

Bachelor Thesis zur Erlangung des Hochschulgrades „Bachelor of Science“ (B. Sc.)  
im Bachelor-Studiengang Bauingenieurwesen

an Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Fakultät 6 - Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung

Thema:

**Energiewende im ländlichen Raum:  
Wirtschaftliche Analyse eines kalten Nahwärmenetzes  
für das Dorf Schönhöhe**

Name des Verfassers: Jonas Glaser

geboren am:

Erstprüferin: Prof. Dr. -Ing. Christine Eisenmann

Zweitprüfer: Dipl. Ing. Jörg Walther

Tag der Einreichung: 27.09.2024

*„Die Krise, die uns zwingt, uns zu verändern, ist die  
Chance, die uns dazu befähigt, zu wachsen.“*

*H.G. Wells*

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Klimawandel und Energiewende .....	3
2.2 Entwicklung zur Kalten Nahwärme .....	5
2.3 Das Wärmenetz .....	7
<b>3 Analyse des Untersuchungsgebiets.....</b>	<b>9</b>
3.1 Vorstellung des Dorfes Schönhöhe .....	9
3.2 Haushalte.....	9
3.2.1 Energiebedarf.....	9
3.3 Geologie.....	11
<b>4 Technische Planung des Kalten Nahwärmenetzes.....</b>	<b>13</b>
4.1 Leistungsbereitstellung.....	13
4.1.1 Gleichzeitigkeit.....	13
4.1.2 Wärmeentzugsleistung.....	14
4.2 Konzeption des Netzes .....	16
4.2.1 Netzbeschreibung und Rohrlängen .....	16
4.2.2 Kollektorleistung.....	18
4.2.3 Sondenleistung .....	20
4.3 Integration weiterer Energien .....	23
<b>5 Wirtschaftlichkeitsanalyse .....</b>	<b>25</b>
5.1 Kostenanalyse.....	25
5.1.1 Kapitalgebundene Kosten .....	25
5.1.2 Betriebsgebundene Kosten .....	26

5.1.3	Bedarfsgebundene Kosten .....	27
5.2	Fördermittel und Finanzierung .....	28
5.3	Wirtschaftlichkeitsbewertung .....	29
5.4	Langfristige Perspektive und Risiken .....	32
<b>6</b>	<b>Fazit</b> .....	<b>33</b>
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	33
6.2	Ausblick .....	34
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>X</b>
	Telefonate und E-Mail-Korrespondenzen .....	X
	Behörden .....	X
	Kostenberechnungen .....	XI
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>XV</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anteil erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte .....	3
Abb. 2: Fernwärmeerzeugung nach Energieträgern 2023 .....	4
Abb. 3 Entwicklung der Fernwärme .....	5
Abb. 4 Übersicht der verschiedenen Netzformen.....	7
Abb. 5 Skizze eines Ringnetzes für kalte Nahwärme.....	8
Abb. 6: Temperaturentwicklung im Boden .....	11
Abb. 7 Tiefenbohrungen .....	12
Abb. 8 Überblick über das gesamte Rohrnetz im 3D-Modell.....	16
Abb. 9: Detailansicht der Hausanschlüsse.....	17
Abb. 10: Schema eines bidirektionalen passiven Netzes.....	17
Abb. 11: Entzugsleistung Erdwärmekollektor.....	19
Abb. 12: Fließgeschwindigkeiten eines Ringnetzes .....	20
Abb. 13: Anordnung der Sonden im Netz .....	21
Abb. 14: Eignung der Dachflächen für Solarenergie .....	23
Abb. 15: Kostenkalkulation des kalten Netzes .....	25
Abb. 16: Entwicklung der Bauzinsen in Deutschland .....	28
Abb. 17: Jährliche Kosten eines Kredits .....	29

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ermittlung der Rohrlängen des Netzes.....	18
Tabelle 2: Entzugsleistung nach Wärmeleitfähigkeit.....	21
Tabelle 3: Aufwand und Lebensdauer der Anlagenteile.....	26
Tabelle 4: spez. Kosten verschiedener Szenarien .....	30

