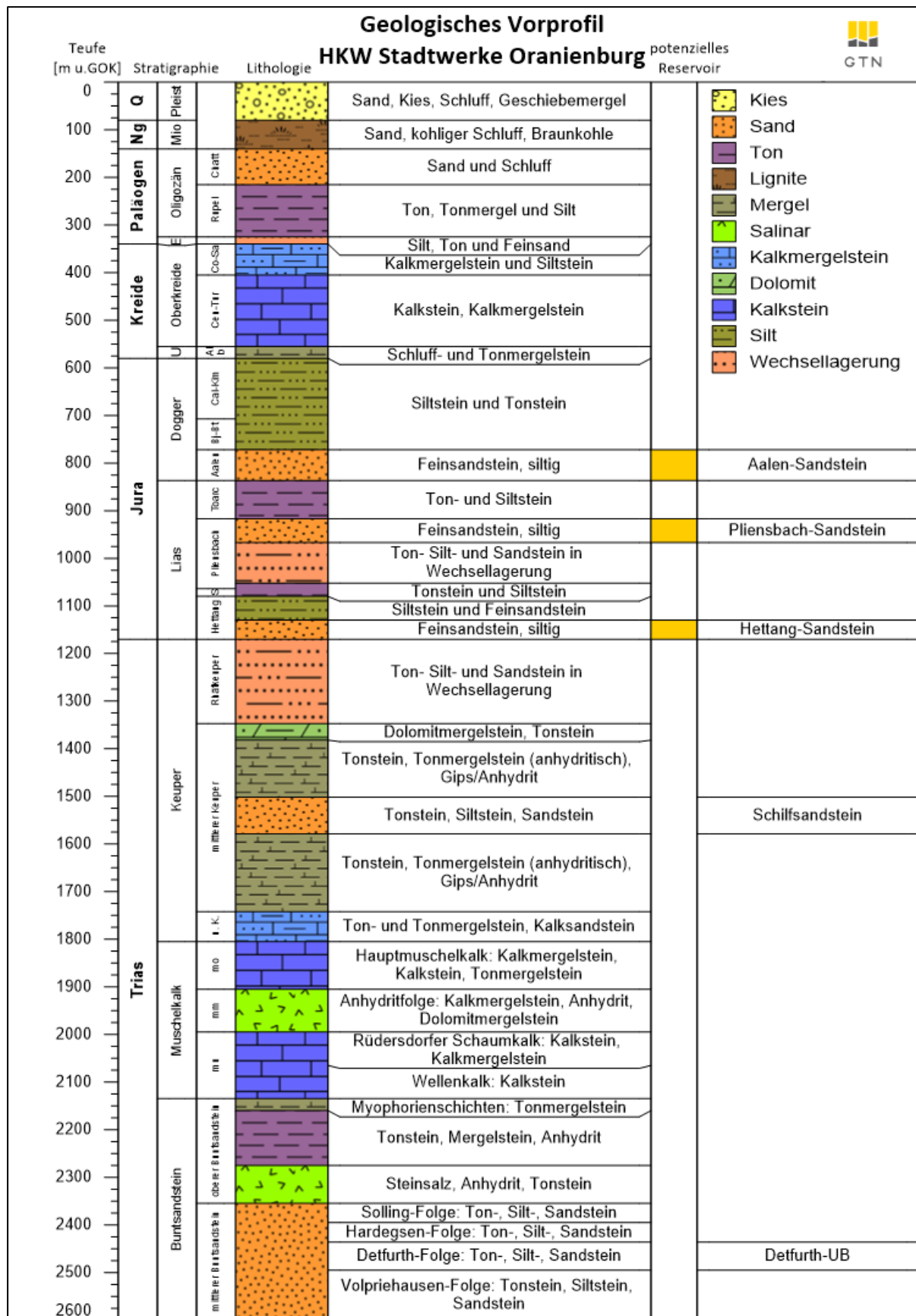


Abbildung 51: Geologisches Vorprofil für den Standort am HKW der Stadtwerke Oranienburg; die potenziellen Nutzhorizonte sind gelb markiert.

5.4.1.2 Charakterisierung der potenziellen Nutzhorizonte

Im Norddeutschen Becken sind mitteltiefe geothermischen Aquifere erfolgreich erkundet worden (WOLFGRAMM, 2014). Entsprechend der standortbezogenen Datenaufarbeitung (siehe Abschnitt 5.4.1.1) kommen als Aquifere für eine geothermische Nutzung oder für eine Wärmespeicherung im Untersuchungsgebiet folgende geologische Einheiten in Frage:

- Sandsteine des Aalen (Dogger, Mitteljura)
- Sandsteine des Hettang, Sinemur und Pliensbach (Lias, Unterjura)

Die Eignung als Nutzhorizont hängt entscheidend von der faziellen Ausprägung der einzelnen geologischen Schicht am Untersuchungsstandort ab. Eine Zusammenfassung der zu erwartenden Eigenschaften der potenziellen Nutzhorizonte, die aus den nahegelegenen Bohrungsdaten abgeleitet sind, ist aus Tabelle 31 zu entnehmen.

Tabelle 31: *Relevante geologische und fluidphysikalische Parameter der Nutzhorizonte mit möglichen Spannweiten, die fett gedruckten Werte stellen die wahrscheinlichsten anzutreffenden Werte dar; *unter Reservoirbedingungen.*

Parameter	Aalen	Pliensbach	Hettang-Oberbank	Hettang-Unterbank
Teufe _{Top} [m TVD]	772 ± 100	917 ± 100	1.080 ± 100	1.130 ± 100
Effektive Mächtigkeit [m]	45 – 55 – 65	15 – 25 – 40	12 – 17 – 25	20 – 25 – 35
Lithologie [-]	Feinsandstein, z.T. siltig	Feinsandstein, siltige Zwischenmittel	Feinsandstein, siltig	Feinsandstein, einz. Siltsteinlagen
Porosität [%]	17–25–37	24–27–30	23–24	24–26–28
Permeabilität [mD]	300– 500 –700	800– 1600 –2450	300– 420 –600	300– 800 –1250
Schichttemperatur [°C]	35,5 ± 3	40,1 ± 3	45,1 ± 3	46,9 ± 3
Schichtdruck [bar]*	79,9	93,8	109,9	115,9
Mineralisierung [g/l*]	92	88	143	143
Fluiddichte _{Fluid} [kg/m ³]* nach MAO & DUAN (2008)	1.057	1.053	1086	1085
Viskosität _{Fluid} [mPa·s]* nach MAO & DUAN (2009)	0,84	0,76	0,78	0,55
Wärmekapazität _{Fluid} [kJ/(kg·K)] nach ARCHER (1992)	3,73	3,74	3,5	3,5
Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)] nach OZBEK (1980)	0,62	0,62	0,62	0,62
Ruhewasserspiegel [m TVD]	46	48	78	77

5.4.1.3 Zusammenfassung

Im Ergebnis der Analyse des geologischen Kenntnisstandes können für den Standort vier potenzielle Nutzhorizonte identifiziert werden:

- Sandsteinhorizonte des Aalen
- Sandsteinhorizonte des Pliensbach
- Sandsteinhorizonte des Hettang-Oberbank
- Sandsteinhorizonte des Hettang-Unterbanks

Diese unterscheiden sich hinsichtlich:

- Ihrer Teufe
- Thermalwassertemperatur
- Permeabilität
- und effektiver Sandsteinmächtigkeit

Die tendenziell höchsten Permeabilitäten können theoretisch in den Sandsteinhorizonten des Pliensbach erwartet werden, welche sich zwar im mittleren Temperaturbereich (40 °C) befinden, aber ohne weiteres Förderraten von 90 m³/h realisieren lassen.

Trotz vermeintlich geringerer Permeabilitätswerte erreicht der Nutzhorizont der Hettang-Unterbanks mit den aktuell angenommenen Werten eine vergleichbare Förderrate, liegt aber im Temperaturniveau um 7 K höher. Im Hettang, wie im Pliensbach sollte ggf. auch die kumulative Nutzung mehrerer Sandsteinhorizonte in Betracht gezogen werden.

5.4.2 Potenzial der Tiefengeothermie

Im Rahmen der Potenzialermittlung wurden vier unterschiedliche Horizonte untersucht. Weiters wurde für eine erste grobe Abschätzung der technischen Machbarkeit zwei unterschiedliche Erschließungsvarianten überprüft. Das Resultat dieser Vorprüfung ergab die Erschließung der geothermischen Ressource mittels acht Bohrungen, von einem Sammelbohrplatz aus.

5.4.2.1 Bohrtechnik

Um hydrogeothermale Lagerstätten zu erschließen, sind technologisch folgende Arbeiten notwendig:

- Bohrtechnischer Aufschluss der Lagerstätte
- Verfahrenstechnische Umsetzung einer Anlage zur Energiegewinnung

Bei den hydrothermalen Lagerstätten handelt es sich um Wasser mit niedriger Enthalpie, so dass große Volumenströme für eine hohe Wärmeausbeute zu realisieren sind. Hieraus leitet sich ab, nicht zuletzt auch aus Umweltaspekten, die Wasser nach ihrer Nutzung wieder in den Untergrund zurückzuführen. Außerdem ist es notwendig, das hydraulische Gleichgewicht im geologischen Nutzhorizont aufrechtzuerhalten. Für die hydrothermale Erdwärmenutzung ergibt sich, dass mindestens vier Bohrungsdubletten, bestehend aus Förderbohrung und Injektionsbohrung, erforderlich sind.

Aus der Förderbohrung wird mit Hilfe einer Unterwasserpumpe das Thermalwasser entnommen und nach der Auskühlung wieder in die Injektionsbohrung verpresst. Entsprechend den geologischen Voraussetzungen, der Ausbildung der wasserführenden Gesteinsschicht, wie Mächtigkeit, flächenhafte Ausdehnung, Porosität, Permeabilität, muss die Injektionsbohrung weit genug von der Entnahmestelle entfernt sein, um einen thermischen Kurzschluss zwischen Förder- und Injektionsbohrung auszuschließen bzw. eine lange Nutzungsdauer des geothermischen Systems zu gewährleisten. Die notwendigen Bohrungsabstände werden im Zuge einer Konzeptstudie durch eine Lagerstätten-Simulation ermittelt. Sie liegen in der Speicherteufe in der Regel zwischen 500 und 1.500 m.

Aufgrund der Teufenlage der potenziellen Horizonte am Standort Oranienburg können die Bohrungen voraussichtlich von einem Sammelbohrplatz abgeteuft werden. Die Bohrungen werden unterirdisch abgelenkt, wodurch der geforderte Abstand erreicht wird. Die nachfolgende Grafik zeigt ein ähnliches Schema, in dem eine der Bohrungen unterirdisch abgelenkt wird.

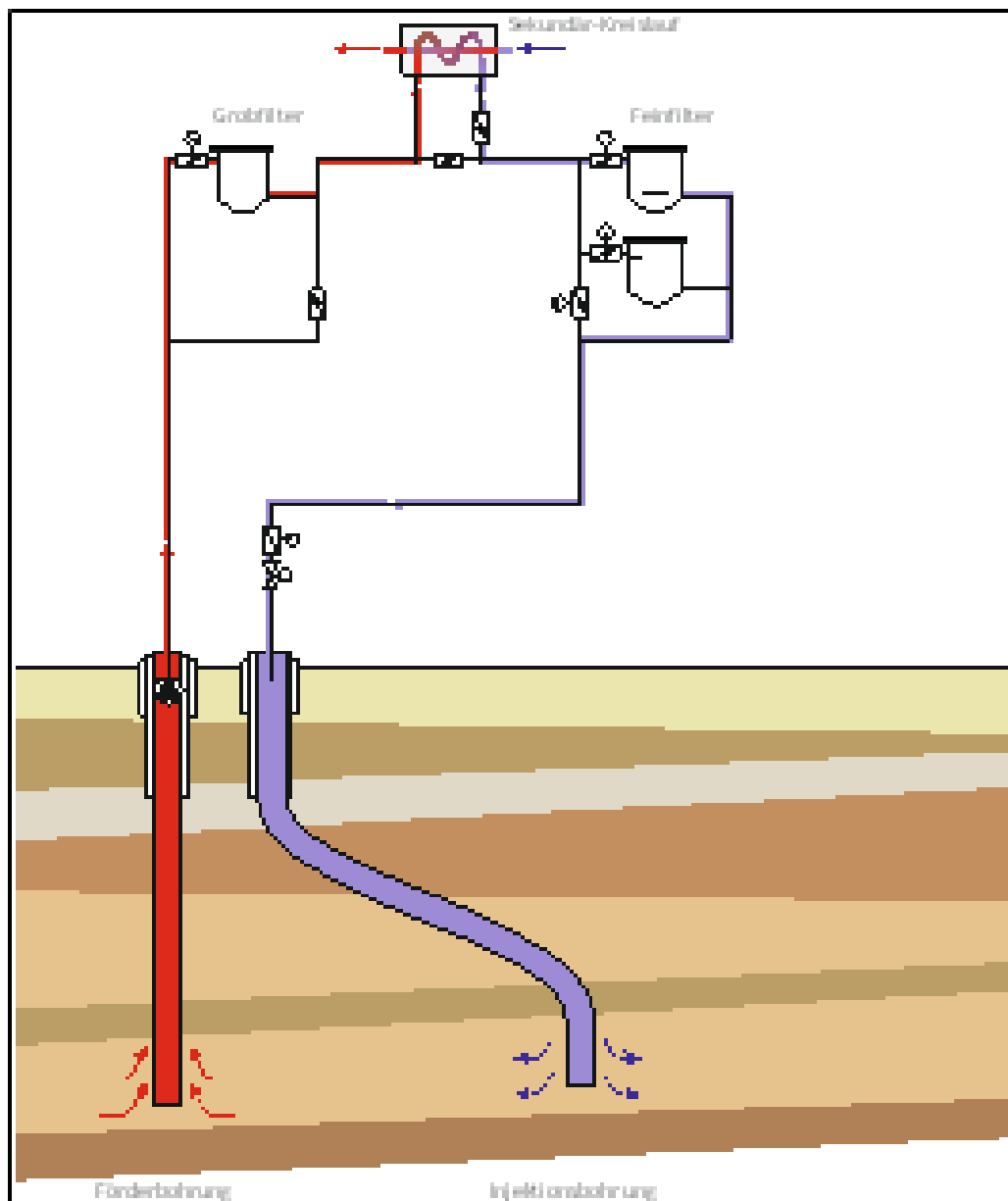


Abbildung 52: Grundsätzliches Schema einer hydrothermalen Geothermianlage mit einer gerichteten Bohrung

5.4.2.2 Bohrplatz

Ein Sammelbohrplatz für die vier geothermischen Dubletten in dieser Teufenlage sollte mindestens 3.600 m² (60 x 60 m) Grundfläche bieten, wobei man die maximale Bohrplatzfläche auf 6.400 m² (80 x 80 m) beschränken kann. Allerdings ermöglicht ein größerer Bohrplatz eine effizientere Abwicklung von gewissen Arbeitsabläufen. Außerdem gilt, dass ein Bohrplatz nicht zwingend quadratisch sein muss.

5.4.2.3 Flächenpotenziale

Die Erschließung der potenziellen Nutzhorizonte mittels geothermischer Tiefenbohrungen kann entweder von einem großen Sammelbohrplatzes oder mehreren kleinerer Bohrplätzen aus erfolgen.

Für den Fall, dass die Bohrungen auf mehrere kleinere Bohrplätze aufgeteilt werden, sollte die Grundfläche eines einzelnen Bohrplatzes nicht weniger als 2.500 m² (50 x 50 m) betragen. Nichtsdestotrotz bietet ein großzügig dimensionierter Sammelbohrplatz klare Vorteile und Synergien, da er eine kosteneffiziente Verbindung der untertägigen Bohrungen mit dem obertägigen Heizhaus sicherstellt.

Im Rahmen der bohrtechnischen Vorplanung werden die verfügbaren Grundstücke im Gewerbegebiet *Lehnitzstraße* umfassend auf ihre Eignung als Bohrplatz geprüft. Falls erforderlich werden zusätzliche temporäre Lagerflächen ausgewiesen. Abbildung 53 zeigt das Gewerbegebiet entlang der *Lehnitzstraße*, welches für einen zukünftigen Bohrplatz in Betracht gezogen wird.

Ebenso wird in der bohrtechnischen Vorplanung die Durchführbarkeit der geplanten Bohrpfade umfassend geprüft. Ein zentrales Kriterium ist dabei, den notwendigen Abstand zwischen den Landepunkten der Förder- und Injektionsbohrungen sicherzustellen, um einen thermischen Durchbruch zu vermeiden. Dieser Abstand der Landepunkte kann zum einen durch das Ablenken der Bohrungen im Untergrund erreicht werden. Allerdings ist die erzielbare Ablenkung der Bohrungen limitiert, da diese im direkten Zusammenhang mit der vertikalen Tiefe des gewählten Nutzhorizonts steht.

Sollte der notwendige Abstand zwischen den Landepunkten durch das Ablenken der Bohrungen nicht erreicht werden, besteht die Möglichkeit, diesen Abstand obertägig durch die Nutzung mehrerer Bohrplätze zu realisieren.

Ein weiterer Aspekt für die Auswahl eines geeigneten Bohrplatzes, ist der vorgeschriebene Sicherheitsradius, ausgehend vom Zentrum der Bohranlage. Bergrechtlich ist dieser Sicherheitsradius mit dem 1,1-fachen der Masthöhe definiert. Allgemein beträgt die Masthöhe einer geeigneten Bohranlage für Tiefbohrungen in diesem Teufenbereich ca. 32 m.

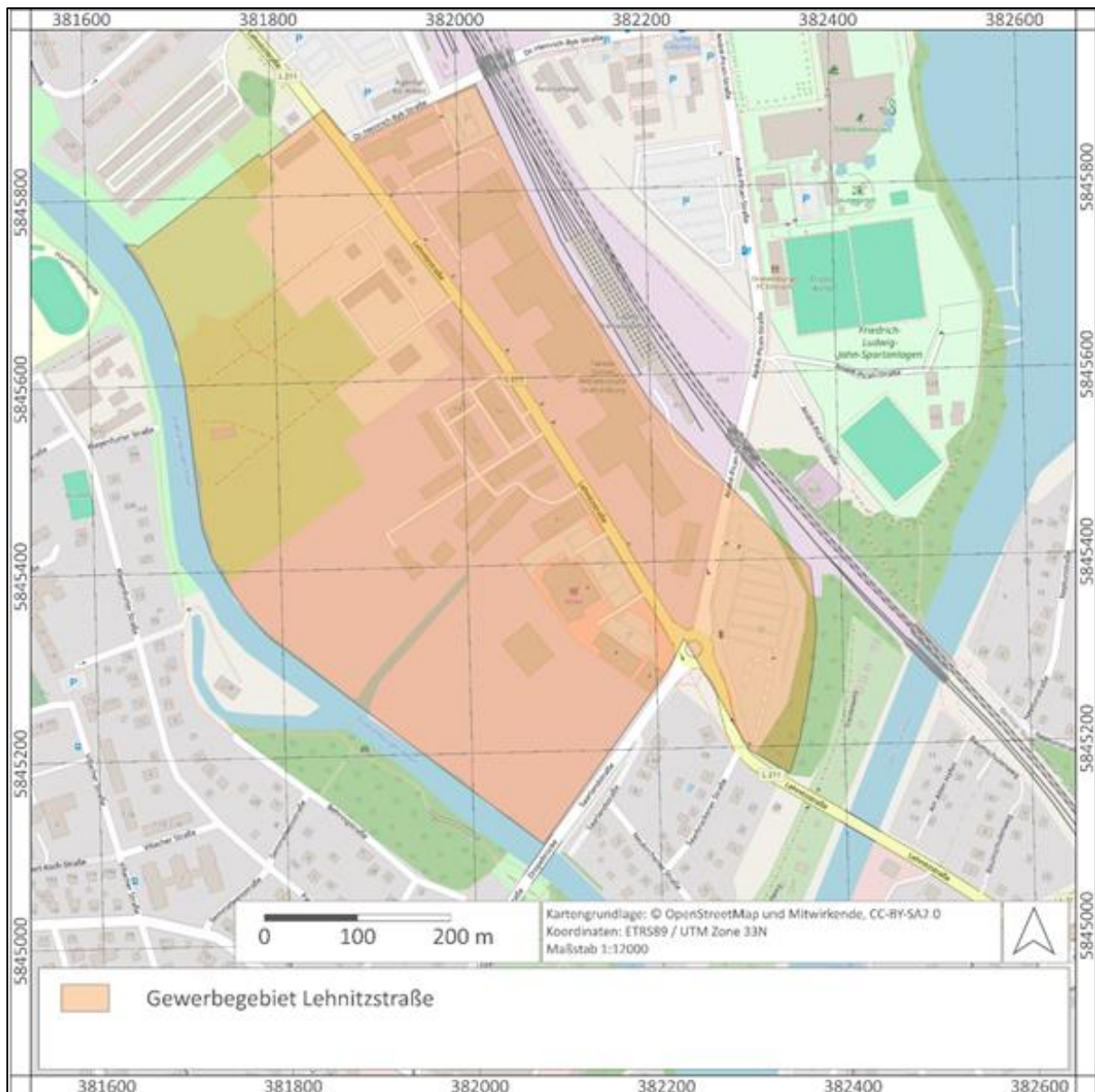


Abbildung 53: Konzeptioneller Bohrplatz am Standort Oranienburg

Im Gewerbegebiet gelten prinzipiell erhöhte Lärmschutz-Grenzwerte nach der Technischen Anleitung „Schutz gegen Lärm“ (TA-Lärm), die während des Bohrplatzbaus und für die Dauer der Bohrarbeiten einzuhalten sind. Es ist darauf zu achten, dass in den angrenzenden Wohngebieten die verminderten Lärmschutzrichtwerte dennoch eingehalten werden. Nach der Vergabe des Projekts an einen Bohrkontraktor wird dieser ein Lärmschutzgutachten erstellen. In diesem Gutachten werden gegebenenfalls erforderliche Maßnahmen zur Lärminderung, wie beispielsweise die Einhausung der Bohranlage oder der Einsatz von Lärmschutzwänden, festgelegt.

Die Lage des Gewerbegebiets *Lehnitzstraße* bietet geringes Potential für Umweltbelastungen, da sensible Schutzgebiete, wie Naturparks, nicht direkt betroffen sind. Durch einen ca. 700 m Abstand zum nächstgelegenen Naturpark Barnim wird gewährleistet, dass keine unmittelbaren Eingriffe in Schutzgebiete erfolgen. Weiters befindet sich in dem Gewerbegebiet kein Wasserschutzgebiet der Stadt Oranienburg.

In der bohrtechnischen Vorplanung wird zusammen mit der Stadt Oranienburg und den SWO außerdem geprüft, ob eine Schadstoffbelastung der ausgewählten Grundstücke vorliegt. Eine

mögliche Schadstoffbelastung des Untergrunds stellt jedoch kein Ausschlusskriterium für den Bau eines Bohrplatzes dar. Sollte eine Belastung festgestellt werden, muss der kontaminierte Mutterboden während der Bauarbeiten fachgerecht abgetragen und entsorgt werden. Allerdings ist dies mit erhöhten Kosten für die Entsorgung der belasteten Böden verbunden. Bei zukünftigen Kostenschätzungen muss dieser Punkt berücksichtigt werden.

5.4.2.4 Geothermische Anlagensysteme

Der Aquifer Aalen wurde aufgrund der niedrigen Reservoirtemperatur für die hydrothermale Wärmenutzung ausgeschlossen kommt aber als Aquiferspeicher in Frage. Für die hydrothermale Nutzung werden der Pliensbach und der Hettang weiter betrachtet. Da im Ergebnis der geologischen Kenntnisstandsanalyse zwei permeable Sandsteinschichten des Hettang (Unterbänk und Oberbänk) vorhanden sind, wird eine weitere Nutzungsvariante in Betracht gezogen, bei der zur Potenzialerhöhung der Tiefengeothermie eine Multi-Horizonte-Erschließung vorgesehen ist. Somit werden die Varianten in Tabelle 32 weiter untersucht.

Tabelle 32: Betrachtete Varianten mit gegebenen geologischen Horizonten und Erschließungskonzepten

Variante	Horizonte	Erschließungskonzept
Variante 1	Pliensbach	Einfache Dublette
Variante 2	Hettang Oberbänk	Einfache Dublette
Variante 3	Hettang Unterbänk	Einfache Dublette
Variante 4	Hettang Unter- und Oberbänk	Multi-Horizonte-Erschließung

Aufgrund der moderaten Temperaturen in allen betrachteten Aquiferen ist ein direkter Wärmeaustausch zwischen dem Netz und dem Thermalwassersystem ausgeschlossen. Der übertägige Thermalwasserkreislauf enthält die Wärmeübertrager zur Auskopplung von Wärme aus dem Thermalwasser sowie Ausrüstungen, die der Verfahrenssicherheit dienen (Überdruckhaltung, Schutzgasbeaufschlagung von Bohrungsköpfen und des Kreislaufes selbst, Partikelfiltration). Abbildung 54 zeigt das vereinfachte Schema des Thermalwasserkreislaufs bis zur Auskopplung der Wärme an die Wärmepumpenanlage.

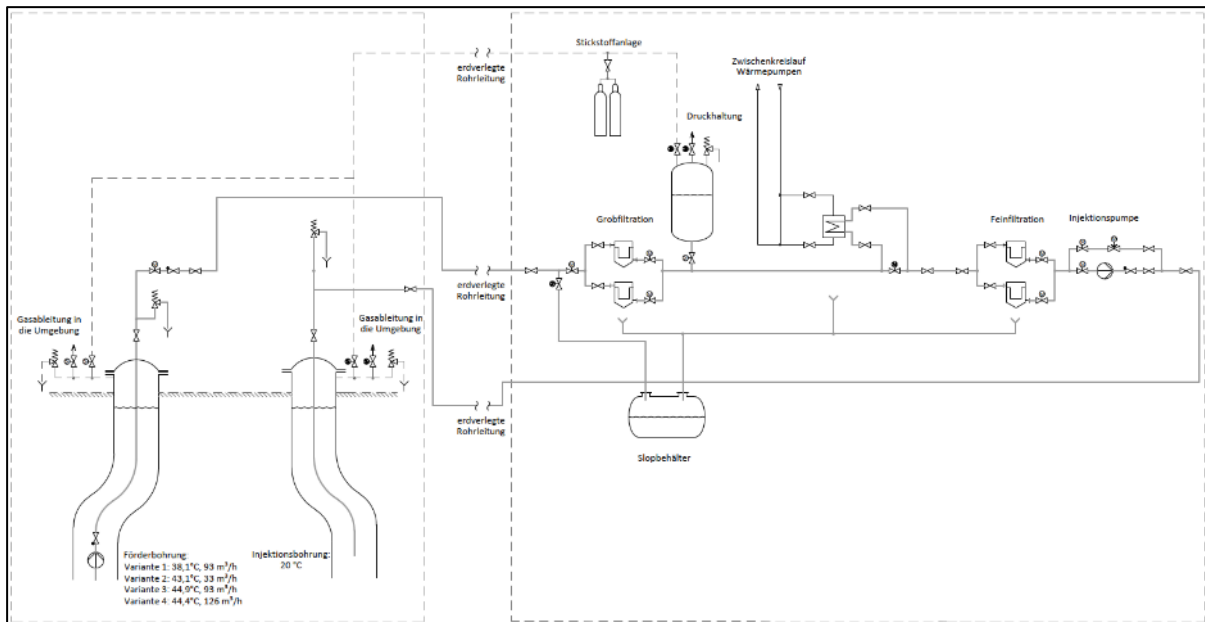


Abbildung 54: Das vereinfachte Schema des Thermalwasserkreislaufs bis zur Auskopplung der Wärme an die Wärmepumpenanlage

Die Wärme aus dem Thermalwasserkreislauf wird über die Wärmeübertrager an die Wärmepumpen abgegeben. Somit wird Thermalwasser unterhalb der Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes energetisch genutzt.

Unter Berücksichtigung der primär- und sekundärseitigen Temperaturen und der maximal nutzbaren Quellenleistung werden für die Varianten 1 und 2 drei Wärmepumpen, für die Varianten 3 und 4 vier Wärmepumpen vorgesehen. Abbildung 55 zeigt das vereinfachte Schema des Wärmepumpenkreislaufs bis zur Netzübergabepunkt.

Im Rahmen der Untersuchung wurden auf Basis der geologischen und netzseitigen Standortbedingungen in Oranienburg verschiedene natürliche und synthetische Kältemittel auf ihre Eignung für den Einsatz im Wärmepumpensystem analysiert. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Bewertung der thermodynamischen Eigenschaften, der Energieeffizienz, den sicherheitstechnischen Anforderungen sowie der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der spezifischen Betriebsbedingungen des Systems.

Natürliche Kältemittel wie Ammoniak und Propan zeigen grundsätzlich eine hohe thermodynamische Effizienz. Ammoniak zeichnet sich durch eine besonders gute Leistung bei höheren Temperaturen aus, ist jedoch mit höheren Anschaffungskosten und sicherheitstechnischen Anforderungen verbunden, wie z. B. zusätzlichen Überwachungssystemen. Propan wiederum erfordert aufgrund seiner Explosionsgefahr umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen, wie die Einhaltung des Ex-Schutzes. Synthetische Alternativen wie R1234ze zeigen eine hohe thermische Stabilität bei industriellen Anwendungen, waren jedoch aufgrund der hohen Kosten und spezifischen Einsatzanforderungen weniger attraktiv. R1234ze stellte sich als optimale Wahl heraus, da es bei den gegebenen Netztemperaturen nur geringfügige Effizienz Nachteile im Vergleich zu den Alternativen aufweist, wirtschaftlich vorteilhaft ist und mittlere Sicherheitsanforderungen erfüllt.

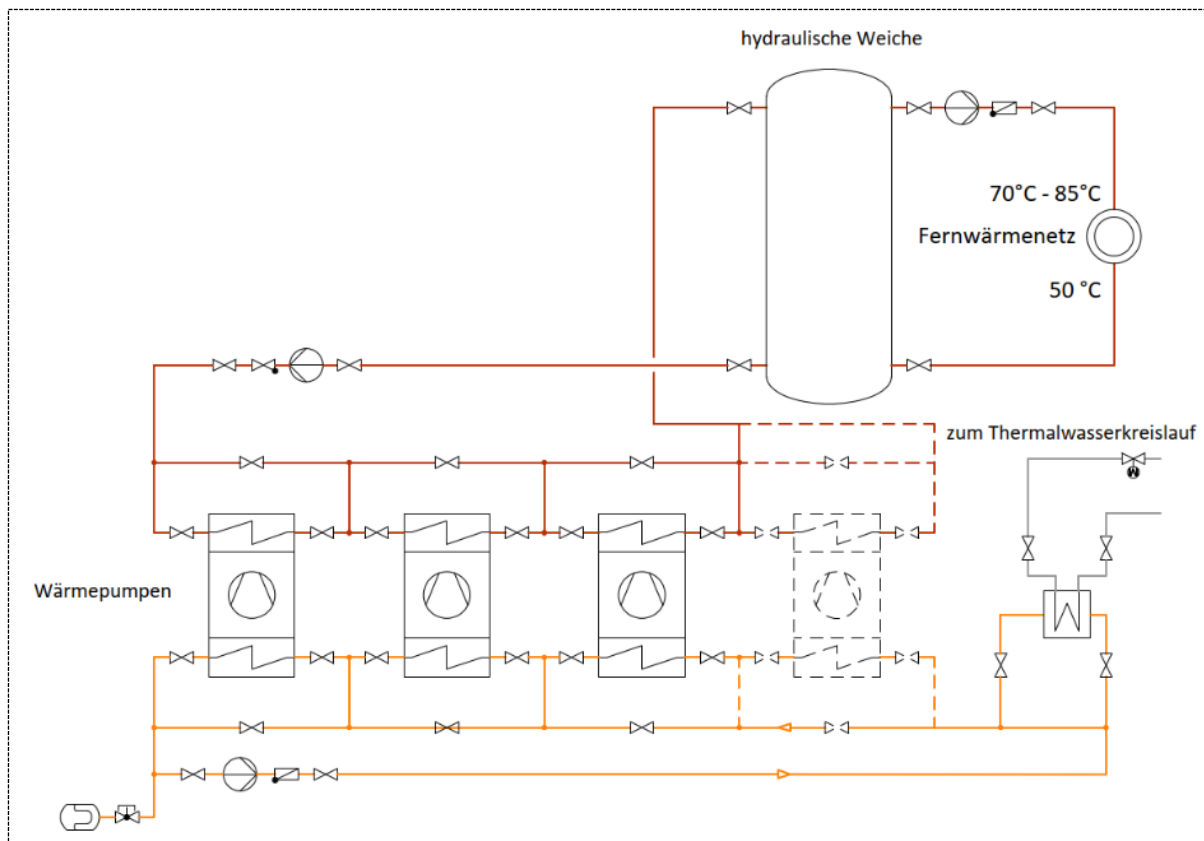


Abbildung 55: Das vereinfachte Schema des Wärmepumpenkreislaufts bis zur Netzübergabepunkt

Für die Wärmepumpenauswahl wird R1234ze als das am besten geeignete Kältemittel empfohlen. Es bietet eine ausgewogene Kombination aus thermodynamischer Effizienz, moderaten Sicherheitsanforderungen und einer hohen Wirtschaftlichkeit. Zudem erfüllt es die gesetzlichen Anforderungen und ist von der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze anerkannt. Dieses Kältemittel gewährleistet einen effizienten und wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpenanlagen bei gleichzeitig reduzierten Investitions- und Sicherheitsaufwänden im Vergleich zu den Alternativen. Die weitere Auslegung der Wärmepumpenanlage erfolgt auf Basis dieses Kältemittels.

Die Anlagenkomponenten sind im Wesentlichen in der Heizzentrale verortet. Daneben sind unterirdisch angeordnete Bohrkeller benötigt. Die Bohrungen befinden sich in den Bohrkellern. Das Haupttechnikgebäude beinhaltet die Filter, die Anlagentechnik wie z. B. die Wärmepumpen sowie die zugehörige Elektro- und Automatisierungstechnik.

Der Platzbedarf für das Haupttechnikgebäude pro Dublette liegt vorläufig abgeschätzt zwischen 320 m² (Variante 3) und 430 m² (Variante 4). Mit zunehmender Dublettenzahl verringert sich der zusätzlich benötigte Platzbedarf auf dem Bohrplatz.

Unter Berücksichtigung der zuvor eingeführten technischen Rahmenbedingungen wird die obertägige Anlage hinsichtlich der maximalen Wärmeleistung der Anlage ermittelt. Dazu wurde Tabelle 33 erstellt.

Tabelle 33: Potenzial der Tiefengeothermie pro Dublette

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Horizonte	m	Pliensbach	Hettang Oberbank	Hettang Unterbank	Hettang
Fördertemperatur	°C	38,1	43,1	44,9	44,4
Spitzenlastbetrieb - Winter					
Wärmepumpen Kondensatoraustritt	°C	85,0	85,0	85,0	85,0
COP	-	3,50	3,65	3,67	3,66
Max. Senkleistung Wärmepumpen	MW	2,47	1,14	3,45	4,59
Elektr. Leistungsaufnahme Wärmepumpe	MW	0,71	0,31	0,94	1,25
Elektr. Leistungsaufnahme Tiefpumpe	MW	0,06	0,04	0,12	0,19
Elektr. Leistungsaufnahme Injektionspumpe	MW	0,04	0,03	0,07	0,07
Spitzenlastbetrieb - Sommer					
Wärmepumpen Kondensatoraustritt	°C	70,0	70,0	70,0	70,0
COP	-	4,42	4,50	4,58	4,56
Max. Senkleistung Wärmepumpen	MW	2,30	1,06	3,21	4,27
Elektr. Leistungsaufnahme Wärmepumpe	MW	0,52	0,24	0,70	0,94
Elektr. Leistungsaufnahme Tiefpumpe	MW	0,06	0,04	0,12	0,19
Elektr. Leistungsaufnahme Injektionspumpe	MW	0,04	0,03	0,07	0,07

Aus Tabelle 33 wird ersichtlich, dass bei der sommerlichen Vorlauftemperatur von 70 °C die COP-Werte der Varianten in einem guten Bereich zwischen 4,42 und 4,58 liegen. Bei der winterlichen Netzvorlauftemperatur von 85 °C erreicht die Maschineneffizienz lediglich einen Bereich zwischen 3,5 und 3,67.

Da der Volumenstrom in Variante 4 die kumulierte Menge aus den Varianten 2 und 3 darstellt, weist diese Variante mit 4,59 MW_{th} die höchste Heizleistung auf. Durch die Mischung der niedrigeren Temperatur aus Variante 2 ist bei Variante 4 im Vergleich zu Variante 3 ein insignifikanter COP-Verlust zu erwarten. Es wird von einer Auskühlung des Thermalwassers auf 20 °C ausgegangen. Eine weitergehende Abkühlung wäre grundsätzlich noch in geringem Maße möglich, würde jedoch zu einer weiteren Verschlechterung des COP führen.

Unter Berücksichtigung des erforderlichen Wärmebedarfs der Stadt Oranienburg sind die Varianten 1 und 2 aufgrund der niedrigeren Fördertemperatur sowie der schlechteren Leistungszahl nicht als Vorzugsvarianten anzusehen. Aufgrund des höheren Effizienzgrades sowie der höheren Heizleistung erscheinen die Varianten 3 und 4 aus energetischer Sicht Vorzugslösungen.

Bei Erweiterung mit weiteren Dubletten kann die Leistung pro Dubletten linear skaliert werden. Da das favorisierte Erzeugerszenario im Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung vier Dubletten vom Typ der Variante 4 beinhaltet, ergibt sich eine installierte thermische Leistung des gesamten tiefengeothermischen Systems im Winter von 18,36 MW_{th} und im Sommer von 17,08 MW_{th}. Die nachfolgend aufgeführten Kosten beziehen sich auf das Gesamtsystem (vier Dubletten vom Typ der Variante 4).

5.4.3 Kosten

Die Kostenschätzung erfolgt für die energetischen Vorzugsvarianten 3 und 4 und ist in Tabelle 34 nachfolgender dargestellt:

Tabelle 34: Kostenschätzung der Vorzugsvarianten

	Vorzugsvariante
Verfahrenstechnik Übergeordnetes	1.576.000 €
Thermalwasserkreislauf	3.216.000 €
Wärmepumpenkreislauf	8.228.000 €
Tiefpumpe und Injektionspumpe	1.356.000 €
Elektrotechnik	3.272.000 €
MSR-Technik	3.200.000 €
Hochbau	7.276.000 €
Bohrtechnik	42.296.000 €
Planungskosten	6.756.000 €
Bohrtechnik – Betreuung und Bauleitung	3.800.000 €
Summe	80.976.000 €

5.4.4 Fazit

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung der Stadt Oranienburg wurden vier geologische Aquifere unter dem Aspekt der Wärmeerzeugung detailliert untersucht. Der Aquifer Aalen wird aufgrund seines geringeren Temperaturniveaus nicht für die Nutzung einer hydrothermale Wärmeauskopplung betrachtet. Dennoch kann dieser Aquifer weiterhin als Wärmespeicher in Betracht gezogen werden. Da die Fördertemperaturen der anderen Aquifere zwischen 38,1 °C und 44,9 °C liegen und die Netzurücklauftemperatur mit etwa 50 °C angegeben ist, ist es nicht möglich einen direkten Wärmeaustausch im System vorzusehen. Daher werden die Systemvarianten jeweils mit einer Wärmepumpenanlage ausgerüstet, die quelleseitig durch eine hydrothermale Dublette gespeist wird. Der COP der Wärmepumpenanlagen in den ausgearbeiteten Varianten schwankt zwischen 3,50 und 3,67 bei der winterlichen Netzzvorlauftemperatur von 85 °C und 4,42 bis 4,58 bei der sommerlichen Netzzvorlauftemperatur von 70 °C.

Da das favorisierte Erzeugerszenario im Ergebnis der kommunalen Wärmeplanung vier Dubletten vom Typ der Variante 4 beinhaltet, ergibt sich eine installierte thermische Leistung des gesamten tiefergeothermischen Systems im Winter von 18,36 MW_{th} und im Sommer von 17,08 MW_{th}.

5.5 Freiflächensolar

5.5.1 Einführung

Bei der Solarthermie wird die eingestrahlte Sonnenenergie direkt zur Bereitstellung von Wärme für Raumheizung und Warmwasser genutzt. Die Nutzung dieser Wärmequelle bietet eine Reihe von Vorteilen: Solarenergie ist frei von Risiken und Schadstoffen, unterliegt keinen Preiserhöhungen und stärkt über den Anlagenbau die regionale Wertschöpfung.

Das von der Sonne bereitgestellte theoretische Energiepotenzial ist sehr groß. Die auf das Stadtgebiet eingestrahlte Wärmeenergie beträgt ein Vielfaches dessen, was an Wärme in den Gebäuden benötigt wird. Jedoch unterliegt die real zur Deckung des örtlichen Wärmebedarfs zur Verfügung stehende Solarwärme verschiedenen Restriktionen:

- Die für die Errichtung von Solarkollektoranlagen zur Verfügung stehenden Flächen sind aufgrund von Nutzungskonkurrenzen im innerstädtischen Bereich sehr begrenzt.
- Der Wirkungsgrad der Solarkollektoren ist vom erforderlichen Nutztemperaturniveau auf der Abnahmeseite abhängig. Je niedriger das geforderte Temperaturniveau ist, umso höher ist der thermische Wirkungsgrad. Übliche Flachkollektorsysteme weisen Wirkungsgrade von etwa 30 - 40 % auf.
- Die Solarstrahlung konzentriert sich zu etwa $\frac{3}{4}$ auf das Sommerhalbjahr. Dagegen ist der Gebäudewärmebedarf durch die Raumheizung auf die Heizperiode konzentriert. Nur die Warmwasserbereitung weist ein ganzjährig gleichbleibendes Bedarfsprofil auf. Für einen hohen Solaranteil am Gesamtwärmebedarf ($> 20\%$) müsste die Solarwärme durch saisonale Speicher bis in die Heizperiode gespeichert werden, was hohe zusätzliche Kosten verursacht.

Die weit überwiegende Anzahl der in Deutschland installierten solarthermischen Anlagen findet sich bisher auf den Dächern von Ein- und Zweifamilienhäusern.

Neben der üblichen Montage der Kollektoren auf Dachflächen kommt auch eine Installation auf Freiflächen in Betracht. Dies ist insbesondere für die Einspeisung in Wärmenetze vorteilhaft und zeichnet sich durch wesentlich niedrigere Wärmegestehungskosten aus.

Bei normaler Bodenbeschaffenheit ist keine Fundamentierung der Kollektormodule notwendig, sondern diese werden ähnlich wie bei Leitplanken auf vorkonfektionierte, in den Boden gerammte Stahlprofile aufgesetzt und zu großen Kollektorfeldern verbunden. Die frei aufgeständerte Anlage versiegelt den Boden nicht und ermöglicht die Anpflanzung geeigneter Vegetation zwischen den Kollektorreihen.

Bei der Ermittlung von Freiflächen sind regulatorische und technische Kriterien anzuwenden. Ein grobes Schema zur Aufnahme von Kriterien ist in Abbildung 56 dargestellt.

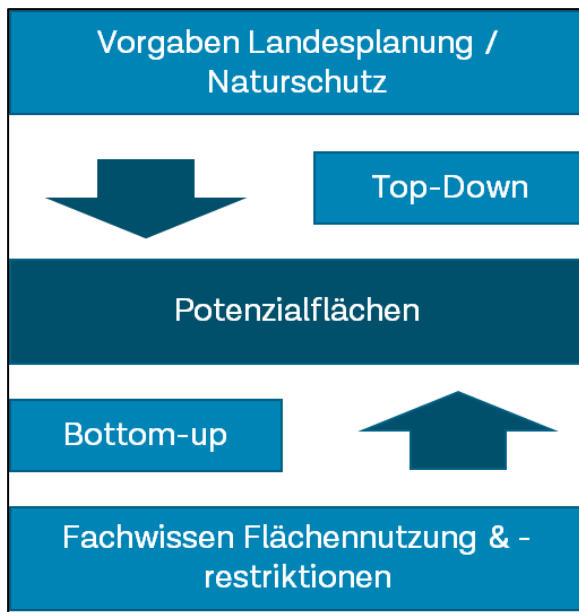


Abbildung 56: Schema - Kriterien zur Flächenanalyse

Das detaillierte Vorgehen zur Ermittlung und Anwendung der Kriterien in der Flächenanalyse folgt in den späteren Kapiteln.