## Symbolverzeichnis

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Bezeichnung</b>
$ANF$	-	Annuitätsfaktor
$\lambda$	W/mK	Wärmeleitfähigkeit
$g$	-	Gleichzeitigkeit
$l_K$	m	Länge des Ringnetzes
$l_S$	m	Gesamtlänge der Sonden
$q$	-	Zinsfaktor
$Q$	Wh	Wärmeenergie in Kilowattstunden
$\dot{Q}_A$	W	Anschlussleistung
$\dot{Q}_{A,g}$	W	Reduzierte Wärmeleistung
$\dot{Q}_E$	W	Entzugsleistung
$Q_{Heiz}$	Wh	Wärmebedarf der Haushalte
$\dot{Q}_{Heiz,B}$	W	Summierte Heizleistung der Bestandsheizungen
$\dot{Q}_{E,K}$	W	Entzugsleistung des Kollektors
$\dot{q}_{E,K}$	W/m	Spezifische Entzugsleistung des Kollektors
$\dot{Q}_{E,S}$	W	Entzugsleistung der Sonden
$\dot{q}_{E,S}$	W/m	Spezifische Entzugsleistung der Sonden
$T$	K	Absolute Temperatur
$T$	a	Laufzeit
$t_{Vollast}$	h	Volllaststunden

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Beschreibung</b>
a	Jahr
Abb	Abbildung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
EU	Europäische Union
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COP	Coefficient of Performance
DN	Nenndurchmesser (Diameter Nominal)
GRT	Geothermal Response Test
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWP	Kommunale Wärmeplanung
RL	Rücklauf
St	Stück
STLB	Standardleistungsbuch
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VL	Vorlauf
WPG	Wärmeplanungsgesetz
W+G	Wagnis und Gewinn

# 1 Einleitung

Der Klimawandel ist eine der größten globalen Herausforderungen und erfordert dringende Maßnahmen in allen Sektoren. Das Heizen von Gebäuden ist für 24,6 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen und ihrer Äquivalente in Deutschland verantwortlich, was den dringenden Bedarf nach nachhaltigen Alternativen unterstreicht (DESTATIS 2024). Individuelle Ansätze zur Reduzierung der Heizemissionen erweisen sich oft als langwierig und abhängig von den finanziellen Mitteln der Eigentümerinnen und Eigentümer. In diesem Zusammenhang gewinnen gemeinschaftliche und auf die spezifischen Bedürfnisse ländlicher Regionen abgestimmte Energiekonzepte zunehmend an Bedeutung.

Die Energiewende, mit dem Ziel der Umstellung auf erneuerbare Energien und der Reduktion von Treibhausgasen, ist zentral für eine nachhaltige, soziale und ökologische Transformation. Zudem verpflichtet die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) der EU, Artikel 24, Absatz 4, die Mitgliedsstaaten dazu, den Anteil erneuerbarer Energien in der Fernwärme und -kälte um 2,2 Prozentpunkte pro Jahr zu steigern. Diese Richtlinie legt ehrgeizige Vorgaben für die Wärmewende fest, die auch für das geplante Nahwärmenetz in Schönhöhe relevant sind. Dies soll einen wichtigen Beitrag zur Umstellung auf umweltfreundliche Heizsysteme leisten.

Laut einer Studie des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik ist die Wärmeversorgung in Deutschland zu fast zwei Dritteln von Energieimporten abhängig. Diese Abhängigkeit wurde durch den Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine besonders sichtbar, da es zu drastischen Preissteigerungen und Unsicherheiten auf den globalen Energiemärkten kam. Die Studie sieht den Ausbau der Erdwärme als essenziell, um die Wärmeversorgung langfristig und nachhaltig zu sichern. (Leibniz-Institut für angewandte Geophysik 2022, S. 2ff)

Diese Arbeit untersucht die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit eines kalten Nahwärmenetzes als passives System mit individuellen Wärmepumpen, um den Energiebedarf der Gebäude in Schönhöhe zu decken. Ziel ist es, herauszufinden, ob dies eine kostengünstige und nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Heizsystemen darstellt.

Schönhöhe ist ein Dorf in der Gemeinde Tauer in Brandenburg mit einem Vorort namens Teerofen. Hier gibt es engagierte Menschen, die eine Energiegenossenschaft mit knapp 29 Hausanschlüssen gründen wollen, um gemeinsam die Energiewende voranzutreiben. 26 Hausanschlüsse liegen in Schönhöhe und drei in Teerofen. Energiegenossenschaften haben sich in vielen Regionen als effektive Mittel zur Förderung lokaler Energielösungen erwiesen, da sie eine finanzielle Beteiligung an Gewinn und Nutzen des Wärmenetzes bieten und Gemeinschaftssinn und Eigenverantwortung fördern können.