Vorgaben, die konkret Bezug auf Solarthermieanlagen nehmen, sind selten. Häufiger beziehen sich die Bedingungen auf „Solaranlagen“ oder auf „Freiflächenphotovoltaikanlagen“. Im Folgenden wird jeweils der Wortlaut der herangezogenen Quelle verwendet. In vielen Fällen lassen sich Vorgaben für Photovoltaikanlagen einfach auf Solarthermieanlagen übertragen, da diese eine vergleichbare Raumrelevanz und Erscheinungsform haben.

5.5.2 Vorgaben auf Landes- und Regionalebene

Um die Eignung von Flächen für die Errichtung von Solaranlagen prüfen zu können, müssen zunächst Kriterien festgelegt werden. Diese Kriterien ergeben sich u. a. aus den rechtlichen Vorgaben des Landes Brandenburg, durch die beispielsweise Ausschluss- und Präferenzflächenkriterien festgelegt sind. Es besteht die Möglichkeit, auf Landesebene konkrete Gebiete für Solarenergie auszuweisen und den angestrebten Ausbau von Photovoltaik- und Solarthermieanlagen räumlich zu verankern. Dies ist in Brandenburg bislang nicht geschehen: Das Landesentwicklungsprogramm 2007 (LEPro 2007) für Brandenburg weist derzeit weder konkrete räumlich festgelegte Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für Solar-Freiflächenanlagen aus, noch existieren übergeordnete Flächenziele zu deren Ausbau.

Der Landesentwicklungsplan Hauptstadtregion Berlin-Brandenburg (LEP HR) von 2019 enthält ebenfalls keine relevanten Vorgaben für Solar-Freiflächenanlagen. Lediglich Windenergie wird genannt, jedoch hinsichtlich der Nutzung auf die Regionalpläne verwiesen. Auf Landesebene existiert zudem das vom Umfang eher knappe, aber dennoch inhaltssvolle Hinweisblatt „Gemeinsame Arbeitshilfe Photovoltaik-Freiflächenanlagen Gestaltungs- und Steuerungsmöglichkeiten für Kommunen im Land Brandenburg“.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass in den Regionalen Raumentwicklungsprogrammen (RREP) Vorgaben für Anlagen gemacht werden. Für den Landkreis Oberhavel, zu dem Oranienburg gehört, erstellt die Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel entsprechende Pläne.

Die Regionalversammlung der Planungsgemeinschaft hat die Aufstellung eines Regionalplans im Jahr 2019 beschlossen. Der Regionalplan beinhaltet keine Vorgaben zur Aufstellung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Stattdessen sind die in der „Arbeitshilfe Photovoltaik-Freiflächenanlagen“ der Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel enthalten. Auch das Land Brandenburg hat eine vergleichbare Arbeitshilfe unter dem Titel „Gemeinsamen Arbeitshilfe Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) Gestaltungs- und Steuerungsmöglichkeiten für Kommunen im Land Brandenburg“ herausgegeben. Die Kriterien werden nachfolgend vergleichend dargestellt.

Tabelle 35: Berücksichtigte Gunstflächen der Arbeitshilfen

Gunstflächen		
Kategorie	Vorgabe von	Kommentar
Flächen mit einem durch technische Einrichtungen stark überprägten Landschaftsbild	Land Brandenburg	Konkretisierung: Abstand 500 m um Gewerbe und Industrie
200 m-Streifen längs von Autobahnen oder Schienenwegen	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	Ergänzung: Erweiterung auf 500 m nach EEG.
Planfeststellungsflächen	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Bundes- oder BImA-Flächen mit bekanntgemachten Entwicklungsabsichten	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Flächen in Anbindung an Industrie- und Gewerbegebiete	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	Konkretisierung: Abstand 500 m um Gewerbe und Industrie.
Bodenpunkte unter 30	Absprache Projektgruppe	
Nachrichtliche Darstellung		
Einbindung ins Energie- oder Standortkonzept	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	Puffer zu Wärmenetz (Bestand und Potenzial) 800 m

Tabelle 36: Berücksichtigte Abwägungsbereiche gem. Arbeitshilfen

Abwägungsbereiche		
Kategorie	Vorgabe von	Kommentar
Wasserschutzgebiet Zone 3	Land Brandenburg	
Landschaftsschutzgebiete	Land Brandenburg	Konflikt mit Vorgabe Planungsgemeinschaft, vorbehaltlich Einzelfallprüfung als weiches Kriterium festgelegt
Europäische Vogelschutzgebiete	Land Brandenburg	
Künstliche und erheblich veränderte Gewässer	Land Brandenburg	
Bodendenkmäler	Land Brandenburg	
Biotope	Land Brandenburg	
Moorböden	Land Brandenburg	
Gestaltungsraum Siedlung	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Vorbehaltsgebiet "Sicherung oberflächennaher Rohstoffe"	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	

Abwägungsbereiche		
Vorbehaltsgebiet "Historisch bedeutsame Kulturlandschaft"	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Vorbehaltsgebiet "Hochwasserschutz"	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Biosphärenreservat	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Naturpark	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Geschützte Biotop	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	Konflikt mit Vorgabe Bundesland – als hartes Kriterium festgelegt
Renaturierungsflächen	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Hochwasserschutzgebiet einschl. festgesetzter Überschwemmungsgebiete	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Landwirtschaftliche Flächen in Abhängigkeit zum Ertragspotenzial	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	Konkretisierung: Unter 55 Bodenpunkten angelehnt an EEG
Ökokonto / Kompensation	Absprache Projektgruppe	

Tabelle 37: Berücksichtigte Ausschlussbereiche gem. Arbeitshilfen

Ausschlussflächen		
Kategorie	Vorgabe von	Kommentar
Freiraumverbund gemäß Z 6.2 LEP HR	Land Brandenburg	
Wald im Sinne von § 2 LWaldG	Land Brandenburg	
Naturschutzgebiete	Land Brandenburg	
FFH-Gebiete	Land Brandenburg	
Gebiete nach § 30 BNatSchG und flächenhafte Naturdenkmale	Land Brandenburg	
Räume mit laufenden (Fach-)Planverfahren	Land Brandenburg	
Natürliche Stand- und Fließgewässer	Land Brandenburg	
Wasserschutzgebiete Zone 1 und 2	Land Brandenburg	
geschützte Biotop	Land Brandenburg	Konflikt mit Vorgabe Planungsgemeinschaft – als hartes Kriterium festgelegt
Natura 2000	Land Brandenburg	
Nationalparks	Land Brandenburg	
Naturnahe Mooregebiete	Land Brandenburg	Sensible Moore berücksichtigt
Freiraumverbund LEP HR (!)	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Vorranggebiet "Sicherung oberflächennaher Rohstoffe" (!)	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Vorranggebiet "Freiraum" (!)	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Eignungsgebiet für die Windenergienutzung (!)	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	

Ausschlussflächen		
Gewerblich-industrieller Vorsorgestandort (!)	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Landschaftsschutzgebiet (!)	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	Konflikt mit Vorgabe Land, vorbehaltlich Einzelfallprüfung als weiches Kriterium festgelegt
Naturdenkmale	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Gewässerrandstreifen 50 Meter	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Gartendenkmale	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	
Baudenkmale	Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel	

Die Inanspruchnahme von Ausschlussflächen, die mit einem "(!)" gekennzeichnet wurden, sind laut der Regionalen Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel nur in besonderen Ausnahmefällen möglich. Diese Standortkriterien gehen mit einem sehr hohen Konfliktpotenzial einher. Zudem handelt es sich nicht um Abwägungsentscheidungen der Gemeinde, sondern um Prüffälle für die zuständige Genehmigungsbehörde.

Im Rahmen der Freiflächenanalyse kam es zu einem engen Austausch zwischen Auftragnehmern und der Stadtverwaltung Oranienburg. So konnte sichergestellt werden, dass die ermittelten Potenzialflächen dem PV-Freiflächensteuerungskonzept der Stadt übereinstimmen bzw. darin Beachtung finden.

5.5.3 Bewertungsmethodik

Die im Geoinformationssystem verwendeten Daten stammen u. a. aus dem öffentlich zugänglichen Geoportal der Planungsgemeinschaft Prignitz Oberhavel oder wurden im Kartenportal vom Land Brandenburg hinterlegt. Weitere Daten wurden für das Projekt von den jeweiligen Ämtern zur Verfügung gestellt. Ziel des Vorgehens ist es, auf Basis der Vorgaben von Land und Landkreis eine priorisierte Flächenkarte zu erstellen, die einen Überblick verschafft, in welchen Bereichen Flächen umsetzbar scheinen und unter welcher Priorisierung diese Flächen zu betrachten sind.

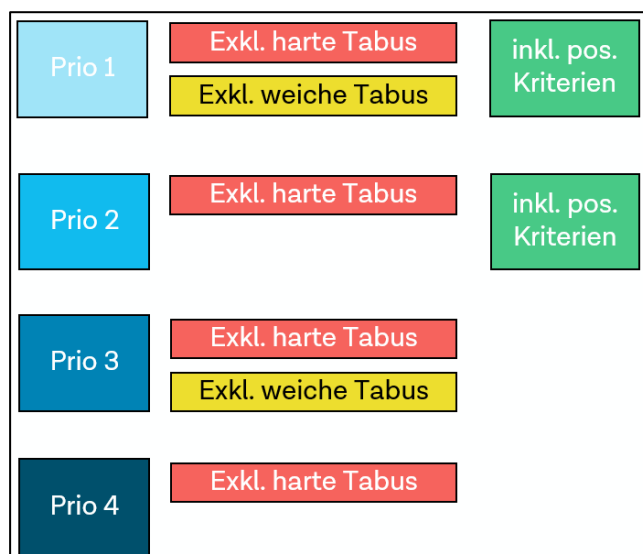


Abbildung 57: Bewertungskriterien verschiedener Prioritätsstufen

Dafür wurde eine Einordnung verschiedener Prioritätsstufen entsprechend der in Abbildung 57 dargestellten Systematik vorgenommen. Dabei beschreibt Prioritätsstufe 4 diejenigen Flächen, die verbleiben, nachdem die in Tabelle 37 dargestellten Ausschlusskriterien angewandt wurden. Dahingegen liegen Flächen der Prioritätsstufe 1 nicht nur außerhalb von weichen und harten Ausschlussbereichen, sondern auch in Gebieten, die durch positive Attribute belegt wurden.

Die Flächengröße der verschiedenen Prioritätsstufen ist in Tabelle 38 abgebildet. Zudem sind die potenziellen Ertragsmengen pro Prioritätsfläche aufgeführt. Die Kollektorfläche entspricht hierbei der Fläche geteilt durch den Faktor 2,25.

Tabelle 38: Solarthermie Prioritätsflächen und potenzielle Erträge

	Prio 1	Prio 2	Prio 3	Prio 4
Flächengröße (ha)	304	1.177	631	2.247
Ertrag Vakuumkollektoren (GWh)	697	269	1.447	5.155
Ertrag Flachkollektoren (GWh)	688	265	1.427	5.085
Ertrag Vakuumkollektoren RL+15 (GWh)	711	274	1.475	5.255
Ertrag Flachkollektoren RL+15 (GWh)	713	275	1.481	5.275

Im öffentlichen Bericht werden keine konkreten Flächen dargestellt. Das Kartenwerk liegt dem Auftraggeber vor.

Sehr gute Flächen (Prioritätsstufe 1) finden sich im Westen der Fernwärme(ausbau-)gebiete. Teilweise wurden auch im Zentrum kleinere Flächen identifiziert.

Flächen der Prioritätsstufe 2 sind besonders im Bereich Schmachtenhagen ermittelt worden. Weitere Flächen der Prioritätsstufe 3 liegen im Nordwesten und im Osten.

Nach einer ersten indikativen Rechnung könnten bei Nutzung aller Flächen 600 GWh - 2.500 GWh an Wärme über solarthermische Anlagen erzeugt werden. Diese erste Überschlagsrechnung berücksichtigt nicht die Abnahmefähigkeit auf Wärmenetzseite. Zudem liegt ein Großteil der Potenzialflächen außerhalb des Einzugsbereichs des Fernwärmenetzes, sodass aufgrund großer Distanzen Wärmeverluste in den Transmissionsleitungen eine wirtschaftliche Einbindung des Potenzials verhindern könnten.

5.5.4 Genehmigungsprozess

Für solare Freiflächenanlagen FFA stehen vor allem unbebaute Außenbereiche im Fokus. In diesen Gebieten, für die meist noch kein Bebauungsplan (B-Plan) besteht, sind großflächige Solaranlagen grundsätzlich nach §72 BbgBO genehmigungspflichtig. Entsprechende Vorhaben werden durch die Bauaufsichtsbehörde geprüft.

Unter bestimmten Voraussetzungen kann eine Bauausführung im Außenbereich ohne Aufstellung eines Bebauungsplans erfolgen. Dabei wird zwischen privilegierten und sonstigen Vorhaben unterschieden. Privilegierte Vorhaben sind in § 35 Absatz 1 des Baugesetzbuches (BauGB) definiert und sind grundsätzlich auch im Außenbereich ohne Bebauungsplan zulässig, wenn andere Belange (Naturschutz, Landwirtschaft, natürliche Eigenart der Landschaft) nicht entgegenstehen. Ob Freiflächen-Solarthermieanlagen (ST-FFA) als Vorhaben zur „öffentlichen Versorgung mit Wärme“ nach § 35 Abs. 1 S. 3 BauGB in diesem Sinn zulässig sind und somit ohne Bebauungsplan errichtet werden können, ist fraglich und wurde bislang nicht abschließend geklärt.

Der Weg, eine solarthermische Anlage als privilegiertes Vorhaben durchzusetzen, ist allerdings möglicherweise mit hohem Aufwand zur Klärung der rechtlichen Frage verbunden und könnte daher zu Verzögerungen führen.

Solare Anlagen im Außenbereich scheinen nach § 35 Abs. 1 S. 8 BauGB hingegen eindeutig keine privilegierten Vorhaben, wenn diese nicht im 200 m Korridor entlang *von Autobahnen oder Schienenwegen des übergeordneten Netzes im Sinne des § 2b des Allgemeinen Eisenbahngesetzes mit mindestens zwei Hauptgleisen* liegen.

Auch eine bauplanungsrechtliche Zulässigkeit von solaren Anlagen als sonstige Vorhaben im Außenbereich ist nicht anwendbar, da regelmäßig eine Beeinträchtigung öffentlicher Belange nach § 35 Abs. 3 BauGB vorliegt, wie z. B. die Beeinträchtigung naturschutzrechtlicher Belange oder der natürlichen Eigenart der Landschaft. Die Zulassung von PV-FFA im Außenbereich setzt somit in der Regel einen Bebauungsplan voraus.

Bei „größeren Flächen“ wird nach Hinweisblatt des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) eine Fortschreibung eines kommunalen Landschaftsplans erforderlich sein, die flankierend zur Bauleitplanung stattfindet.

5.5.5 Technische Spezifikation

Die Solarthermie ist eines der Fokusthemen zur Zielerreichung in der Fernwärme. Solarthermische Anlagen erzeugen direkt aus eingehender Sonneneinstrahlung erneuerbare Wärme. Im Gegensatz dazu wird in Photovoltaikmodulen erneuerbarer Strom erzeugt, welcher wiederum für den Betrieb von Wärmepumpen zur Erzeugung erneuerbarer Wärme genutzt werden kann.

Die Zielsetzung der vorliegenden Studie ist es, Lösungen für die Integration von Solarthermie in das Oranienburger Fernwärmenetz zu finden. Sowohl das Flächenscreening und die Flächenauswahl als auch die Konzeptionierung der Anlagen wird daher für Solarthermieanlagen durchgeführt. Das Ergebnis des Flächenscreenings ist jedoch unter Umständen zukünftig für die Errichtung von Photovoltaikanlagen nutzbar.

Solarthermietechologien lassen sich in konzentrierende und nicht-konzentrierende Kollektoren aufteilen. Nicht konzentrierende Kollektoren nutzen sowohl diffuse als auch direkte solare Strahlung und werden nicht nachgeführt (die Ausrichtung dem täglichen Verlauf der Sonne angepasst).

Flachkollektor

Ein Flachkollektor (FK) besteht aus dem Absorber, dem Kollektorgehäuse, einer Glasabdeckung und einer Wärmedämmung. Das Absorberblech wandelt die Einstrahlung in Wärme um. Eine Beschichtung sorgt dafür, dass möglichst viel Wärme aufgenommen (hohes Absorptionsvermögen) und möglichst wenig Wärme abgestrahlt wird (geringer Emissionsgrad).

Die Wärmedämmung auf der Rückseite und den Seitenflächen des Gehäuses verringern die Abstrahlverluste. Die Wärme wird über das Wärmeträgermedium im Solarkreislauf weiter zum Speicher oder Verbraucherinnen und Verbrauchern transportiert. Die Solarflüssigkeit besteht in der Regel aus Wasser oder Wasser einem Frostschutzmittel, in der Regel Glykol, damit die Anlage im Winter nicht durch ausfrierendes Wasser beschädigt wird.

Vorteile von Flachkollektoren liegen in der einfachen und damit wenig störanfälligen Technik und den im Vergleich zu Vakuumröhrenkollektoren niedrigeren Investitionskosten. Die hier betrachteten Flachkollektoren sind speziell für Großanlagen konzipiert und weisen deswegen besonders gute hydraulische Eigenschaften und geringe Druckverluste auf.

Der Nachteil von Flachkollektoren im Vergleich zu Vakuumröhrenkollektoren liegt in den höheren Abstrahlungsverlusten, die sich vor allem bei höheren Temperaturen im Kollektorfeld negativ bemerkbar machen. Die spezifischen solaren Erträge sind bei FK daher geringer.

Vakuumröhrenkollektor

Unter dem Sammelbegriff Vakuumröhrenkollektoren (VRK) werden verschiedene Technologien und Aufbauten mit teils erheblich abweichenden Eigenschaften zusammengefasst. Gemeinsames Merkmal ist, dass die Isolierung zwischen Absorber und Außenluft durch ein Vakuum hergestellt wird.

Bei direkt durchströmten Vakuumröhrenkollektoren zirkuliert der Wärmeträger direkt in einem Glasröhrchen mit dem Absorber. Eine andere Röhrenkollektorbauweise ist der Heatpipe Kollektor. Hier verdampft ein Zwischenmedium im Rohr und sammelt sich am oberen Ende des Rohrs. Dort wird die Energie auf den eigentlichen Wärmeträger übergeben und über den Solarkreislauf abtransportiert. Der Dampf kühlt ab und sammelt sich wieder unten im Rohr.

Beim CPC-Kollektor (Compound Parabolic Concentrator) sind zwei Glasröhren als "Thermoskanne" zur Dewar-Röhre ausgebildet. Das Vakuum befindet sich nur innerhalb des Glasbehältnisses. Durch diese Bauweise wird eine typische Schwachstelle von einwandigen Vakuumröhrenkollektoren, die Dichtheit im Glas- und Metallübergang, eliminiert. Die Röhren liegen im CPC-Kollektor vor einem Parabolspiegel beziehungsweise einer Reflektorschicht, die das einfallende Licht auf die Röhren gebündelt zurückwirft und so die Leistung des Röhrenkollektors erhöht.

Der Nachteil von Vakuumröhrenkollektoren liegt in erster Linie in den höheren Investitionskosten. Vorteilhaft sind höhere spezifische Erträge.

Gegenüberstellung Kollektortypen

In der folgenden Tabelle ist eine Übersicht der Kollektortypen inkl. Vor- und Nachteile sowie Temperaturbereiche abgebildet.

Tabelle 39: Gegenüberstellung verschiedener Kollektortypen.

	Vorteile	Nachteile	Temperatur-niveau
Flachkollektor	• Günstigste Kollektorart • Robuste, langlebige Technik	• Vergleichsweise hoher Platzbedarf • Relativ schwer • Höhere Abstrahlungsverluste • Höherer Aufwand für Flachdachmontage	< 100 °C
Vakuumröhrenkollektor (direktdurchströmt)	• Hoher Wirkungsgrad • Platzsparend • Geringes Gewicht	• Höhere Anschaffungskosten • Empfindliche Technik	80 bis 130 °C
Vakuumröhrenkollektor (Heatpipe)	• Hoher Wirkungsgrad • Platzsparend • Geringes Gewicht	• Höhere Anschaffungskosten • Empfindliche Technik • Bestimmter Neigungswinkel erforderlich	80 bis 130 °C
Vakuumröhrenkollektor (CPC)	• Sehr hoher Wirkungsgrad • Vermeidung von Überhitzung durch Defokussierung möglich • Hohe Temperaturen erreichbar	• Sehr hohe Anschaffungskosten • Empfindliche Technik	80 bis 130 °C

5.5.6 Simulation

Die Simulation wird für verschiedene Kollektortypen und Vorlauftemperaturen durchgeführt. Die technischen Daten des Vitosol 200-T SPX-F werden für den Vakuumröhrenkollektor verwendet, für den Flachkollektor werden die Daten des Greenonetec GK HT 13,6 genutzt. Für alle Varianten wird eine Kollektorfläche von 10.000 m² berücksichtigt. Die Daten der Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung werden von der Wetterstation Potsdam für das Jahr 2022 verwendet. Da es sich bei dem Jahr um ein besonders einstrahlungsreiches und warmes Jahr handelt, werden die Einstrahlungsdaten mit denen des TRY-Datensatzes vom DWD verglichen (Deutscher Wetterdienst, 2017). Der TRY-Datensatz bezieht sich auf die Jahre 1995 bis 2012. Die Daten aus dem Jahr 2022 liegen durchschnittlich ca. 9 % über denen des TRY-Datensatzes, weshalb die Einstrahlungsdaten um diesen Anteil gesenkt werden.

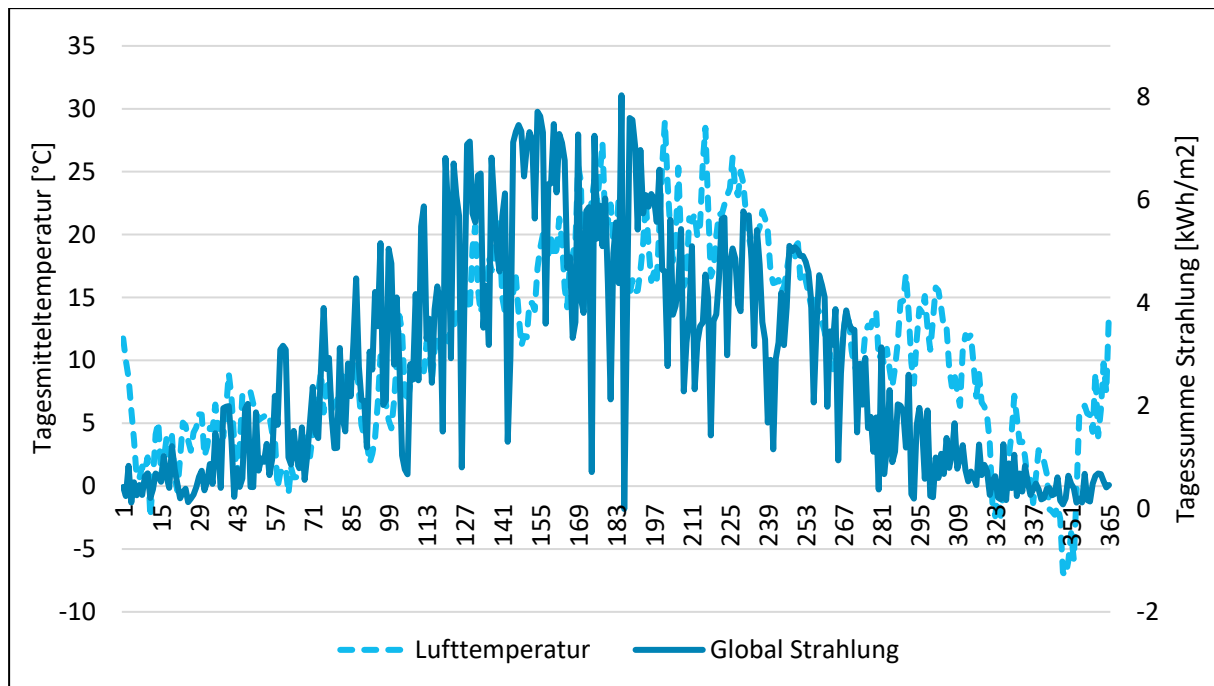


Abbildung 58: Wetterdaten der solarthermischen Simulation

Die unterschiedlichen Vorlauftemperaturen sind in Abbildung 59 dargestellt. Die Vorlauftemperaturen entsprechen den Vorgaben der Stadtwerke Oranienburg in Absprache mit der Projektgruppe.

Neben diesen Vorlauftemperaturen wird außerdem ein Szenario betrachtet, in dem sich die Vorlauftemperaturen aus den Rücklauftemperaturen ergeben, zu denen jeweils 15 K addiert werden. Die unterschiedlichen Vorlauftemperaturen sind in Abbildung 60 dargestellt.

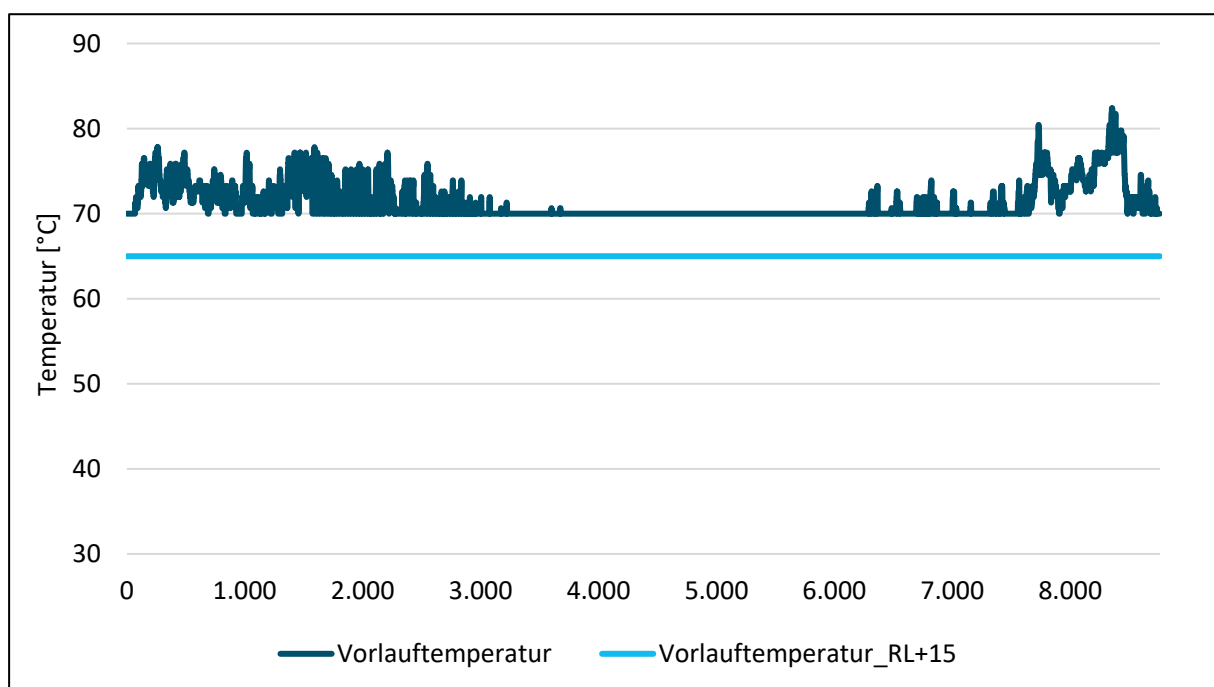


Abbildung 59: Vorlauftemperaturen der beiden Szenarien

In Abbildung 60 sind die Einspeisemengen der Flach- und Vakuumröhrenkollektoren bei den Vorlauftemperaturen, die sich aus den Rücklauftemperaturen plus 15 K ergeben, dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass Vakuumröhrenkollektoren höhere Erträge im Winter liefern als Flachkollektoren. Dagegen haben die Flachkollektoren im Sommer höhere Erträge als die Vakuumröhrenkollektoren. Über das ganze Jahr gesehen werden bei diesen Vorlauftemperaturen höhere Erträge mit den Flachkollektoren erzielt.

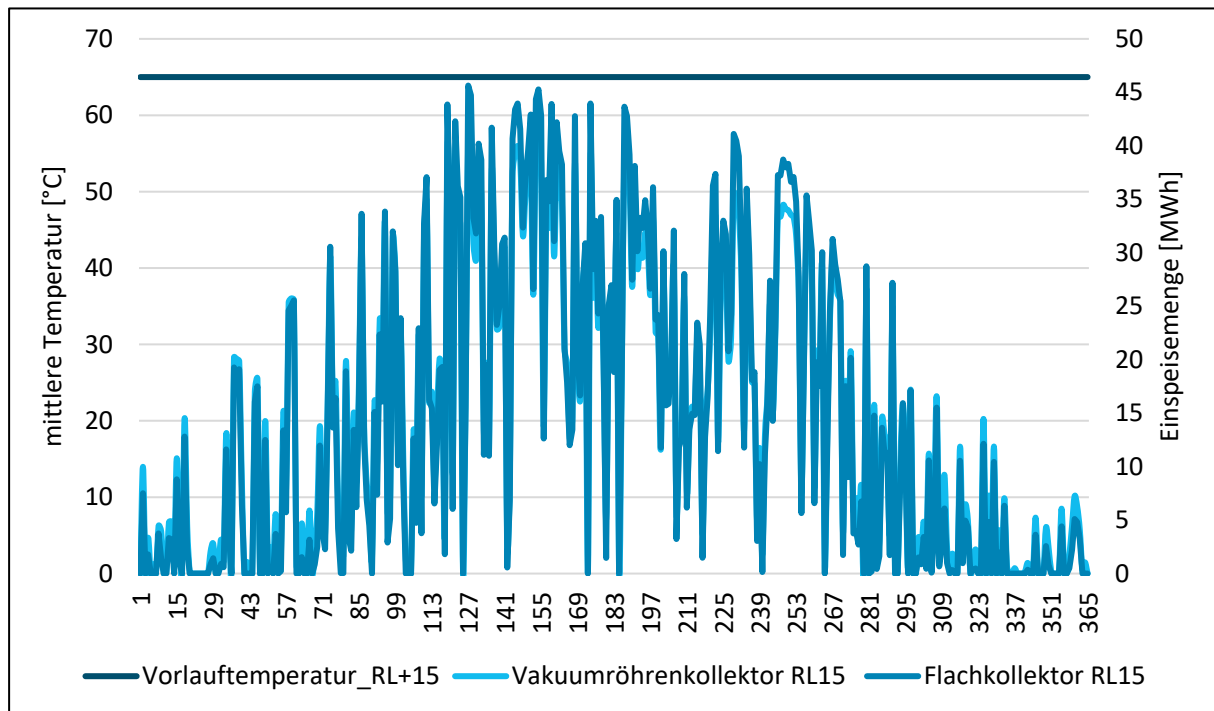


Abbildung 60: *Einspeisemenge der Vakuumröhren- und Flachkollektoren bei der Vorlauftemperatur RL + 15 K*

Die Einspeisemenge der Flach- und Vakuumkollektoren bei den vorgegebenen Vorlauftemperaturen sind in Abbildung 61 dargestellt. Hier ist, wie bereits bei der anderen Vorlauftemperatur beobachtet, zu erkennen, dass die Vakuumkollektoren höhere Einspeisemengen im Winter liefern, im Sommer dagegen liefern Flachkollektoren höhere Einspeisemengen. Über das ganze Jahr betrachtet werden bei den vorgegebenen Vorlauftemperaturen mit den Vakuumröhrenkollektoren höhere Erträge erzielt.

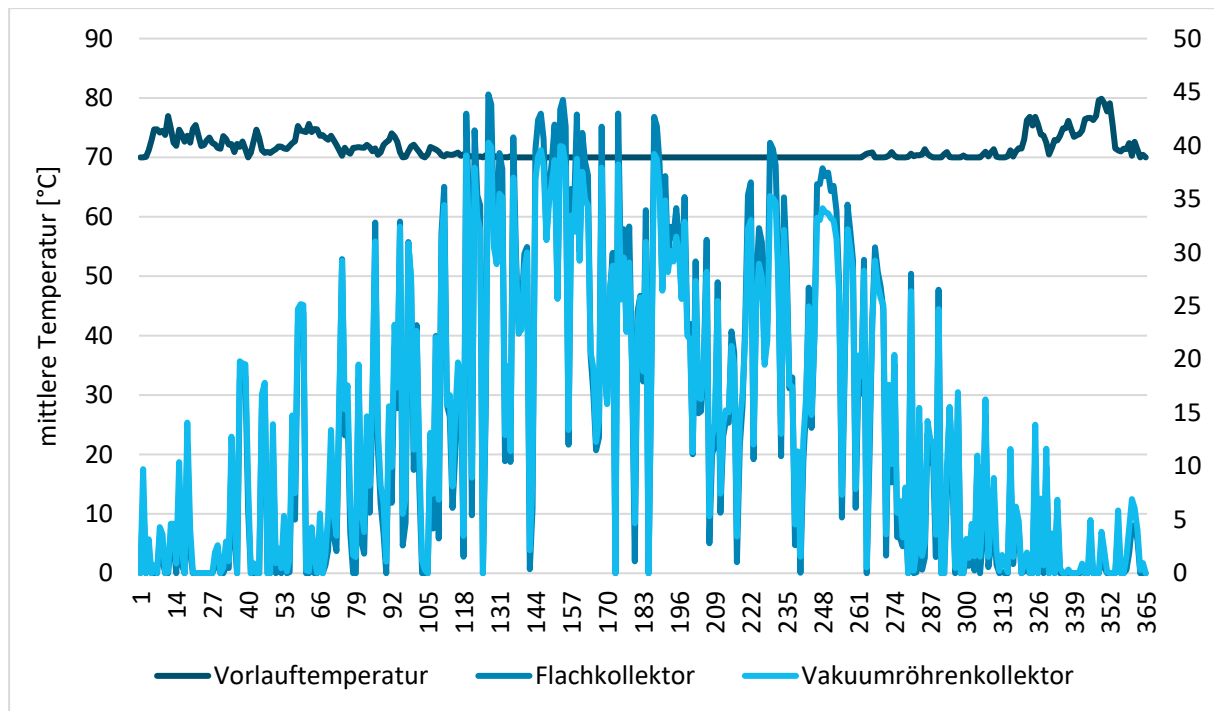
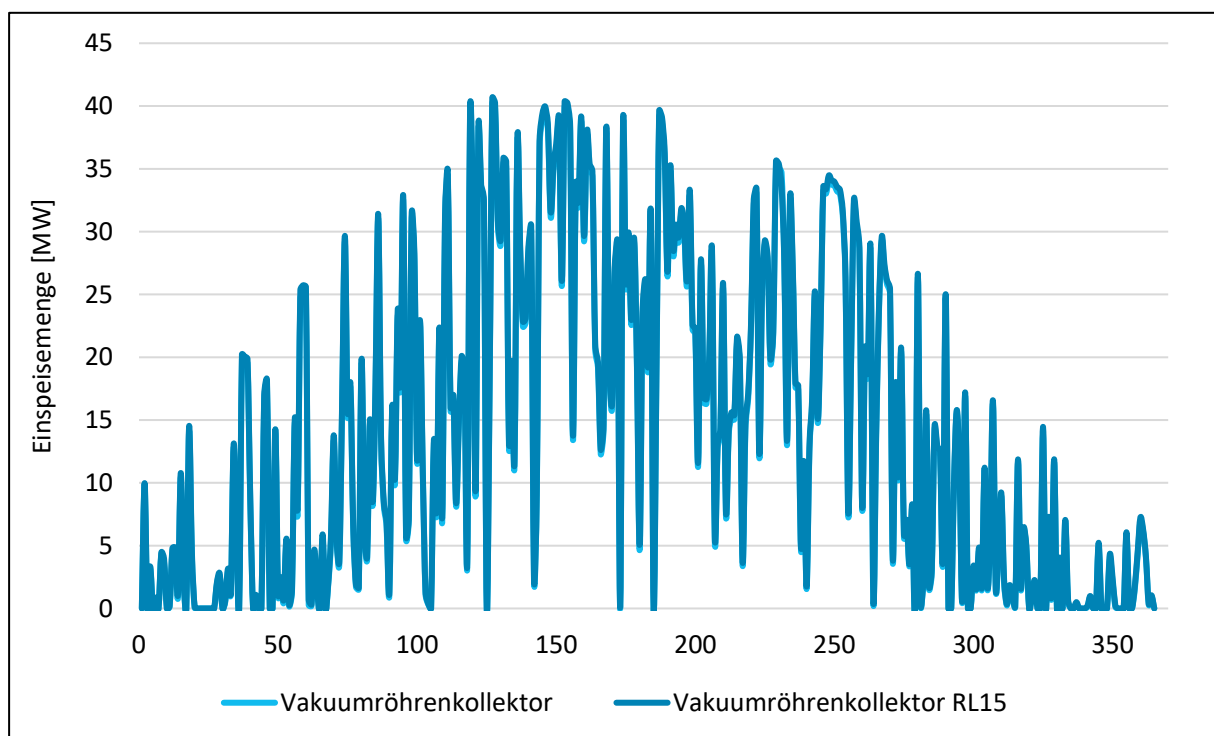
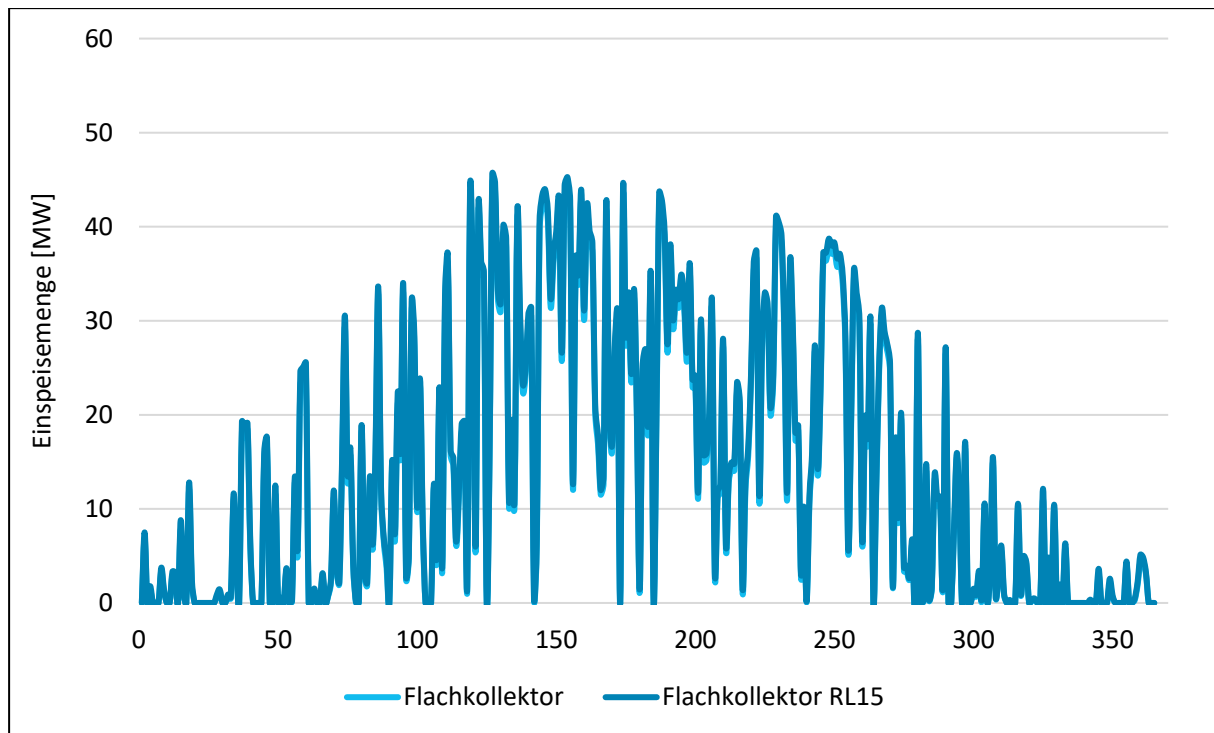


Abbildung 61: Einspeisemenge der Vakuumröhren- und Flachkollektoren bei vorgegebenen Vorlauftemperaturen

Der Einfluss der Unterschiedlichen Vorlauftemperaturen auf die Einspeisemenge der Flachkollektoren ist in Abbildung 62 dargestellt. Dort ist eine leicht höhere Einspeisemenge bei den Flachkollektoren mit der Vorlauftemperatur zu beobachten, die sich aus der Rücklauftemperatur plus 15 K ergeben. Dies deckt sich auch mit der Abbildung 63, in der die Einspeisemengen der Vakuumröhrenkollektoren bei den unterschiedlichen Vorlauftemperaturen dargestellt sind.

Die durchgeführte Simulation hat gezeigt, dass die Vakuumkollektoren im Durchschnitt im Winter höhere Erträge generieren. Dagegen erzeugen Flachkollektoren im Sommer höhere Erträge. Die Einspeisemengen sind bei beiden Kollektortypen bei den Vorlauftemperaturen Rücklauf + 15 K höher, da die durchschnittlichen Vorlauftemperaturen niedriger sind. Bei den Flachkollektoren kann so eine Ertragssteigerung von etwa 4 % erreicht werden. Bei den Vakuumröhrenkollektoren sind es circa 2 %.



5.5.7 Wirtschaftlichkeit

Die Gesamtinvestitionen von Solarthermieanlagen unterscheiden sich je nach Technologie. Sowohl für die Flachkollektoren als auch für die Vakuumröhrenkollektoren lagen Richtpreisangebote vor, die zur Identifizierung der spezifischen Kosten verwendet wurden. Die verwendeten spezifischen Kosten der unterschiedlichen Kollektortypen, sind je nach Kollektorfläche in Abbildung 64 dargestellt.

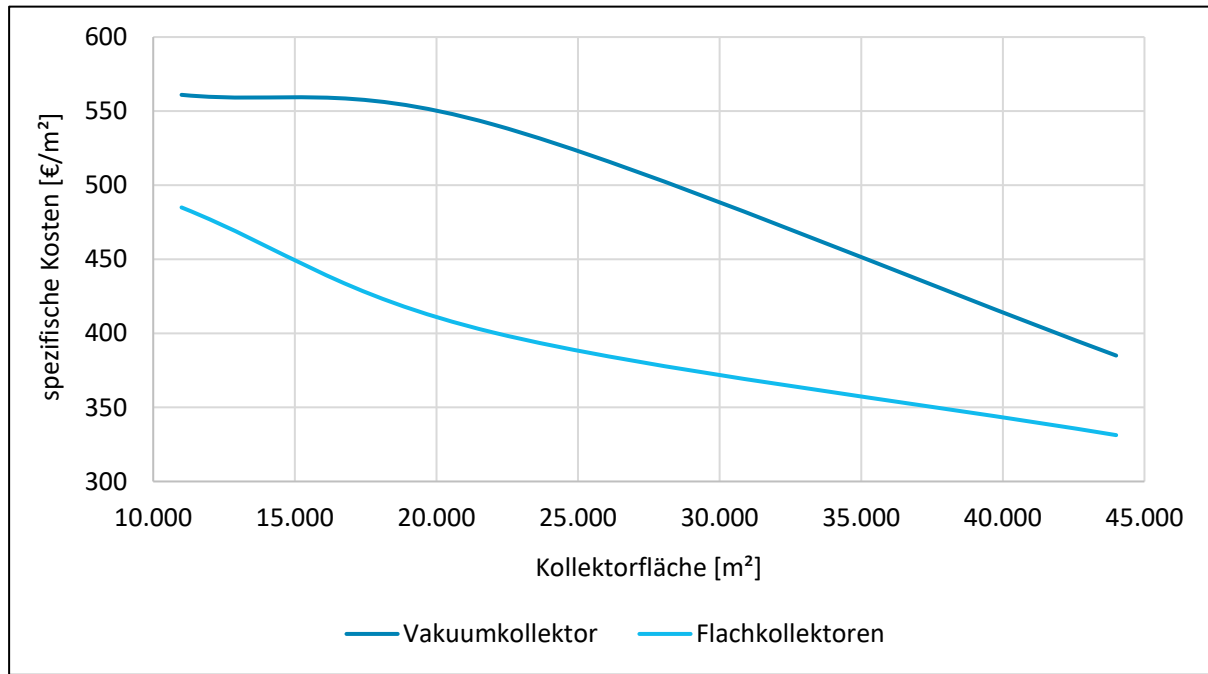


Abbildung 64: Spezifische Kosten unterschiedlicher Kollektortypen

Auch laut dem AGFW sind die spezifischen Gesamtinvestitionen bei Flachkollektoren günstiger als bei Vakuumröhrenkollektoren (Kühne, 2023). Je größer die Gesamtbruttokollektorfläche, desto niedriger der Preisunterschied.

Bei der Kalkulation der jährlichen Aufwendungen für Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen wird ein Prozentsatz von 0,7 % der Gesamtinvestitionskosten verwendet (Kühne, 2023).

Die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit erfolgt in Anlehnung an die VDI 2067 unter Berücksichtigung von Restwerten und Kosten von Neuanschaffungen über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Bedienkosten sind nicht enthalten.

Nach dem BEW-Förderprogramm wird angesetzt, dass 40 % der Investitionskosten gefördert werden und für die ersten zehn Jahre eine Betriebskostenförderung von 1 ct/kWh gezahlt wird.

Tabelle 40: Parameter für die Annualisierung der jährlichen Kosten

Zins [%]	
3	Kapitalgebundene Zahlungen
2	Bedarfs- /verbrauchsgebundene Zahlungen
2	Betriebsgebundene Zahlungen
2	Sonstige Zahlungen
3	Zahlungen für Instandhaltung
2	Erlöse
2	Preisänderungsfaktor

Die Kosten für Hilfsenergie und operative Kosten sind dem Technikkatalog Wärmeplanung entnommen (Langreder, et al., 2024). Die Speicher sind als Pufferspeicher vorgesehen und mit einem Verhältnis von $0,2 \text{ m}^3/\text{m}^2$ grob ausgelegt, um eine Deckung von bis zu 20 % des Jahreswärmebedarfs im Netz zu decken (Sørensen, 2012).

Die Wirtschaftlichkeitsabschätzung wurde basierend auf den Simulationsergebnissen für zwei Einbindungskonzepte durchgeführt. Im ersten Fall wird eine Vorlauftemperatur durch die Temperatur des Rücklaufs um 15 K simuliert. Im zweiten Fall wird der solarthermische Ertrag mit den vorgegebenen Vorlauftemperaturen simuliert.

Um unterschiedliche Größenordnungen der Anlagen abzubilden, wurden für Flach- und Vakuumröhrensysteme jeweils drei Anlagengrößen betrachtet.

Die annualisierten Kosten sind in Abbildung 65 und Abbildung 66 aufgeführt. Den größten Anteil an den Kosten haben die Annuitäten der Investitionskosten für die Anlage. Die Kosten für die Instandhaltung liegen in der gleichen Größenordnung wie die Erlöse, die sich durch die Betriebskostenförderung ergeben. Zwischen den beiden Einbindungsvarianten gibt es nur leicht Abweichungen bei den Erlösen und Hilfsstromkosten auf Grund der unterschiedlichen Einspeisemengen.

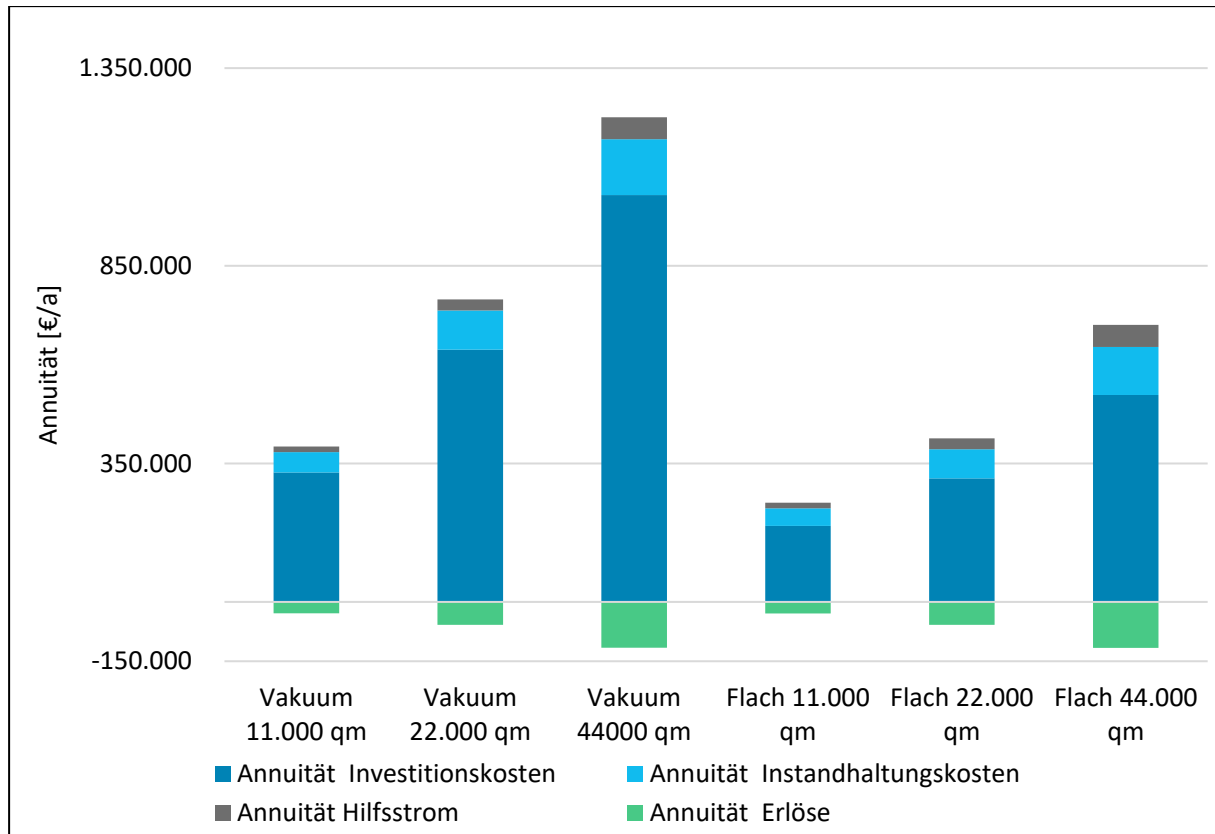


Abbildung 65: Annuitäten für die Vorlauftemperaturen der Rücklauftemperatur + 15 K

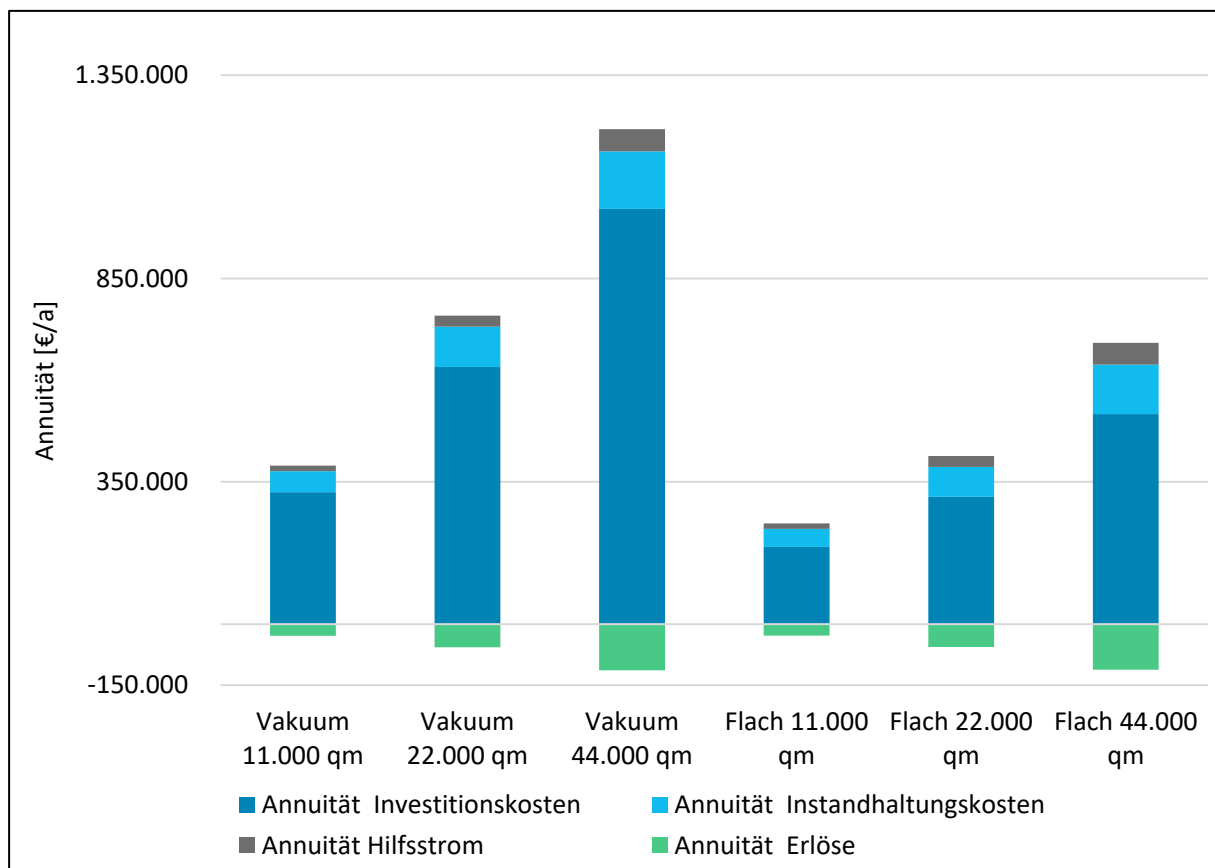


Abbildung 66: Annuitäten für die vorgegebene Vorlauftemperatur

Die spezifischen Kosten sind in Abbildung 67 differenziert nach Einbindungsart und Anlagengröße dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass Skaleneffekte die Erzeugungskosten stark senken können. Wird die Anlage um den Faktor 10 (10.000 m² zu 100.000 m²) größer gebaut, halbieren sich die Kosten je MWh nahezu.

Im Fall der Vorlauftemperatur, die sich aus der Rücklauftemperatur +15 K ergibt, liegen die spezifischen Erzeugungskosten leicht niedriger. Wird für den Vorlauf ein höheres Temperaturniveau angestrebt, steigen die spezifischen Kosten auf Grund der geringeren Erträge – der Effekt wirkt bei den Vakuumröhrenkollektoren aber geringer als bei den Flachkollektoren.

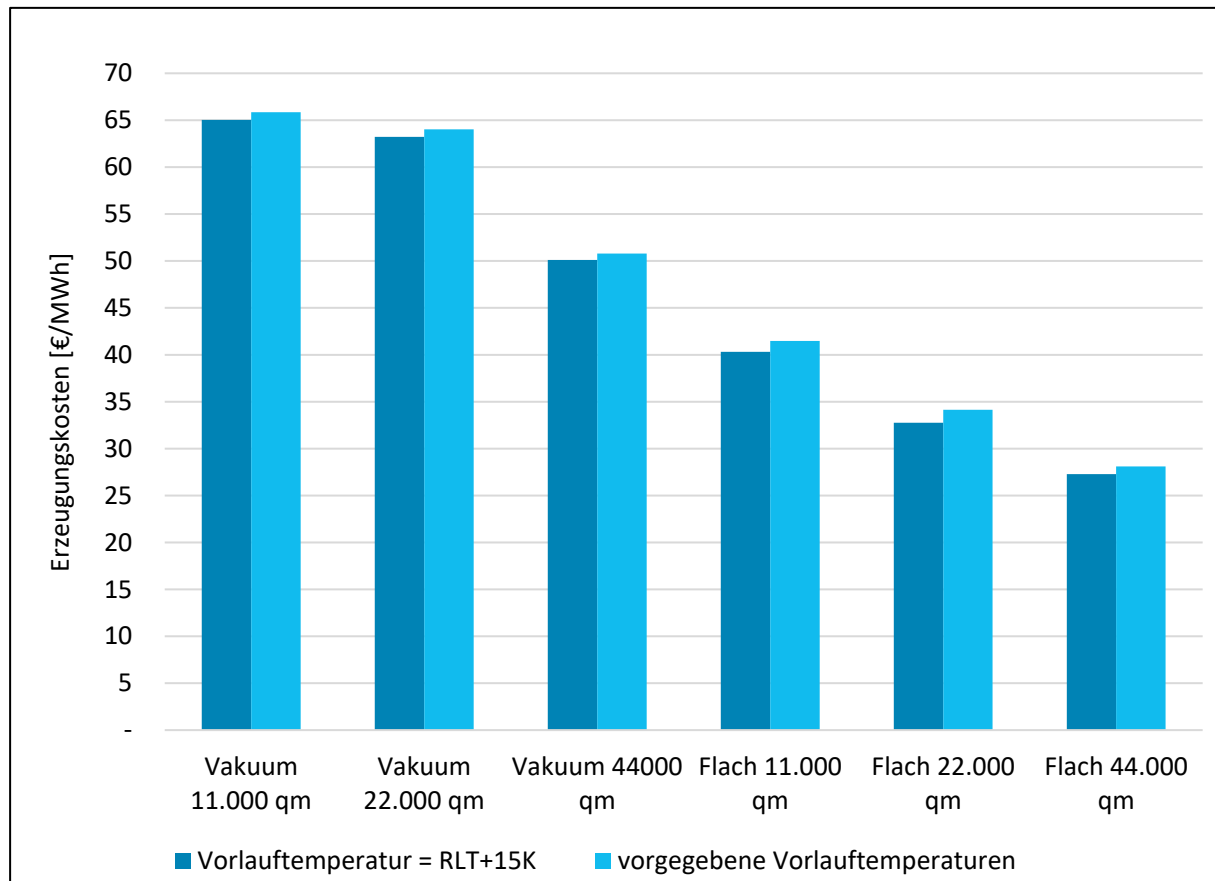


Abbildung 67: Erzeugungskosten nach Einbindungsszenario (Rücklaufanhebung und Direkteinspeisung)

5.5.8 Fazit

Aufgrund des hohen Platzbedarfs von Solarthermie-Anlagen steht im Fachgutachten Solarthermie die Beurteilung von Potenzialflächen im Mittelpunkt. Diese Prüfung hat ergeben, dass im Fernwärme(-Ausbau)gebiet mehrere Eignungsflächen zur Verfügung stehen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit genehmigungsrechtlich zulässig sind. Insbesondere im Westen der Stadt liegen große zusammenhängende Flächen, die sich zur vereinfachten Integration großer Leistungen eignen würden.

Da die Vorlauftemperaturen in Oranienburg 85 °C nicht überschreiten, kann solare Wärme bei entsprechender Einstrahlung direkt in den Vorlauf eingespeist werden und die kostgünstigere Technologie der Flachkollektoren ist zur Deckung der Temperaturanforderungen ausreichend. Aufgrund der vergleichsweise geringen Vorlauftemperaturen, die für den zukünftigen Betrieb des Netzes angesetzt sind, unterscheiden sich die Erträge zwischen den teureren Vakuumröhrenkollektoren und den günstigeren Flachkollektoren kaum. Daher scheinen auf Basis der vorliegenden Kosteninformationen Flachkollektoren die wirtschaftlichste Option zu sein.

5.6 Feste Biomasse

Die Nutzung holziger Biomasse, beispielsweise in Form von Holzhackschnitzeln, kann einen bedeutenden Beitrag zur erneuerbaren Wärmeversorgung leisten. Insbesondere in Heizwerken ermöglicht diese Ressource eine klimafreundliche und nachhaltige Energieerzeugung. Um jedoch sicherzustellen, dass diese Nutzung ökologisch verträglich bleibt, wird empfohlen, ausschließlich Biomasse zu berücksichtigen, die lokal im Stadtgebiet anfällt. Dies umfasst sowohl Waldholz als auch Biomasse aus der Landschaftspflege.

Für das Stadtgebiet von Oranienburg wurden die relevanten Flächen für die Ermittlung des Biomassepotenzials analysiert. Hierzu zählen insbesondere die Waldflächen, die als Basis für die Berechnung des nachhaltig nutzbaren Waldholzes herangezogen wurden. Nicht berücksichtigt wurden Schutzgebiete, wie Naturschutzgebiete, in denen keine forstwirtschaftliche Nutzung zulässig ist. Zusätzlich wurden Siedlungsflächen berücksichtigt, die für die Berechnung der holzigen Biomasse aus der Landschaftspflege relevant sind. In Abbildung 68 sind die entsprechend berücksichtigten Flächen dargestellt.

Die Berechnung des Biomassepotenzials erfolgte getrennt für Waldholz und Biomasse aus der Landschaftspflege.

1. Waldholz

Der durchschnittliche Holzzuwachs in Deutschland beträgt $0,0011 \text{ m}^3/\text{m}^2$ jährlich. Um eine nachhaltige Nutzung sicherzustellen, wurde ein Wert von $0,0008 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (unterhalb des jährlichen Zuwachses) angesetzt. Von diesem nachhaltig verfügbaren Holz wurde ein maximaler Anteil von 30 % für die energetische Nutzung berücksichtigt. Mit einem mittleren Heizwert von $1715 \text{ kWh}/\text{m}^3$ ergibt sich ein energetisches Potenzial von **$0,58 \text{ kWh}/\text{m}^2$** .

- **Waldfläche im Planungsgebiet (ohne Schutzgebiete):** $84.392.700 \text{ m}^2$
- **Berechnetes Biomassepotenzial:** 48,60 GWh

2. Landschaftspflege

In den Siedlungsflächen des Stadtgebiets ($28.831.500 \text{ m}^2$) wird Biomasse aus der Pflege von Grünflächen generiert. Der jährliche Anfall von Biomasse wurde zwischen $0,5 \text{ kg}/\text{m}^2$ und $1,0 \text{ kg}/\text{m}^2$ geschätzt. Für die Berechnung wurde ein mittlerer Heizwert von $4,171 \text{ kWh}/\text{kg}$ angesetzt. Dabei beträgt der Anteil von Grünflächen an den Siedlungsflächen 30 %.

- **Siedlungsfläche im Planungsgebiet:** $28.831.500 \text{ m}^2$
- **Berechnetes Biomassepotenzial:** 18,04 GWh

Das gesamte energetische Potenzial der im Stadtgebiet anfallenden holzigen Biomasse beträgt somit **66,64 GWh** pro Jahr.

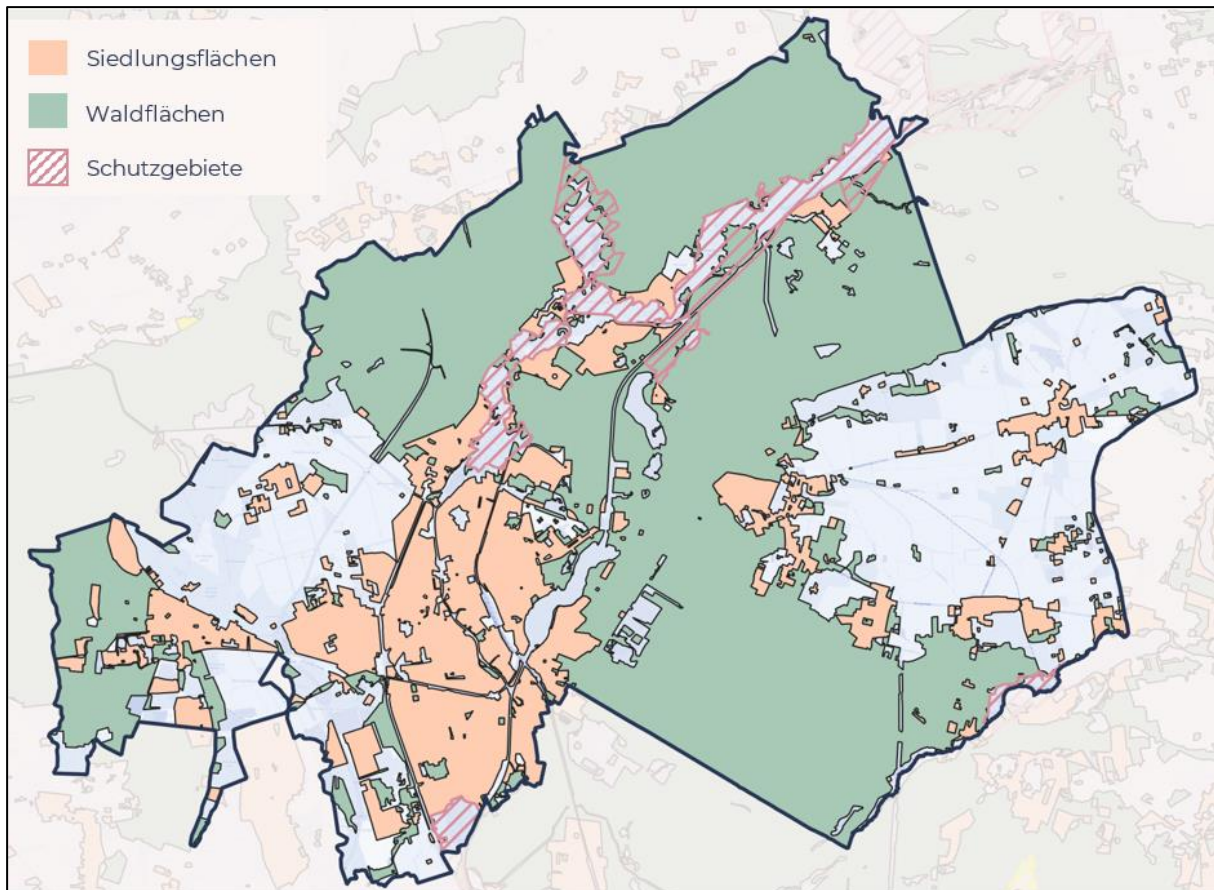


Abbildung 68: Wald- und Siedlungsflächen zur Ermittlung des Potenzials holziger Biomasse

5.7 Großwärmespeicher

5.7.1 Einführung

Wärmespeicher können im Energiesystem unterschiedliche Funktionen einnehmen. Zu den naheliegendsten gehören der dynamische Ausgleich von Bedarfs- und Erzeugungsschwankungen sowie die Glättung von Überschuss- oder Bedarfsspitzen (Reduktion nötiger Spitzenlastkapazität). Je nach Größe des Speichers kann allerdings auch (sommerliche) Überschusswärme saisonal in die Heizperiode verlagert werden. Zusätzlich können Wärmespeicher zur Betriebsoptimierung anderer Anlagen im Netz beitragen, indem diese dank des Speichers besser auf Marktsignale am Strommarkt reagieren können oder gleichmäßiger ausgelastet werden, sodass sich ihre Wirtschaftlichkeit erhöht.

Im Folgenden werden die für den Anwendungsfall relevante Technologien und erste Ergebnisse der Flächenprüfung vorgestellt. Zudem wird die Methodik der Portfolioanalyse in Wechselwirkung mit den Ergebnissen aus dem Energiesystemmodell beschrieben. Die Evaluation der Eignung von Großwärmespeichern hängt stark von den Ergebnissen anderer Fachgutachten ab, weswegen ein iteratives Vorgehen zwischen Speicherbetrachtung und Optimierung auf Gesamtsystemebene.

5.7.2 Technologieüberblick

Abbildung 69 bietet einen Überblick über alle aktuell verfügbaren Wärmespeichertechnologien. Diesen werden einerseits auf Basis des physikalischen Speicherungsprozesses und andererseits anhand ihres Technology Readiness Level klassifiziert.

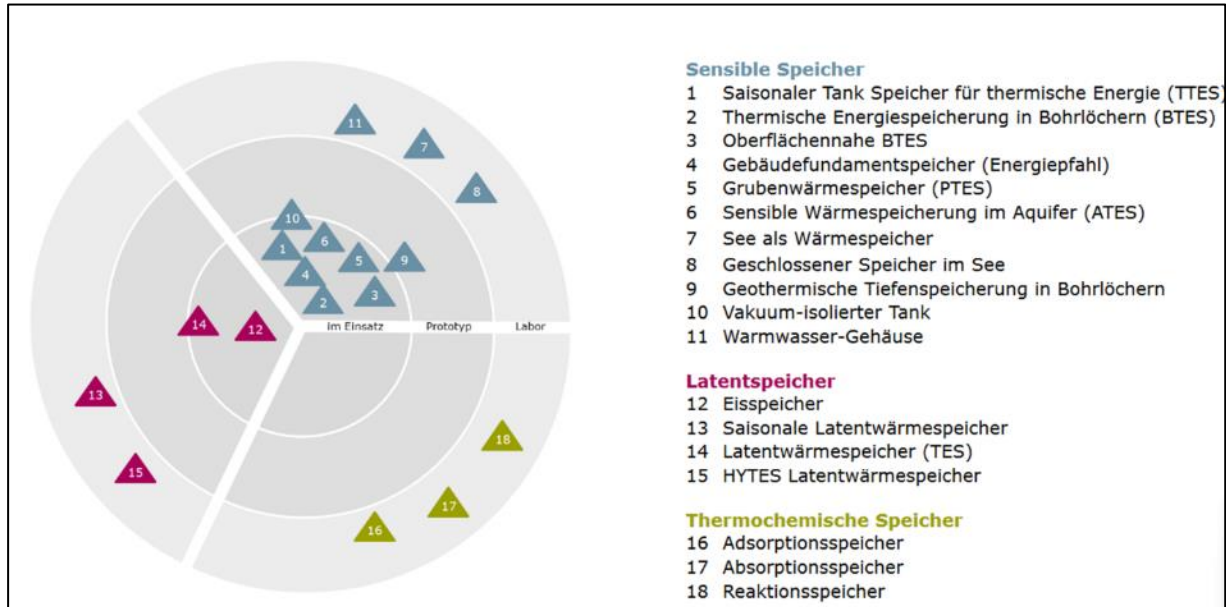


Abbildung 69: Technologieradar mit Stand der Technik (Hochschule Luzern, 2024)

Es wird zwischen sensibler Wärmespeicherung durch eine fühlbare Temperaturänderung des Speichermediums, latenter Wärmespeicherung mit Nutzung des Phasenübergangs und thermochemischer Wärmespeicherung, bei welcher chemische Reaktionen oder Sorptionsprozesse den Speicherprozess ermöglichen, unterschieden.

Da thermochemische Speicher noch kein ausreichendes Technology Readiness Level erreicht haben, werden sie für den Praxisfall Oranienburg ausgeschlossen.

Aufgrund fehlender Referenzprojekte, hoher spezifischer Kosten und den hohen Anforderungen an die Vorlauftemperaturen in Fernwärmenetzen werden Latentspeicher ebenfalls nicht weiter für diesen Anwendungsfall betrachtet. Von den im einsatzbefindlichen sensiblen Speichern weisen nur Tankspeicher (TTES), Erdwärmesondenspeicher (BTES), Aquiferspeicher (ATES) und Erdbeckenspeicher (PTES) eine ausreichende Größe auf, um in Fernwärmenetzen eingesetzt zu werden. Diese Technologien werden im Folgenden näher beschrieben und auf Basis des möglichen Temperaturniveaus, der Leistungsklasse, Wirtschaftlichkeit sowie der Speicherdauer und -zyklen klassifiziert (Abbildung 70).

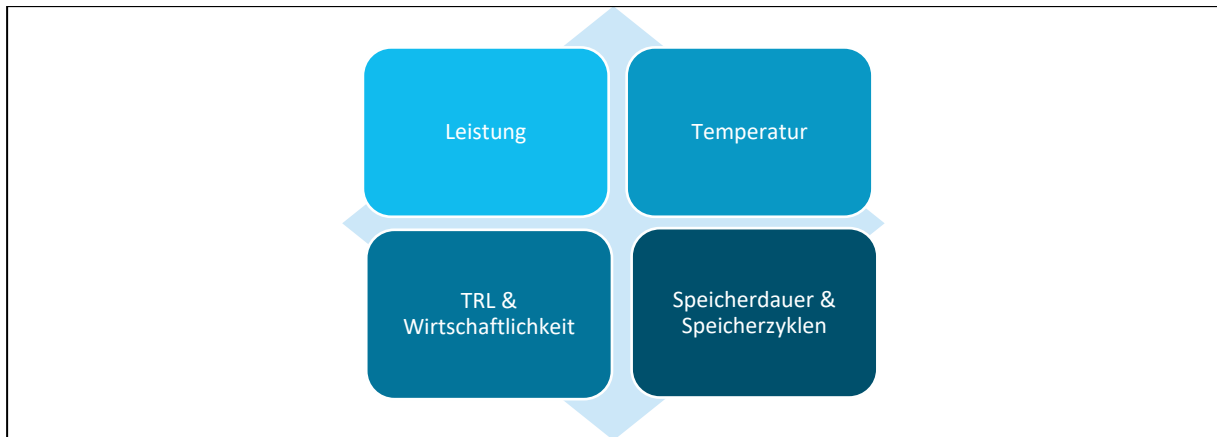


Abbildung 70: Kategorisierungskriterien für Wärmespeichertechnologien

Nach Einteilung der IEA weisen Großwärmespeicher eine Mindestspeicherkapazität von 1.000 MWh auf. Hinsichtlich der Speicherdauer wird zwischen Kurz- und Langzeitspeichern unterschieden. Kurzzeitspeicher reagieren auf tägliche Schwankungen, ihre Speicherdauer liegt üblicherweise im Bereich weniger Tage und es ergeben sich deutlich über 50 Speicherzyklen pro Jahr. Dem gegenüber stehen Langzeit- oder auch Saisonalspeicher, die Wärme über Monate einspeichern und so nur einen oder wenige Zyklen pro Jahr aufweisen.

Tankspeicher

Meist werden Kurzzeitspeicher als oberirdische Heißwassertanks ausgeführt. Eine zylindrische Bauform ermöglicht dabei das beste Schichtungsverhalten bei gleichzeitig geringen Wärmeverlusten und begrenztem Bau- und Aufstellungsaufwand. Das Verhältnis von Durchmesser zu Volumen beträgt dabei 2:1 bis zu 5:1. Aufgrund der kurzen Speicherdauer liegen die thermischen Verluste üblicherweise bei weniger als 2,5 % der bereitgestellten jährlichen Wärmemenge. Die Speicher werden hauptsächlich aus Stahl gefertigt, auf einem Betonfundament aufgestellt und mit Mineralwolle isoliert. Heißwassertank können entweder als atmosphärische Speicher bei Umgebungsdruck und damit bei maximal 98 °C Speichertemperatur oder als Druckspeicher mit bis zu 160 °C betrieben werden. Druckspeicher erfordern jedoch eine aufwendigere Bauform und sind daher mit höheren Kosten verbunden.

Heißwassertanks können auch als Langzeit- oder kombinierte Speicher eingesetzt werden. Dann treten aufgrund der längeren Stillstandzeit jedoch auch höhere Verluste mit bis zu 30 % der eingespeicherten Energie auf.

Erdbeckenspeicher

Auch Erdbeckenspeicher können sowohl zur kurz- als auch zur langfristigen Wärmespeicherung eingesetzt werden. Auch bei Erdbeckenspeichern wird Wasser, manchmal in Kombination mit Kies, als Speichermedium eingesetzt.

Der Speicher wird jedoch nicht als Zylinder, sondern als Becken in den Boden versenkt umgesetzt. Die gewählte Form hängt dabei von den geologischen Bedingungen des jeweiligen Standorts ab, zumeist wird jedoch eine pyramidenstumpfähnliche Form gewählt, sodass sich eine geringere Aushubtiefe als beim versenkten Tankspeicher ergibt. Der Speicher wird bis zu 20 m in den Boden eingelassen und das ausgehobene Erdmaterial wird meist als Wall wiederverwendet, wodurch die Aushubtiefe reduziert werden kann. Erdbeckenspeicher stellen einige Anforderungen an den Untergrund, der zur Reduktion der Wärmeverluste eine geringe Wärmeleitfähigkeit und möglichst keinen Grundwasserstrom aufweisen sollte.

Des Weiteren sind eine hohe spezifische Wärmekapazität sowie ein gutstehender, stabiler Boden vorteilhaft. Insgesamt stellt jedoch die Verfügbarkeit einer ausreichend großen Fläche eine der größten Herausforderungen in Bezug auf PTES im Bereich von Fernwärmenetzen dar.

Oft wird die Abdeckung des Speichers als schwimmender, isolierter Deckel ausgeführt, der einen großen Kostenbestandteil ausmacht. In den meisten Fällen werden die Wände des Speichers ohne Wärmedämmung und nur mit Abdichtungsschichten aus Polymeren ausgeführt. Die Temperaturen im Speicher sind aufgrund des drucklosen Betriebs auf etwa 95 °C begrenzt. Eine höhere, dauerhafte Temperaturbeaufschlagung führt jedoch zu einer höheren Materialbelastung der Kunststoffdichtungsbahnen und verkürzt deren Lebenszeit.

Aquiferspeicher

Aquifere sind unterirdische geologische Formationen, die einen hohen Wassergehalt in einem stark porösen Gestein aufweisen. Oberflächennahe Aquifere befinden sich in ca. 100 bis 500 m Tiefe, mitteltiefe in 500 bis 1.500 m Tiefe. Zur Nutzung des Aquifers sollte mindestens eine Mächtigkeit von 30 bis 100 m vorhanden sein. Wasser kann über zwei oder mehr getrennte Bohrungen in einen Aquifer eingebracht und später wieder entnommen werden. Wärme wird indirekt über einen Wärmetauscher und häufig über eine nachgeschaltete Wärmepumpe an den Fernwärmekreis übergeben. Das Gestein des Aquifers dient dabei als Speichermedium. Zur Umsetzung eines Aquiferspeichers ist eine geeignete Gesteinsformation mit möglichst geringem Grundwasserfluss und abschließender Aquitard-Schicht notwendig, um ein Abfließen der eingespeicherten Wärme zu vermeiden.

Aufgrund des geringen baulichen Aufwands, der nur die Injektions- und Extraktionsbohrungen umfasst, können die Investitionskosten von ATES bei sehr gut geeigneten Standortfaktoren im Bereich von 25 €/m³ liegen. Des Weiteren ist der oberirdische Flächenbedarf sehr gering und die Speicherkapazität hoch, Speichergrößen liegen typischerweise bei 5.000 bis 200.000 m³ Wasseräquivalent – theoretisch kann jedoch auch ein Volumen von 1,5 Mio. m³ Wasseräquivalent erreicht werden. Gleichzeitig können jedoch zur Einhaltung des Trink- und Grundwasserschutzes nur begrenzt hohe Temperaturen eingespeichert werden.

Erdwärmesondenspeicher

Erdwärmesondenspeicher nutzen die oberen Gesteinsschichten in 30 bis 100 m Tiefe als Speichermedium. Dafür werden U-förmige oder konzentrische Sonden aus synthetischen Materialien in den Boden eingebracht, welche als Wärmeübertrager an den Boden fungieren. Unter der Oberfläche wird eine Dämmschicht zur Reduktion der Wärmeverluste eingebracht.

Damit der Boden Wärme bestmöglich aufnehmen und halten kann, müssen einige Kriterien, wie eine hohe Wärmespeicherkapazität, eine geringe hydraulische Leitfähigkeit oder eine hohe thermische Leitfähigkeit erfüllt sein, was beispielsweise für porösen Fels oder stark wassergesättigte Böden mit geringem natürlichem Grundwasserfluss der Fall ist.

Die Speichergröße kann nicht klar abgegrenzt werden, insgesamt wird jedoch aufgrund der geringeren spezifischen Wärmekapazität ein 3 bis 5-faches Volumen eines TTES benötigt. Die Wärmeverteilung im BTES verläuft horizontal vom Zentrum nach außen, da seitlich Wärmeverluste an das umgebende Erdreich auftreten. Auch die Wärmezufuhr während der Beladung erfolgt vom Zentrum hinaus nach außen, bei der Entladung wird die Flussrichtung umgekehrt.

Vorteile bestehen in der guten Erweiterbarkeit des Systems und des geringen oberirdischen Platzbedarfs. Nachteile liegen vorrangig in der langen Einschwingzeit des Systems, bis ein thermischer Wirkungsgrad von bis zu 75 %¹ erreicht werden kann, der starken Beeinflussung des Lebensraums Boden und der fehlenden Eignung als Kurzzeitspeicher.

Für das Fernwärmenetz Oranienburg wird aufgrund der hohen Jahreslast von 220 GWh/a im Jahr 2045 und der hohen solarthermischen Potenziale mit folglich hohem Speicherbedarf, die Nutzung von Erdwärmesondenspeichern im Voraus ausgeschlossen, da diese die nötigen hohen Leistungen wie auch Kapazität nicht bereitstellen können.

5.7.3 Methodik

Die Festlegung eines Speicherkonzepts umfasst die integrative Beantwortung mehrerer Leitfragen zur Ausgestaltung des Speichersystems im Gegensatz zu einer rein kapazitiven Abschätzung des nötigen Speichervolumens. Zunächst muss ermittelt werden, ob im zukünftigen Energiesystem ein Speicher generell benötigt wird bzw. wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Im Fachgutachten sollen die möglichen Speicherformen einander gegenübergestellt werden, um die jeweilige Eignung für den vorliegenden Anwendungsfall zu überprüfen. Schließlich muss die Dimensionierung des Systems vorgenommen werden. Das Vorgehen innerhalb dieses Fachgutachtens orientiert sich dabei am Fließschema in Abbildung 71.

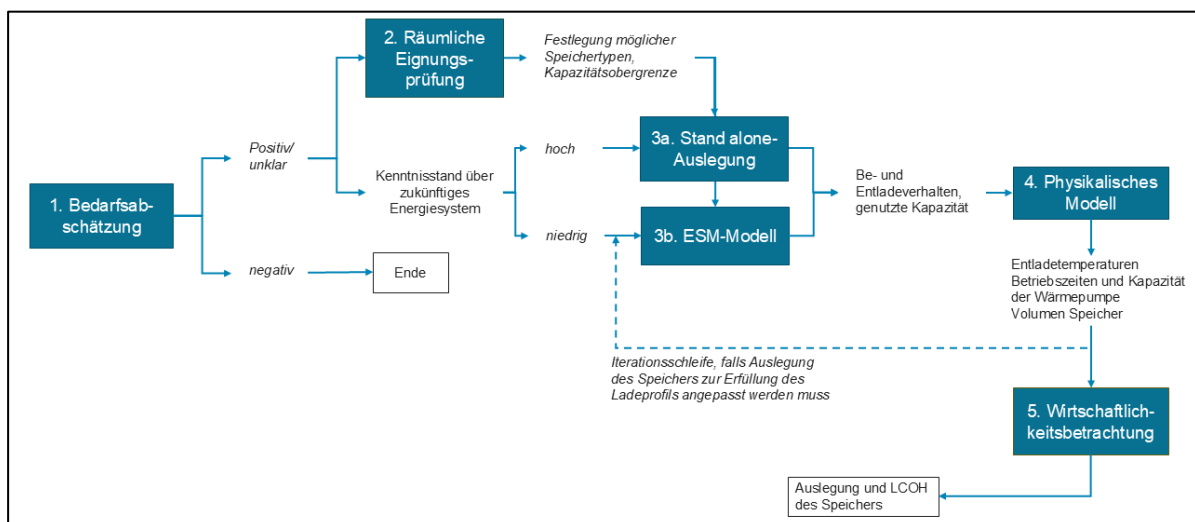


Abbildung 71: Methodik und Fließschema zur iterativen Speicherpotenzialermittlung

Mit der Erteilung des Auftrags zur Erstellung des Fachgutachtens Großwärmespeicher haben die Stadtwerke Oranienburg bereits signalisiert, dass Wärmespeicher als sinnvolle Option zur Ergänzung des Energiesystems begriffen werden und somit Schritt 1 beantwortet.

Im zweiten Schritt, der räumlichen Eignungsprüfung, können bereits Speicherformen ausgeschlossen werden, die aufgrund der geologischen oder geografischen Gegebenheiten nicht für die Umsetzung vor Ort geeignet sind. Diese Prüfung wird im folgenden Kapitel umgesetzt.

¹ Im Falle eines reinen Wärmespeicherbetriebs

Für die Stadt Oranienburg kann der Speicherbedarf nicht in einer Stand-Alone-Auslegung ermittelt werden, da der einzuspeichernde Überschuss bzw. vorhandene Residuallast auch in Abhängigkeit der Erzeuger noch bestimmt werden muss. Daher wird im Schritt 3 im übergeordneten Energiesystemmodell, in welchem die Kapazität und Betriebsweisen erneuerbarer Erzeuger optimiert werden, zunächst auf Basis grober wirtschaftlicher Abschätzungen auch ein möglicher Speicherbedarf ermittelt.

Erste Ergebnisse zu Lastgängen und Kapazitäten, die aus Sicht des Energiesystems sinnvoll sind, werden in physikalische Modelle überführt. Ein Energiesystemmodell basiert nur auf Energiebilanzen und nicht auf Temperatur- und Massenbilanzen, sodass nicht berücksichtigt werden kann, wie sich die Temperatur im Speicher in Abhängigkeit von der Betriebsweise verändert. Diese hat beispielsweise Einfluss auf die Wärmeverluste und auch darauf, wann eine direkte Entladung möglich ist bzw. wann die Temperatur oben im Speicher zu weit fällt, sodass über eine Wärmepumpe entladen werden muss. Diese Aspekte können hingegen im physikalischen Modell berücksichtigt werden. Aus dem physikalischen Modell geht dann hervor, ob die geplante Be- und Entladekurve auf Grundlage der Temperatur umsetzbar ist, welcher Strombedarf in der Wärmepumpe erforderlich ist und wie groß das nötige Volumen dimensioniert werden muss. Es werden mehrere Iterationsschleifen nötig, um die gegenseitigen Beschränkungen der verschiedenen Modelle aufeinander abzustimmen.

5.7.4 Flächeneignungsprüfung

Für die Flächeneignungsprüfung muss zwischen den verschiedenen Speicherformen unterschieden werden. Insgesamt ist es vorteilhaft, den Speicher möglichst dicht am Fernwärmenetz sowie an der Solarthermie-Anlage zu platzieren, um Kosten für Leitungen zu reduzieren und Wärmeverluste während der Ein- und Ausspeicherung zu begrenzen.

Aquiferspeicher

Für die Nutzung von Aquiferspeichern können Erkenntnisse aus dem Abschnitt 5.4 Tiefengeothermie verwendet werden. Dort wurde gezeigt, dass sowohl der Bodenhorizont des Aalen, wie auch der Horizont Pliensbach voraussichtlich nicht bevorzugt für geothermische Wärmeerzeugung genutzt werden. Entsprechend wären beide Horizonte theoretisch als Aquifer-Speicher nutzbar.

Im Raum Oranienburg wird der Aalen in 772 bis 837 m Tiefe bei einer Mächtigkeit von 50 m erwartet. Beim Sandsteinhorizont kann von einer Mächtigkeit von 300 bis 700 mD ausgegangen werden.

Für den Pliensbach wird in 917 bis 967 m eine 44 m mächtige Ton-Stilstein-Wechselagerung erwartet. Die Permeabilität kann aufgrund der schlechten Datenlage nur unsicher abgeschätzt werden. Zunächst wird von 2.450 mD ausgegangen.

Beide Horizonte könnten über einen Bohrplatz auf der gegenüberliegenden Seite des heutigen Kraftwerksgeländes errichtet werden. Für die Förder- und Reinjektionsbohrung sollten jeweils ca. 1 ha Fläche zur Verfügung stehen. Nach Abschluss der Bohrungen werden oberirdisch nur ca. 200 m² benötigt.

Tankspeicher

Tankspeicher weisen einen, im Vergleich zu den übrigen Speicherformen, geringen spezifischen Flächenbedarf von maximal 2.000 m² auf. Hier könnten alle Eignungsflächen, die im Fachgutachten Großwärmepumpen für Wärmepumpen identifiziert werden, verwendet werden. Unter anderem wäre wieder der zentrale Standort am Kraftwerk zu präferieren.

Erdbeckenspeicher

Bei der Flächenanalyse für Erdbeckenspeicher wurden in der räumlichen Untersuchung zu großen Teilen die gleichen Kriterien wie bei der Solarthermie angesetzt, da zu diesem Zeitpunkt angenommen wird, dass auf Grund der sehr ähnlichen räumlichen Wirkweise (hoher Flächenbedarf, geringfügige zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten, Einfluss auf das Landschaftsbild) im Rahmen einer Genehmigung kaum Unterschiede auftreten würden.

Der für Solarthermie angewandte Kriterienkatalog wird um die Bedingung erweitert, dass alle Wasserschutzgebiete, Brunneneinzugsgebiete sowie schutzwürdige Böden als Ausschlusskriterium festgelegt sind, was die Flächensuche vor allem im Norden und Süden des Kernbereichs einschränkt.