Durch die detaillierte Analyse der spezifischen Kosten pro kWh und die Bewertung der wirtschaftlichen Rentabilität des kalten Nahwärmenetzes soll diese Arbeit einen Beitrag zur

Diskussion über die Umsetzung der Energiewende im ländlichen Raum leisten und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Dörfer ermöglichen.

Die zentralen Forschungsfragen dieser Arbeit lauten daher: Wie lässt sich ein kaltes Nahwärmenetz in Schönhöhe technisch umsetzen und welche Vorteile bietet es gegenüber herkömmlichen Heizsystemen? Kann es zu einem wirtschaftlich tragbaren Preis pro kWh betrieben werden? Und wie lässt sich die Investition in ein solches System wirtschaftlich darstellen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde eine Methodik angewendet, die technische Planung mit wirtschaftlicher Analyse kombiniert. Zunächst erfolgte eine umfassende Literaturrecherche, um den aktuellen Stand der Technik sowie die relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen zu erfassen. Basierend darauf wurde ein technisches Konzept für das Nahwärmenetz entwickelt, das die Dimensionierung der Rohrleitungen, Wärmepumpen und Erdwärmesonden umfasste. 3D-Grafiken des Rohrnetzes wurden mit dem CAD-Programm ViCADO von mb AEC Software GmbH erstellt. Schließlich wurden die langfristigen Kosten mithilfe der Annuitätenmethode kalkuliert, wobei in verschiedenen Szenarien die Auswirkungen von Förderungen, Zinssätzen und Betriebskosten berücksichtigt wurden.

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen nicht nur als Entscheidungsgrundlage für Schönhöhe, sondern sollen auch zeigen, inwieweit ähnliche Projekte im ländlichen Raum realisiert werden können.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Klimawandel und Energiewende

Heizen stellt einen zentralen Teil des Energieverbrauchs in Deutschland dar und ist daher ein Schlüsselbereich für die Energiewende. Traditionell basieren Heizsysteme auf fossilen Brennstoffen wie Gas, Öl und Kohle, doch angesichts des Klimawandels und der Notwendigkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, gewinnen nachhaltige Alternativen zunehmend an Bedeutung.

Fossile Energieträger wie Gas und Öl spielen nicht nur in Schönhöhe nach wie vor eine bedeutende Rolle in der Wärmeversorgung, doch ihre Umweltauswirkungen und ihre endliche Verfügbarkeit machen sie langfristig unhaltbar. Erneuerbare Energien wie zum Beispiel Solarthermie, Geothermie und Biomasse bieten regenerative Alternativen. Diese Entwicklungen spiegeln sich im wachsenden Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Wärmebereitstellung wider.

Holz kann eine erneuerbare Heizquelle darstellen, sofern die Holznutzung durch nachhaltige Forstwirtschaft ausgeglichen wird. Ein Ungleichgewicht zwischen dem Abbau und dem Wachstum führte jedoch dazu, dass Holz nicht länger als erneuerbare Ressource betrachtet werden kann. Zudem besteht eine Konkurrenz zwischen der stofflichen Nutzung in anderen Industriezweigen, wie der Baubranche, und der energetischen Verwertung von Holz, die die Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit dieser Ressource weiter beeinflusst.