Als technisches Kriterium wurde zudem der Grundwasserstand aufgenommen. In der Regel sollten Erdbeckenspeicher in Bereichen errichtet werden, die einen Flurabstand des Grundwasserpegels von > 10 m aufweisen. Dies soll gewährleisten, dass die Tiefe des Speichers so gewählt werden kann, dass der Speicher nicht in Kontakt mit dem Grundwasserbereich kommt. Müssen Erdbeckenspeicher in grundwasserführende Schichten eingelassen werden, führt dies einerseits zu deutlich höheren Kosten im Bauprozess, die auf die zusätzlich nötige Abdichtung und Grundwasserhaltung zurückzuführen sind.

Andererseits können während der Betriebsphase höhere Wärmeverluste an den Boden auftreten, da nasser Boden und bewegte Wasserschichten Wärmeleitung begünstigen.

Der Flächenbedarf von Erdbeckenspeichern hängt von der geplanten Kapazität, maximalen Tiefe und Steilheit der realisierbaren Böschungswinkel ab. Erste Ergebnisse aus dem Fachgutachten Energiesystemmodell haben gezeigt, dass ein Speicherbedarf von 29 bis 42 GWh erwartet wird. Bei Grundwasserständen von 10 m und einer entsprechenden Beckentiefe von max. 8,5 m ergibt sich ein Flächenbedarf von mehreren Hektar. Sollen auch Flächen mit Grundwasserständen von 5 m Tiefe berücksichtigt werden, ergeben sich noch größere Flächenbedarfe.

In Abbildung 72 werden Flächen mit einem Grundwasserflurabstand von > 10 m als Eignungsflächen eingestuft und leuchtend grün visualisiert. Es ist erkennbar, dass sich die Potenzialbereiche für Erdbeckenspeicher auf Flächen um die anliegenden Orte Schmachtenhagen und Germendorf bzw. Bärenklau beschränken.

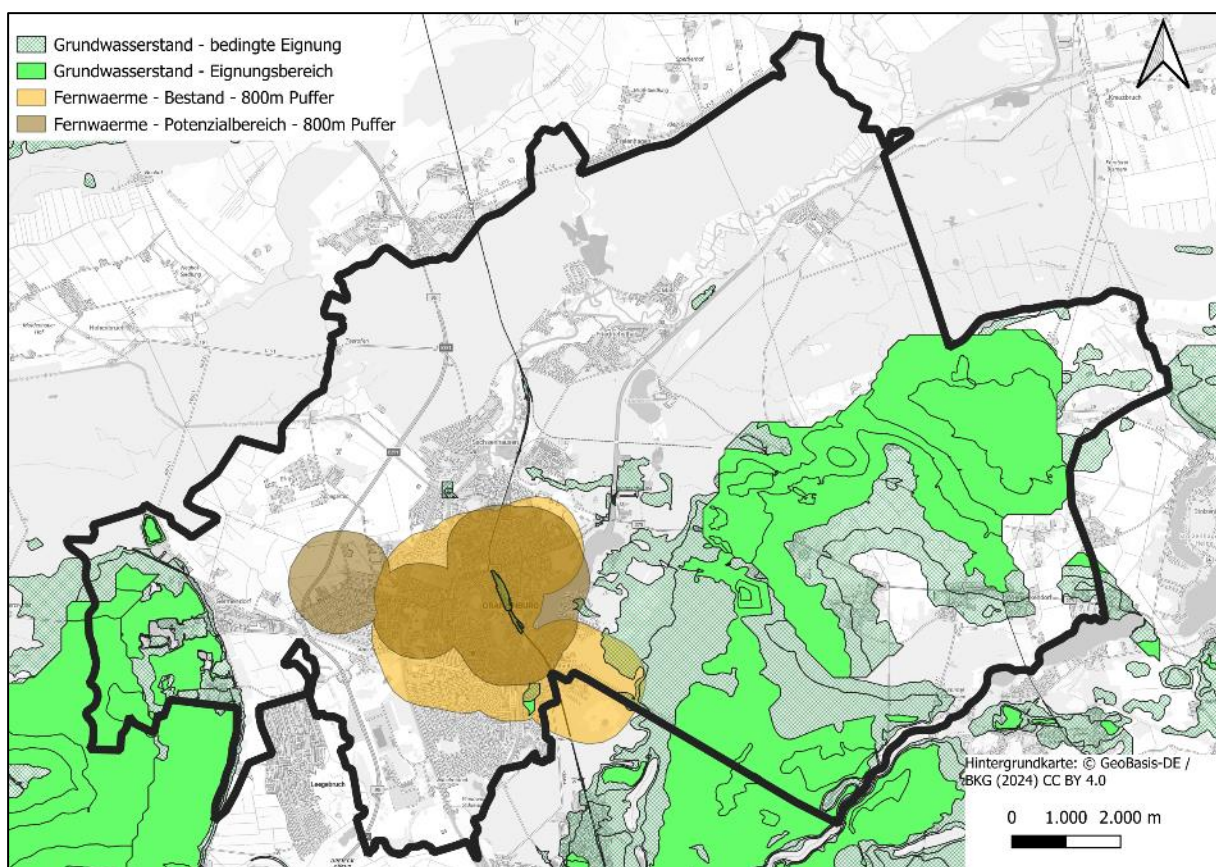


Abbildung 72: Grundwasserstände in Oranienburg (LfU Brandenburg, 2024)

Wird der Grundwasserabstand mit den übrigen Kriterien verschnitten, verbleiben lediglich Eignungsflächen der Prioritätsstufe 3 außerhalb des Stadtgebiets von Oranienburg. Dazu zählen einige kleinere Flächen im Raum Germendorf und größere Potenzialflächen im Bereich Schmachtenhagen sowie Zehlendorf.

Da die Flächenverfügbarkeit durch den Grundwasserflurabstand stark eingeschränkt wird, wurde zusätzlich ein Szenario mit bedingter Eignung (Flurabstand > 5 m) untersucht. Doch auch nach Erweiterung des Eignungsbereich konnten nach der Datenlage keine zusätzlichen Eignungsbereiche ermittelt werden.

Des Weiteren wurde die ermittelte Mindestflächengröße berücksichtigt.

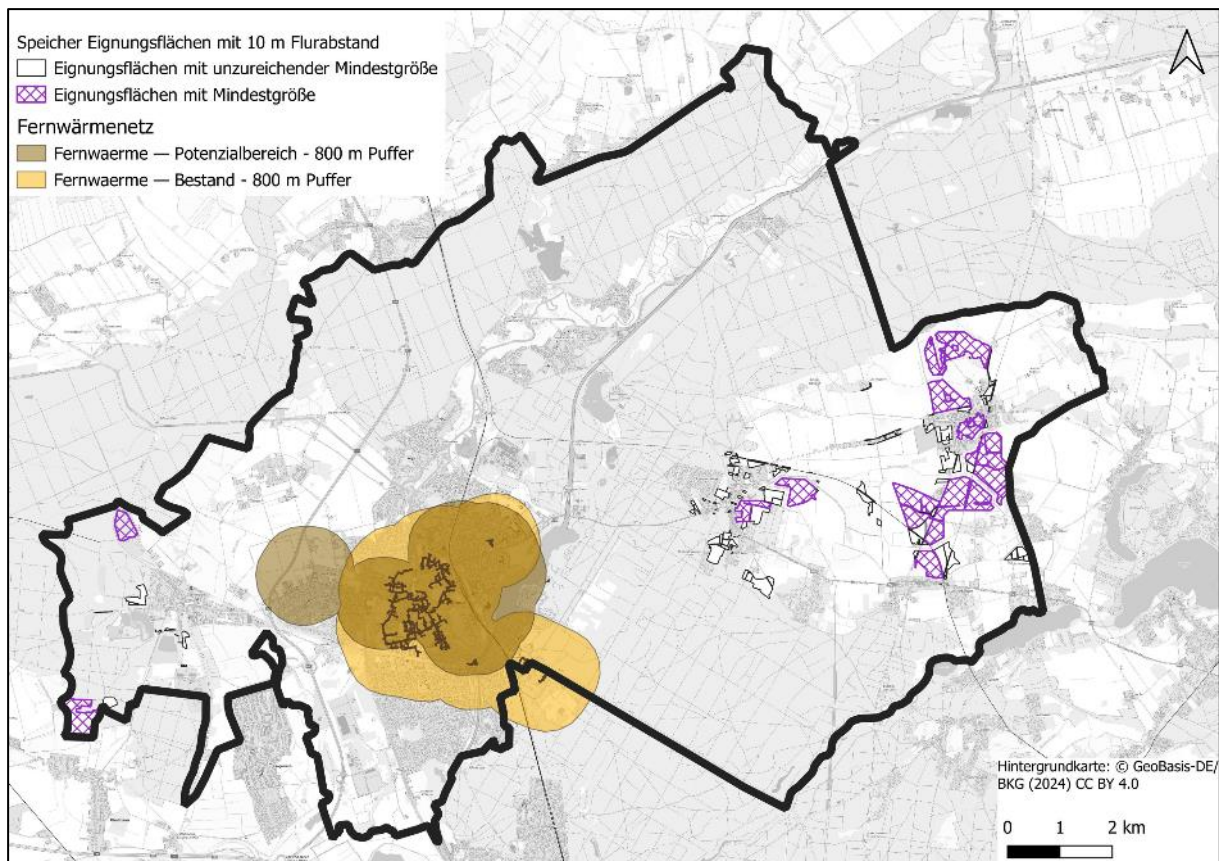


Abbildung 73: Eignungsflächen für Erdbeckenspeichern bei Berücksichtigung eines Mindestgrundwasserabstandes von 10 m und Mindestflächengröße

Unter der Randbedingung von mindestens 10 m Grundwassertiefe und einer hinterlegten Mindestflächengröße, verbleiben 15 zusammenhängende Flächen. Diese Flächen weisen jedoch nicht alle eine geeignete rechteckige Geometrie auf. Die Flächen, die am dichtesten am Fernwärmenetz liegen, sind Grünland im Südwesten bei Bärenklau (ca. 5,9 km Trassenführung bis zum Fernwärmenetz) und Grünland im Osten Schmachtenhagens (ca. 6,8 km Trassenführung zum heutigen Netz). Die Wärmebe- und -entladung wäre entsprechend mit hohen Transmissionskosten und -verlusten verbunden.

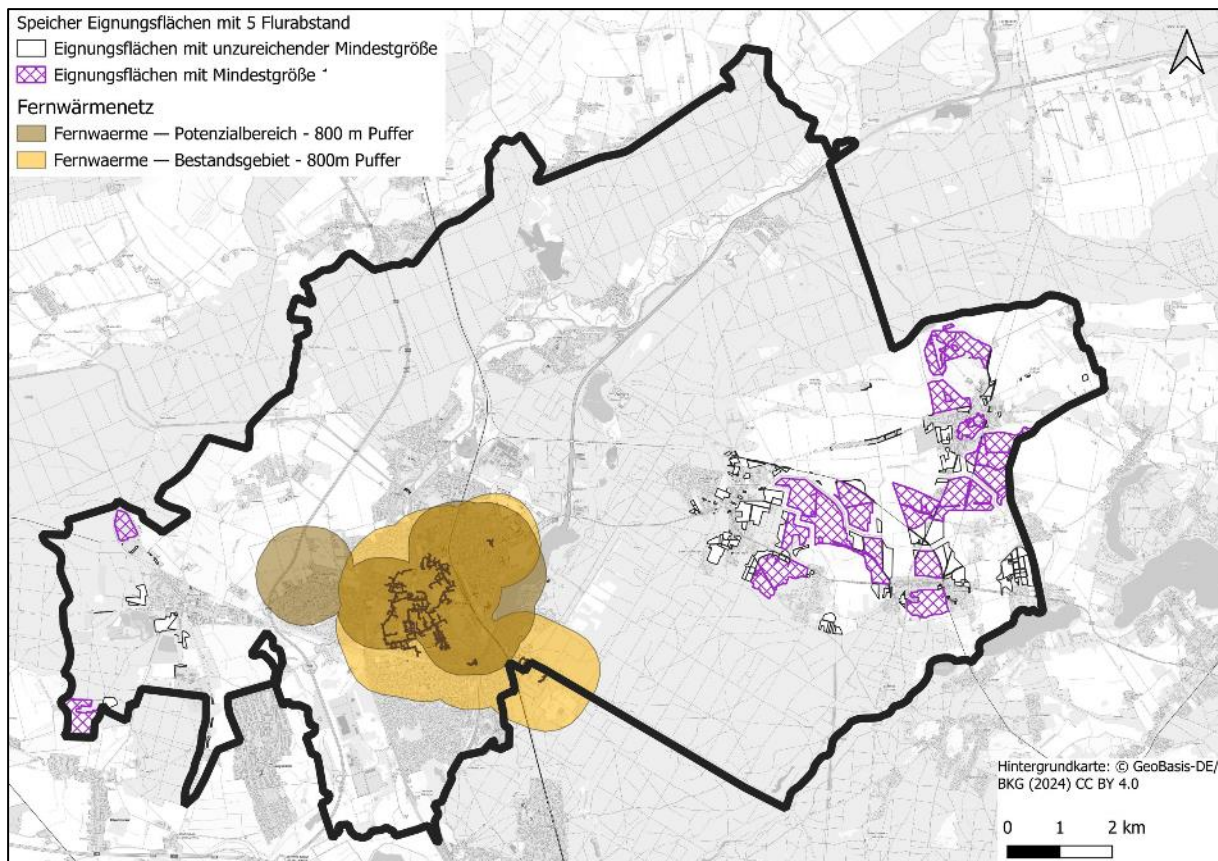


Abbildung 74: Eignungsflächen für Erdbeckenspeichern bei Berücksichtigung eines Mindestgrundwasserabstandes von 5 m und Mindestflächengröße

Bei der Prüfung der Flächen mit > 5 m Flurabstand zum Grundwasser sind insgesamt 19 Flächen verfügbar, davon jedoch keine in größerer Nähe zum Fernwärmenetz. Es ergibt sich daher kein Vorteil auch Gebiete mit geringerem Grundwasserflurabstand zu berücksichtigen.

Bei der Auswahl einer geeigneten Fläche ist zudem die Bodenqualität zu berücksichtigen.

In der Regel wird der Aushub des Erdbeckens zum Bau von Dammwänden verwendet, um das nutzbare Volumen zu erhöhen und die Kosten für die Entsorgung von Erde bzw. zusätzlichen Aufschüttungen zu vermeiden. Um die Aufschüttung der Erde zu ermöglichen, muss der Boden jedoch eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen. Diese Stabilität bestimmt auch, wie steil die Schüttungen vorgenommen werden können. Üblicherweise wird ein Verhältnis von etwa 1:2 angestrebt. Insbesondere weiche, organische Böden mit hohen Anteilen von Schluff oder Ton sind jedoch häufig nicht zur Aufschüttung geeignet. Lösungen können Geonetze oder Zementzugaben bieten.

Neben der mechanischen Stabilität bestimmt die thermische Leitfähigkeit wie hoch Wärmeverluste im Betrieb ausfallen und ob ein Risiko vor thermischem Austrocknen besteht.

Sichere Ergebnisse zu diesen Parametern kann nur ein Baugrundachten liefern. Bei diesem werden Probebohrungen durchgeführt und die Bodenproben werden im Labor geologisch klassifiziert, es werden Festigkeits-, Verformungs-, Verdichtungsprüfungen durchgeführt. Eine erste Auswertung öffentlich zugänglicher Daten zu den oberen Bodenschichten aus dem Geoportal LBGR Brandenburg bietet jedoch eine erste Einschätzung zur Eignung der Böden in den identifizierten Eignungsgebieten (Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, 2024).

Die Abfrage verschiedener Bodenpunkte weist jeweils auf feinsandigen Mittelsand hin. Dieser weist eine geringe Korngröße von 0,2 bis 0,6 mm auf. Die thermische Leitfähigkeit kann in Abhängigkeit des Wassergehalts stark zwischen 0,92 bis 3 W/mK variieren. Der natürliche Wassergehalt von Sand liegt jedoch zwischen 2 bis 10 %. Diese Parameter weisen grundsätzlich auf eine thermische und mechanische Eignung des Bodens für den Einsatz von Erdbeckenspeichern hin. Feinsand ist gut geeignet für die Errichtung eines Damms und kann zudem sehr gut gelöst werden.

Dennoch ist fast überall auch mit Schluff-Anteilen zu rechnen. Schluff ist besonders instabil und eignet sich sehr schlecht für den Aufbau von Schüttungen. Erst das Bodengutachten kann daher sicher die Eignung des Untergrunds identifizieren.

5.7.5 Technische Spezifikation

Herausfordernd bei der Abbildung von Speichern in energiebasierten Energiesystemmodellen ist, dass unterschiedliche Speicherformen sowohl unterschiedliche spezifische Kosten als auch unterschiedliche Betriebsanforderungen aufweisen.

In einem ersten Schritt wurde im Modell die Annahme eines unendlich groß dimensionierbaren PTES hinterlegt, dessen Investitionskosten mit 1.500 €/MWh und die Entladekosten zu 36,50 €/MWh (für nötige Nacherhitzung bei der Ausspeisung) angenommen wurden. Es wurden verschieden Szenarien simuliert, bei denen jeweils die Ein- oder Ausspeiseleistung begrenzt wurde, um in der Realität begrenzte Kapazitäten von Rohren, Wärmeübertragern oder Wärmepumpen zu berücksichtigen. Die Simulationsstudien im ersten Iterationslauf haben im Wesentlichen den Einfluss der maximalen Leistung auf die nötige Speicherkapazität aufgezeigt (Tabelle 41). In den untersuchten Szenarien wurden sowohl die Limitierung auf Seiten der Einspeicherung als auch auf Seiten der Ausspeicherung systematisch untersucht.

Tabelle 41: Simulationsergebnisse Energiesystem-Optimierung in Bezug auf Speicherdimensionierung (1.Iteration)

Szenario	Speicherkapazität [GWh]	Beladeleistung [MW]	Entladeleistung [MW]
Freie Optimierung	42	74	44
40-Max	32	40	41,5
20-Max	32,5	20	41,5
Max-40	41,5	73	40
Max-20	29,5	55	20
40-40	32	40	40
20-20	29	20	20

Unter den gewählten Bedingungen werden Speicherkapazitäten von **29 bis 42 GWh** und Beladeleistungen zwischen **20 und 74 MW** als Optima identifiziert.

Auf Basis des ersten Iterationslaufs mit den Optimierungsrechnungen wurde ermittelt, wie regelmäßig Leistungsspitzen während der Be- und Entladung angefordert werden. Es zeigt sich, dass insbesondere die hohen Leistungsspitzen während der Sommerperiode eine Herausforderung für die Speicherung darstellen (Abbildung 75).

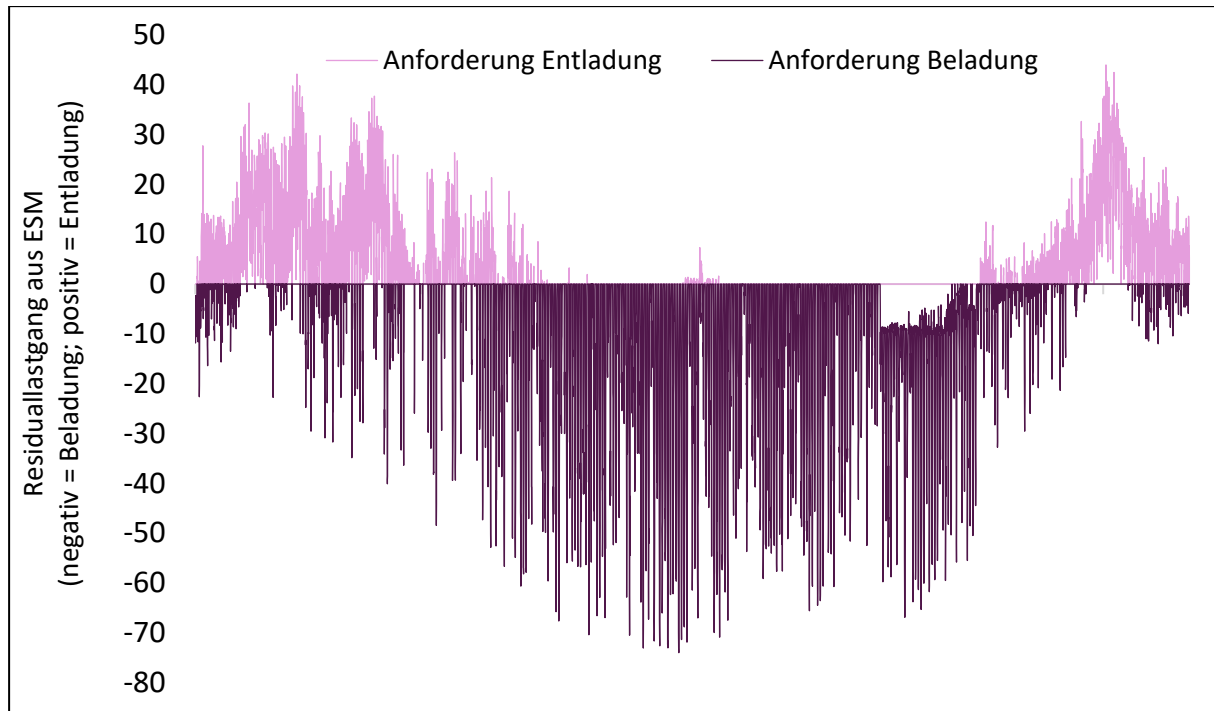


Abbildung 75: Anforderungsprofil an Bereitstellung von Speicherleistung aus dem Energiesystemmodell (Maximalvariante)

Eine Auslegung des Speichers auf kurzzeitige Leistungsspitzen von bis zu 70 MW ist aus wirtschaftlicher Sicht nicht empfehlenswert. Im Zuge einer Speicherbedarfsanalyse wurde daher untersucht, inwiefern sich die speicherbaren Energiemengen durch höhere Leistungen verändern.

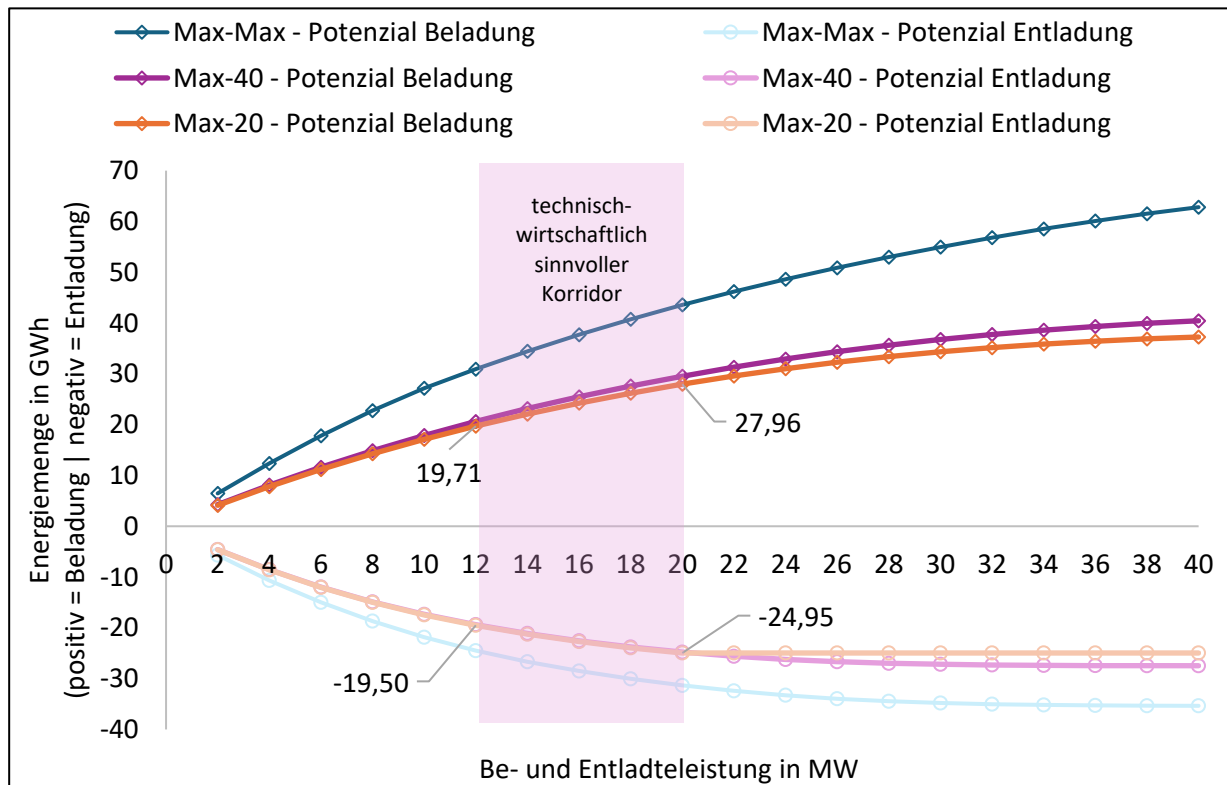


Abbildung 76: Speicherbare Energiemenge in Abhängigkeit von gewählter Be- und Entladeleistung

Eine Erhöhung der Speicherleistung von 12 MW auf 20 MW bewirkt im Szenario „Max-20“ eine Steigerung des technischen Potenzials während der Sommermonate von knapp 20 GWh auf etwa 28 GWh. Die Leistungserhöhung bewirkt somit eine Erhöhung der sommerlichen Wärmespeicherung um 40 %. Das technische Potenzial während der Wintermonate erhöht sich hingegen nur um etwa 28 %. Eine Erhöhung der Leistung über 20 MW folgt bei der ausspeicherbaren Energiemenge einer Sättigungskurve (Abbildung 76).

Ab eine Entladeleistung von ca. 20 MW kann nicht signifikant mehr Energie aus dem Speicher entladen werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass der **technisch-wirtschaftlich sinnvolle Korridor** der Speicherauslegung zwischen **20 - 28 GWh Speicherkapazität** mit einer Leistungsbereitstellung zwischen **12 - 20 MW** liegt.

Dieser Korridor wird nachfolgend fokussiert, um mögliche Speicherlösungen auf Basis von Simulationen näher zu spezifizieren. Die in den Simulationen ermittelten Energiemengen und Verluste werden im Anschluss für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung für weitere Iterationsschleifen zur Optimierung des gesamten Erzeugerarks.

5.7.6 Simulation

5.7.6.1 Tankspeicher (TTES)

Tankspeicher werden aufgrund der mechanischen Ansprüche und damit verbundenen Kosten bis zu einem Volumen von etwa ca. 60.000 m³ umgesetzt. Der größte Speicher in Deutschland weist ein Volumen von 56.000 m³ auf. Bei den avisierten Netztemperaturen in Oranienburg entspricht dies einer **maximalen Kapazität von 2 GWh** im Winter. Die erreichbare Speicherkapazität liegt damit deutlich unterhalb des Profils, das sich aus dem Energiesystemmodell ergeben hat.

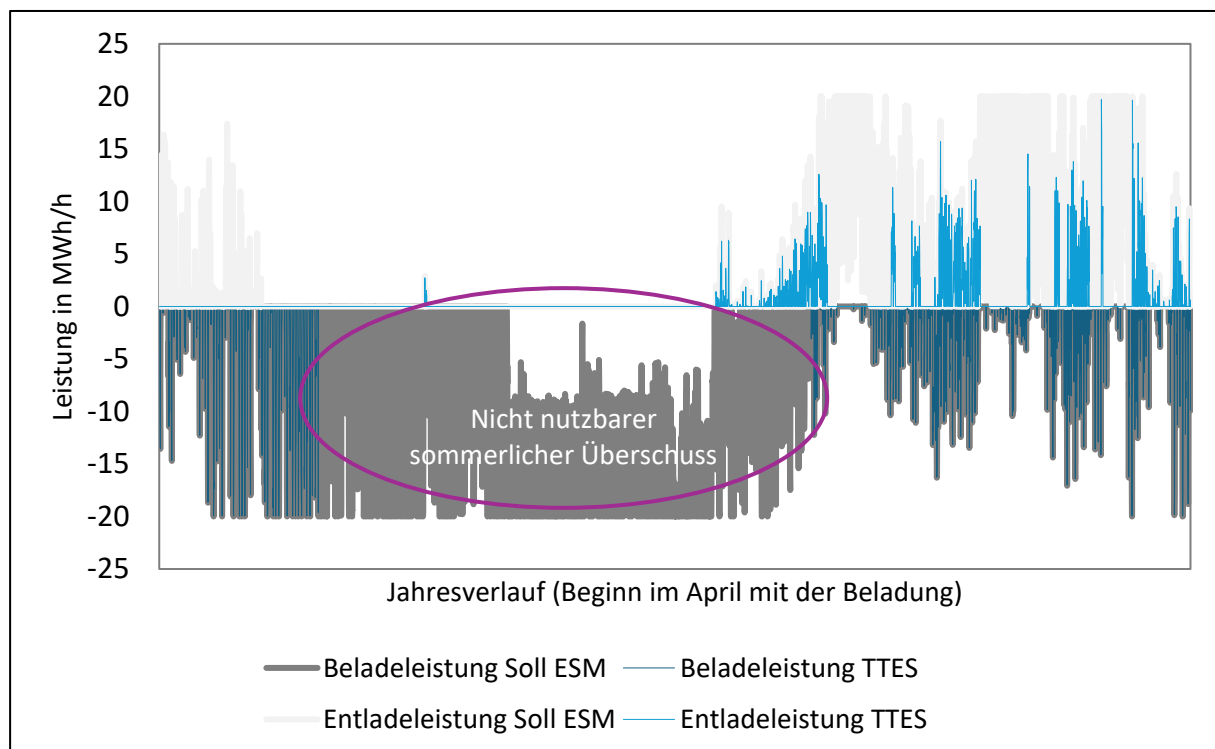


Abbildung 77: Vergleich Speicherverhalten Energiesystemmodell und physikalisches Modell Tankspeicher

In Abbildung 77 ist in grau das aus dem Energiesystem ermittelte Zielprofil der Be- und Entladung bei Begrenzung auf jeweils 20 MW abgebildet. In blau ist dargestellt, wie ein 56.000 m³ großer TTES dieses Profil abfahren könnte. Dabei zeigt sich, dass selbst Deutschlands größter Tankspeicher das durch die Solarthermie stark saisonal geprägte Lastverhalten nicht abfedern könnte. Bereits nach wenigen Wochen ist der Speicher vollständig durchgeladen und die überschüssige Energie in den Folgewochen kann nicht aufgenommen werden.

Nur 16,5 % des sommerlichen Überschusses könnten tatsächlich aufgenommen, nur 15,9 % der Entladeenergie könnten abgegeben werden.

Bilanziell wären **7 Tankspeicher in dieser Größe nötig**, um die Speicheranforderung abzudecken. Gleichzeitig wiese jeder Tankspeicher eine Zyklenzahl von zwei auf; der Speicher würde also im Jahresverlauf zwei Mal vollständig be- und entladen werden. Aufgrund der im Vergleich zu Langzeitspeichern hohen spezifischen Investitionskosten von Tankspeichern, sind für einen wirtschaftlichen Betrieb deutlich höhere Zyklenzahlen notwendig.

Ein Tankspeicher ist daher für den vorgesehenen Erzeugerpark, welcher vorrangig auf Solarthermie basiert, aus techno-ökonomischer Sicht nicht zu empfehlen.

5.7.6.2 Aquiferspeicher (ATES)

Aquiferspeicher zeichnen sich bei geeigneten Untergrundbedingungen durch eine vergleichsweise kostengünstige Option aus, große Energiemengen im saisonal zu verschieben. Aufgrund der dominierenden Wärmetransportvorgänge und Speicherung der Wärme im Gestein, sollte ein möglichst gleichförmiger Betrieb während der Be- und Entladung angestrebt werden.

Im Fachgutachten zur Tiefengeothermie wurden die zur geothermischen Nutzung in Frage kommenden Horizonte näher untersucht (Abschnitt 5.4). Für eine reine Wärmeauskopplung der Wärme verfügt der Aalen nicht über die notwendigen Eigenschaften, könnte jedoch als Speicherhorizont nutzbar gemacht werden.

Auf Grundlage der ermittelten geologischen und fluidphysikalischen Parameter des Aalen wurde ein vereinfachtes Simulationsmodell zur Abbildung des Verhaltens eines Aquiferspeichers aufgesetzt. In einer Langzeitsimulation über 5 Betriebsjahre wurde ermittelt, welche Energiemengen und Rückgewinnungsgrade bei einem saisonalen Speicherbetrieb zu erwarten sind.

Bei der Erschließung über eine Förder- und eine Injektionsbohrung (1 Dublette) zeigt sich ein nutzbares **Speicherpotenzial von etwa 10 GWh**. Die mittlere Leistungsaufnahme im Sommer liegt bei 15,2 MW, wobei mit entsprechender Leitungsdimensionierung auch die Leistungsspitzen der Solarthermie abgefahren werden können. Aufgrund des Temperaturabfalls bei der Entladung und der höheren Vorlauftemperaturen im Winter im Fernwärmenetz, wurde für die Entladung eine Wärmepumpe berücksichtigt. Die thermische Heizleistung der Ammoniak-Wärmepumpe beträgt im Auslegungspunkt 12 MW. In Kombination mit der Wärmepumpe kann die Speichereffizienz verbessert werden und die Vorlauftemperatur im Wärmenetz von bis zu 80 °C stets erreicht werden. Über den Zeitraum der Entladung können dem Untergrund über die Wärmepumpe knapp 12 GWh wieder entnommen werden. Das entspricht einem saisonalen Rückgewinnungsgrad von etwa 119 %.

Eine Verdopplung der Förder- und Injektionsbohrungen (2 Dubletten) erhöht das nutzbare Speicherpotenzial auf etwa 19 GWh. Die mittlere Leistungsaufnahme im Sommer liegt bei 9,7 MW. Die thermische Heizleistung der Ammoniak-Wärmepumpe beträgt im Auslegungspunkt 8 MW. Über den Zeitraum der Entladung können dem Untergrund über die Wärmepumpe etwa 23,5 GWh wieder entnommen werden. Das entspricht einem saisonalen Rückgewinnungsgrad von etwa 124 %.

Bei der Erschließung des Speicherhorizontes über drei Förder- und Injektionsbohrungen (3 Dubletten) erhöht das nutzbare Speicherpotenzial auf etwa 27 GWh. Die mittlere Leistungsaufnahme im Sommer liegt bei 14 MW. Die thermische Heizleistung der Ammoniak-Wärmepumpe beträgt im Auslegungspunkt 12 MW. Über den Zeitraum der Entladung können dem Untergrund über die Wärmepumpe etwa 34,5 GWh wieder entnommen werden. Das entspricht einem saisonalen Rückgewinnungsgrad von etwa 127 %.

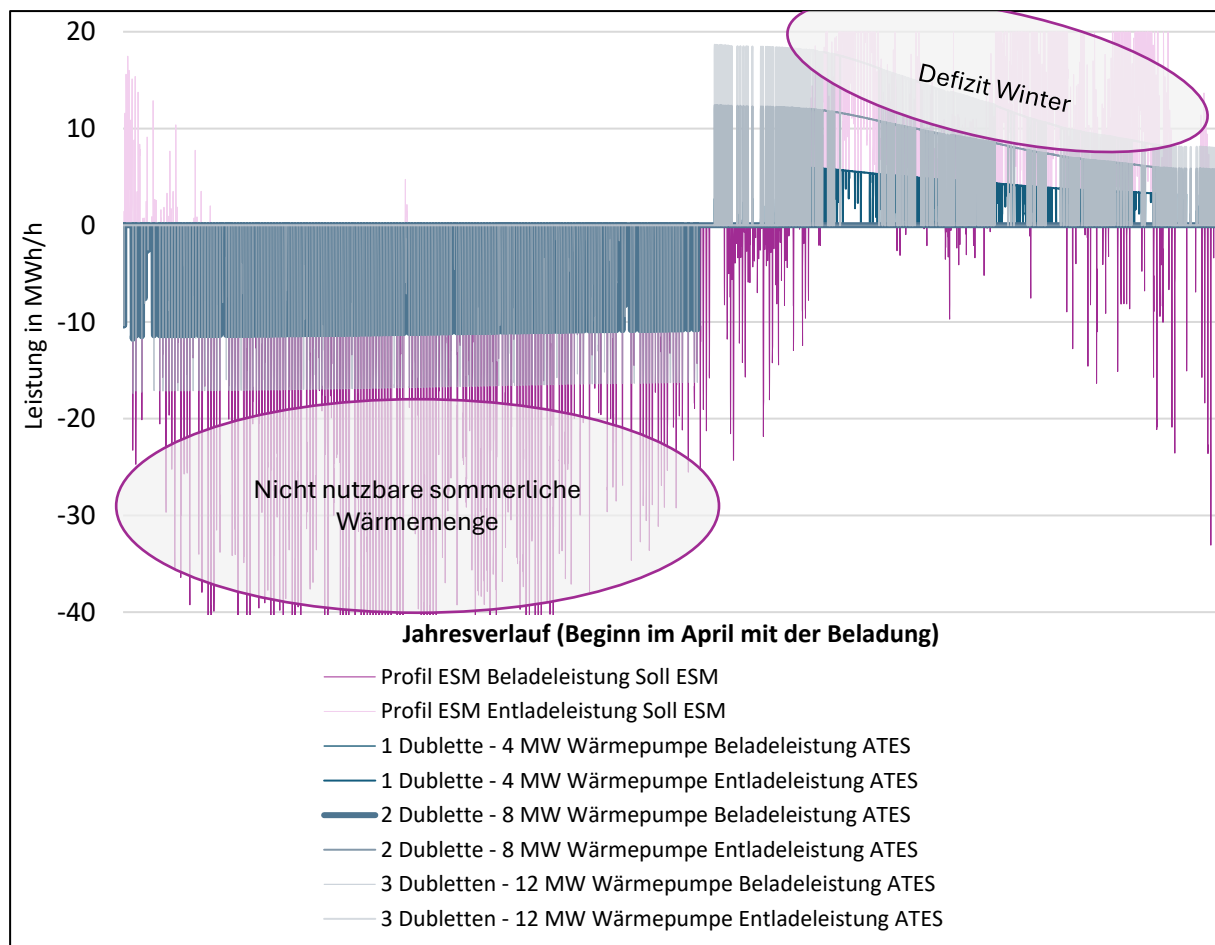


Abbildung 78: Vergleich Speicherverhalten Energiesystemmodell und physikalisches Modell Aquiferspeicher

Die Ergebnisse aus den Simulationsläufen in Abbildung 78 zeigen die grundsätzliche Problematik bei der Nutzung eines Aquiferspeichers im geplanten Erzeugerpark. Aufgrund der begrenzten Leistungsaufnahme wird ein Großteil der sommerlichen Wärmemenge nicht speicherbar sein. Im Winter hingegen verbleibt selbst bei drei Dubletten in Kombination mit einer 12 MW Wärmepumpe ein signifikantes Defizit.

Ein Aquiferspeicher ist für den vorgesehenen Erzeugerpark, welcher vorrangig auf Solarthermie basiert, aus technischer Sicht nur bedingt zu empfehlen. Je nach Anzahl von Bohrungen und Leistungen der Wärmepumpe können nur etwa 25 % bis 70 % der sommerlichen Wärmemenge aufgenommen werden.

5.7.6.3 Erdbeckenspeicher (PTES)

Erdbeckenspeicher sind in den Untergrund teilvergrabene drucklose Speicher. Ihr Vorteil besteht im Wesentlichen darin, dass sie ab einer gewissen Größe sowohl für die Bereitstellung von kurzzeitigen Leistungsspitzen als auch für eine Langzeitspeicherung geeignet sind. Die Dimensionierung orientiert sich an technischen Anforderungen, Verfügbarkeit von Fläche sowie weitere Standortfaktoren wie Hydrogeologie.

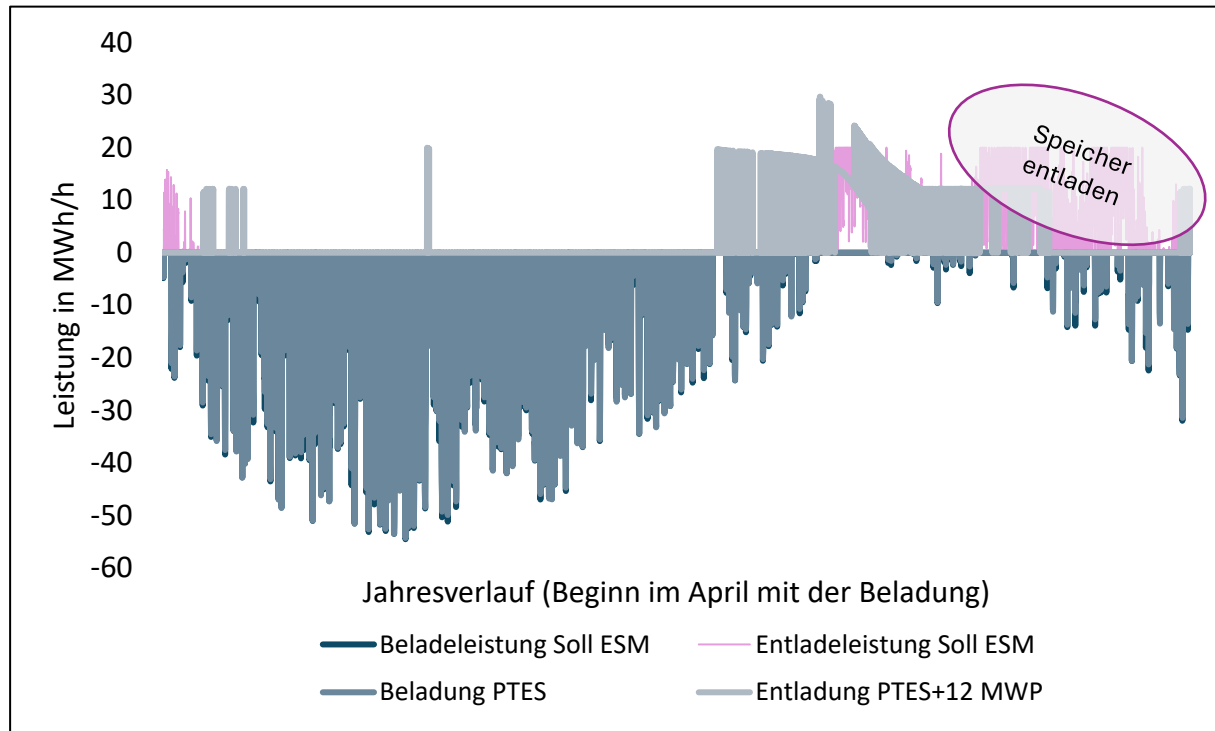


Abbildung 79: Vergleich Speicherverhalten Energiesystemmodell und physikalisches Modell Erdbeckenspeicher

In den Simulationsstudien konnte nachgewiesen werden, dass bei einer Beladetemperatur von 70 °C im Sommer etwa 600.000 m³ ausreichend sind, um die sommerlichen Wärmeüberschüsse vollständig aufzunehmen.

Aufgrund des damit verbundenen hohen Flächenbedarfs wurden alternativ Speicher simuliert, welche mit einer Beladetemperatur von 95 °C im Sommer betrieben werden. Dadurch erhöht sich die nutzbare Speicherkapazität derart, dass bereits ein Erdbecken mit einem Volumen von 350.000 m³ ausreichend ist, um die solarthermische Überschusswärme im Sommer vollständig aufzunehmen. Im Winter kann der Speicher in Kombination mit einer 12 MW Wärmepumpe einen Großteil der benötigten Leistung auf Vorlauftemperatur bereitstellen (vgl. Abbildung 79).

Ein Erdbeckenspeicher mit einem Volumen von 350.000 m³ hat unter den betrachteten Randbedingungen ein **Speicherpotenzial von etwa 38 GWh**. Die mittlere Leistungsaufnahme im Sommer liegt bei 15,1 MW, wobei auch die Spitzenleistung aus der Solarthermie bei entsprechender Dimensionierung der Rohrleitungen aufgenommen werden kann. Aufgrund des Temperaturabfalls bei der Entladung und der höheren Vorlauftemperaturen im Winter im Fernwärmenetz, wurde für die Entladung eine Wärmepumpe berücksichtigt. Die thermische Heizleistung der Ammoniak-Wärmepumpe beträgt im Auslegungspunkt 12 MW. In Kombination mit der Wärmepumpe kann die Speichereffizienz verbessert werden und die Vorlauftemperatur im Wärmenetz von bis zu 80 °C stets erreicht werden.

Über den Zeitraum der Entladung können dem Untergrund über die Wärmepumpe knapp 29 GWh wieder entnommen werden. Das entspricht einem saisonalen Rückgewinnungsgrad von etwa 76 %.