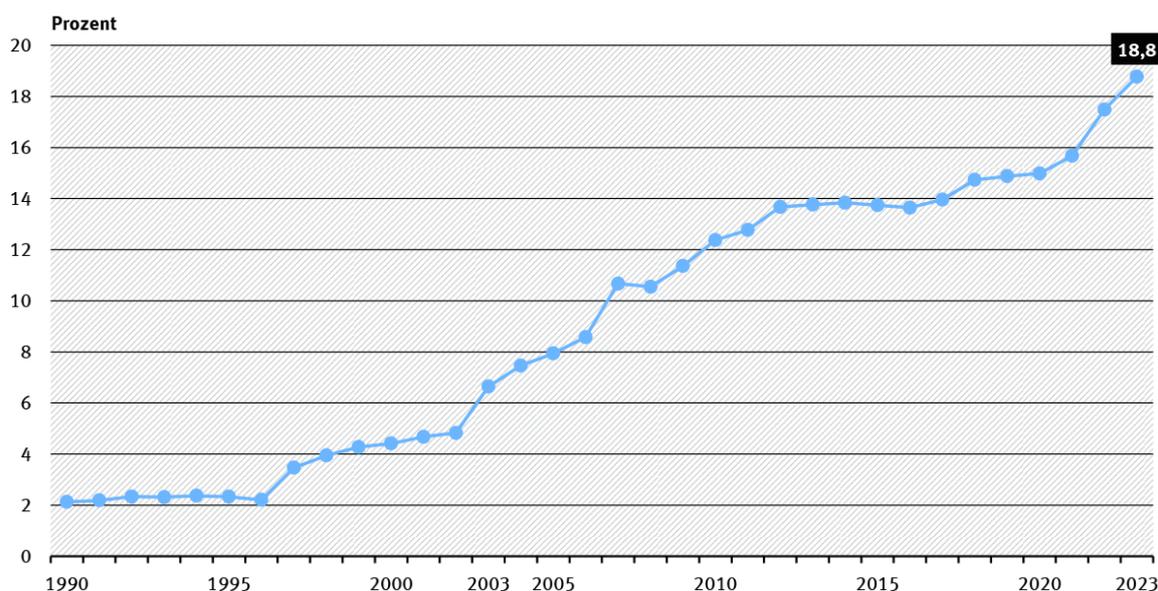


Abb. 1: Anteil erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte (UBA 2024)

Wie die Abbildung zeigt, hat sich der Anteil erneuerbarer Energien an der Heizenergie in Deutschland seit 1990 deutlich erhöht – von 2 % auf 18,8 % im Jahr 2023. Dieser Anstieg verdeutlicht den Fortschritt, der im Rahmen der Energiewende bereits erreicht wurde. Er zeigt

aber auch, dass noch weitere Anstrengungen notwendig sind, um die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen weiter zu reduzieren.

Zudem verpflichtet das Wärmeplanungsgesetz (WPG) alle Gemeinden mit weniger als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohner dazu, bis spätestens 30. Juni 2028 einen Plan vorzulegen, wie sie ihren Weg zur Klimaneutralität gestalten wollen. Ziel ist es, „einen wesentlichen Beitrag zu einer kosteneffizienten, nachhaltigen, sparsamen, bezahlbaren, resilienten sowie treibhausgasneutralen Wärmeversorgung [...] zu leisten und Endenergieeinsparungen zu erzielen“ (§1 und §4 WPG). Diese gesetzlichen Vorgaben unterstreichen die Dringlichkeit und Notwendigkeit, dass Gemeinden effektive und nachhaltige Wärmelösungen entwickeln und umsetzen.

Die Gemeinde Tauer, der Schönhöhe angehört, beginnt im IV. Quartal 2024 mit der kommunalen Wärmeplanung (Donath 2024). Diese Planung wird langfristig klare Vorgaben für die zukünftige Wärmeversorgung schaffen. Für Gemeinden wie Schönhöhe besteht jedoch die Möglichkeit, bereits vor diesen offiziellen Vorgaben aktiv zu werden. Eine frühzeitige eigenständige Planung kann dazu beitragen, die Umsetzung der Energiewende vor Ort effizienter voranzutreiben. Zudem kann Schönhöhe durch eine abgestimmte Planung mit der kommunalen Wärmeplanung Synergien bilden, um gemeinsam eine nachhaltige und unabhängige Wärmeversorgung zu entwickeln. Dadurch könnte Schönhöhe ein Vorbild für andere Gemeinden in der Region werden.

Mit etwa 90% des Energieverbrauchs in privaten Haushalten, die auf Wärmeversorgung und Warmwasser entfällt, bietet die Umstellung auf erneuerbare Energien in diesem Bereich einen enormen Hebel für die Energiewende. Die potenzielle Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine Verringerung des Einsatzes fossiler Brennstoffe wie Erdgas macht diesen Bereich besonders bedeutend für die Umsetzung nachhaltiger Energiekonzepte. (UBA 2024)