Ein Erdbeckenspeicher mit 350.000 m³ ist für den vorgesehenen Erzeugerpark, welcher vorrangig auf Solarthermie basiert, aus technischer Sicht empfehlenswert. Ein Speicher dieser Größenordnung kann bei Beladetemperaturen von 95 °C sämtliche sommerliche Überschüsse aus der Solarthermie aufnehmen und das Netz im Winter über weite Strecken bedienen.

5.7.7 Fazit

Die Iterationen mit dem Anforderungsprofil aus dem Energiesystemmodell zeigen, dass sowohl sehr hohe Speicherleistungen (bis zu 70 MW im Sommer und 20 MW im Winter) als auch eine hohe Speicherkapazität von > 30 GWh bei saisonalem Beladeverhalten nötig werden.

Ungeeignete Speicherlösungen:

Diesen Anforderungen wird ein Tankspeicher aufgrund der unzureichenden Größe nicht gerecht. Mehrere Speicher könnten die Anforderungen abdecken, wären jedoch extrem kapitalintensiv. Auch Erdsondenspeicher können aufgrund der zugehörigen Leistungsbeschränkungen ausgeschlossen werden.

Bedingt geeignete Speicherlösung:

In den Simulationen konnte gezeigt werden, dass der Aquiferspeicher im Aalen-Horizont bei einer entsprechenden Anzahl von Bohrungen zwar die benötigten Energiemengen bilanziell aufnehmen könnte. Gleichzeitig limitiert auch hier die maximale Aus- und Einspeiseleistung sowie die Anforderung an einen möglichst kontinuierlichen Betrieb, die Implementierung im zukünftigen Energiesystem. Die identifizierten Lastprofile könnten durch einen Aquiferspeicher nicht bedient werden und auch in Kombination mit einem Tankspeicher können die hohen Lastspitzen nicht über einen längeren Zeitraum ausgeglichen werden. Es ist daher in einem weiteren Iterationsschritt im Energiesystemmodell zu prüfen, ob ein ATES mit entsprechend eingeschränktem Betriebsverhalten aber geringeren Betriebskosten eine sinnvolle Speicherlösung sein kann.

Bevorzugte Speicherlösung:

Ein Erdbeckenspeicher bietet die meisten Möglichkeiten, die Dimensionierung des Volumens und der nachgeschalteten Wärmepumpe auf die Lastanforderungen des Fernwärmenetzes Oranienburgs anzupassen. Allerdings sind hier aufgrund der hohen Grundwasserstände im Stadtgebiet nur Standorte weit außerhalb des Fernwärmegebietes denkbar, sodass hohe Kosten beim Leitungsbau berücksichtigt werden müssen oder alternativ hohe Zusatzkosten für den Bau im Grundwasser in Kauf genommen werden müssen. Darüber hinaus wird empfohlen, ein Bodengutachten an denkbaren Vorzugsstandorten durchführen zu lassen, um die mechanische Stabilität und zu erwartende Kosten beim Speicherbau belastbarer beurteilen zu können. Keine der untersuchten Speichertechnologien ist **uneingeschränkt** für den Anwendungsfall Oranienburg zu empfehlen. Durch weitere Iterationsschleifen mit dem Energiesystemmodell unter Berücksichtigung der Investitions- und Betriebskosten des Erdbeckenspeichers können die zulässigen Kosten-Grenzkurven und Auswirkungen von Speicherlimitationen gesamtheitlich bewertet werden.

Dabei müssen die Speicher anderen Spitzenlasttechnologien gegenübergestellt und ein Kostenoptimum ermittelt werden.

Zusätzlich können alternative Fahrweisen der Speicher geprüft werden, dazu gehört beispielsweise der Netzbetrieb bei höheren Temperaturen im Sommer oder die Einbindung einer Speicher-Wärmepumpe auch während der Sommermonate, um die nutzbare Speicherkapazität entsprechend zu erhöhen.

Tabelle 42: Zusammenfassung der Eigenschaften der verschiedenen Speichertypen und deren Eignung für Oranienburg

	Dimension	Max. Leistung	Kapazität	Eignung für Oranienburg
Tankspeicher	56.000 m ³	70 MW	2 GWh	
Aquiferspeicher (Aalen)	3 Dubletten	19 MW	27 GWh	
Erdbeckenspeicher	350.000 m ³	54 MW	38 GWh	

5.8 Wärmenetze

5.8.1 Einführung

Das Fachgutachten Wärmenetze hat im Zusammenspiel mit dem Fachgutachten Dezentrale Wärmeversorgung zum Ziel, Eignungsgebiete für Nah- und Fernwärme sowie dezentrale Versorgung zu erarbeiten. Das Fachgutachten Wärmenetze knüpft unmittelbar an das erste Fachgutachten Wärme-/Gebäudeeffizienz und die darin aufgestellten Szenarien für die Entwicklung und Verortung der Wärmebedarfe an. Auf dieser Grundlage werden für das Zieljahr 2040 (Zwischenziel 2030) die Wärmebedarfsdichte und Wärmelinienindichte abgeleitet und bewertet. Diese zwei Größen dienen als Indikatoren für die Eignung von Wärmenetzen, da sie sowohl eine Bewertung hinsichtlich der technischen Erforderlichkeit von Nah- und/oder Fernwärme erlauben, als auch eine Einordnung der Wirtschaftlichkeit von bestehenden, zu verdichten, auszubauenden oder neuen Wärmenetzen ermöglichen.

Ausgehend von Wärmebedarfs- und Wärmelinienindichte folgt im Zusammenwirken mit dem Fachgutachten Dezentrale Wärmeversorgung so eine Einteilung in Eignungsgebiete und eine Formulierung an Bedarfen von Fernwärme und ggf. Nahwärme/Inselnetzen. Ferner soll auf Basis der anderen Fachgutachten eine Bewertung zur Integrierbarkeit der ermittelten Erzeugerpotenziale und anzustrebender Temperaturniveaus erfolgen. Dies ist die Grundlage des Energiesystemmodells und des zu finalisierenden Ziel- und Zwischenzielszenarios.

5.8.2 Methodik

Im Rahmen des Fachgutachtens Wärmenetze wurden für sämtliche Ortslagen die technische und wirtschaftliche Machbarkeit einer wärmenetzgebundenen Versorgung systematisch analysiert und bewertet. Die Bewertung erfolgte sowohl auf qualitativer als auch auf quantitativer Basis, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Die qualitative Bewertung basiert auf der flächendeckenden Berechnung von Wärmebedarfsdichten und der Wärmelinienindichte. Diese Kennzahlen dienen als Indikatoren für die wirtschaftliche Tragfähigkeit eines Wärmenetzes. Ergänzend wurde eine quantitative Bewertung vorgenommen, die eine detaillierte Auslegung der Wärmenetze und die Berechnung der Vollkosten umfasst. In die Analysen fließen ebenfalls die örtlich vorhandenen Potenziale zur Versorgung potenzieller Nah- und Fernwärme ein.

Das beschriebene Vorgehen wurde flächendeckend eingesetzt, um sowohl den Ausbaubedarf bestehender Wärmenetze zu ermitteln als auch den Bedarf an neuen Netzen zu eruieren. Für die Transformation der bestehenden Fernwärme in der Oranienburger Kernstadt wurde zusätzlich ein Energiesystemmodell entwickelt, um Jahreslastgänge des Fernwärmenetzes zu analysieren und die optimale Erzeugerkonfiguration zu ermitteln. Die Analysen zum Ausbau der Fernwärme in der Kernstadt werden deshalb unter Abschnitt 5.9 vertieft. Dieses Kapitel fokussiert sich im weiteren Verlauf auf die Darstellung der technischen Indikatoren zur Bewertung der Wärmenetztauglichkeit und der Ergebnisdarstellung der Wärmenetztauglichkeit in den externen Ortslagen.

Im Zuge der quantitativen Analyse wurden zwei Wärmenetzvarianten für jede Ortslage geplant: ein Niedertemperaturnetz mit einer Vorlauftemperatur von 75 °C und ein kaltes Nahwärmenetz mit einer Vorlauftemperatur von 20 °C. Die Netzplanung umfasste die Dimensionierung des Verteilnetzes, die Berücksichtigung von Hausanschlussleitungen sowie die Integration von Potenzialen wie Freiflächen-Solarthermie und Abwärmequellen aus industriellen Prozessen.

Diese Potenziale wurden im Rahmen einer umfassenden Potenzialanalyse quantifiziert und räumlich verortet, um sie gezielt in die Netzplanung einzubeziehen.

In der Analyse wurden alle Gebäude mit Wärmebedarf innerhalb der definierten Ortslagen berücksichtigt. Dabei wurde pro Flurstück nur eine Hausanschlussleitung eingeplant, um die Netzstruktur möglichst effizient und kostengünstig zu gestalten. Die Hauptleitungen des Wärmenetzes sind entlang der Straßenachsen geplant, um eine optimale Erschließung der Gebäude zu gewährleisten und gleichzeitig Eingriffe in die bestehende Infrastruktur zu minimieren.

Die mathematische Grundlage für die Auslegung des Wärmenetzes bildet die Ermittlung des minimalen Spannbaums. Dieses Verfahren dient dazu, die Gesamtlänge der Hauptleitungen zu minimieren, wodurch sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten reduziert werden können. Durch diesen methodischen Ansatz wird sichergestellt, dass das Wärmenetz sowohl technisch als auch wirtschaftlich optimal ausgelegt ist und die geplanten Investitionen nachhaltig zur Deckung des Wärmebedarfs beitragen.

Diese Ergebnisse flossen direkt in die Planung der Wärmenetze ein. Exemplarisch zeigt Abbildung 80 den ausgelegten Wärmenetzverlauf für den Ortsteil Wensickendorf, einschließlich der genutzten Potenzialfläche.

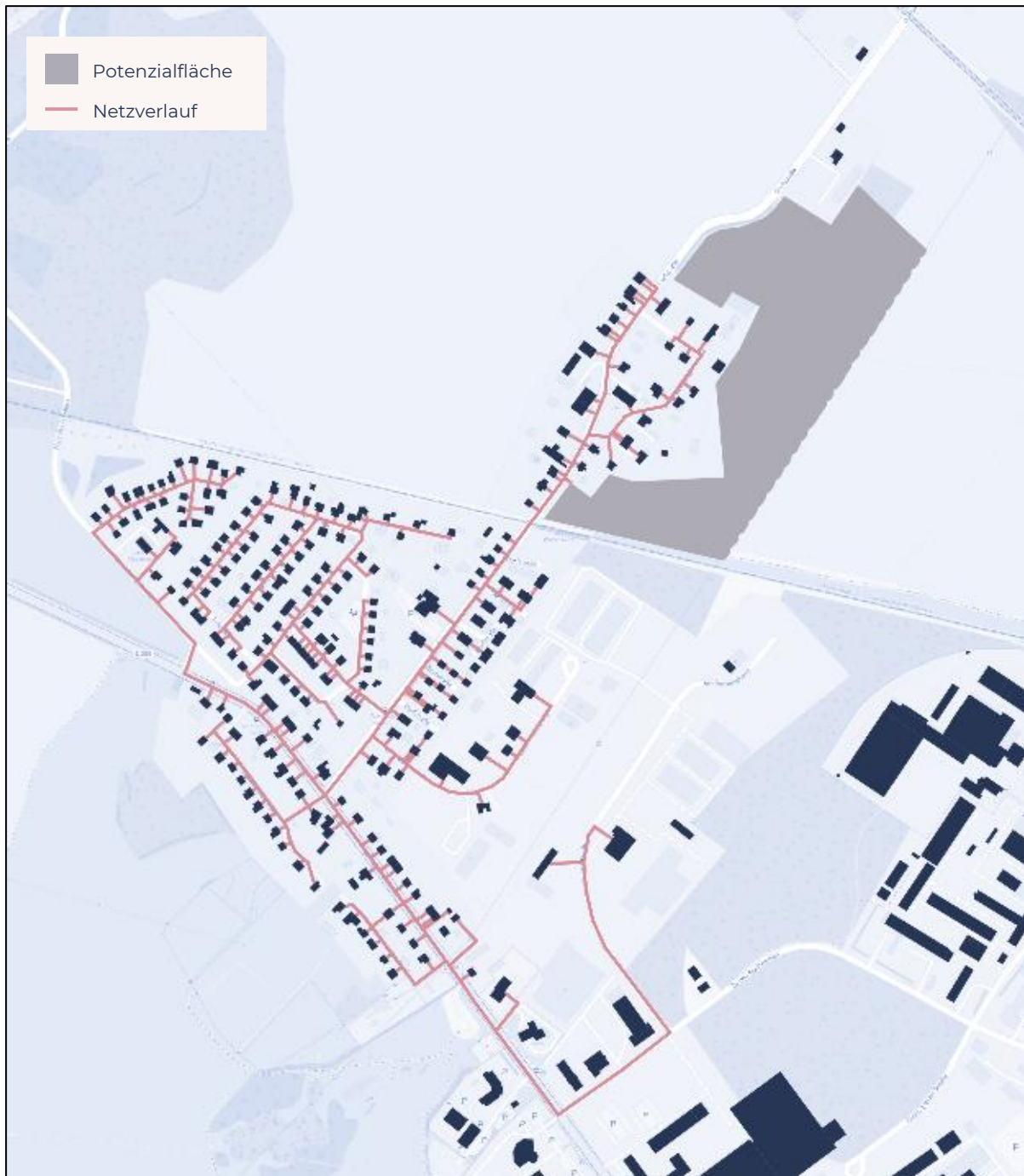


Abbildung 80: Beispielhafte Darstellung der Wärmenetzauslegung für einen Ortsteil einschließlich der genutzten Potenzialfläche

Ein zentraler Bestandteil der Methodik ist die Berechnung der Vollkosten. Diese setzen sich aus den Investitionskosten für den Bau des Wärmenetzes und der Erzeugungsanlagen sowie aus fixen und variablen Betriebskosten zusammen. Um realistische Bedingungen zu berücksichtigen, wurde ein Anschlussgrad von 75 % angenommen. Dadurch wird auch abgebildet, dass nicht alle Gebäude an das Netz angeschlossen werden, etwa aufgrund bestehender dezentraler Heizlösungen. Die spezifischen Vollkosten in Euro pro Megawattstunde wurden für jede Versorgungsvariante berechnet, um die kostengünstigste Option für jede Ortslage zu ermitteln.

Um eine umfassende Entscheidungsgrundlage zu schaffen, wurden die folgenden zentralen Versorgungsvarianten untersucht.

- Zentrale Versorgung (wärmenetzgebunden)
 - Niedertemperaturnetz mit Solarthermie-Flachkollektoren und Erdbeckenspeicher
 - Niedertemperaturnetz mit Solarthermie-Vakuumröhrenkollektoren und Erdbeckenspeicher
 - Niedertemperaturnetz mit Biogas-BHKW
 - Niedertemperaturnetz mit vorhandenen Potenzialen (z. B. BGA)
 - Kalte Nahwärme mit Erdwärmesonden

Zudem erfolgt ein Abgleich zwischen den oben aufgeführten zentralen Versorgungslösungen und dezentralen Versorgungslösungen, um das kosteneffizienteste Versorgungskonzept zu ermitteln. Die Berechnungen aus den Fachgutachten Wärmenetze und dezentrale Wärmeversorgung sind deshalb bidirektional gekoppelt.

Der Vollkostenvergleich verschiedener Wärmeversorgungsoptionen ist ein systematischer Ansatz, der unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten die technisch machbare und wirtschaftlich sinnvollste Versorgungsvariante aufzeigt.

5.8.3 Ergebnisse

Die qualitative Bewertung der Wärmebedarfs- und Wärmelinienindichten bietet eine erste Einschätzung der Eignung einzelner Gebiete für eine wärmenetzbasierte Versorgung. Abbildung 81 zeigt die Verteilung der Wärmebedarfs- und Wärmelinienindichten im Projektgebiet und verdeutlicht die Unterschiede zwischen der Kernstadt und den umliegenden Ortslagen.

In der Kernstadt, in der bereits Fernwärme existiert, weisen die Ergebnisse sowohl hohe Wärmebedarfsdichten als auch hohe Wärmelinienindichten auf. Dieser Bereich wird im Rahmen des Fachgutachtens Energiesystemmodell gesondert betrachtet, da die bestehende Infrastruktur und die spezifischen Rahmenbedingungen eine differenzierte Analyse erfordern.

In den Ortslagen außerhalb der Kernstadt, die durch eine weniger dichte Bebauung geprägt sind, zeigen sich im Allgemeinen geringere Wärmebedarfsdichten. Dennoch gibt es einzelne Bereiche mit hohen Wärmelinienindichten, die auf eine grundsätzliche Eignung für eine wärmenetzbasierte Versorgung hinweisen. Beispiele hierfür finden sich in Germendorf, Wensickendorf und Zehlendorf. In diesen Ortslagen besteht Potenzial für die Errichtung oder Erweiterung von Wärmenetzen, insbesondere in Gebieten mit einer hohen Konzentration von Gebäuden oder potenziellen Wärmequellen.

Demgegenüber konnte im Rahmen der Betrachtung festgestellt werden, dass in den Ortsteilen Friedrichsthal und Sachsenhausen keine Eignung für Wärmenetze gegeben ist da die Dichte der Bebauung und damit die Wärmedichte zu gering ist.

Für die Wärmebedarfsdichten gelten folgende Empfehlungen:

- Werte zwischen 175 und 415 MWh/(ha·a) sind für Niedertemperaturnetze im Bestand geeignet.
- Bei Werten zwischen 415 und 1.050 MWh/(ha·a) liegt ein Richtwert für konventionelle Wärmenetze im Bestand vor.

- Werte über 1.050 MWh/(ha·a) sprechen für eine sehr hohe Wärmenetzeignung.

Ähnlich bieten die Wärmelinienichten eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen:

- Werte zwischen 1,5 und 2,5 MWh/(m·a) deuten auf eine mäßige Wärmenetzeignung hin. Die Eignung ist besonders bei der Neuerschließung von Flächen gegeben.
- Werte zwischen 2,5 und 3,5 MWh/(m·a) weisen auf eine gute Eignung für Wärmenetze in Bestandsgebieten hin.
- Werte über 3,5 MWh/(m·a) sprechen für eine sehr gute Wärmenetzeignung, selbst bei städtebaulichen Herausforderungen.

Die Kombination aus Wärmebedarfs- und Wärmelinienichten ermöglicht eine differenzierte Bewertung der Versorgungsmöglichkeiten im Projektgebiet. Diese Kennzahlen liefern eine erste Indikation für die Auswahl geeigneter Wärmeversorgungslösungen in den jeweiligen Ortslagen.

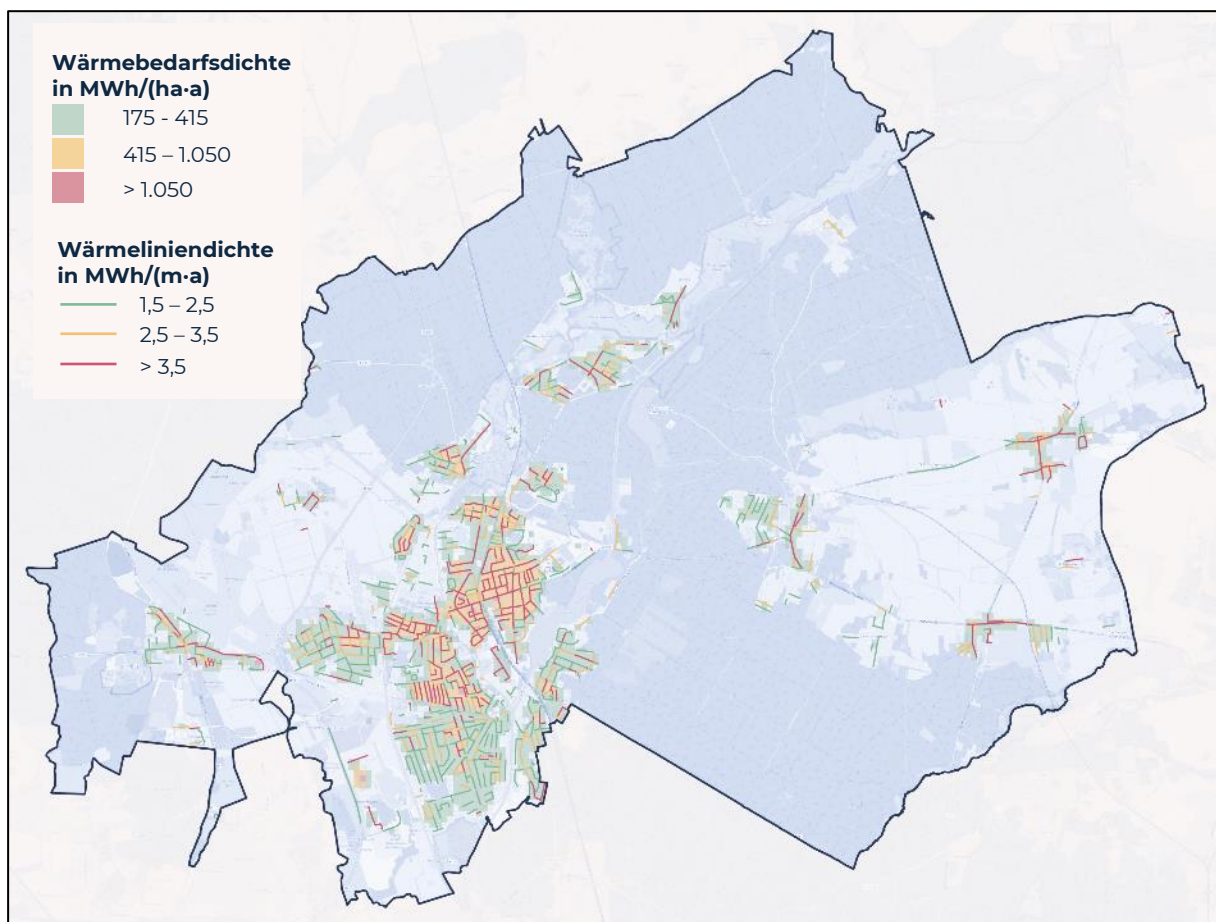


Abbildung 81: Wärmebedarfsdichten und Wärmelinienichten im gesamten Projektgebiet

In Abbildung 82 wird dargestellt, welche Versorgungsart in den jeweiligen Ortsteilen empfohlen werden kann. Die Darstellung basiert vorwiegend auf den vorgenannten technischen Indikatoren, verfügbaren Potenzialen sowie ermittelten Vollkosten. Für die Kernstadt Oranienburg, einschließlich des Ortsteils Sachsenhausen, das bereits teilweise mit Fernwärme versorgt wird, erfolgt eine gesonderte Betrachtung im Rahmen des Fachgutachtens „Energiesystemmodell“

In den Ortslagen Friedrichsthal, Lehnitz und Malz hat sich trotz der in der qualitativen Analyse festgestellten grundsätzlichen Eignung für eine wärmenetzbasierte Versorgung eine dezentrale Wärmeversorgung als sinnvollste Lösung herausgestellt. Der Grund dafür liegt in der fehlenden Verfügbarkeit von Potenzialflächen für die Nutzung erneuerbarer Wärmequellen, wie Solarthermie. Zudem sind keine sinnvoll nutzbaren Abwärmepotenziale vorhanden. Aufgrund der gegebenen Wärmenetzeignung für Friedrichsthal wird diese Ortslage zur Berücksichtigung als Wärmenetzprüfgebiet vorgeschlagen und findet im Zielszenario entsprechende Berücksichtigung. Aufgrund der fehlenden Potenzialflächen ist hier eine wärmenetzgebundene Versorgung auf Basis von Biomasse denkbar. Hierfür sind weitergehende Untersuchungen jedoch unerlässlich.

In den übrigen Ortslagen stellt sich hingegen ein Niedertemperaturnetz mit Solarthermie-Flachkollektoren und einem Erdbeckenspeicher als die kostengünstigste Versorgungsvariante heraus.

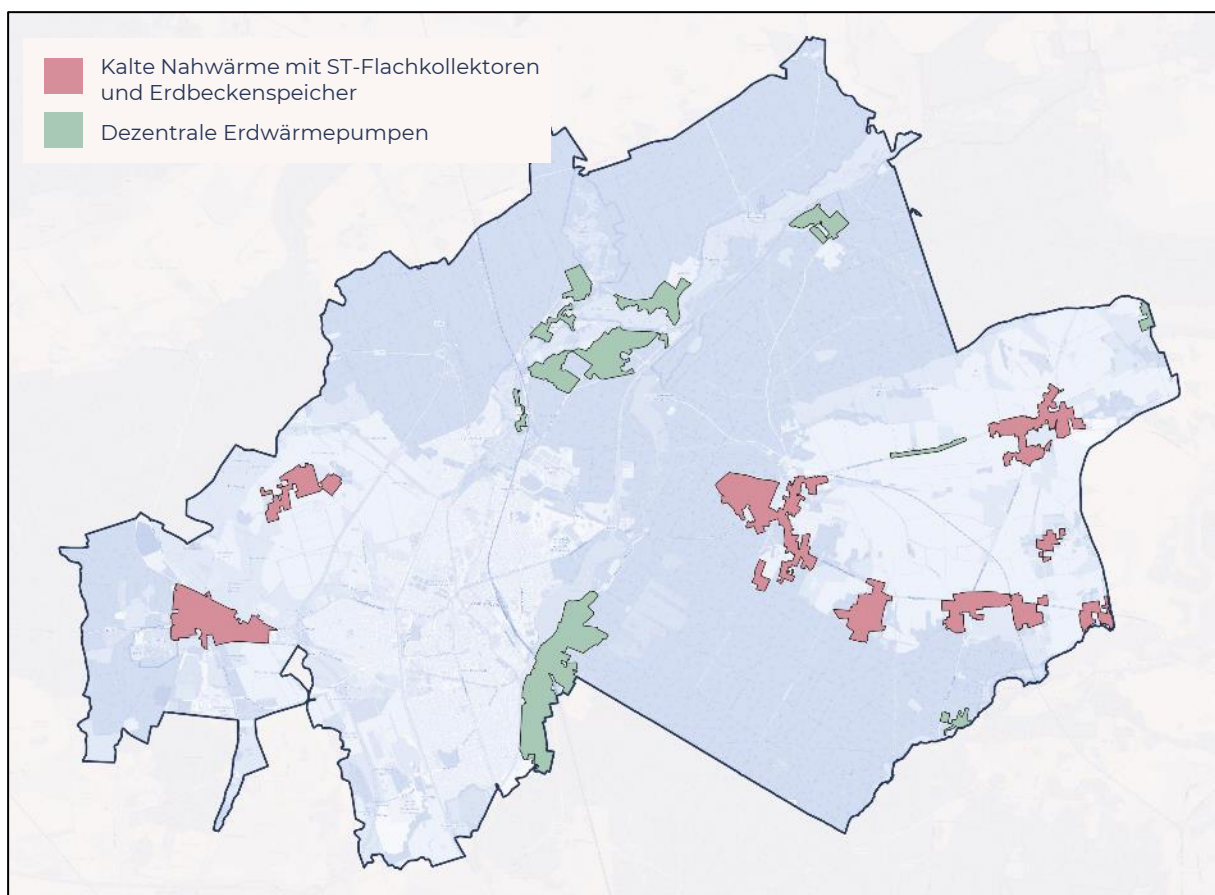


Abbildung 82: Günstigste Wärmeversorgungsvarianten für alle Ortslagen (Betrachtung der Kernstadt erfolgt gesondert)

In Germendorf wurde ein Niedertemperaturnetz mit einer Vorlauftemperatur von 75 °C als die wirtschaftlichste und technisch sinnvollste Lösung identifiziert. Das Wärmenetz deckt einen Wärmebedarf von insgesamt 19,7 GWh ab und umfasst eine Hauptleitungslänge von 13,1 km, über die 693 Hausanschlüsse mit Wärme versorgt werden können. Die Wärmebereitstellung erfolgt durch den Einsatz von Solarthermie-Flachkollektoren, deren erzeugte Energie in einem Erdbeckenspeicher zwischengespeichert wird, um eine kontinuierliche Versorgung zu gewährleisten. Die Planung des Netzverlaufs und die Nutzung der Potenzialflächen sind in Abbildung 83 dargestellt, die einen Überblick über die Netzstruktur und die Standortwahl für die Erzeugungsanlagen gibt.

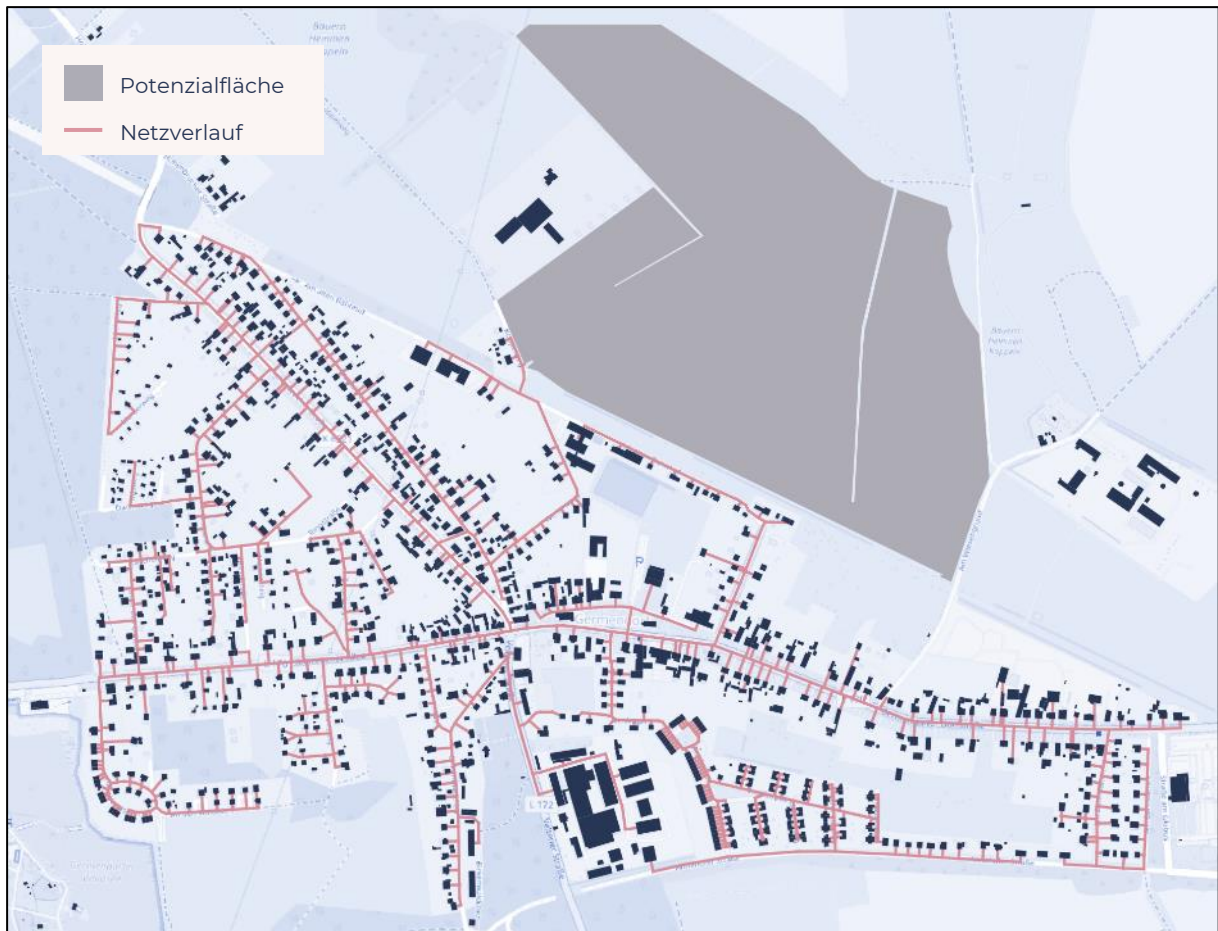


Abbildung 83: Wärmenetzverlauf und Potenzialfläche für den Ortsteil Germendorf

Abbildung 83 zeigt den geplanten Netzverlauf sowie die genutzten Potenzialflächen und veranschaulicht die durchdachte Integration der Erzeugungsanlagen in die örtlichen Gegebenheiten.

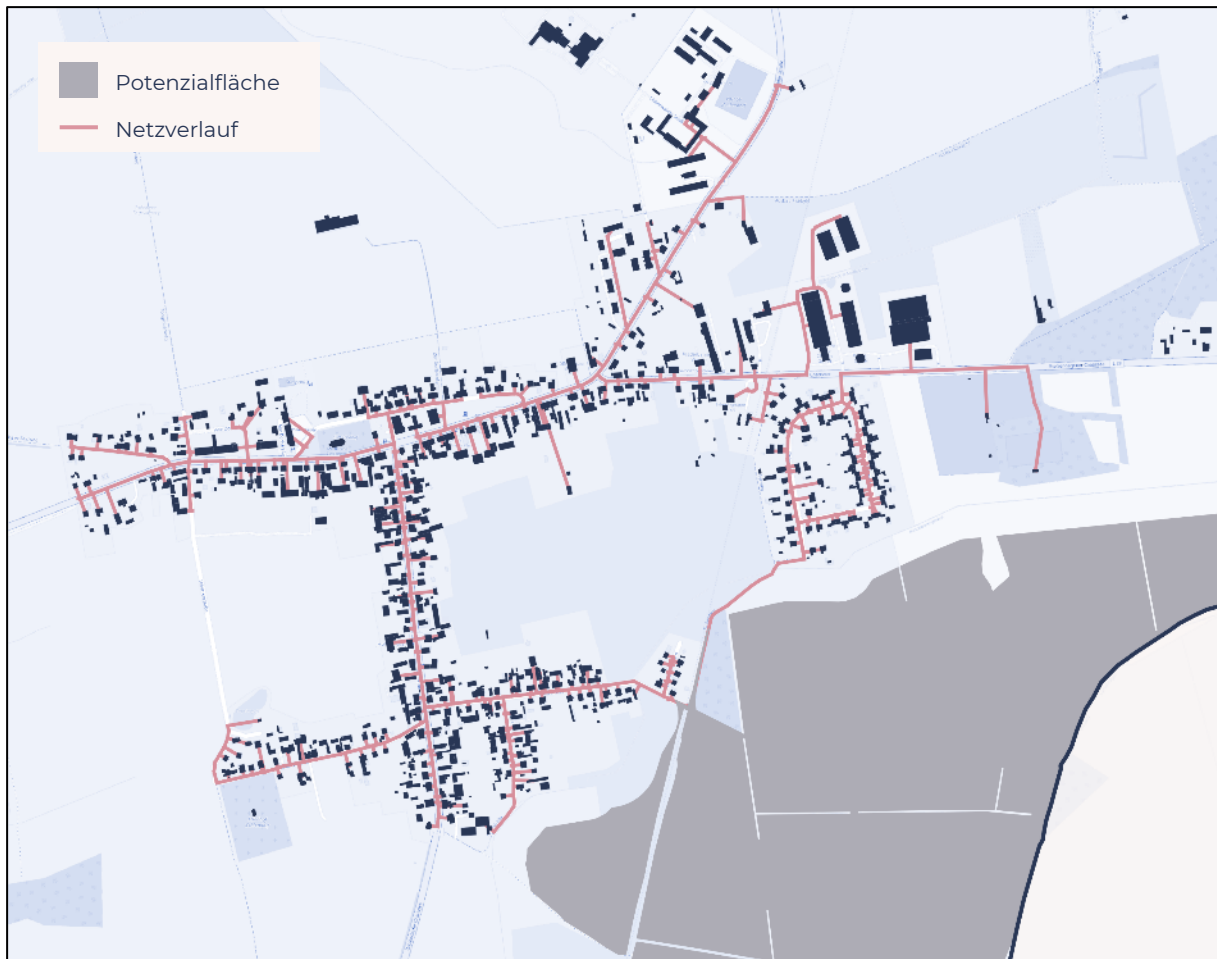


Abbildung 84: Wärmenetzverlauf und Potenzialfläche für den Ortsteil Zehlendorf

In Wensickendorf wurde ein Niedertemperaturnetz mit einer Vorlauftemperatur von 75 °C als die wirtschaftlichste und technisch geeignetste Versorgungsvariante ausgelegt. Das Netz deckt einen jährlichen Wärmebedarf von 16,9 GWh ab und umfasst eine Hauptleitungslänge von 7,2 km, über die 378 Hausanschlüsse versorgt werden können. Die Wärmebereitstellung erfolgt durch Solarthermie-Flachkollektoren, deren erzeugte Energie in einem Erdbeckenspeicher zwischengespeichert wird. Der mögliche Netzverlauf und die genutzten Potenzialflächen sind in Abbildung 85 dargestellt.

Die vorgestellten Ergebnisse stellen Grobkonzepte dar, die eine erste fundierte Grundlage für die weitere Planung der Wärmeversorgung in den jeweiligen Ortslagen bieten. Sie zeigen die wirtschaftlich und technisch geeigneten Versorgungsoptionen auf, die auf Basis der bisherigen Analysen entwickelt wurden. Für die Umsetzung der Konzepte sind jedoch weitere Schritte in der Detailplanung erforderlich. Dazu gehört insbesondere die Ermittlung des konkreten Anschlusswunsches der Anwohner, um den tatsächlichen Anschlussgrad und die daraus resultierenden Netzlasten präziser zu bestimmen. Diese Informationen sind essenziell, um die Netzplanung weiter zu verfeinern, die Dimensionierung der Infrastruktur zu optimieren und die langfristige Wirtschaftlichkeit der geplanten Systeme sicherzustellen. Die Grobkonzepte dienen somit als Leitfaden, der in der nächsten Planungsphase mit konkreteren Daten und zusätzlichen Analysen weiterentwickelt wird.



Abbildung 85: Wärmenetzverlauf und Potenzialfläche für den Ortsteil Wensickendorf

5.9 Dezentrale Wärmeversorgung

5.9.1 Einführung

Wie bereits im vorherigen Abschnitt adressiert, wirkt das Fachgutachten Dezentrale Wärmeversorgung im Zusammenspiel mit dem Fachgutachten Wärmenetze. Ziel beider Fachgutachten ist die klare Einteilung des Planungsgebietes in Eignungsgebiete für Fernwärme, Nahwärme und dezentral zu versorgende Gebiete. Die aus dem ersten Fachgutachten hervorgehende Wärmebedarfsprognose (Szenario 2) bietet hierfür die Basis.

Grundsätzlich ist in dezentral zu versorgenden Gebieten von einem Technologiemarkt auszugehen, der sich aus verschiedenen Wärmepumpentechnologien, Biomasse-basierten Heizungen, hybriden Heizsystemen sowie Stromdirektheizungen zusammensetzt. In diesem Zusammenhang gelten die Vorgaben des Gebäudeenergiegesetzes. Innerhalb des Technologiemarkts ist aufgrund der Wirtschaftlichkeit von einer hohen Marktdurchdringung von Wärmepumpentechnologien auszugehen. Daher wurden im Rahmen des Fachgutachtens die Potenziale für Luft- und Erdwärmepumpen flächendeckend ermittelt und als wesentliche Grundlage für die Einteilung der Eignungsgebiete herangezogen. Ziel des Fachgutachtens ist es auf Basis der vorhandenen Daten zu prüfen, welche zu beheizenden Gebäude zukünftig durch dezentrale Lösungen versorgt werden können und wo derartige Lösungen wirtschaftlicher sind, als zentrale Versorgungskonzepte. Auf der anderen Seite soll das Fachgutachten Versorgungslücken durch dezentrale Lösungen darstellen, um den Bedarf an Wärmenetzen aus einer anderen Perspektive zu bewerten.

5.9.2 Erdwärmepumpen (oberflächennahe Geothermie)

Oberflächennahe Geothermie nutzt die Erdwärme aus den oberen Erdschichten, typischerweise bis zu einer Tiefe von etwa 400 m. Das Erdreich besitzt ggü. der Umgebungsluft insbesondere in der Heizperiode ein höheres Temperaturniveau und unterliegt geringeren zeitlichen Schwankungen. So kann auf Basis des Reservoirs im Erdreich eine Wärmepumpe effizient zur Versorgung einzelner Gebäude oder kleiner Nahwärmenetze Verwendung finden. Die Reservoirtemperatur unterscheidet sich je nach adressierter Tiefe. Aufgrund des thermischen Gradienten nimmt die Erdtemperatur etwa 3 K je 100 m in Richtung Erdkern zu. Für Anwendungen in unmittelbarer Nähe zur Erdoberfläche liegt die Reservoirtemperatur je nach Standort bei 8 - 12 °C. Bei Oberflächennaher Geothermie bis 400 m kann die Reservoirtemperatur je nach Lage auf bis zu 25 °C steigen, was eine sehr effiziente Versorgung durch Wärmepumpen ermöglicht.

Grundsätzlich gibt es in Abhängigkeit des Untergrundes, der verfügbaren Fläche und der angestrebten Tiefe verschiedene Technologien zur Erschließung der Erdwärme. Hier sind Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe- und Spiralen sowie Grundwasserwärmepumpen zu nennen. Da Erdwärmesonden aufgrund der adressierten Tiefe den geringsten Flächenbedarf aufweisen, wurden Erdwärmesonden als Gegenstand der Potenzialermittlung für dezentrale Versorgungslösungen verwendet.

Zentrale Aspekte zur Bewertung des Potenzials von oberflächennaher Geothermie sind die zu deckenden Wärmebedarfe, vorhandenen Flächen, die Beschaffenheit des Untergrundes sowie vorhandene Wasserschutzgebiete. Vor allem die Verfügbarkeit von geeigneten Flächen entscheidet über die Tauglichkeit. Unter Berücksichtigung der genannten Parameter wurde das Potenzial für oberflächennahe Geothermie im Rahmen der Wärmeplanung quantifiziert und verortet.

Hierfür wurden Sondenfelder (Bohrtiefe 100 m, Sondenabstand 7 m) nach VDI 4640 ausgelegt und auf Eignung für eine dezentrale Versorgung einzelner Gebäude geprüft. In diesem Zusammenhang sind Geodaten für die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes eingeflossen. Basierend auf einer hauseigenen Methodik wurde für jedes Gebäude im Planungsgebiet geprüft, ob sich ein Sondenfeld auf dem jeweilig zugehörigen Grundstück umsetzen lässt und ob dies in hinreichender Größe möglich ist, um die Bedarfe des Gebäudes adäquat zu decken. Die Ergebnisse wurden anschließend auf Baublockebene aggregiert und sind in der nachfolgenden Abbildung 86 dargestellt. Eine geringe Eignung resultiert entweder aus fehlenden Flächen, zu hohen Wärmebedarfen oder Wasserschutzgebieten. Abbildung 86 zeigt, dass insbesondere das Kernstadtgebiet nicht durch oberflächennahe Geothermie zu versorgen sind, was vielfach auf zu dichte Bebauung und zu wenig vorhandene Fläche zurückzuführen ist. Flächendeckende Möglichkeiten für die dezentrale Nutzung von oberflächennaher Geothermie ergeben sich vorrangig in externen Ortslagen.

Diese Informationen dienen lediglich der Potenzialermittlung und stellen keine Technologieempfehlung dar. Welches Heizungssystem für die jeweiligen Gebäude technisch und wirtschaftlich sinnvoll erscheint ist im Einzelfall zu prüfen und im Abgleich mit anderen Technologien zu eruieren.