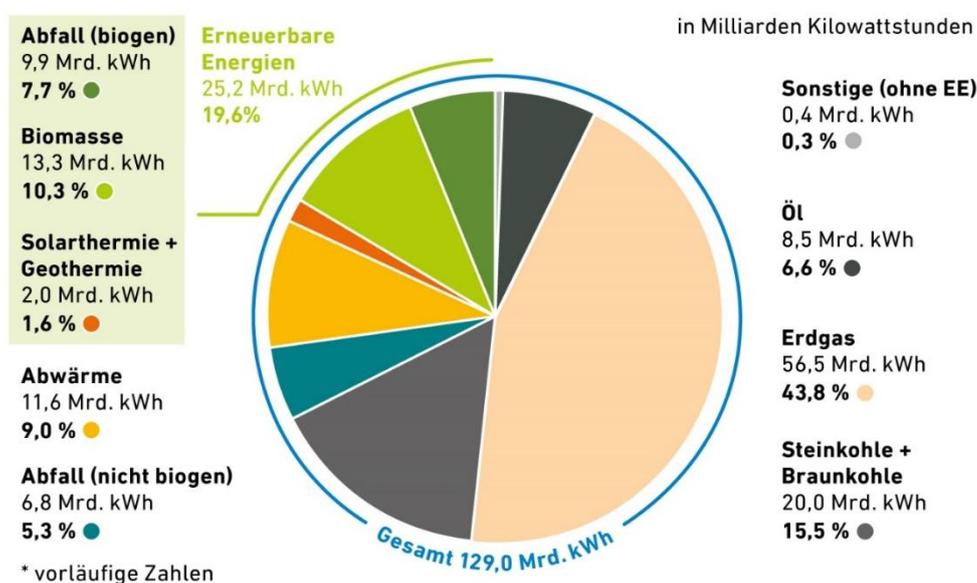


Abb. 2: Fernwärmeerzeugung nach Energieträgern 2023 (AEE 2024)

Derzeit sind 15 % der Haushalte in Deutschland an Fernwärmesysteme angeschlossen, und dieser Anteil wird durch die KWP voraussichtlich weiter steigen. 19,6 % der Fernwärme stammen bereits aus erneuerbaren Energien, was einen höheren Anteil als in der restlichen Wärmeversorgung darstellt. Fernwärme hat generell den Vorteil, dass sie leichter und großflächig transformierbar ist, da zentrale Systeme effizienter anpassbar sind als individuelle Heizlösungen. (Breer 2024, S. 2f)

Ein Blick nach Dänemark zeigt das Potenzial dieser Entwicklung: Im dortigen weitläufigen Fernwärmenetz stammen schon 76 % der Wärme aus erneuerbaren Energien. Dänemark hat schon lange eine verpflichtende Kommunale Wärmeplanung und bietet günstige Preise für die Bevölkerung, da die Fernwärmeversorgung gemeinwohlorientiert organisiert ist. Dies zeigt, dass eine rechtzeitige und umfassende Wärmeplanung entscheidend sein kann, um die Energieversorgung nicht nur klimafreundlich, sondern auch sozial gerecht zu gestalten (ebd. S. 21).

## 2.2 Entwicklung zur Kalten Nahwärme

Nahwärme und Fernwärme unterscheiden sich hauptsächlich durch die Netzgröße und Leitungslänge. Während Fernwärmesysteme oft für große städtische Gebiete konzipiert sind, bedienen Nahwärmenetze kleinere, lokal begrenzte Gebiete. Traditionell wird die Wärme bei Fernwärmesystemen zentral erzeugt und über ein weitreichendes Netz an die Verbraucher verteilt. Die Entwicklung dieser Systeme hat sich über die letzten 140 Jahre hinweg erheblich weiterentwickelt (siehe Abb. 3).