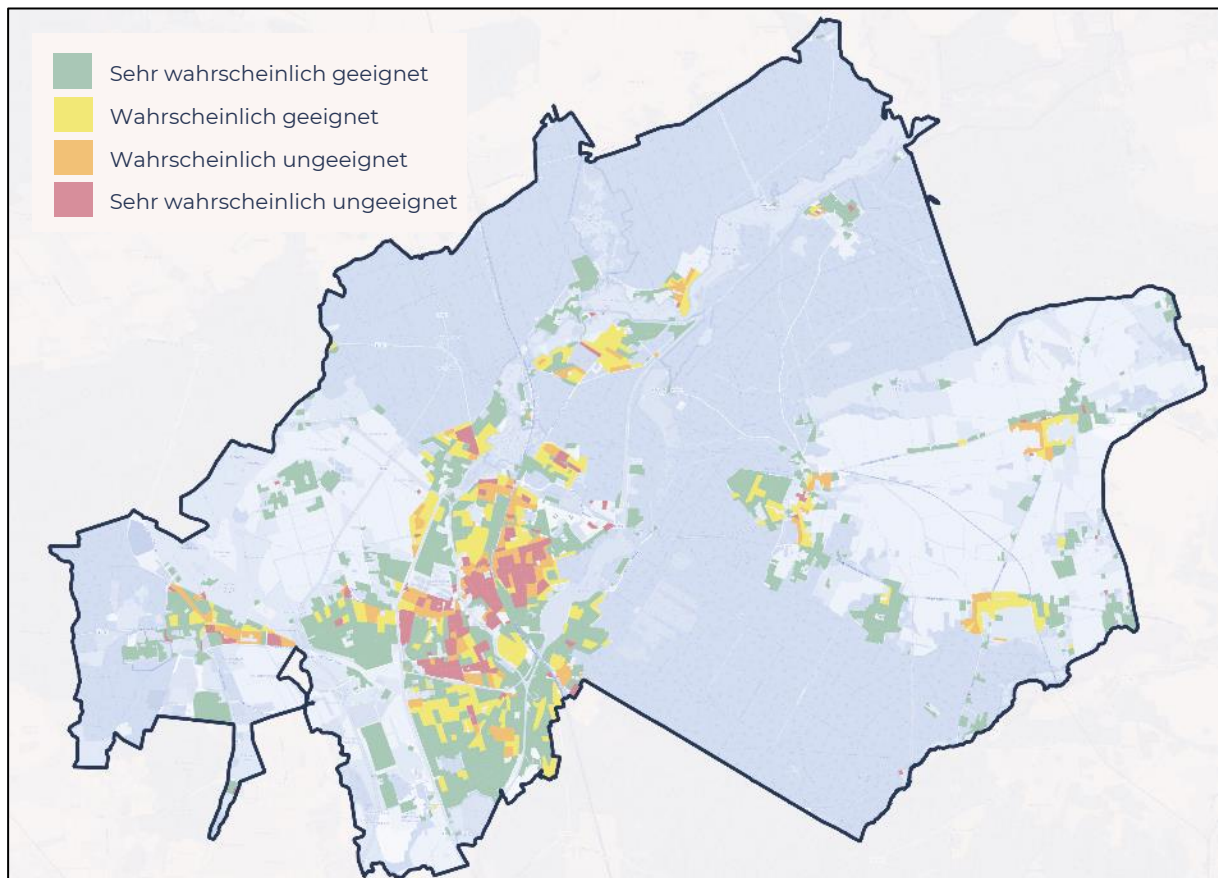


Abbildung 86: Eignung für die dezentrale Versorgung durch oberflächennahe Geothermie (Sondenfelder, 100 m Tiefe)

Neben der dezentralen Versorgung einzelner Gebäude kann oberflächennahe Erdwärme auch für kalte Nahwärme in Betracht gezogen werden. Dies setzt eine entsprechende bauliche Struktur sowie vorhandene Potenzialflächen voraus. Die Möglichkeiten für eine zentrale Wärmeversorgung auf Basis oberflächennaher Geothermie wurden deshalb im Rahmen des Fachgutachtens Wärmenetze in Abschnitt 5.8 thematisiert.

5.9.3 Luftwärmepumpen

Für die dezentrale Wärmeversorgung von Gebäuden sind insbesondere Luftwärmepumpen von großer Bedeutung. Insbesondere in Verbindung mit einer hohen Energieeffizienz im Gebäude und vorhandenen Flächenheizungen ist der Einsatz von Luftwärmepumpen ein kosteneffizienter und sinnvoller Ansatz. Aber auch für viele Bestandsgebäude in teilsaniertem Zustand kann der Einsatz von Luftwärmepumpen gut funktionieren. Um das Potenzial für Luftwärmepumpen im Planungsgebiet zu quantifizieren, wurde, ähnlich zur Potenzialanalyse für dezentrale Erdwärmepumpen, eine eigene Methodik entwickelt. Diese prüft die Eignung für sämtliche zu beheizende Gebäude im Planungsgebiet und aggregiert die Daten baublockbezogen. Die Eignungsprüfung erfolgt auf Basis verfügbarer Flächen und einer Auslegung der für die Beheizung eines Gebäudes erforderlichen Wärmepumpe. Hierbei wird die Wärmepumpe entsprechend der Heizlast des Gebäudes dimensioniert und damit korrelierend der Bedarf an Aufstellfläche ermittelt. Es wird geprüft, ob sich geeignete Flächen auf dem Grundstück befinden, diese in hinreichendem Abstand (≥ 2 m) zum Nachbargrundstück gelegen sind und sich in sinnvollem Abstand zum zu beheizenden Gebäude befinden. Das beschriebene Vorgehen ist in der nachfolgenden Abbildung 87 illustriert.

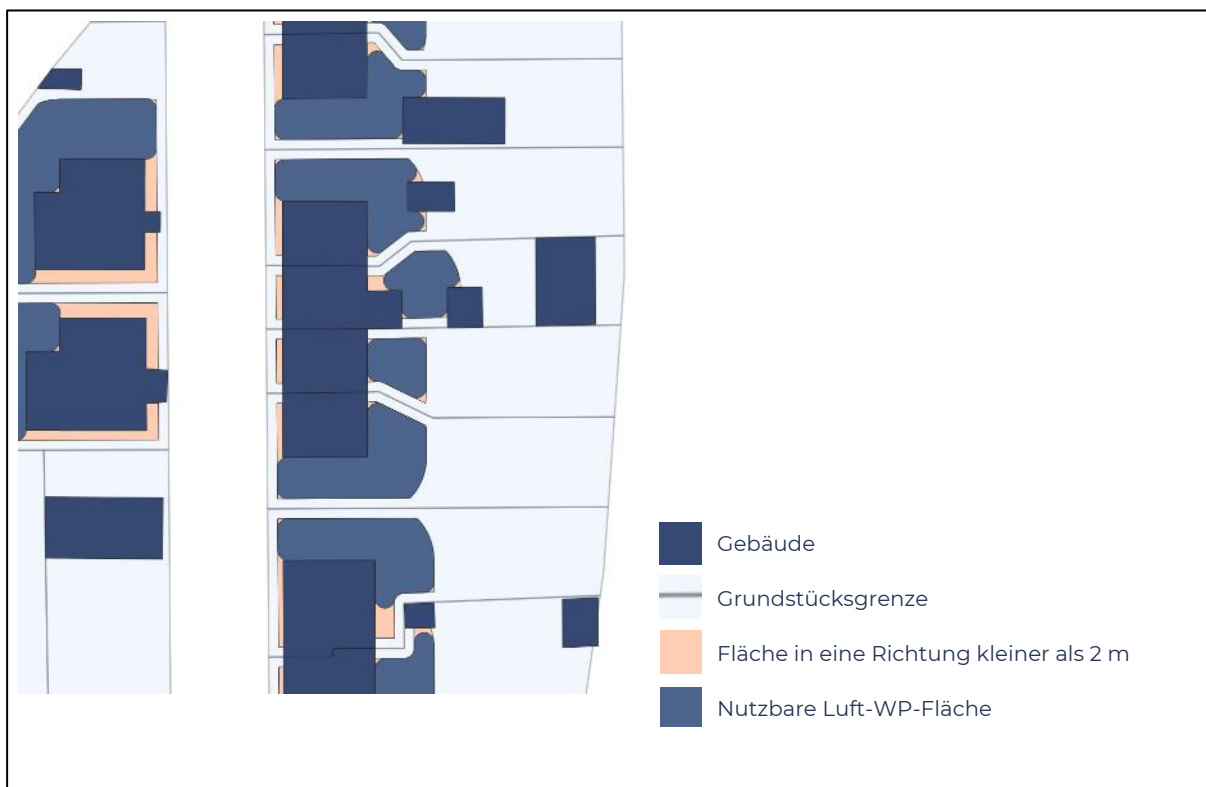


Abbildung 87: Datengetriebene Methode zur Eignungsprüfung von Luftwärmepumpen für sämtliche zu beheizende Gebäude im Planungsgebiet auf Basis verfügbarer Flächen und Heizlasten

Ein zentrales Thema in der flächendeckenden Akzeptanz von Luftwärmepumpen ist die Geräuschemission, hervorgerufen durch die Verdichter der Außeneinheiten. Dies kann vor allem in dichter besiedelten Gebieten zu Problemen führen und die Durchdringung von Luftwärmepumpen limitieren. Um Problemen in der Akzeptanz von Luftwärme vorzubeugen, wurde der energietechnischen und flächenbezogenen Potenzialermittlung eine Schallindikation überlagert.

Hierbei wird eine multi-direktionale Schallausbreitung und Überlagerung von Schallquellen analysiert und hinsichtlich einer Grenzwertüberschreitung nach TA Lärm „6.1 Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 1998) untersucht. In diesem Kontext wurden die gemäß Hauptnutzungsart des Baublockes geltenden TA Lärm Immissionsrichtwerte angesetzt. Abbildung 88 visualisiert die indikativen Schallimmission aufgrund eines flächendeckenden Einsatzes von Luftwärmepumpen im Planungsgebiet.

Aus der Abbildung 88 ist zu erkennen, dass der flächendeckende Einsatz von Wärmepumpen insbesondere in den verdichteten Gebieten eine Herausforderung in Bezug auf den Schall darstellen kann. Dagegen sind sowohl die externen Ortslagen als auch die Randbereiche der Kernstadt unkritisch.

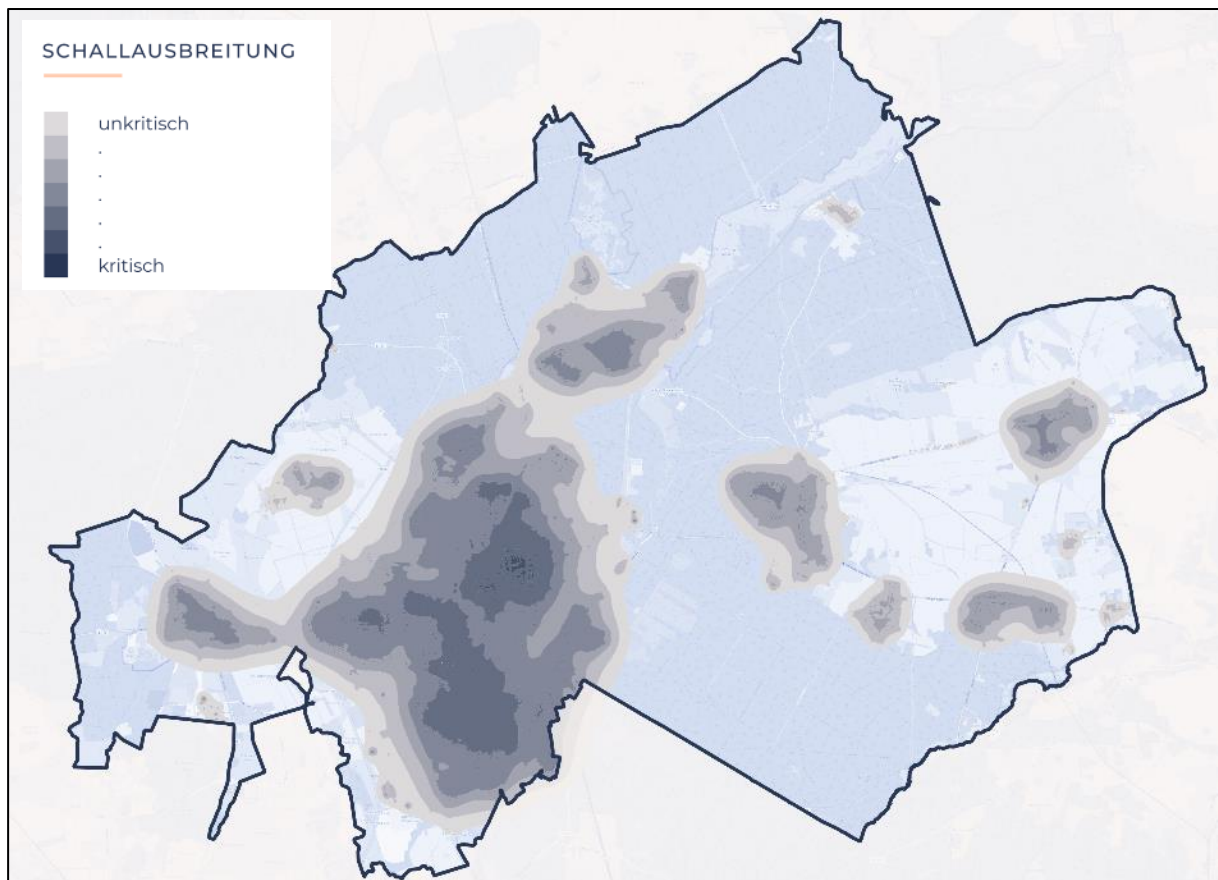


Abbildung 88: Qualitative Schallindikation durch flächendeckenden Einsatz von Luftwärmepumpen

Die durch energetische und flächenbasierte Analyse sowie Schallindikation entwickelte Karte zur dezentralen Versorgung mittels Luftwärmepumpen ist in der nachfolgenden Abbildung 89 veranschaulicht. Daraus lässt sich ableiten, dass die dezentrale Versorgung durch Luftwärme in weiten Teilen des Planungsgebietes möglich ist. Herausforderungen ergeben sich primär in der Kernstadt.

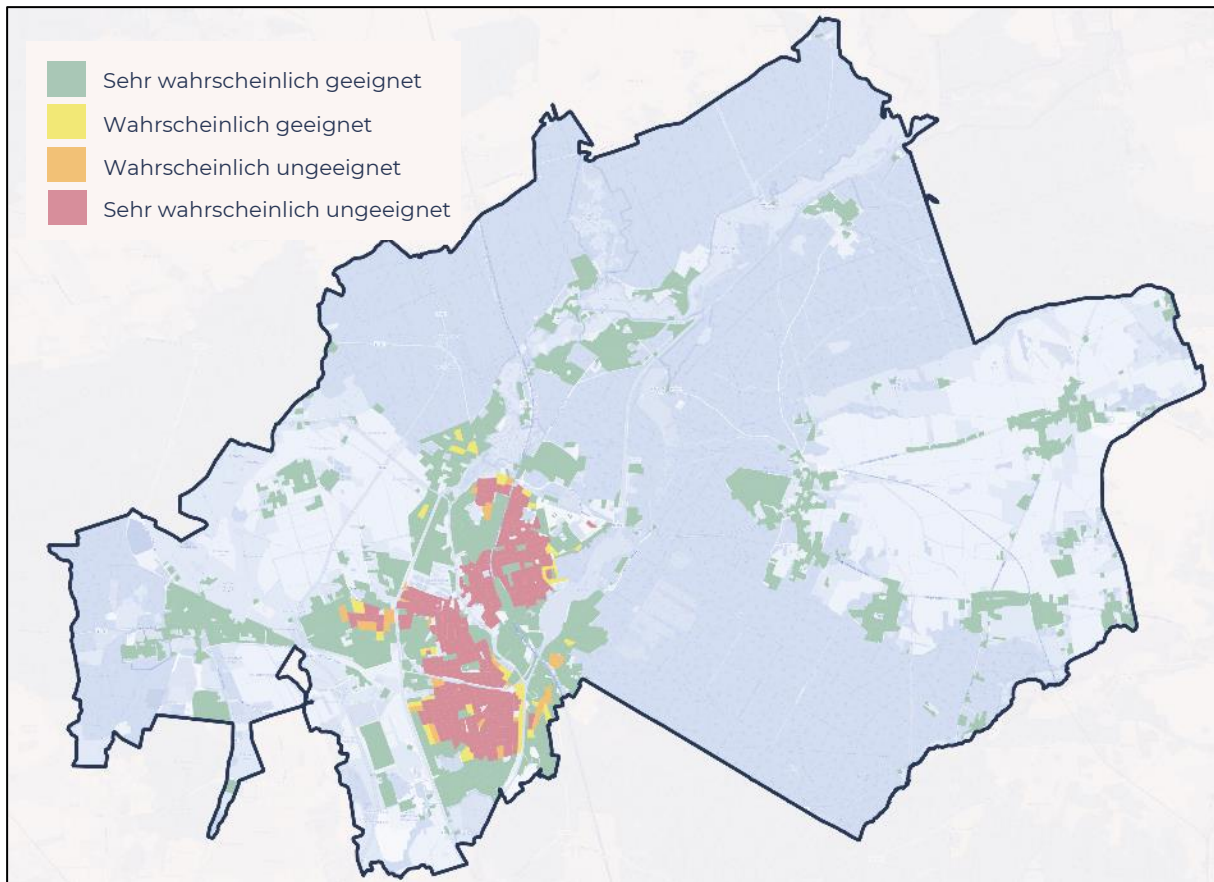


Abbildung 89: Eignung für die dezentrale Versorgung durch Luftwärmepumpen inkl. Berücksichtigung potenzieller Lärmemissionen

5.9.4 Eignungsgebiete für dezentrale Versorgung

Insbesondere der zukünftige Bedarf an Fernwärme wird auf Basis einer technischen Notwendigkeit ermittelt, die sich aus der mangelnden Eignung dezentraler Lösungen ergibt. Dafür werden die Ergebnisse zu Luft- und Erdwärmepumpen überlagert. Wie eingangs erläutert ist in den dezentral zu versorgenden Gebieten zukünftig ein Technologiemix zu erwarten, der neben Wärmepumpen auch Biomasseheizungen (z. B. Pellets oder Hackschnitzel) sowie Stromdirektheizungen umfassen kann. Jede Technologie bietet spezifische Vorteile, weshalb die beste Heizlösung stets individuell für das jeweilige Gebäude geprüft werden sollte.

Der Technologiemix wird voraussichtlich einen hohen Anteil von Wärmepumpentechnologien haben. Zudem wird – unter Beachtung des regionalen Potenzials – ein gewisser Teil der Wärmebereitstellung aus Biomasse erfolgen. Stromdirektheizungen werden aufgrund des erwarteten Preisgefüges wahrscheinlich eine untergeordnete Rolle einnehmen. Um die technische Notwendigkeit für leitungsgebundene Wärme zu ermitteln, werden Versorgungslücken in der Wärmebereitstellung durch dezentrale Heizungssysteme aufgezeigt. Hierbei werden die bereits vorgestellten Ergebnisse in Bezug auf das Deckungsvermögen von Luftwärme- und Erdwärmepumpen überlagert. Basierend auf der durchgeführten Analyse zur Deckung des Wärmebedarfs durch dezentrale Versorgungslösungen wurde das Planungsgebiet hinsichtlich der Eignung räumlich eingeteilt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 90 dargestellt.

Gebiete, die als „sehr wahrscheinlich“ und „wahrscheinlich“ für dezentrale Lösungen definiert sind, können durch einen dezentralen Technologiemarkt versorgt werden. In den anderen Kategorien resultiert die Notwendigkeit für netzgebundene Versorgung.

Die Analyse des Deckungspotenzials zeigt, dass bei einer reinen Versorgung durch Luft- und Erdwärmepumpen Versorgungslücken in zentralen Bereichen wie der Kernstadt bestehen. Für weite Bereiche der Kernstadt wird daher eine leitungsgebundene Wärmeversorgung empfohlen, da dezentrale Lösungen keine Versorgungssicherheit schaffen. In den externen Ortsteilen hingegen wird eine dezentrale Versorgung als geeignet angesehen, wodurch keine technische Notwendigkeit für ein Wärmenetz aufgrund von dezentralen Versorgungslücken besteht. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die weitere Planung und die Identifikation von Bereichen mit Bedarf an alternativen Versorgungslösungen.

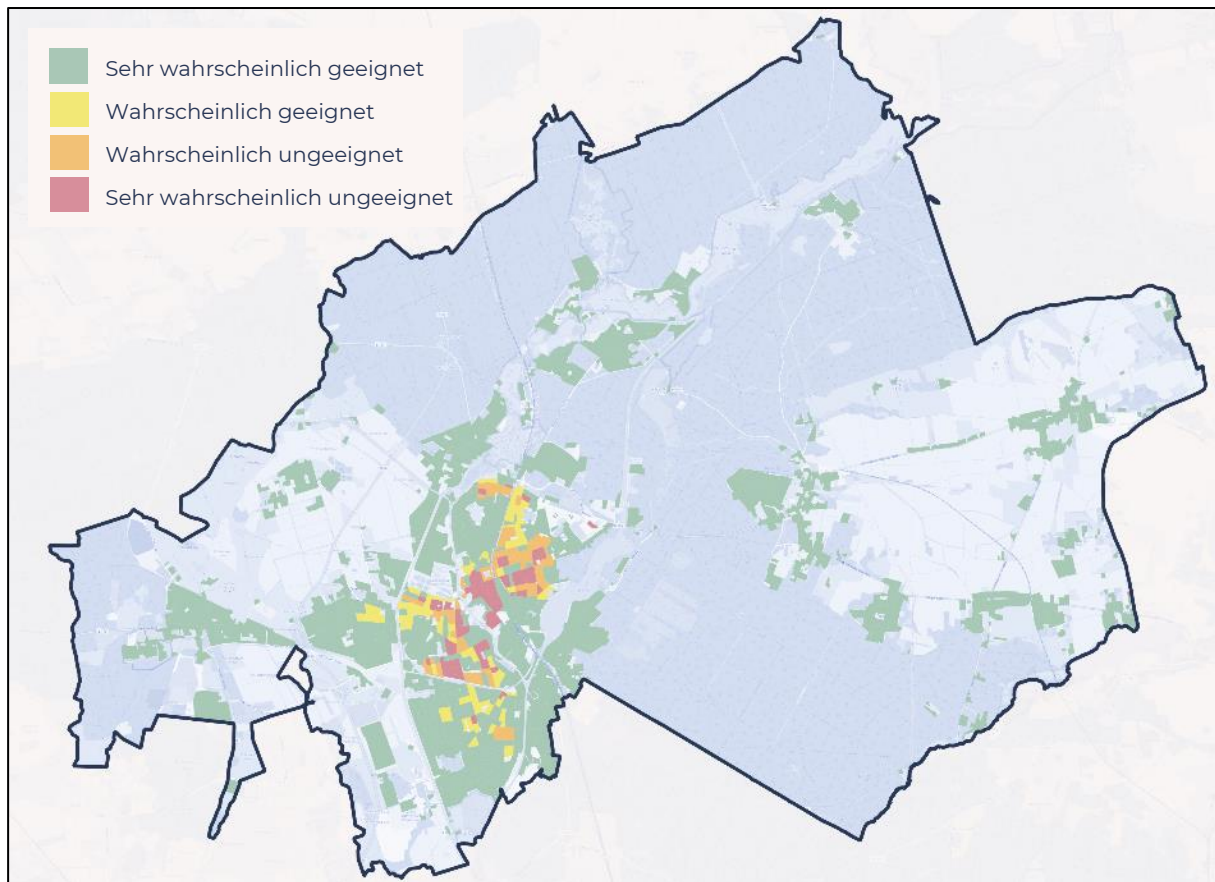


Abbildung 90: Bewertung der Eignung dezentraler Versorgungslösungen im Zieljahr 2040

5.10 Energiesystemmodell

5.10.1 Einführung

Aus den beiden vorangegangenen Fachgutachten Wärmenetze und Dezentrale Wärmeversorgung folgt die Einteilung des Planungsgebietes in Eignungsgebiete zum Zieljahr 2040, sowie in den Zwischenzieljahren 2030 und 2035. Dies ist die Basis für das Versorgungsszenario im Zieljahr und das Kernelement der kommunalen Wärmeplanung. Ferner geht aus dem Zielszenario ein Bedarf an netzgebundener Wärmeversorgung hervor. Das Zielszenario inkl. Einteilung der Eignungsgebiete wird Kapitel 6 tiefergehend vorgestellt. Dieser Abschnitt fokussiert sich auf das Energiesystemmodell zur Analyse möglicher Fernwärmeausbauszenarien innerhalb der Kernstadt und die dafür erforderlichen Erzeuger- und Speicherkonfigurationen.

Im Rahmen des Energiesystemmodells wurden verschiedene Szenarien für die Umgestaltung vorhandener oder neuzubauende Netze detaillierter analysiert. Hierfür wird ein thermodynamisches Modell des Fernwärmenetzes aufgebaut, das stundenscharfe Analysen zum Jahreslastgang des Netzes erlaubt. Neben der Untersuchung verschiedener Erzeuger- und Speicherkonfigurationen hinsichtlich Versorgungssicherheit, Spitzenlastabdeckung, Speicherbedarf, Investitions- und Betriebskosten können veränderte Netztemperaturen oder Ausbau- und Verdichtungsszenarien des Netzes im Jahreslastgang untersucht und bewertet werden. Grundlage der Bewertung stellt eine auszuarbeitende Bewertungsmatrix dar.

5.10.2 Potenziale erneuerbarer Energien und thermische Energiespeicher

Für die Optimierung des zukünftigen Erzeugerparks der Fernwärmeversorgung in Oranienburg wurden verschiedene Potenziale aus erneuerbaren Energiequellen berücksichtigt, die aus der Potenzialanalyse hervorgingen. Eine Übersicht der im Energiesystemmodell berücksichtigten Anlagen liefert Tabelle 43. Die aufgeführten Potenziale wurden in drei Kategorien eingeteilt, die sich durch ihre Leistungs- und Jahresarbeitskapazitäten sowie ihre Eignung zur Fernwärmeversorgung unterscheiden.

Die Potenziale der Kategorie 1, wie Tiefengeothermie, Solarthermie sowie Fluss- und Seewasserwärmepumpen, zeichnen sich durch relativ hohe verfügbare Leistungen und Jahresenergiemengen aus. Sie bieten damit eine solide Basis, um den zukünftigen Fernwärmebedarf effizient zu decken. Im Gegensatz dazu weisen die Potenziale der Kategorie 2, wie Luft-Wärmepumpen und Holzpyrolyse, geringere Leistungen und Jahresarbeitsmengen auf. Diese Potenziale sind daher weniger attraktiv und können vor allem als ergänzende Optionen betrachtet werden. Beispielsweise macht ihre begrenzte Effizienz die Luft-Wärmepumpen zwar weniger bedeutend, sie können jedoch in spezifischen Szenarien zur Ergänzung des Erzeugerportfolios beitragen.

Die Potenziale der Kategorie 3, wie die Abwasserwärme, erfüllen hingegen ein Marginalitätskriterium. Aufgrund ihrer geringen Leistungs- und Jahresarbeitswerte werden sie im Rahmen der Optimierung nicht weiter berücksichtigt, da ihr Beitrag zur Deckung des Fernwärmebedarfs im Vergleich zu den Kategorien 1 und 2 unwesentlich ist.

In Tabelle 43 sind zudem auch die Wärmebedarfe der im Folgenden vorgestellten Fernwärmebedarfsszenarien aufgeführt.

Hier wird bereits deutlich, dass für einen maximalen Fernwärmeausbau, wie in der Gebietseinteilung vorgeschlagen, ein Großteil der Potenziale und damit auch wirtschaftlich wenig attraktive Anlagen genutzt werden müssten. Das energetische Potenzial ist grundsätzlich ausreichend, wenngleich die verfügbare Erzeugerleistung für das maximale Ausbauszenario eine Herausforderung darstellt. Aufgrund der limitierten Potenziale stellt der maximale Netzausbau deshalb kein Vorzugsszenario dar. Dieser Umstand wird in der Definition eines zweiten Bedarfsszenarios „Mittlerer Netzausbau“ berücksichtigt, bei dem ein weniger umfangreicher Ausbau des Wärmenetzes zugrunde gelegt wird.

Tabelle 43: Übersicht der im Energiesystemmodell berücksichtigten Potenziale

	Potenzial	Standort	Leistung	Jahresarbeit
Kat. 1	Oberflächennahe Geothermie	Diverse	7 MW (auf komm. Flächen)	14,7 GWh
	Solarthermie	Diverse	15 MW (auf komm. Flächen, bis zu 90 MW insgesamt)	11 GWh
	Tiefengeothermie	Lehnitzstraße	4,6 MW (je Dublette, bis zu 4 Dubletten möglich)	32,2 GWh
	Flusswasser-WP	Schnelle Havel	20 MW	84,9 GWh
	Flusswasser-WP	Oranienburger Kanal	4 MW	16,5 GWh
	Seewasser-WP	Lehnitzsee	6 MW	43,2 GWh
Kat. 2	Luft-WP	Diverse	1 MW je Standort	7 GWh je Standort
	Holzpyrolyse	Diverse	0,6 MW je Einheit	5,1 GWh je Einheit
Kat. 3	Abwärme	Industrie	0,2 MW	1,3 GWh
	Abwasserwärme	Weißer Stadt	0,6 MW	4,2 GWh
	Summe Kategorie 1		55,4 MW	194,1 GWh
	Fernwärmebedarf	Mittlerer Ausbau	70 MW	174 GWh
	Fernwärmebedarf	Max. Ausbau	85 MW	230 GWh

Die Identifikation von Potenzialen für thermische Energiespeicher wurde im Fachgutachten Großwärmespeicher vorgenommen. Dafür wurde ein iteratives Vorgehen zwischen dem Fachgutachten Energiesystemmodell und dem Fachgutachten Saisonspeicher gewählt.

Auf Basis der zuvor durchgeführten Analyse der Wärmebedarfsentwicklung wurden zunächst drei vorläufige Wärmeversorgungszenarien entwickelt, für die die Leistung und Kapazität eines thermischen Energiespeichers ermittelt wurden. Diese ersten Simulationen ermöglichten es, neben den Betriebszeiten und Auslastungen der Erzeuger auch die entsprechende Speichernutzung und die Zyklenzahl zu bestimmen.

Die ermittelten Angaben zu Kapazität und maximaler Leistung des Speichers wurden an den Auftragnehmer des Fachgutachtens Großwärmespeicher übermittelt, damit im Rahmen eine erste Abschätzung der ökonomischen Kenngrößen des Speicherbetriebs erfolgen konnte.

Die im Fachgutachten Großwärmespeicher ermittelten variablen Kosten wurden anschließend als neue Eingangsgröße in das Energiesystemmodell integriert und in einem zweiten Simulationsdurchlauf berücksichtigt. Die Integration dieser variablen Speicherkosten führte zu einer veränderten Einsatzplanung, wodurch die verringerte Ausnutzung des Speichers durch den assoziierten Preis sichtbar gemacht werden konnte.

Nach weiteren Evaluierungen und Anpassungen der Szenarien basierend auf den neuen Erkenntnissen wurden erneut Simulationen des Jahreslastgangs durchgeführt. Diese Simulationen führten zu neuen Annahmen bezüglich Speicherkapazität und -leistung, die an das Fachgutachten Großwärmespeicher weitergeleitet wurden und auf deren Basis eine detaillierte Auslegungsbetrachtung erstellt wurde. Ausgelegt wurden ein Erdbeckenspeicher (Pit Thermal Energy Storage, PTES), der als Saisonspeicher eingesetzt werden kann, ein Aquiferspeicher (Aquifer Thermal Energy Storage, ATES), der ebenfalls als Saisonspeicher dient und ein Tankspeicher (Tank Thermal Energy Storage, TTES), der als Kurzzeitspeicher verwendet werden kann.

Aufgrund der Saisonalität der Speichernutzung und des entsprechenden Be- und Entladeprofils wurde im Rahmen des Fachgutachtens Großwärmespeicher der PTES als Vorzugsvariante ausgewiesen.

Hierbei ist zu beachten, dass die Energie aus dem Erdbeckenspeicher nicht direkt mit der angestrebten Netzvorlauftemperatur von 95 °C eingespeist werden kann, sondern dafür eine Nacherwärmung mittels Wärmepumpe vorgesehen wurde. Die Entladeleistung des Erdbeckenspeichers wird damit durch die Leistung der Wärmepumpe limitiert. In der Vorzugsvariante beträgt die Entladeleistung 12 MW.

Diese finalen Ergebnisse des Fachgutachtens Saisonspeicher dienen schließlich als Eingangsgrößen für den abschließenden Simulationsdurchgang des Energiesystemmodells.

5.10.3 Fernwärmebedarfsszenarien

Zur Entwicklung eines zukunftsfähigen Energiesystems für die Fernwärmeversorgung von Oranienburg wurden zwei Szenarien für den Fernwärmebedarf erarbeitet. Diese Szenarien bilden die Grundlage für die Modellierung und den Vergleich unterschiedlicher Netzstrategien. Die zwei Szenarien korrelieren mit den Angaben in Tabelle 43.

Szenario "Maximaler Netzausbau"

Dieses Szenario basiert auf der Gebietseinteilung, die aus vorherigen Fachgutachten hervorgegangen ist. Dabei werden alle identifizierten Gebiete mit guter Eignung für den Fernwärmeanschluss sowie Gebiete mit nur geringer Eignung für eine dezentrale Versorgung berücksichtigt. Die Grundlage bildet eine detaillierte Analyse der Wärmebedarfsentwicklung aller Gebäude im Projektgebiet bis zum Zieljahr 2040, sowie die Eignungsprüfung für die dezentrale Wärmeversorgung. Zur Realisierung dieses Szenarios muss ein Großteil der verfügbaren Potenziale erschlossen werden, einschließlich solcher mit hohen Investitions- und Betriebskosten, was zu erhöhten Wärmegestehungskosten führen würde.

Die Fernwärmegebiete für das Szenario „Maximaler Netzausbau“ sind in Abbildung 91 dargestellt.

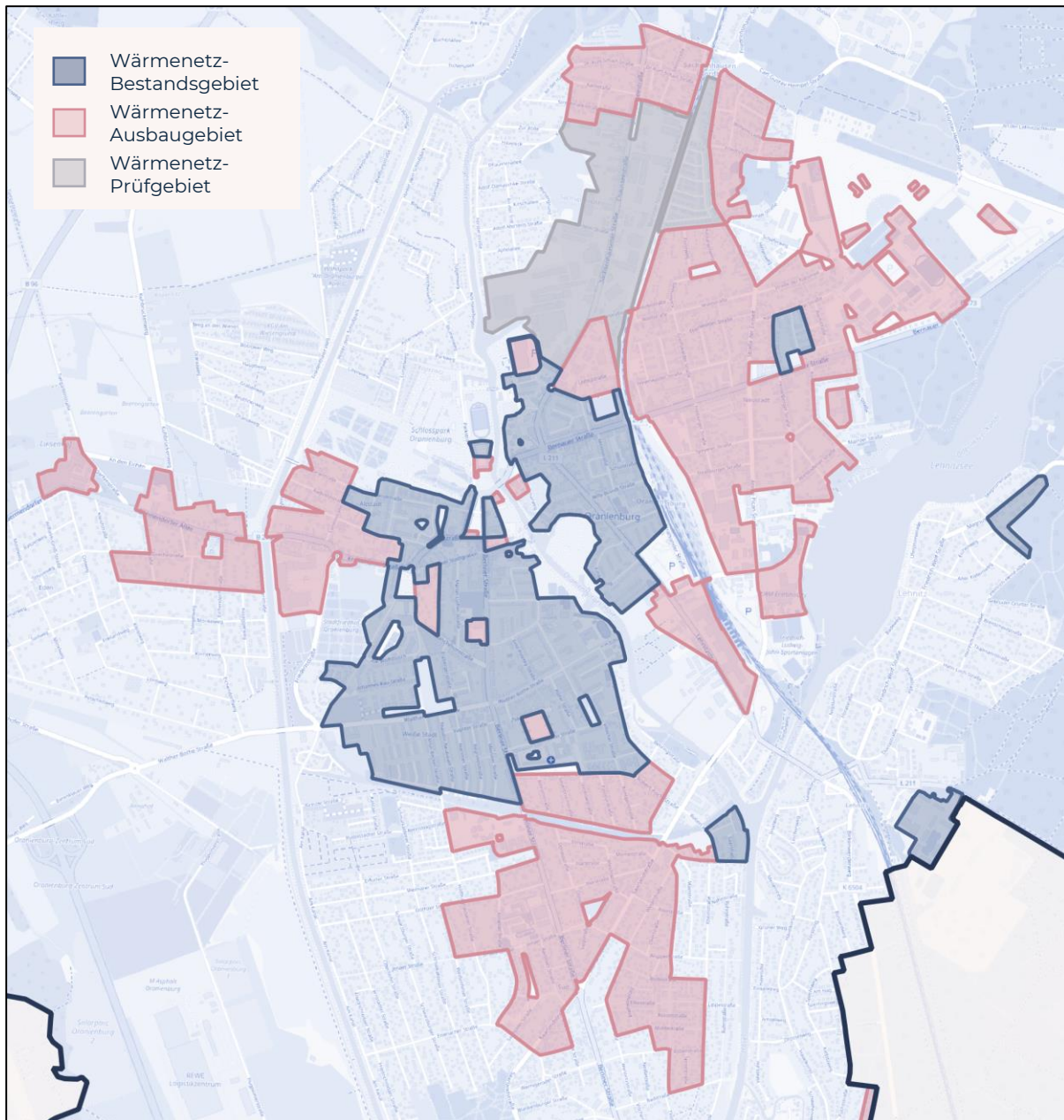


Abbildung 91: Fernwärmegebiete im Szenario "Maximaler Netzausbau"

Szenario "Mittlerer Netzausbau"

Um die aus den Voruntersuchungen hervorgegangenen Herausforderungen im Szenario "Maximaler Netzausbau" zu adressieren, wurde das Szenario "Mittlerer Netzausbau" entwickelt. Dieses fokussiert sich auf wirtschaftlich optimierte Erweiterungen des Fernwärmenetzes, indem vornehmlich Gebiete mit hoher Wärmeliniendichte und geringen Anschlusskosten berücksichtigt werden. Der Fernwärmeausbau ist gegenüber dem Szenario „Maximaler Netzausbau“ reduziert, wodurch die Nutzung sehr kostenintensiver Potenziale zur Wärmeerzeugung vermieden werden kann. Ziel ist es, eine versorgungssichere, kosteneffiziente und nachhaltige Fernwärmeversorgung zu gewährleisten, ohne dabei den Energiebedarf weniger rentabler Gebiete vollständig auszuklammern. Daher sind Gebiete, in denen sich Ankerkunden für die Fernwärmeversorgung befinden weiterhin berücksichtigt.

Im Vergleich zum Szenario "Maximaler Netzausbau" kann so auf die Erschließung besonders kostenintensiver Potenziale verzichtet werden. Die Netzlänge und die damit verbundenen

Investitionen fallen dadurch geringer aus, während ein wesentlicher Teil des Fernwärmepotenzials dennoch realisiert wird. Die Fernwärmegebiete für das Szenario „Mittlerer Netzausbau“ sind in Abbildung 92 dargestellt.

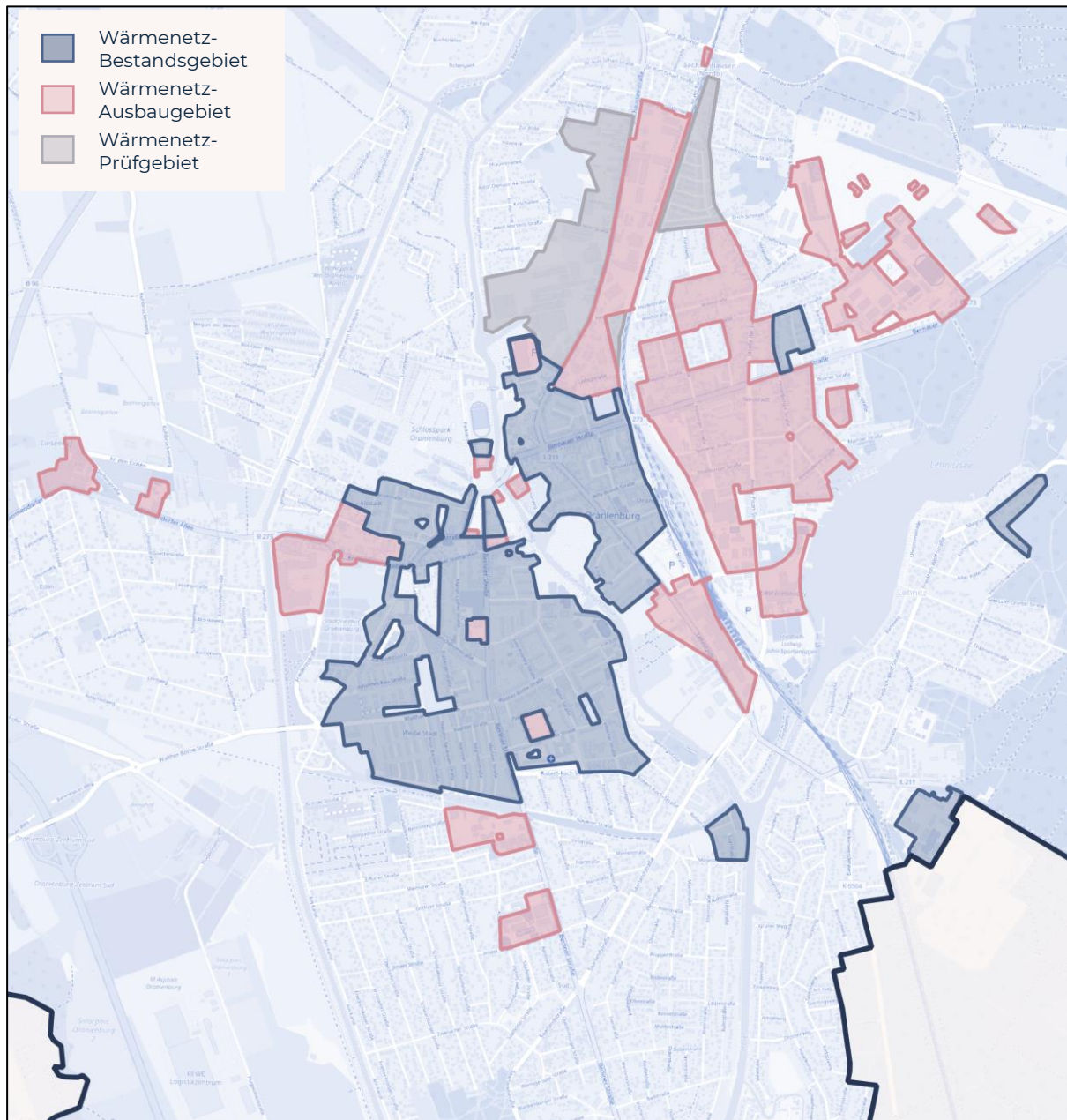


Abbildung 92: Fernwärmegebiete im Szenario "Mittlerer Netzausbau"

In Tabelle 44 werden die Wärmebedarfe in den beiden vorgestellten Szenarien gegenübergestellt. In beiden Szenarien werden die Bestandsgebiete auch im Zieljahr mit Fernwärme versorgt, so dass in beiden Szenarien der Wärmebedarf des Bestandsblöcke bei 95 GWh/a liegt. Der wesentliche Unterschied der Szenarien liegt im Fernwärmeausbau, der im Szenario "Maximaler Netzausbau" fast doppelt so hoch ist wie im "Mittleren Netzausbau". Dieses Szenario erfordert höhere Investitionen und größere Netzstrukturen, ermöglicht jedoch die theoretische Erschließung eines größeren Fernwärmepotenzials. Wie jedoch zuvor erwähnt, stehen die vorhandenen erneuerbaren Potenziale diesem Netzausbauszenario entgegen.

Tabelle 44: Übersicht der Wärmebedarfe der Fernwärmebedarfsszenarien für das Zieljahr

	Mittlerer Netzausbau	Max. Netzausbau
FW-Bestandsgebiete	95 GWh/a	95 GWh/a
FW-Ausbaugebiete	69 GWh/a	125 GWh/a
FW-Prüfgebiete	10 GWh/a	10 GWh/a
Gesamt	174 GWh/a	230 GWh/a

5.10.4 Methodik

Modellstruktur und Grundlagen

Das Energiesystemmodell, das zur Optimierung der zukünftigen Fernwärmeversorgung eingesetzt wurde, basiert auf einem mathematisch-physikalischen Ansatz, mit dem komplexe Energiesysteme simuliert und optimiert werden können. Das grundlegende Ziel der Optimierung ist es, die Gesamtkosten des Systems unter den gegebenen Randbedingungen, wie z. B. dem Wärmebedarf, zu minimieren, wobei sowohl Investitions- als auch Betriebskosten der infrage kommenden Erzeugungs- und Speichertechnologien berücksichtigt werden.

Dieses Optimierungsproblem ist als gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung (MILP) formuliert. Dabei handelt es sich um ein Verfahren, das sowohl kontinuierliche als auch diskrete Entscheidungsvariablen umfasst. Dies ist insbesondere relevant, wenn es um Investitionsentscheidungen geht, bei denen beispielsweise entschieden werden muss, ob eine neue Anlage installiert wird (ganzzahlig) oder wie eine Anlage betrieben werden soll (kontinuierlich). Die Investitionsentscheidungen sind somit diskrete Variablen, während die Fahrweisen der Anlagen kontinuierliche Variablen darstellen. Das Energiesystemmodell ist zudem physikalisch basiert, da für jeden Zeitschritt die Energiebilanz gelöst wird, um ein konsistentes Gesamtsystem zu gewährleisten.

Insgesamt ergibt sich daraus eine nicht-konvexe Optimierungsaufgabe, die verschiedene technische und wirtschaftliche Randbedingungen umfasst, die zu den genannten (nicht) linearen und diskreten Entscheidungsprozessen führen. Diese nicht-konvexe Natur des Problems erfordert spezialisierte Optimierungsalgorithmen, die in der Lage sind, global optimale Lösungen zu finden oder zumindest qualitativ hochwertige Näherungen zu erzielen.

Die Modellierung erfolgt auf der Grundlage einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde, wobei die Dynamik des Fernwärmesystems als quasistationär angenommen wird. Das bedeutet, dass die zeitlichen Veränderungen im System als langsam genug betrachtet werden, um für jeden stündlichen Zeitschritt einen stationären Zustand anzunehmen. Diese Annahme vereinfacht die Modellierung, indem sie das komplexe Verhalten des Systems in eine Reihe von stundenweisen, stationären Optimierungsproblemen zerlegt, die durch die MILP-Methodik effizient gelöst werden können.

Die stündlich aufgelöste Optimierung wird jeweils für ein gesamtes Jahr durchgeführt, wodurch das Modell in der Lage ist, die dynamischen Anforderungen an die Wärmeversorgung über den gesamten Zeitverlauf hinweg abzubilden. Damit werden im Modell Änderungen von Prozessgrößen unterschiedlicher Zeitskalen erfasst, womit kurz- und langfristige Trends (z. B. tageszeitliche und saisonale Schwankungen) in der Wärmeversorgung erfasst werden und so eine robuste Planung sichergestellt wird.

Definition von Randbedingungen

Die Modellierung des Energiesystems erfordert die Festlegung verschiedener technischer und ökonomischer Randbedingungen, um ein realitätsnahes Abbild des Fernwärmesystems zu gewährleisten.

Wärmebedarf: Der Wärmebedarf der Verbraucherinnen und Verbraucher wird als zeitvariable Last vorgegeben, basierend auf historischen Daten der Stadtwerke Oranienburg. Die Lastverläufe wurden entsprechend der beschriebenen Wärmebedarfsszenarien skaliert, um so den jährlichen Fernwärmeabsatz abzubilden.

Strombezugskosten: Die Betriebskosten der Wärmeerzeugungsanlagen hängen maßgeblich von den Strom- und Brennstoffpreisen ab. Diese Kosten sind somit als wichtige wirtschaftliche Randbedingungen in die Optimierung integriert. Da die identifizierten Potenziale erneuerbarer Wärmeerzeugung für auf Wärmepumpen und Biomasseheizwerken beruhen, sind konkret die Kosten für den Strombezug zu berücksichtigen.

Für die Strombezugskosten werden für das Zieljahr drei Szenarien betrachtet, die als Best Case, Base Case und Worst Case bezeichnet werden. Die entsprechenden Strompreise liegen bei 150 €/MWh, 230 €/MWh bzw. 358 €/MWh. Der Best Case basiert auf Prognosen der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA) und bildet das Szenario eines zukünftig sinkenden Strompreises ab. Der Strompreis im Base Case entspricht dem derzeitigen Strombezugspreis für Großabnehmer und bildet damit das Szenario eines auf dem derzeitigen Niveau stagnierenden Strompreises ab. Als Worst Case wurde eine zusätzliche Steigerung des derzeitigen Preises um 2,5 % p. a. angenommen.

Grundsätzlich werden die Preise für die Energieträger als unterjährig konstant angenommen. Die Energiebezugskosten ändern sich also während der jeweiligen Jahressimulationen nicht.

Umweltwärme: Umweltwärme, die als Energiequelle für Wärmepumpen dient, wird ebenfalls als entscheidender Faktor in das Modell integriert. Diese Wärmequelle ist zwar nicht direkt mit variablen Kosten verbunden, aber insbesondere ihr Temperaturniveau beeinflusst maßgeblich die Effizienz und damit die Betriebskosten der Wärmepumpen. Für die Wärmepumpen, deren Wärmequellen zeitvariante Temperaturen aufweisen, werden die entsprechenden Einflüssen auf ihren COP in den jeweiligen Erzeugermodellen berücksichtigt.

Modellierung von Wärmeerzeugern und Speichern

Das Energiesystemmodell, das zur Optimierung der zukünftigen Fernwärmeversorgung entwickelt wurde, umfasst eine detaillierte Modellierung der verschiedenen Wärmeerzeuger und Speichereinrichtungen. Diese Anlagen sind zentrale Elemente des Optimierungsproblems und werden durch spezifische technische und wirtschaftliche Parameter beschrieben, anhand derer die kosteneffizienteste Konfiguration und Betriebsweise bestimmt wird.

Für alle Erzeuger und Speicher im Modell werden die Investitionskosten berücksichtigt, indem diese in Form von Annuitäten über die Lebensdauer der Anlagen berechnet werden. Über diese periodischen Kosten werden die langfristigen Kapitalausgaben für die Errichtung und den Betrieb der Anlagen realistisch abgebildet und in der Kostenoptimierung berücksichtigt.

Wärmeerzeuger: Im Modell sind alle Umweltwärmepotenziale integriert, die mittels Wärmepumpen nutzbar gemacht werden können. Dazu zählen Geothermie-, Seewasser-, Flusswasser- und Luftwärmepumpen. Diese Wärmepumpen werden durch ihren jeweiligen COP charakterisiert, der je nach Art der Wärmequelle auch zeitlich variabel sein kann.

Für Wärmepumpen mit zeitlich variablen Wärmequellen, wie die Luft- und Klarwasser-Wärmepumpen, wurden stündliche Verläufe des COP aus monatlichen Mittelwerten synthetisiert. Für die Seewasser-Wärmepumpe wurden Werte für den COP in Abhängigkeit der Seewassertemperatur übermittelt. Die Oberflächenwassertemperaturen begrenzen auch die Maximalleistung der jeweiligen Wärmepumpen, was in der Modellierung berücksichtigt wurde.

Als Spitzenlasterzeuger wird eine Power-to-Heat-Anlage (PtH) betrachtet. Die Nennleistung wird vom Optimierungsalgorithmus auf Basis der zu deckenden Spitzenlast bestimmt. Die Betriebskosten werden durch die Strombezugskosten und den Wirkungsgrad des Kessels beeinflusst.

Die Wärmeerzeugungsanlagen im Modell werden mit einer Reihe von Parametern beschrieben, die sowohl die technischen als auch die wirtschaftlichen Aspekte der Anlagen abbilden:

- **Technische Parameter:**

- *Nennleistung:* Definiert die maximal verfügbare Leistung einer Anlage.
- *Mindestleistung:* Bestimmt die minimale Leistung, unterhalb derer die Anlage nicht betrieben werden kann.
- *COP/Wirkungsgrad:* Definiert die Effizienz der Anlage, wodurch Strom- und Brennstoffeinsatz bestimmt werden.
- *Revisionszeiten:* Bezieht sich auf die Zeiten, zu denen die jeweilige Anlage nicht in Betrieb ist.

- **Wirtschaftliche Parameter:**

- *Investitionskosten:* Diese werden als Annuitäten in die Optimierung integriert, um die periodischen Kosten über die Lebensdauer der Anlage zu berücksichtigen.
- *Variable Betriebskosten:* Diese beinhalten die Stromkosten für den Betrieb von Wärmepumpen, die auf Basis des Strompreises und des Stromverbrauchs (abhängig vom COP) berechnet werden, sowie die Kosten für die Holzhackschnitzel.

Energiespeicher: Das Optimierungsproblem beinhaltet den PTES (Erdbeckenspeicher), der im Fachgutachten Saisonspeicher als Vorzugsvariante ausgewiesen wurden. Bei der Investitionsoptimierung der Speicheranlagen wird berücksichtigt, dass die jährlichen Einsparungen durch den Aufbau der Speicherkapazitäten die Annuitäten der Investitionskosten ausgleichen müssen. Dies stellt sicher, dass die Investitionen nur getätigt werden, wenn sie langfristig wirtschaftlich vorteilhaft sind. Durch folgende Parameter sind die Speichermodelle definiert.

- **Technische Parameter:**

- *Nominale Speicherkapazität:* Die maximale Menge an Wärme, die im Speicher aufgenommen werden kann.

- *Lade- und Entladegeschwindigkeiten:* Die Raten, mit denen der Speicher Wärme aufnehmen bzw. abgeben kann.
- *Speicherverluste:* Die Verluste, die während der Speicherung auftreten und die Effizienz des Speichers beeinflussen.
- **Wirtschaftliche Parameter:**
 - *Investitionskosten:* Die Kosten für die Installation des Speichers, die ebenfalls als Annuitäten berechnet und in die Optimierung integriert werden.
 - *Variable Betriebskosten:* Die Kosten, die mit dem Betrieb des Speichers verbunden sind, z. B. für die Speicherung und Ausspeicherung der Wärme.

Investitions- und Betriebsoptimierung: Alle modellierten Anlagen, einschließlich der Wärmeerzeuger und Speicher, sind Bestandteil des Optimierungsproblems, bei dem die Investitionskosten (dargestellt als Annuitäten) sowie die fixen und variablen Betriebskosten jeder Anlage in die Optimierung einbezogen werden. Die Investitionsoptimierung entscheidet, in welche Anlagen investiert wird, sodass diese ein Teil des Energiesystems werden. Das Modell bewertet verschiedene Investitionsmöglichkeiten und ermittelt die kosteneffizienteste Konfiguration von Erzeugern und Speichern, um den Wärmebedarf über das Jahr hinweg zu decken.

Nach den Investitionsentscheidungen optimiert das Modell den Betrieb der installierten Anlagen über den Jahresverlauf. Ziel der Betriebsoptimierung ist es, den kostengünstigsten Einsatz der Wärmeerzeuger und Speicher sicherzustellen. Dies umfasst die Entscheidung, welche Erzeuger zu welchem Zeitpunkt betrieben werden und in welchem Umfang die Energiespeicher genutzt werden, um Schwankungen im Wärmebedarf auszugleichen. Die Optimierung berücksichtigt dabei die variablen Betriebskosten (z. B. Strompreise) sowie die Effizienz der Anlagen in den jeweiligen Betriebszuständen.

Das Ergebnis der Simulation ist die kostenoptimale Versorgungsstruktur des Fernwärmenetzes sowohl bezüglich der Investitionen als auch des Betriebs über das Jahr hinweg. Dies wird durch die Auswahl der günstigsten Kombination von Erzeugern und Speichern sowie des günstigsten Betriebs gewährleistet. Auf diese Weise liefert das Modell eine fundierte Grundlage für die strategische Planung der zukünftigen Fernwärmeversorgung.

5.10.5 Simulationsergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Simulationen vorgestellt, die sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte der Szenarien berücksichtigen und die kostenoptimale Zusammensetzung des zukünftigen Erzeugerparks liefern. Es werden die zwei bereits vorgestellten Fernwärmebedarfsszenarien betrachtet: das Szenario „Mittlerer Netzausbau“ und das Szenario „Maximaler Netzausbau“.

Szenario „Mittlerer Netzausbau“

Die Simulationsergebnisse für das Szenario "Mittlerer Netzausbau" ergeben das optimierte Anlagenportfolio, mit dem sich die kostengünstigste Wärmeversorgung für dieses Szenario darstellen lässt. Der Lastverlauf für das Strompreisszenario "Base-Case" mit einem Strompreis von 230 €/MWh ist Abbildung 93 dargestellt. Hierin wird deutlich, dass die Tiefengeothermie mit vier Dubletten die Grundlast vollständig deckt.

Als eine der Anlagen mit den geringsten Wärmegestehungskosten ist sie ein zentraler Bestandteil des optimierten Portfolios. Solarthermie leistet ebenfalls einen bedeutenden Beitrag zur Wärmeversorgung, wobei sie durch die Integration eines Saisonspeichers ergänzt werden muss. Dieser ermöglicht die Speicherung von sommerlichen Überkapazitäten für die Wintermonate, erhöht jedoch gleichzeitig die Gesamtkosten für die Nutzung der Solarthermie. Während der Heizperiode übernehmen Wärmepumpen, wie Luft-, See- und Flusswasser-Wärmepumpen, die Mittellast und tragen damit wesentlich zur Wärmebereitstellung bei. Die Power-to-Heat-Anlage kommt flexibel zum Einsatz und fängt Spitzenlasten ab, insbesondere in Zeiten höchster Wärmebedarfe.

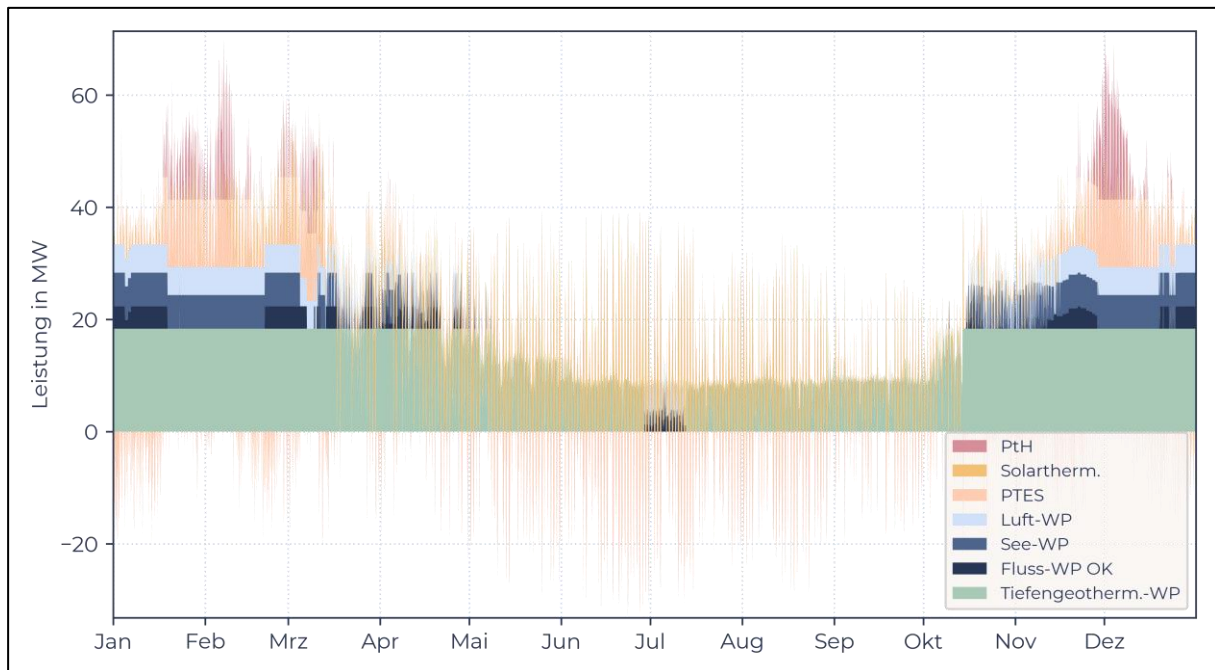


Abbildung 93: Lastverlauf für den mittleren Netzausbau im Strompreisszenario Base-Case

Die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung ist in Abbildung 94 dargestellt. Die Tiefengeothermie dominiert mit einem Anteil von über 50 % die Wärmeversorgung und unterstreicht ihre Rolle als kosteneffizienteste und grundlastfähige Technologie im optimierten System. Solarthermie trägt etwa 22 % zur Wärmebereitstellung bei und ergänzt die Tiefengeothermie besonders in den Sommermonaten, in denen zudem der Speicher beladen wird. Wärmepumpen sowie PtH liefern zusammen ca. 27 % der Wärme, wobei PtH aufgrund der Strompreise im "Base-Case"-Szenario nur begrenzt genutzt wird. Sollte die maximale Anzahl von vier Tiefengeothermie-Dubletten jedoch nicht verfügbar sein, müsste auf andere, kostenintensivere Potenziale zurückgegriffen werden. Dies würde die Wärmegestehungskosten insgesamt erhöhen und die wirtschaftliche Attraktivität der Wärmeversorgung beeinträchtigen.

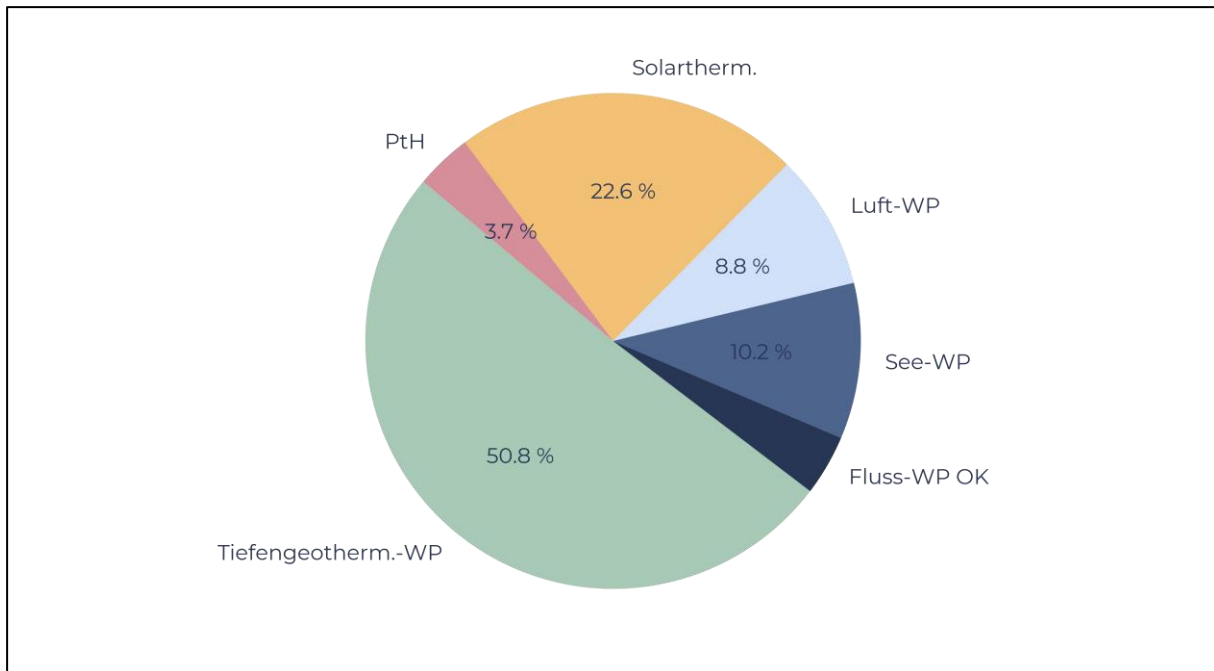


Abbildung 94: Zusammensetzung der Wärmeerzeugung bei mittlerem Netzausbau im Strompreisszenario Base Case

Die Optimierungsergebnisse variieren mit den Strompreisen in den Szenarien. Im "Worst-Case"-Szenario mit höheren Strompreisen wird mehr Solarthermie und ein größerer Speicher eingesetzt, während die Flusswasser-Wärmepumpe im Oranienburger Kanal entfällt. Dies liegt daran, dass Wärmepumpen bei hohen Strompreisen weniger wettbewerbsfähig sind. Im "Best-Case"-Szenario mit niedrigeren Strompreisen sinkt der Anteil der Solarthermie, und der Saisonspeicher wird im Sommer vornehmlich durch die Tiefengeothermie beladen, was die Gesamtkosten zusätzlich reduziert.

Das vorgestellte Anlagenportfolio stellt somit die kostengünstigste Wärmeversorgung im Szenario "Mittlerer Netzausbau" dar. Die Tiefengeothermie bildet aufgrund ihrer geringen Wärmegestehungskosten das Rückgrat der Wärmeversorgung. Solarthermie ergänzt diese, insbesondere in Verbindung mit einem Saisonspeicher. Wärmepumpen übernehmen die Mittellast während der Heizperiode, während PtH flexibel auf Spitzenlasten reagiert. Die Nennleistungen der eingesetzten Erzeugungsanlagen sind in Tabelle 45 aufgeführt.

Tabelle 45: Nennleistungen der im Szenario "Mittlerer Netzausbau" eingesetzten Erzeugungsanlagen

Anlage	Nennleistung
Tiefengeothermie	18,35 MW
Fluss-WP Oranienburger Kanal	4 MW
See-Wärmepumpe	6 MW
Luft-Wärmepumpen	5 MW
Solarthermie	39,7 MW
Power-to-Heat	29,7 MW
Erdbeckenspeicher	12 MW / 13,4 GWh

Szenario „Maximaler Netzausbau“

Die Simulationsergebnisse für das Szenario "Maximaler Netzausbau" ergeben ebenfalls das für dieses Szenario optimierte Anlagenportfolio, mit dem sich unter den gegebenen Randbedingungen die kostengünstigste Wärmeversorgung darstellen lässt. Der Lastverlauf für das Strompreisszenario "Base-Case" mit einem Strompreis von 230 €/MWh ist in Abbildung 95 dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Tiefengeothermie mit ihrer hohen Grundlastfähigkeit auch in diesem Szenario die zentrale Rolle in der Wärmeversorgung übernimmt. Mit einem Anteil von 42,3 % an der gesamten Wärmebereitstellung ist sie die Leittechnologie. Ihre geringen Wärmegegestehungskosten machen sie nach wie vor zur wirtschaftlich attraktivsten Technologie.

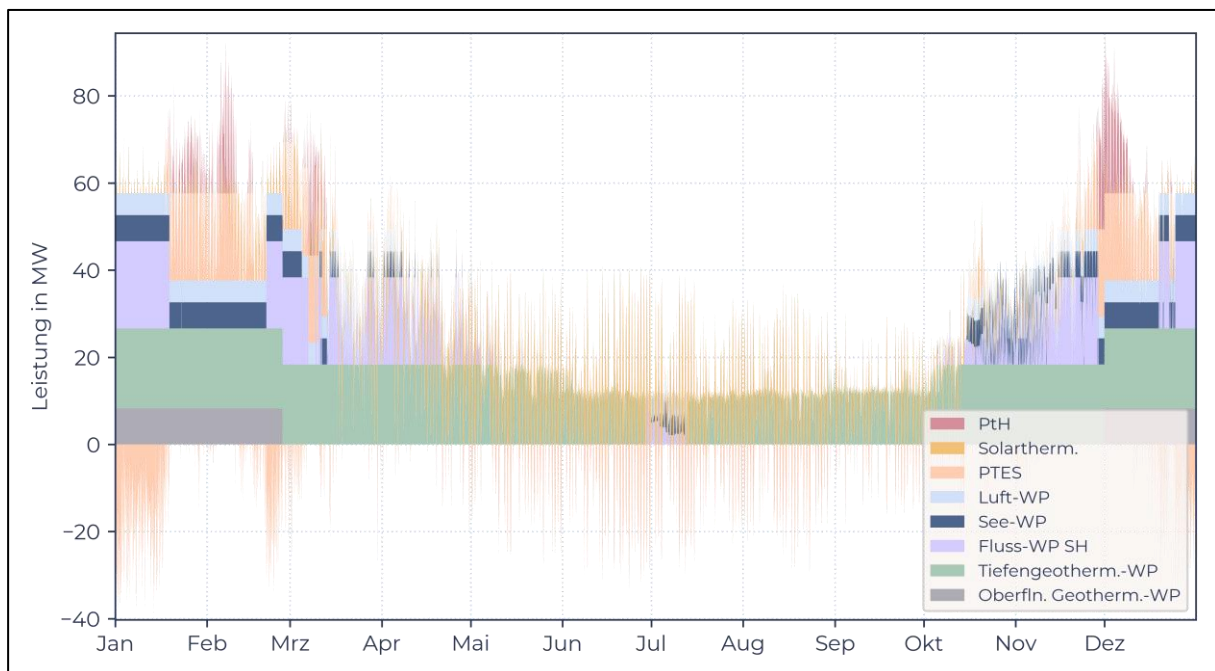


Abbildung 95: Lastverlauf für den maximalen Netzausbau im Strompreisszenario Base-Case

Solarthermie trägt mit 18 % ebenfalls wesentlich zur Wärmeversorgung bei. Durch die Integration eines PTES kann überschüssige Wärme aus den Sommermonaten gespeichert und in den Wintermonaten nutzbar gemacht. Die maximale Entladeleistung des Speichers wurde in diesem Szenario auf 20 MW erhöht, um den hohen Wärmebedarf decken zu können, auch wenn im Winter die Flusswärmepumpe nicht eingesetzt werden kann. Damit entspricht die Speicherauslegung nicht mehr der Vorzugsvariante, da die zugehörige Wärmepumpe größer ist. Die Investitionskosten steigen damit. Während der Heizperiode übernehmen Wärmepumpen – darunter Luft-, See- und Flusswasser-Wärmepumpen – die Mittellast. Besonders hervorzuheben ist die Flusswasser-Wärmepumpe in der Schnellen Havel, die mit einem Anteil von 16,4 % zur Wärmebereitstellung beiträgt. Auch oberflächennahe Geothermie kommt nun zum Einsatz. Mit Power-to-Heat wird Spitzenlasten gedeckt, so dass diese nur 2,9 % der Gesamtwärmeerzeugung ausmacht. Die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung ist in Abbildung 96 dargestellt.

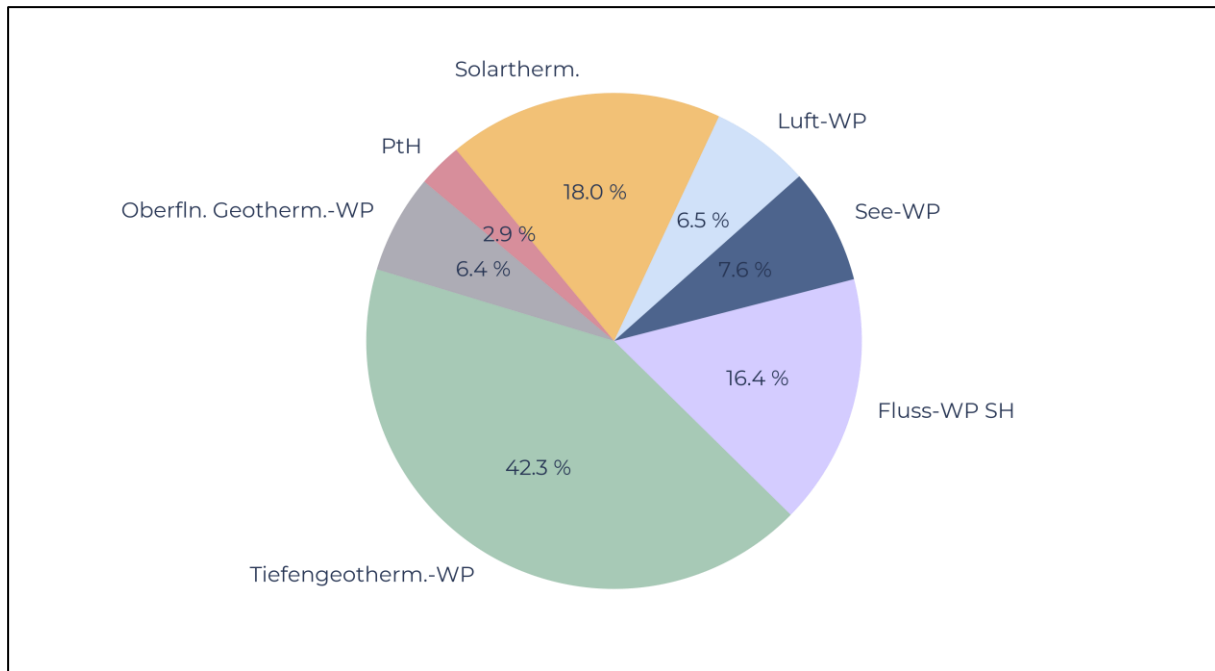


Abbildung 96: Zusammensetzung der Wärmeerzeugung bei maximalem Netzausbau im Strompreisszenario Base Case

Die Optimierung zeigt, dass im Szenario "Maximaler Netzausbau" eine umfangreiche und komplexe Kombination von Technologien erforderlich ist, um die Wärmeversorgung zu gewährleisten. Da auch wirtschaftlich weniger attraktive Potenziale, wie die oberflächennahe Geothermie eingesetzt werden müssen, liegen in diesem Szenario die Wärmegestehungskosten insgesamt höher als im Szenario „Mittlerer Netzausbau“. Die Nennleistungen der eingesetzten Erzeugungsanlagen sind in Tabelle 46 aufgeführt.

Tabelle 46: Nennleistungen der im Szenario "Maximaler Netzausbau" eingesetzten Erzeugungsanlagen

Anlage	Nennleistung
Tiefengeothermie	18,35 MW
Oberflächennahe Geothermie	8,3 MW
Fluss-WP Schnelle Havel	20 MW
See-Wärmepumpe	6 MW
Luft-Wärmepumpen	5 MW
Solarthermie	41,1 MW
Power-to-Heat	36,4 MW
Erdbeckenspeicher	20 MW / 11,0 GWh

5.10.6 Fazit

Der Vergleich der Szenarien "Mittlerer Netzausbau" und "Maximaler Netzausbau" zeigt deutliche Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung. Während beide Szenarien grundsätzlich technisch umsetzbar sind, spricht eine Reihe von Argumenten für die Bevorzugung des Szenarios "Mittlerer Netzausbau".

Das Hauptargument zugunsten des "Mittleren Netzausbaus" sind die geringeren Kosten, die in diesem Szenario zu erwarten sind. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt in der höheren Wirtschaftlichkeit der angeschlossenen Versorgungsgebiete. Im Szenario "Maximaler Netzausbau" werden auch Gebiete mit geringeren Wärmebedarfs- und Wärmeliniedichten an das Fernwärmenetz angeschlossen. Dies führt zu einer erhöhten Netzlänge bezogen auf die abgesetzte Wärmemenge und damit zu höheren Investitions- und Betriebskosten, was die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung in diesen Gebieten deutlich reduziert.

Darüber hinaus müssen im Szenario "Maximaler Netzausbau" zur Deckung des höheren Wärmebedarfs weniger wirtschaftlich attraktive Potenziale genutzt werden. Dies schließt die verstärkte Nutzung von Technologien wie der oberflächennahen Geothermie ein, die zwar technisch machbar ist, aber im Vergleich zur Tiefengeothermie und Solarthermie höhere Wärmegestehungskosten aufweist. Auch die Notwendigkeit eines größeren Saisonspeichers und dessen höherer Entladeleistung erhöht die Gesamtkosten im Szenario "Maximaler Netzausbau".

Im Gegensatz dazu konzentriert sich das Szenario "Mittlerer Netzausbau" auf wirtschaftlich attraktivere Gebiete mit höherer Wärmedichte. Dadurch können kostengünstigere Potenziale wie die Tiefengeothermie und die Solarthermie effizienter genutzt werden, was zu insgesamt niedrigeren Wärmegestehungskosten führt.

Insgesamt zeigt der Vergleich der beiden Szenarien, dass das Szenario "Mittlerer Netzausbau" die kosteneffizientere und wirtschaftlich nachhaltigere Option darstellt. Die Fokussierung auf wirtschaftlich attraktive Potenziale und Versorgungsgebiete ermöglicht eine kostengünstige und zugleich zuverlässige Wärmeversorgung, die langfristig stabilere Bedingungen für die Fernwärmeversorgung bietet. Aus diesen Gründen ist das Szenario "Mittlerer Netzausbau" klar zu favorisieren.

6 Wärmewendestrategie

6.1 Zielszenario bis 2040

Basierend auf den Ergebnissen der unterschiedlichen Fachgutachten wurde das anzustrebende Zielszenario für das Zieljahr 2040 abgeleitet. Das Zielszenario beschreibt, wie die Wärmeversorgung im Zielgebiet unter Berücksichtigung von Klimaneutralität, Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit gestaltet werden soll. Dabei wird das Planungsgebiet räumlich in fünf Kategorien untergliedert, die im Folgenden erläutert werden.

Individualversorgung bzw. dezentrale Versorgung

In Bereichen, die keine oder nur eine geringe Eignung für den Anschluss an ein Fern- oder Nahwärmenetz aufweisen, bietet sich eine dezentrale Versorgung an. Dies ist in der Regel durch die vorherrschende Bebauungsstruktur bedingt. Mögliche Versorgungslösungen umfassen Luft- und Erdwärmepumpen, Pellet- und Hackschnitzelheizungen, Stromdirektheizungen oder Hybridheizungen. Dabei sind die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes GEG zu berücksichtigen. Die optimale Lösung für ein bestimmtes Gebäude ist individuell zu prüfen.

Fernwärme-Bestandsgebiet

Gebiete, in denen bereits ein Fernwärmenetz vorhanden ist und nahezu alle Gebäude angeschlossen sind, gelten als Fernwärme-Bestandsgebiete. Die Erhaltung dieser Infrastruktur ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, weshalb diese Gebiete auch im Zielszenario berücksichtigt werden. Durch eine Erhöhung der Anschlussquote können zusätzliche Wärmeabnehmer mit geringen Infrastrukturkosten integriert werden. Für diese Gebiete wird im Zielszenario eine 100-prozentige Anschlussquote angestrebt.

Fernwärme-Ausbaugebiet

Gebiete mit einer hohen Eignung für den Ausbau von Wärmenetzen, basierend auf qualitativen und quantitativen Indikatoren, werden als Fernwärme-Ausbaugebiete definiert. Bei der Festlegung dieser Gebiete wurden auch potenzielle Einspeisepunkte und Flächen für die Wärmebereitstellung berücksichtigt.

Fernwärme-Prüfgebiet und Gasnetz-Prüfgebiet

In Gebieten, für die aufgrund zukünftiger Entwicklungen derzeit keine abschließende Aussage zur besten Versorgungslösung möglich ist, erfolgt die Einordnung als Prüfgebiet. Gründe hierfür können anstehende Bauprojekte, Umstrukturierungen oder eine notwendige tiefergehende Prüfung der Infrastruktur sein. Die Prüfung erfolgt sowohl in Bezug auf den Anschluss an ein Fernwärmenetz (Fernwärme-Prüfgebiet) als auch hinsichtlich der Versorgung mit grünen Gasen wie Biomethan oder Wasserstoff (Gasnetz-Prüfgebiet).

Gebietseinteilung und Synergien

Die resultierende Gebietseinteilung für das Zieljahr 2040 ist in Abbildung 97 dargestellt. Daran ist gut erkennbar, dass weite Teile des Planungsgebietes im Zieljahr individuell zu versorgen sind. Dies trifft sowohl auf größere Teile der Kernstadt sowie die externen Ortslagen zu. Damit stellt die individuelle / dezentrale Wärmeversorgung einen wesentlichen Teil der Wärme im Jahr 2040 bereit.

In der Kernstadt findet sich im Zielszenario die bereits heute vorhandene Fernwärme (Bestandsgebiet). Darüber hinaus finden sich verschiedene – dem mittleren Netzausbau-Szenario folgend – Fernwärmeausbaugebiete.

Wie in den vorausgegangenen Abschnitten erläutert, sind auch einige Ortsteile für Fernwärme geeignet. Fernwärme kann hier zum Teil die günstigste Versorgungslösung darstellen. Hier hängt es insbesondere vom Anschlusswunsch ab, ob die betreffenden Netze in eine Wirtschaftlichkeit zu überführen sind. Zudem ist zu prüfen, ob in den nächsten Jahren die erforderlichen Kapazitäten vorhanden sind, um hier Fernwärme in die Umsetzung zu bekommen. Aus diesem Grund sind diese Ortsteile als Wärmenetz-Prüfgebiete deklariert.

In bestimmten Industriegebieten könnten lokale Netze für grüne Gase, etwa Wasserstoff, sinnvoll sein, um Prozesswärmebedarfe zu decken. Die verfügbare Datenlage lässt derzeit keine abschließende Bewertung zu, sodass die Eignung zu einem späteren Zeitpunkt im Detail zu prüfen ist. Diese Gebiete sind deshalb als Gasnetz-Prüfgebiet deklariert.

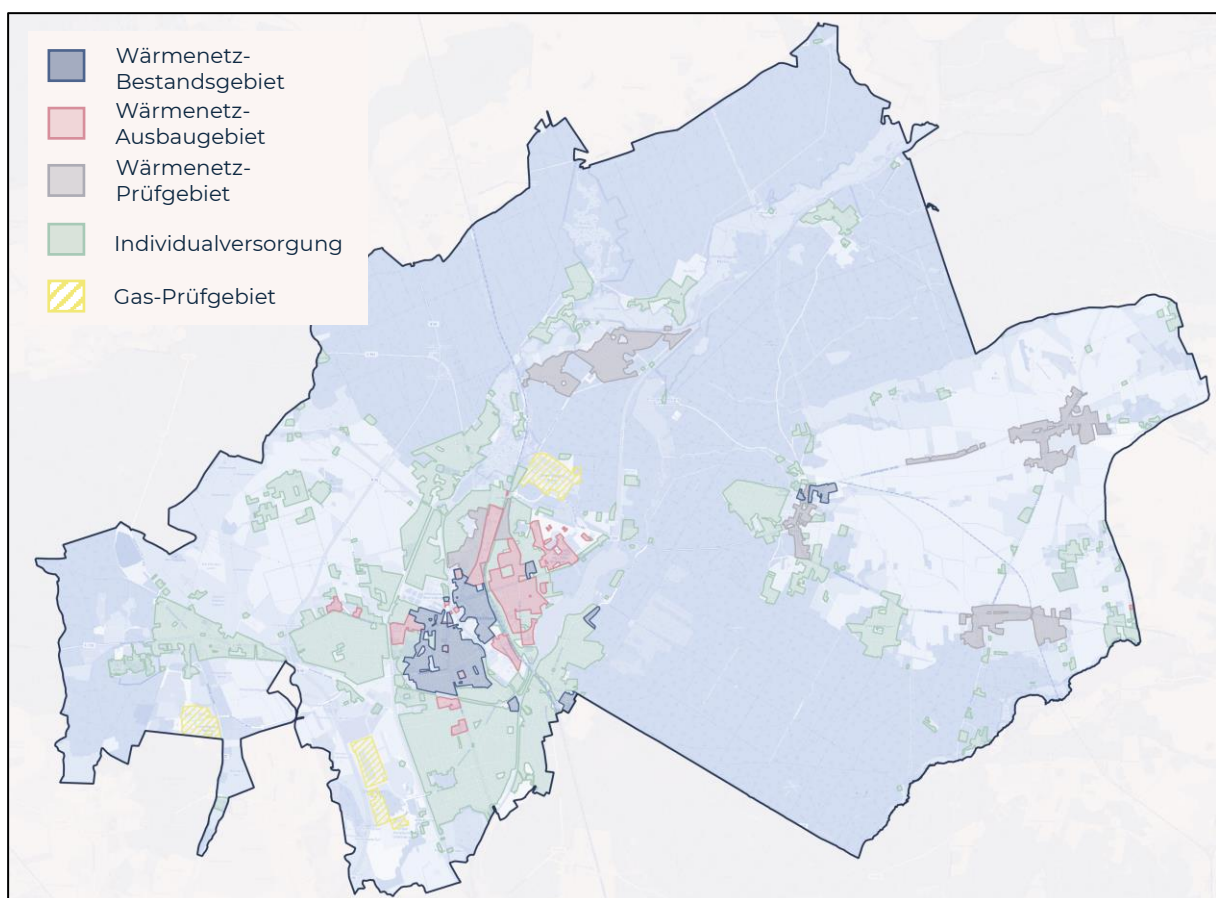


Abbildung 97: Gebietseinteilung im Zielszenario

6.2 Energetische (Stadt-)Sanierung

Im Kapitel 4 Bestandsanalyse ist der Gebäudebestand und energetische Zustand beschrieben. Für die Entwicklung vom Wärmebedarf sind verschiedene Szenarien aufgestellt und untersucht worden. Im Kapitel 5.1.2 sind die Eckpunkte der Szenarien beschrieben. Von den drei untersuchten Szenarien wird für die kommunale Wärmeplanung das Szenario 2 unterstellt, dabei wird der Bevölkerungszuwachs wie bisher fortgeschrieben (Zuwachs 600 Einwohnerinnen und Einwohner pro Jahr) und eine Sanierungsrate von 1 % des Gebäudebestands pro Jahr unterstellt. Für Neubauten sind durchschnittlich 77 m² für Mehrfamilienhäuser mit einem spezifischen Wärmeverbrauch in Höhe von 25 kWh/m²·a und für Einfamilienhäuser 127 m² mit einem spezifischen Wärmeverbrauch in Höhe von 28 kWh/m²·a unterstellt.

Aus diesen und weiteren gewählten Parametern ergibt sich die Reduzierung des Wärmeverbrauchs von 740 GWh/a im Jahr 2023 bis zum Zieljahr 2040 auf 604 GWh/a.

Für Neubauten und Sanierungen können Fördermittel der Bundesförderung für effiziente Gebäude eingebunden werden, siehe Kapitel 6.5.2.

6.3 Sonstige Maßnahmen zur Energieeffizienz

Durch die Stadtwerke Oranienburg wird die Erzeugung von Fernwärme bereits Außentemperaturabhängig gefahren. Mit Sanierung des Gebäudebestands kann die Netztemperatur der Fernwärme Schritt-für-Schritt abgesenkt werden. Die Stadtwerke verfolgen das Ziel, die Fernwärmeversorgung langfristig auf 75 °C abzusenken. Auf dem Temperaturniveau kann die regenerative Wärme effizienter eingebunden werden und es können damit Netzverluste weiter reduziert werden.

Auf der Grundlage der Netzstrategie der Stadtwerke Oranienburg ist eine kontinuierliche Instandsetzung und Verbesserung der bestehenden Fernwärmeleitungen und Hausanschluss-Stationen geplant, diese wird die Leitungsverluste mittel- bis langfristig weiter reduzieren und damit dauerhaft attraktive Fernwärmepreise ermöglichen.

6.4 Wärmenetzausbau

6.4.1 Ausweisung Wärmenetzeignungsgebiete

Auf Grundlage der Ergebnisse des Fachgutachtens "Energiesystemmodell" wird für die zukünftige Fernwärmeversorgung das Szenario "Mittlerer Netzausbau" favorisiert. Dieses Szenario sieht eine Erweiterung des bestehenden Fernwärmenetzes um 22 Kilometer und 1.900 zusätzliche Hausanschlüsse vor, was einem jährlichen Zubau von etwa 1,5 Kilometern entspricht. Der prognostizierte Fernwärmebedarf im Zieljahr beträgt 174 GWh.

Im Fachgutachten "Wärmenetze" wurden auch mögliche dezentrale Netze in den externen Ortslagen untersucht. Diese Untersuchungen flossen in die Definition des Zielszenarios ein. Dennoch gibt es aktuell keine verbindliche Entscheidung zur Umsetzung von Fernwärmenetzen in diesen Ortsteilen. Im Rahmen der weiteren Wärmeplanung muss die konkrete Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Netzerschließung in diesen Gebieten noch detailliert geprüft und bewertet werden.

Eine Möglichkeit für den Ausbau eines Wärmenetzes würde sich insbesondere in Schmachtenhagen sehr positiv darstellen. Hier könnte zusätzliche Abwärme aus der Biogasanlage Schmachtenhagen genutzt werden, um die wärmenetzgebundene Versorgung des Ortsteils weiter auszubauen. Hier ist die Umsetzung bereits sehr wahrscheinlich, jedoch noch nicht abschließend bestätigt. Die Wärmenetzgebiete sind in Abbildung 98 dargestellt.

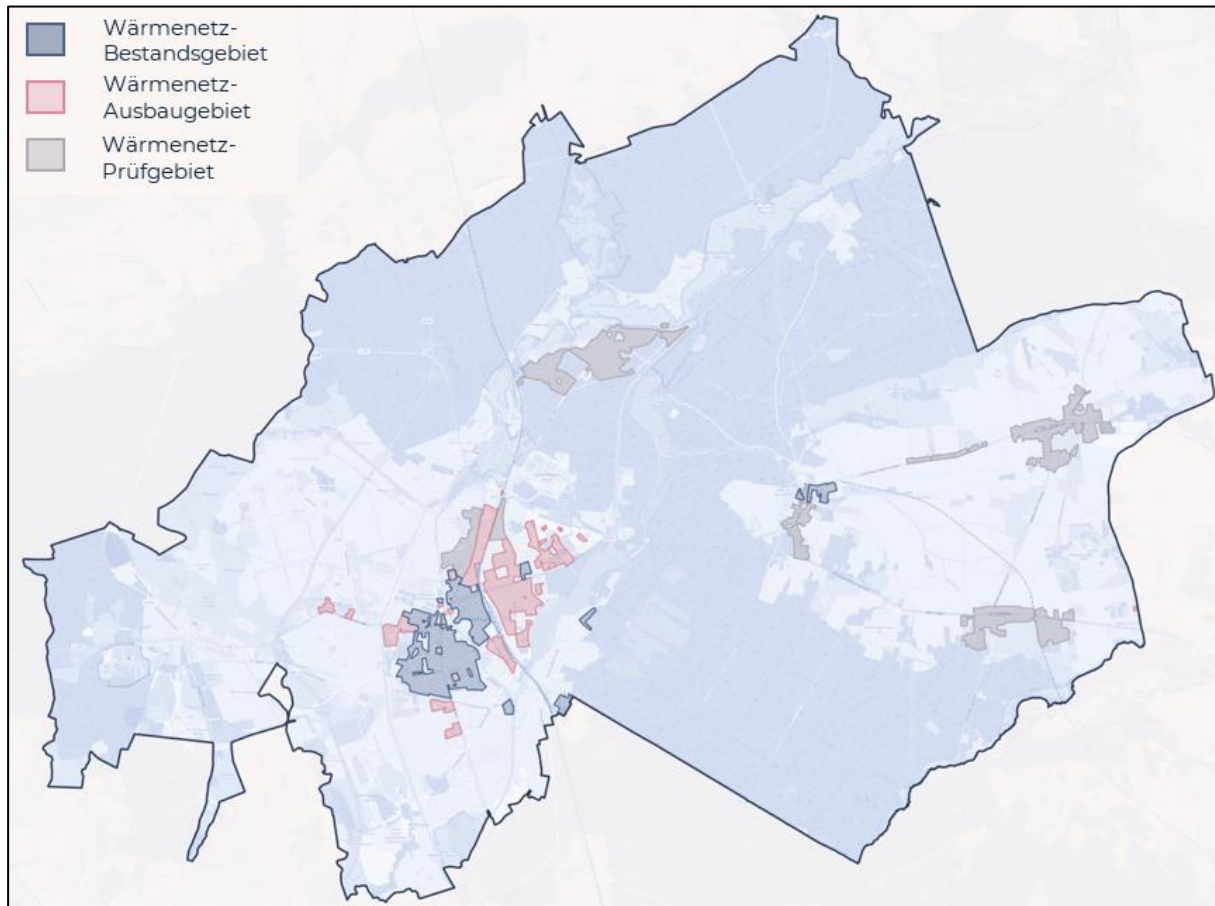


Abbildung 98: Gebietseinteilung zur Wärmenetzzeignung

Der Ausbau des Fernwärmenetzes folgt einem klar definierten Pfad, der in die Zielmarken 2030, 2035 und 2040 unterteilt ist. Der Ausbaupfad wird in Abbildung 99 zeitlich granuliert. Der Ausbau der Fernwärme beginnt zunächst an den Rändern des bestehenden Versorgungsgebietes. Bis 2030 liegt der Fokus auf den Bereichen Kremmener Straße, Lehnitzstraße und Liebigstraße. Diese Gebiete werden prioritär an das Fernwärmenetz angeschlossen, da sie eine hohe Wärmedichte und eine gute Anbindung an das bestehende Netz aufweisen. Dies ermöglicht eine schnelle wirtschaftliche Erschließung. Bis 2035 wird der Ausbau entlang der Berliner Straße und der Germendorfer Allee fortgesetzt. Zusätzlich werden in diesem Zeitraum erste Gebiete nördlich und südlich der Bernauer Straße erschlossen. In der letzten Ausbaustufe bis 2040 werden schließlich die verbleibenden Gebiete im Osten an das Fernwärmenetz angeschlossen. Dieser umfassende Ausbau schließt die noch offenen Versorgungslücken und stellt sicher, dass alle potenziell geeigneten Gebiete in das Fernwärmesystem integriert werden.

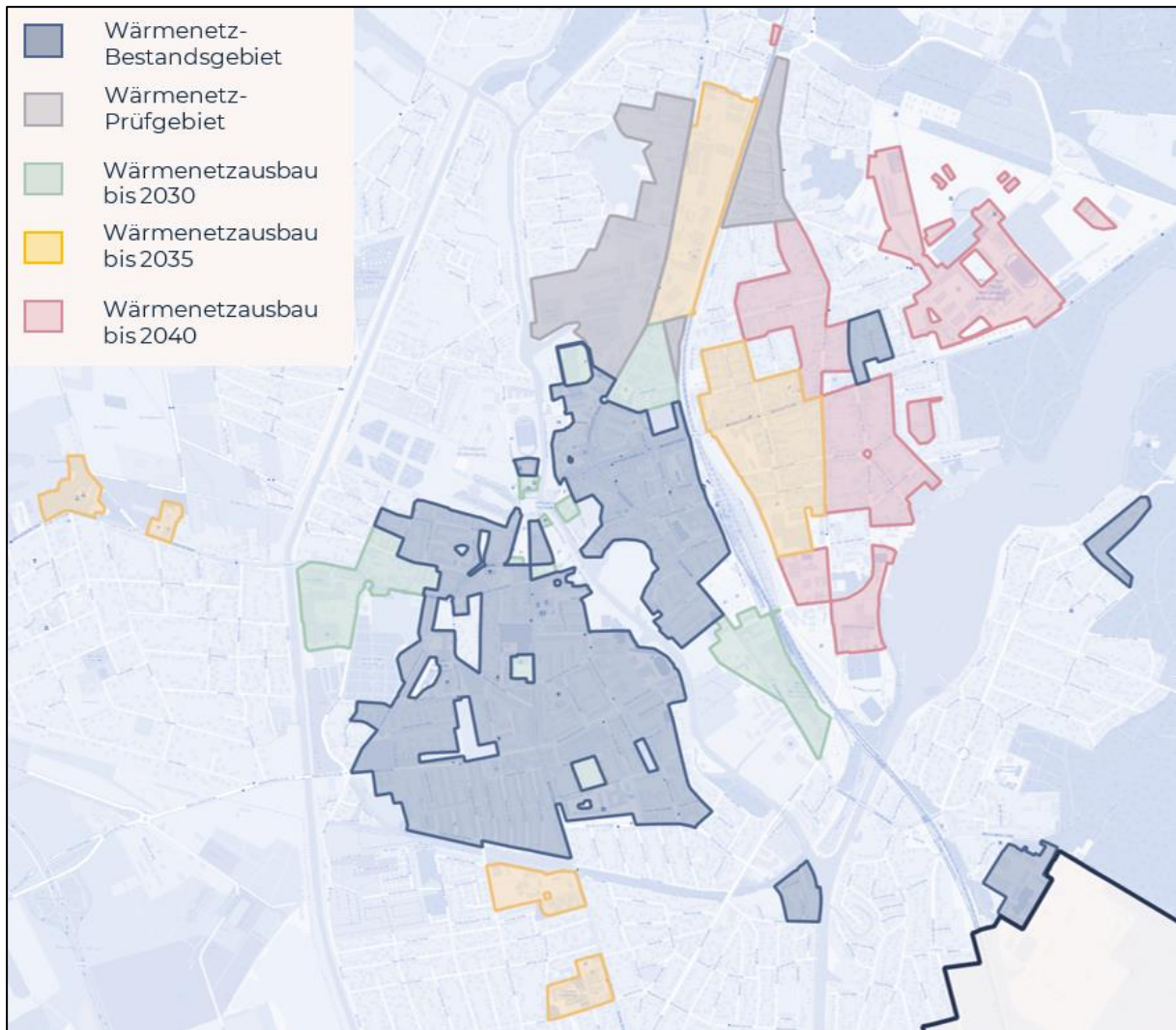


Abbildung 99: Ausbaupfad für das Fernwärmenetz

6.4.2 Gebiete für Ausbau Wasserstoffnetz

Durch das geplante Wasserstoff-Kernnetz hätte Oranienburg in räumlicher Nähe Zugang zu großen Wasserstoffmengen.

Im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung ist weder eine Umstellung der Gasnetze auf Wasserstoff noch die Entwicklung neuer Wasserstoffnetze geplant.

In Abbildung 97 sind Gasnetz-Eignungsgebiete ausgewiesen, dies sind mögliche Wasserstoffnetze für Industrieunternehmen in den Gewerbegebieten.

Von den Stadtwerken Oranienburg sind BHKWs bereits H₂-ready geplant. Für das Heizhaus Kaserne Lehnitz ist die Umstellung eines BHKW auf Wasserstoff geplant. Weitere Projekte zur Wärmeerzeugung mit Wasserstoff sind auf Liegenschafts- oder Quartiersebene denkbar, dies muss im Einzelfall bewertet werden.

6.4.3 Eignungsgebiete dezentrale Versorgungslösung

Die Identifikation von Eignungsgebieten für dezentrale Versorgungslösungen ergibt sich aus den Ergebnissen des Fachgutachtens Dezentrale Versorgung. Darin wurde eine detaillierte Eignungsprüfung für den Einsatz von Luft- und Erdwärmepumpen vorgenommen, die als zukünftige Schlüsseltechnologien der dezentralen Versorgungslösungen betrachtet werden.

In den Gebieten, die dezentral versorgt werden sollen, wird zukünftig dennoch ein vielfältiger Technologiemarkt erwartet. Dieser umfasst neben Wärmepumpen auch Biomasseheizungen, wie beispielsweise Pellet- oder Hackschnitzelheizungen sowie Stromdirektheizungen. Jede dieser Technologien bringt spezifische Vorteile mit sich, weshalb die Wahl der optimalen Heizlösung individuell für jedes Gebäude geprüft werden sollte.

Im Rahmen der Analyse wird prognostiziert, dass Wärmepumpentechnologien aufgrund der Wirtschaftlichkeit den größten Anteil am zukünftigen Technologiemarkt einnehmen werden. Ein weiterer Teil der Wärmebereitstellung wird – abhängig vom regionalen Potenzial – aus Biomasse erfolgen. Stromdirektheizungen hingegen werden aufgrund der voraussichtlich hohen Betriebskosten nur eine untergeordnete Rolle spielen. Um die Notwendigkeit einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung zu bewerten, werden die Versorgungslücken untersucht, die durch dezentrale Heizungssysteme nicht abgedeckt werden können. Zu diesem Zweck werden die Ergebnisse zur Leistungsfähigkeit von Luft- und Erdwärmepumpen überlagert und analysiert. Diese Analyse bildet die Grundlage für eine räumliche Einteilung des Planungsgebiets, wobei die Eignung dezentraler oder zentraler Versorgungslösungen berücksichtigt wird. Die Ergebnisse dieser Einteilung sind in Abbildung 100 dargestellt.

Die Analyse des Versorgungspotenzials zeigt, dass eine dezentrale Versorgung in zentralen Bereichen, insbesondere in der Kernstadt, zu Versorgungslücken führt. Da hier aufgrund der Siedlungsstruktur und der damit korrelierenden Wärmebedarfe keine flächendeckende Versorgung durch dezentrale Systeme möglich ist, wird eine netzgebundene Wärmeversorgung empfohlen.

In den externen Ortsteilen hingegen erweist sich eine dezentrale Versorgung als geeignet, wodurch dort keine technische Notwendigkeit für ein Wärmenetz besteht. Allerdings stellen sich Wärmenetze hier zum Teil als wirtschaftlichste Versorgungslösungen dar, sofern ein hohes Anschlussbegehren besteht.

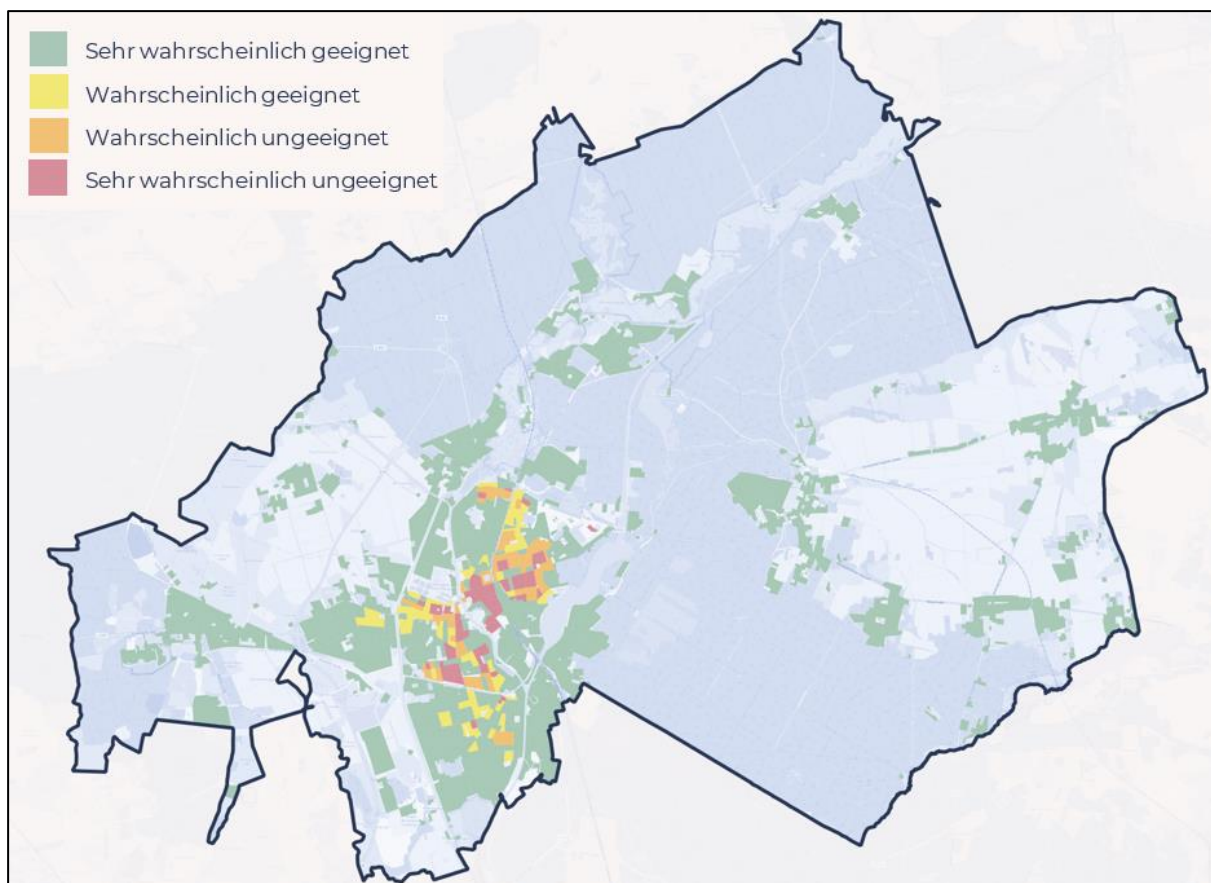


Abbildung 100: Einteilung der Eignungsgebiete für dezentrale Versorgung

6.5 Fördermittel

6.5.1 Bundesförderung effiziente Wärmenetze (BEW)

Das Förderprogramm Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) fördert die Transformation bestehender Wärmenetze zu Systemen auf Basis von erneuerbaren Energien. Es ist derzeit das wichtigste Förderinstrument für die Transformation von Fernwärmenetzen oder die Entwicklung neuer Wärmenetze in Deutschland.

Im Rahmen von Modul 1 werden Transformationspläne für Fernwärmeversorgung und Machbarkeitsstudien für Netze mit mehr als 16 Gebäuden oder 100 Wohneinheiten mit bis zu 50 % der Kosten und maximal 2 Millionen Euro unterstützt.

Die Umsetzung der geplanten Maßnahmen wird in den Modulen 2 und 3 mit bis zu 40 % der Kosten und maximal 100 Millionen Euro gefördert. Gemäß BEW-Förderrichtlinie werden Geothermie, Solarthermie, Wärmepumpen, Biomassekessel, Großwärmespeicher, Wärmeleitungen und Wärmeübergabestationen gefördert.

Das Modul 4 bietet darüber hinaus Betriebskostenförderungen für die Erzeugungsanlagen.

Über die KfW-Bankengruppe soll zeitnah ein Darlehensprogramm für Geothermie angeboten werden. Dieses bietet zinsgünstige Darlehen für bis zu 80 % der förderfähigen Kosten. Außerdem soll in Kooperation mit der Münchener Rück eine Absicherung des Fündigkeitsrisikos angeboten werden.

6.5.2 Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)

Die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ermöglicht eine finanzielle Unterstützung bei den Investitionskosten für energetische Sanierungen an Bestandsgebäuden. Es gibt die Möglichkeit zur Förderung von Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle, der Anlagentechnik außer Heizung und der Heizungsoptimierung durch einen Zuschuss. Die Erneuerung des Wärmeerzeugers kann durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) mit einem Zuschuss gefördert werden. Die Sanierung zum Effizienzhaus kann durch einen zinsgünstigen Kredit mit Tilgungszuschuss ebenso (durch die KfW) gefördert werden.

BEG-Einzelmaßnahmen (Wohn- und Nichtwohngebäude)

Bei der Förderung von Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle werden Sanierungen gefördert, die zu einer Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudes beitragen. Diese können sein:

- Dämmung der Gebäudehülle, wie bspw. Außenwände, Geschossdecken, Dach- oder Bodenflächen
- Erneuerung oder Ersatz von Fenstern, Außentüren oder Außentoren
- Sommerlicher Wärmeschutz durch Ersatz oder Einbau von außenliegenden Sonnenschutzeinrichtungen mit optimierter Tageslichtversorgung

Damit eine Maßnahme für eine Förderung qualifiziert ist, müssen die von der BEG EM vorgegebenen U-Werte der betreffenden Bauteile eingehalten werden. Aktuelle Details zum förderfähigen Mindestinvestitionsvolumen und zu Fördersätzen sind auf den Seiten des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zu finden.

Darüber hinaus können Maßnahmen an der Anlagen- und Heiztechnik wie der Einbau von Anlagen zur Wärmeerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien gefördert werden.

Zu den förderfähigen Maßnahmen bei einer Heizungsoptimierung zählen u.a.:

- Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage
- Austausch von Heizungspumpen, Anpassung der Vorlauftemperatur und Pumpenleistung
- Dämmung von Rohrleitungen
- Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

Zusätzlich zur Heizung ist im Rahmen der BEG auch weitere Anlagentechnik förderfähig:

- Einbau, Austausch oder Optimierung von raumluftechnischen Anlagen mit Wärme-/Kälterückgewinnung
- Kältetechnik zur Raumkühlung
- Einbau energieeffizienter Innenbeleuchtungssysteme

Die nachfolgende Tabelle 47 gibt einen Überblick zu den Förderquoten für BEG-Einzelmaßnahmen.

Tabelle 47: Übersicht BEG-Förderquoten Einzelmaßnahmen

Förderbestand	Zuschuss	Effizienzbonus
Gebäudehülle	15 %	
Anlagentechnik	15 %	
Solarthermische Anlagen	30 %	5 %**
Biomasseheizungen*		
Wärmepumpen		
Brennstoffzellenheizung		
Wasserstofffähige Heizung (Investitionsmehrausgaben)		
Innovative Heizungstechnik		
Errichtung, Umbau, Erweiterung Gebäudenetz		
Gebäudenetzanschluss	15 %	
Wärmenetzanschluss		
Heizungsoptimierung zur Effizienzverbesserung	15 %	
Heizungsoptimierung zur Emissionsminderung	50 %	

* bei Einhaltung eines Emissionsgrenzwerts für Staub von 2,5 mg/m³ wird für mit fester Biomasse betriebene Anlagen ein pauschaler Zuschlag von 2.500 € gewährt. ** zusätzlich wird ein Bonus für Wärmepumpen von 5 % gewährt, wenn als Wärmequelle Wasser, Erdreich oder Abwasser erschlossen oder ein natürliches Kältemittel eingesetzt wird

Systemische Förderung BEG-Nichtwohngebäude (NWG)

Über die BEG NWG wird die Sanierung von Nichtwohngebäuden zu einem Effizienzgebäude, sowie der Ersterwerb nach Sanierung gefördert. Seit 2023 erfolgt die Förderung als ein zinsverbilligter Förderkredit mit einem Tilgungszuschuss. Die Höhe des Tilgungszuschusses hängt vom erreichten Standard ab. Tabelle 48 enthält eine Darstellung der Förderquoten nach BEG für Nichtwohngebäude.

Tabelle 48: Förderquoten BEG-Effizienzgebäudeklassen Nichtwohngebäude

Nichtwohn- gebäude	Standard		Klasse		Boni
	Tilgungs- zuschuss	Zuschuss (nur Kommunen)	Erneuerbare Energien	Nachhaltigkeit	WPB
EG Denkmal	5 %	20 %	5 %	5 %	
EG 70	10 %	25 %	5 %	5 %	10 % (nur EE- Klasse)
EG 55	15 %	30 %	5 %	5 %	10 %
EG 40	20 %	35 %	5 %	5 %	10 %

WPB: Worst Performing Buildings

Die Gebäude müssen nach der Sanierung die technischen Mindestanforderungen der BEG erreichen, einschließlich der Vorgaben zum sommerlichen Wärmeschutz. Der Nachweis zur Einhaltung erfolgt über eine energetische Gebäudeberechnung nach DIN V 18599 und DIN 4108-2 zum sommerlichen Wärmeschutz.

Grundlegend darf mit dem Sanierungsvorhaben erst nach der Antragsstellung begonnen werden. Eine Förderung der Sanierung wird nur bei Gebäuden gewährt, die mindestens fünf Jahre alt sind bzw. der Bauantrag oder die Bauanzeige fünf Jahre zurückliegt. Gefördert werden die Investitionskosten für alle notwendigen Baumaßnahmen zur Erreichung der Effizienzklasse sowie die Planung und Baubegleitung durch Energie-Effizienzexpertinnen und -experten und ggf. die Nachhaltigkeitszertifizierung.

Die Höchstgrenze der Kosten für Baumaßnahmen bei Nichtwohngebäuden wird durch die BEG auf 2.000 €/m² Nettogrundfläche und maximal 10 Millionen Euro pro Vorhaben begrenzt.

Die Kosten für Fachplanung und Baubegleitung der Maßnahmen können zusätzlich gefördert werden. Die förderfähigen Ausgaben sind auf 10 €/m² und maximal 40.000 Euro pro Vorhaben gedeckelt.

Systemische Förderung BEG-Wohngebäude (WG)

Die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) unterstützt die energetische Sanierung von Wohngebäuden durch zinsgünstige Kredite mit Tilgungszuschüssen. Die Höhe der Tilgungszuschüsse richtet sich nach dem erreichten Effizienzhaus-Standard und beträgt (Prozent der förderfähigen Investitionskosten):

- **Effizienzhaus 85:** 5 %
- **Effizienzhaus 70:** 10 %
- **Effizienzhaus 55:** 15 %
- **Effizienzhaus 40:** 20 %
- **Effizienzhaus Denkmal:** 5 %

Zusätzlich können Boni gewährt werden:

- **Erneuerbare Energien (EE)- oder Nachhaltigkeit (NH)-Klasse:** Erhöhung des jeweiligen Zuschusses um 5 % bei Nutzung erneuerbarer Energien oder Nachhaltigkeits-zertifizierung
- **Worst Performing Buildings (WPB):** Bonus von 10 % für die Sanierung besonders ineffizienter Gebäude
- **Serielle Sanierung (SerSan):** Bonus von 15 % für vorgefertigte Sanierungselemente; kumulierbar mit WPB-Bonus, insgesamt bis zu 20 % zusätzlich

Die förderfähigen Kosten sind begrenzt auf:

- **Pro Wohneinheit:** bis zu 120.000 €
- **Mit EE- oder NH-Klasse:** bis zu 150.000 € pro Wohneinheit

Für die energetische Fachplanung und Baubegleitung werden 50 % der Kosten gefördert. Für die energetische Fachplanung und Baubegleitung gelten folgende Höchstbeträge:

- **Ein- und Zweifamilienhäuser:** bis zu 10.000 € pro Vorhaben
- **Mehrfamilienhäuser (ab 3 WE):** maximal 4.000 € pro Wohneinheit, insgesamt bis zu 40.000 € pro Vorhaben

Dabei ist zu beachten, dass die Förderung unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel steht und kein Rechtsanspruch besteht.

Kombination von Einzelmaßnahmen (BEG EM) mit der Sanierung zum Effizienzhaus/-gebäude (BEG WG/BEG NWG)

Eine parallele Beantragung einer Förderung nach BEG EM und BEG WG/BEG NWG ist möglich. Dies gilt auch für aufeinanderfolgende Vorhaben, für welche ein Antrag bereits in 2023 gestellt wurde. Wichtig ist, dass die Kosten einer über die BEG EM geförderten Maßnahme (z. B. Heizungsaustausch) nicht erneut im Rahmen der BEG WG/BEG NWG als förderfähige Kosten geltend gemacht werden. Zudem können die Vorteile für eine Effizienzhaus EE-Klasse in der BEG WG oder BEG NWG (Erhöhung der förderfähigen Kosten und der Förderquote) nicht mehr geltend gemacht werden, wenn der Einbau einer EE-Heizung bereits über die BEG EM gefördert wird/ wurde.

Landesfördermittel

Neben den Bundesfördermitteln bietet das Bundesland verschiedene Förderprogramme, die für die Umsetzung eingebunden werden können. Die Investitionsbank des Landes Brandenburg hat in der Vergangenheit z. B. über RENplus Fördermittel angeboten.

Ob diese oder andere Landesfördermittel wieder angeboten werden und ob diese für die Umsetzung der Wärmeplanung in Oranienburg in Frage kommen, muss im Rahmen der Umsetzung regelmäßig neu betrachtet werden.

7 Controlling

Das Controlling der kommunalen Wärmeplanung dient der Überwachung und Steuerung der Planungs- und Umsetzungsprozesse sowie der Sicherstellung der Zielerreichung. Es ist ein wesentliches Instrument, um Transparenz zu schaffen, Risiken zu minimieren und Effizienz sowie Effektivität zu gewährleisten.

Zentrales Instrument bilden die Steckbriefe zu den empfohlenen Maßnahmen aus der kommunalen Wärmeplanung. Diese bieten eine übersichtliche Dokumentation der Maßnahme sowie der jeweils notwendigen Handlungsschritte, Zuständigkeiten, Termine, Investitionen, Fördermittel und weitere Kennzahlen.

Sogenannte KPIs (Key Performance Indicators) ermöglichen eine quantitative Bewertung des Fortschritts der Wärmewende. Für die kommunale Wärmeplanung der Stadt Oranienburg könnten dies z. B. die folgenden sein:

Ökologische KPIs:

- Reduktion des jährlichen Wärmeverbrauchs (MWh/ a)
- Reduktion der CO₂-Emissionen der gesamtstädtischen Wärmeerzeugung (t CO₂/ Jahr)
- Reduktion der CO₂-Emissionen der Fernwärme (t CO₂/ Jahr)
- Anschlussgrad Fernwärme (Anzahl Hausanschlüsse oder %)
- Anteil erneuerbarer Energien der gesamtstädtischen Wärmebereitstellung (%)
- Anteil erneuerbarer Energien Fernwärme (%)

Ökonomische KPIs:

- Investitionskosten (€)
- Fördermittelquote (€ Investitionskosten / € Fördermittel)
- Kosten je eingesparter Tonne (€/ t CO₂)
- Betriebskosten der Maßnahmen (€)

Technische KPIs:

- Wärmeverluste der Wärmenetze (%)
- Verfügbarkeit der Erzeugungsanlagen
- Vorlauftemperatur der Fernwärme (°C)
- Effizienz der Großwärmespeicher (z.B. GWh/ a gespeicherte Wärmengen)
- Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen

Zusätzlich muss durch die Stadt ein operatives Controlling erfolgen, welches folgende Schwerpunkte beinhaltet:

Projektcontrolling:

- Steuerung der Maßnahmen aus der kommunalen Wärmeplanung
- Überwachung von Terminen und Investitionskosten der Maßnahmen
- Überprüfung der Leistung der kommunalen Gesellschaften und externer Dienstleister

Maßnahmencontrolling:

- Bewertung, ob umgesetzte Maßnahmen die gewünschte Wirkung entfalten

Abweichungsanalyse:

- Identifikation und Analyse von Abweichungen zwischen Plan- und Ist-Werten
- Entwicklung und Umsetzung von Gegenmaßnahmen
- Berücksichtigung der Abweichungen und Gegenmaßnahmen im Rahmen der Fortschreibung der Wärmeplanung

Finanzcontrolling:

- **Budgetüberwachung:**
 - Bereitstellung der erforderlichen Haushaltsmittel bzw. Finanzierung für die Maßnahmen
- **Fördermittelmanagement:**
 - Identifizierung und Bewertung geeigneter Fördermittel
 - Beantragung und Abwicklung der Fördermittel
- **Wirtschaftlichkeitsanalysen:**
 - Bewertung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen z. B. über die Wärmegestehungskosten, Amortisationszeit, Return on Investment oder andere Verfahren

Risikomanagement:

- **Identifikation von Risiken:**
 - Technische Risiken
 - Wirtschaftliche Risiken
 - Organisatorische Risiken
 - Politische und regulatorische Risiken
- **Risikobewertung und Maßnahmen:**
 - Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensauswirkungen
 - Prüfung alternativer Handlungsoptionen
 - Entwicklung von Strategien zur Risikominderung
 - Absicherung von Risiken, soweit dies wirtschaftlich sinnvoll ist

Die Wärmewende ist ein iterativer Prozess, der regelmäßig evaluiert und daraufhin kontinuierlich angepasst werden muss. Dies muss weiterhin in enger Zusammenarbeit der Stadt, Stadtwerke, Wohnungswirtschaft und weiteren Beteiligten über die Lenkungsgruppe sowie den Klimabeirat erfolgen.

Ein effizientes Controlling der Wärmeplanung stellt sicher, dass die angestrebten ökologischen, wirtschaftlichen und technischen Ziele erreicht werden. Durch die Integration von Monitoring, Analyse und Anpassungsprozessen wird eine flexible und nachhaltige Umsetzung gewährleistet.

Überarbeitung der Kommunalen Wärmeplanung

Ein 5-Jahres-Rhythmus wird allgemein als sinnvoll erachtet, um auf technologische Entwicklungen, Veränderungen der Klimaziele und Marktbedingungen reagieren zu können.

In diesem Zusammenhang wird empfohlen die Überarbeitung an politische Zieljahre (z. B. 2030, 2040, 2045) zu binden.

Außerhalb des regulären Überarbeitungsrhythmus sollte eine Anpassung vorgenommen werden, wenn sich wesentliche Rahmenbedingungen ändern, z. B.:

- Neue gesetzliche Anforderungen
- Änderungen bei der Energieinfrastruktur (z. B. Stilllegung eines Kraftwerks, Inbetriebnahme von EE-Anlagen)
- Deutliche Änderungen im Energieverbrauch (z. B. durch Ansiedlung großer Industrieanlagen oder außerplanmäßigem Bevölkerungswachstum)

Kleinere Anpassungen oder Fortschreibungen der Datenbasis können jährlich oder zweijährlich erfolgen. Diese ergeben sich unter anderem auch durch das regelmäßige Controlling des Arbeitsstandes.

8 Verstetigungsstrategie

Mit der kommunalen Wärmeplanung liegt ein Handlungsfahrplan der Stadt Oranienburg zum Umbau der Wärmeversorgung auf Klimaneutralität vor.

Durch bisherige Klimaschutzaktivitäten der Stadt sind bereits die erforderlichen organisatorischen Voraussetzungen (u. a. Personalstellen) für die Verstetigungsstrategie der Wärmeplanung etabliert. Die planungsverantwortliche Stelle ist das Sachgebiet Klimaschutz im Dezernat für Stadtentwicklung. Durch das Klimaschutzmanagement der Stadt wird die Wärmeplanung in die Umsetzung begleitet.

Für die Erarbeitung der kommunalen Wärmeplanung haben Politik und Verwaltung der Stadt Oranienburg, die Stadtwerke, die Wohnungswirtschaft und weitere Beteiligte über den Projektlenkungsreis sehr eng zusammengearbeitet. Um die Umsetzung gemeinsam voranzutreiben, soll der Projektlenkungsreis weiter aktiv sein und z. B. im 6-monatigen Turnus Tagen. Der Lenkungsreis steuert und überwacht die Umsetzung der Maßnahmen der kommunalen Wärmeplanung.

Zur Einbindung weiterer Akteurinnen und Akteure ist der Klimabeirat aktiv. Auch dieser soll für die Umsetzung der Wärmeplanung eng eingebunden werden, um eine aktive Beteiligung zu ermöglichen und die Wärmeplanung im Konsens sämtlicher Beteiligten und Bürgerinnen und Bürger voranzutreiben.

9 Ausblick und Umsetzungsfahrplan

Die Stadt Oranienburg hat bereits frühzeitig wegweisende Beschlüsse auf dem Weg zur Klimaneutralität gefasst. Mit der kommunalen Wärmeplanung wird nun auch der Fahrplan für die Wärmewende der Stadt vorgelegt.

Durch eine enge Zusammenarbeit der Stadt, Stadtwerke, Wohnungswirtschaft und weiteren Beteiligten sind die Maßnahmen bereits im Konsens aufgestellt. Maßnahmen der Wärmeplanung, das Kommunikationskonzept und die aufgezeigten Fördermittel sind aufeinander abgestimmt und damit eine klare Strategie zur klimaneutralen Wärmeversorgung Oranienburgs bis 2040.

Die nachfolgenden Handlungsschritte sind kurzfristig durch die Stadt Oranienburg und Stadtwerke Oranienburg zu realisieren, um damit die Grundlage für die Wärmewende zu gestalten:

1. Beschlussfassung der Kommunalen Wärmeplanung inkl. der darin enthaltenen Maßnahmen
 - Damit verpflichten sich die Stadt Oranienburg und ihre kommunalen Gesellschaften zur Umsetzung der erarbeiteten Maßnahmen, um das Ziel einer „klimaneutralen Wärmeversorgung“ bis zum Jahr 2040 zu erreichen. Die Koordination und Führung dieses Prozesses ist eine zentrale Aufgabe der Stadt.
2. Veröffentlichung der kommunalen Wärmeplanung inkl. Fernwärmenetzausbau
 - Zur Schaffung von Planungssicherheit für Bürgerinnen und Bürger und Unternehmen werden Karten zum geplanten Ausbau der Fernwärme veröffentlicht. Diese sollen über die Webseite der Stadt Oranienburg und Stadtwerke Oranienburg einsehbar sein. Alle Bürgerinnen und Bürger sollen damit die Möglichkeit haben sich zu informieren, ob und wann sein Haus an die Fernwärme angeschlossen werden kann.
3. Transformationsplan der Stadtwerke Oranienburg
 - Die kommunale Wärmeplanung wurde in einer gemeinsamen Projektstruktur mit den Stadtwerken Oranienburg erarbeitet. Parallel zur kommunalen Wärmeplanung stellen die Stadtwerke einen Transformationsplan für die Fernwärmeversorgung auf.
4. Flächensicherung
 - Auf dem Stadtgebiet verfügbare Freiflächen müssen als potenzielle Standorte für EE-Erzeugungsanlagen oder Speichertechnologien gesichert werden. Diese sind im Flächennutzungsplan der Stadt auszuweisen. Eigentumsverhältnisse der Freiflächen sind zu klären und bestenfalls in städtische Hand zu überführen. Es ist zu beachten, dass auch der Ausbau der klimaneutralen Stromerzeugung eine grundlegende Voraussetzung für die Realisierbarkeit der klimaneutralen Wärmewende ist.
5. Fördermittelanträge
 - Zur Umsetzung der Maßnahmen werden die Stadtwerke Oranienburg Fördermittel der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze beantragen.

- Für die Gebäudesanierung werden die Stadt und kommunalen Gesellschaften BEG-Fördermittel und weitere Fördermittel einbinden.
- Sobald die KfW-Bankengruppe Darlehen für mitteltiefe Geothermie inkl. Absicherung des Fündigkeitsrisikos vergibt, werden die Stadtwerke einen Kreditantrag stellen und in Kombination mit den BEW-Fördermitteln die Maßnahmen umsetzen.

6. Kommunikation

- Die bestehenden Strukturen des Projektleitungskreises und Klimabeirats sind fortzuführen. Darüber hinaus sind weitere Informations- und Kommunikationskampagnen sinnvoll, um über die Wärmewende in Oranienburg zu berichten.

Die zentrale Herausforderung ist es die im Zielszenario favorisierten erneuerbaren Energien für eine klimaneutrale Wärmenutzung zu erschließen. Hierfür ist eine umfassende Flächensicherung unumgänglich. Während bei dezentraler Gebäudeversorgung notwendige Flächen (z. B. zur Erschließung von oberflächennaher Geothermie) meist auf dem Grundstück verfügbar sind, wird im verdichteten Stadtgebiet auf Wärmenetze gesetzt. Vor diesem Hintergrund müssen die Herausforderungen des Wärmenetzausbaus ebenfalls gemeistert werden.

Neben der Dekarbonisierung des Erzeugerarks ist die Erhöhung der Gebäudeenergieeffizienz durch eine Steigerung von Sanierungsraten und -tiefen (Entwicklungsszenario 2) erforderlich, um die Klimaneutralitätsziele zu erreichen. Die Stadt Oranienburg kann Vorhaben im Neubaubereich mit zielorientierter Bauleitplanung steuern. Im Gebäudebestand gilt es jedoch, für kommunale Liegenschaften und Akteurinnen und Akteure mit größeren Gebäudebeständen (Wohnungsunternehmen) Sanierungsfahrpläne zu erarbeiten und diese gezielt umzusetzen.

Die Kommune übernimmt eine zentrale Rolle bei der Initiierung, Organisation und Koordination des Prozesses zur Wärmewende. Dieser erfordert die Zusammenarbeit mit einer Vielzahl unterschiedlicher Akteurinnen und Akteure, darunter Unternehmen, Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer, Verbände sowie Vertreter aus Verwaltung und Politik. Dabei hat die Stadt eine Vorbildfunktion, die vorausschauend und verantwortungsvoll wahrgenommen werden muss.

Für Grundstücke außerhalb der Fernwärmeeignung muss jede Eigentümerin und jeder Eigentümer gemäß den gesetzlichen Vorgaben die Wärmeversorgung selbst auf regenerative Energien umstellen. Das Gebäudeenergiegesetz gibt hierfür Vorgaben. Für die Prüfung der energetischen Sanierungspotentiale und Bewertung alternativer Heizungskonzepte stehen die Verbraucherzentrale und Energieberaterinnen und Berater als Ansprechpersonen zur Verfügung.

Die Wärmewende betrifft alle Bürgerinnen und Bürger der Stadt Oranienburg. Neben dem Erreichen der Klimaschutzziele schafft sie Entwicklungspotenziale für lokale und regionale Unternehmen durch die Schaffung neuer Arbeitsplätze, die Förderung von Innovationen und die Stärkung der regionalen Wertschöpfung.

Durch die Umsetzung der Wärmewende wird die Stadt Oranienburg noch zukunftsorientierter, nachhaltiger und lebenswerter.

10 Literaturverzeichnis

- Aalborg CSP . (kein Datum). 1, 2 MW Wärmepumpenanlage für Saltum Fjernvarme (DK). Abgerufen am 23.. Oktober 2024 von <https://www.aalborgcsp.de/projekte/fernwaerme/12-mw-waermepumpenanlage-fuer-saltum-fjernvarme-dk>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. (1998). *Sechste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm)*. Abgerufen am 23. Oktober 2024 von https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm
- Buri, R., Kobel, B., Wanner, O., Siegrist, H., Koch, M., & Meier, W. (2004). *Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer* von. Bern/Zürich.
- Danish Energy Agency. (2024). *Generation of Electricity and District heating - Technology descriptions and projections for long-term energy system planning*. Copenhagen: Danish Energy Agency.
- Deutscher Wetterdienst. (2017). Testreferenzjahre (TRY). Abgerufen am 09. 12 2024 von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/testreferenzjahre/testreferenzjahre.html;jsessionid=7868DD566FC192CC0DBAB2088B52B5DA.live21071?nn=507312>
- Deutscher Wetterdienst. (2024). *Stündliche Stationsmessungen der Lufttemperatur und -feuchte für Deutschland*. Von Station 03987 Potsdam. abgerufen
- Dr. Matthey, A., & Dr. Bünger, B. (12 2020). *umweltbundesamt.de*. Abgerufen am Januar 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21_methodenkonvention_3_1_kostensaetze.pdf
- Fritz, S., & Pehnt, M. (2018). *Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende?* ifeu.
- Gerhardt, N., Zimmermann, B., Ganai, I., Pape, A., Giron, P., Ghosh, D., . . . Yu, Y.-J. (2021). *Transformationspfade der Fernwärme in Rückkopplung mit dem Energiesystem und notwendige Rahmenbedingungen*. Kassel: Fraunhofer IEE.
- Göppel, A., & Westermann, S. (26. September 2024). *Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen*. Von BauNetz Wissen: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/lueftung/waermerueckgewinnung-in-lueftungsanlagen-2468659> abgerufen
- Gürtler, H., Dunkelberg, E., Gunkel, M., Kurc, H., Gnirß, R., & Donath, J. (2022). *Abwasserwärme - Ein Leitfaden*. Berlin.
- Hochschule Luzern. (Dezember 2024). *Hochschule Luzern*. Von <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/ueber-uns/organisation/kompetenzzentren-und-forschungsgruppen/technik/thermische-energiespeicher/positionspapier/> abgerufen
- IGKB. (09 2023). *Bodensee-Richtlinien 2005 mit Ergänzungen und Änderungen bis 09/2023*. Bregenz: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB). Von chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/Downloads/Bodensee-Richtlinien_2005/Bodensee-Richtlinien_2005_Stand_Sep_2023.pdf abgerufen
- iKKW-Konzept im Energiepark Pfaffengrund mit 3 Luftwärmepumpen (4, 5 MW). (kein Datum). *Stadtwerke Heidelberg*. Abgerufen am 24.. November 2024 von <https://www.swhd.de/iKKW?ConsentReferrer=https%3A%2F%2Fwww.google.de%2F>

- Kühne, D. J. (26.. September 2023). Solarthermie: Einblicke in die Technik und Wirtschaftlichkeit. Kiel.
- Landesamt für Bergbau, G. u. (2024). Geothermieportal. Cottbus.
- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg. (19.. Dezember 2024). Geoportal LGBR. Potsdam.
- Landesamt für Umwelt Land Brandenburg. (27. 09 2024). Datenübergabe Lehnitzsee. Potsdam.
- Landesamt für Umwelt Land Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft. (22.. 07 2024). Datenübergabe Havel Oranienburg. Potsdam, Deutschland.
- Langreder, N., Lettow, F., Sahnoun, M., Kreidelmeyer, S., Wünsch, A., & Lengning, S. e. (2024). Technikkatalog Wärmeplanung. (Ö.-I. e. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Hrsg.) Abgerufen am 09. 12 2024 von <https://www.kww-halle.de/praxis-kommunale-waermewende/bundesgesetz-zur-waermeplanung>
- LfU Brandenburg. (2024). lfu.brandenburg.de. Von chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/fliess_pristufe.pdf abgerufen
- Löffelholz, J. (6. August 2024). *Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauches*. Von BDEW: <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/zahl-der-woche-121-liter-leitungswasser/> abgerufen
- LUGV Brandenburg. (11 2013). www.lfu.brandenburg.de. Von chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/karte_vorrang.3994616.pdf abgerufen
- Riedel. (April 2022). Beck'schen Online-Kommentar Umweltrecht (BeckOK UmweltR). *Riedel, in: Giesberts/Reinhardt (Hrsg.), BeckOK Umweltrecht, 71. Edition, 1. April 2022, WHG § 34 Rn. 10.*
- Rothe, P., Schmidt, H. J., & Quass, J. (2024). *Energie aus Abwasser - Abwasserwärmenutzung mit Wärmepumpen*. Von Uhrig Group: <https://uhrig-group.com/> abgerufen
- Sørensen, P. A. (2012). *Solar district heating guidelines*. Solar District Heating (SDH).
- Unbekannt. (November 2024). *Statista*. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/168528/umfrage/gaspreise-fuer-gewerbe--und-industriekunden-seit-2006/#:~:text=Zum%201.,2%2C95%20Cent%20pro%20Kilowattstunde> abgerufen
- Verein Kleinwasserkraft. (2024). Von <https://kleinwasserkraft.energy/durchgaengigkeit-definition-und-forschung/> abgerufen
- Wasser- und Schifffahrtsamt, Fachbereich Schifffahrt. (22. 07 2024). Datenübergabe Oder-Havel-Kanal. Eberswalde.
- Wolfgramm, M. F. (2014). *Explorationsstrategie tiefer geothermischer Ressourcen am Beispiel des Norddeutschen Beckens – Handbuch Tiefe Geothermie*. Springer Verlag Berlin.