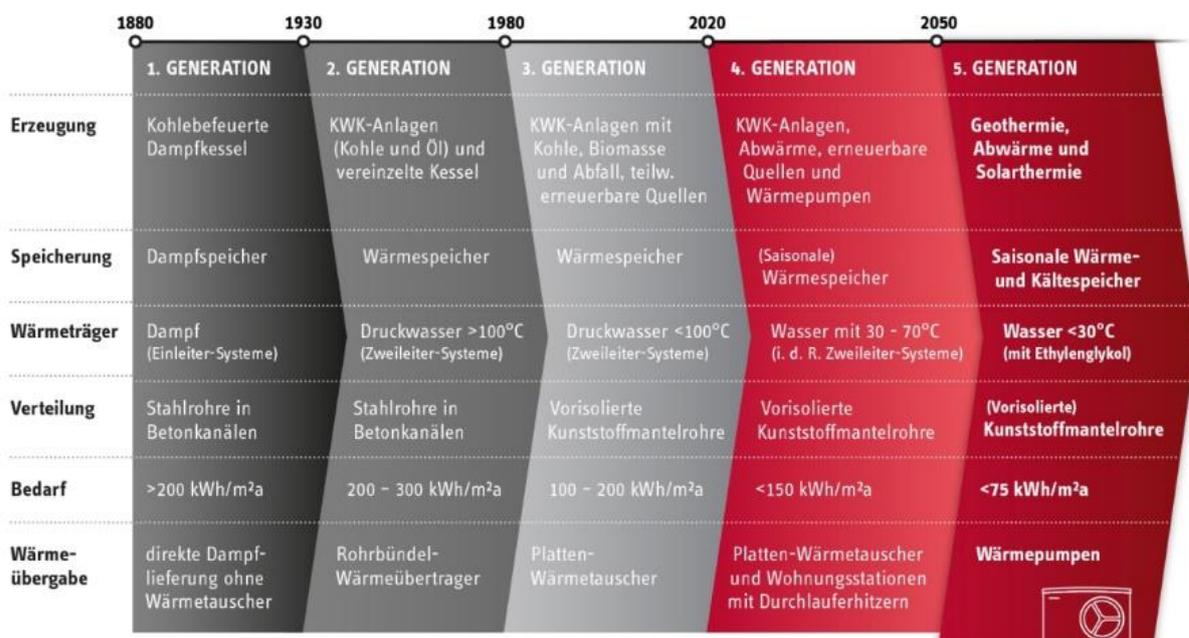


Abb. 3 Entwicklung der Fernwärme (Langheim 2022, S. 26)

Die erste Generation verwendete ein Einleitersystem, bei dem heißer Wasserdampf durch Stahlrohre geleitet wurde. Dies wurde in der zweiten Generation durch das bis heute übliche Zweileitersystem ersetzt, das einen Vorlauf und einen Rücklauf umfasst.

Danach trug der Umstieg auf Heißwasser statt Dampf maßgeblich zur Senkung der Kosten für Fernwärme bei. In den 1970ern waren viele Haushalte noch auf private Ölheizungen angewiesen, deren Öl aus dem Ausland bezogen wurde. Nach den Ölkrisen von 1974 und 1978 förderte die BRD die Fernwärme, um die Abhängigkeit von ausländischen Energiequellen zu verringern, und unterstützte Kraftwerke, die mit heimischer Kohle betrieben wurden, mit 47 % der Kosten (Konstantin und Konstantin 2022, S. 47f).

Vor der Einführung der dritten Generation waren die Wärmeverluste aufgrund fehlender Isolierung erheblich. Die 3. Generation arbeitete mit Temperaturen von unter 100°C in isolierten Rohren. Diese Isolierung reduzierte nicht nur die Wärmeverluste, sondern schützte auch die Rohre vor mechanischen Beschädigungen und senkte die Kosten. Seit der 4. Generation kommen niedrigere Temperaturen zwischen 20-60°C zum Einsatz. Diese niedrigeren Temperaturen ermöglichen eine bessere Integration regenerativer Energien wie Abwärme, Solarthermie und Erdwärme und tragen durch die reduzierte Betriebstemperatur zusätzlich zur Senkung der Wärmeverluste bei.

Die 5. Generation reduziert die Vorlauftemperaturen noch weiter und kombiniert somit Fernwärme- und Fernkältenetze. Sie arbeitet mit Temperaturen nahe der Bodentemperatur. Isolierungen sind hier nicht mehr notwendig, und es werden sogar Wärmegewinne durch das Netz aus dem Erdreich im Rücklauf erzielt. Nutzende können zwischen Wärmeverbrauchern und -produzenten wechseln, was es ermöglicht, das Netz im Sommer zum Kühlen zu nutzen, ohne zusätzliche Leitungen zu verlegen. Für das direkte Heizen ist jedoch der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich, welche die Temperatur auf ein Niveau anheben, was für das jeweilige Gebäude notwendig ist (Schmitt, Zeh und Stockinger 2022, S. 337ff).

Die Fern- und auch die Nahwärme sind meist aktive Systeme, in denen mittels einer großen Pumpe das Wasser in einem Vorlauf ring eingespeist wird und durch den Rücklauf abgekühlt wieder zurückfließt.

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit soll ein passives Netz der 5. Generation untersucht werden, in dem der Wärmestrom durch individuelle Wärmepumpen erzeugt wird.

## 2.3 Das Wärmenetz

Kalte Nahwärmeversorgungssysteme werden ausschließlich als Zweileiter-Systeme betrieben, bei denen Sole, ein Gemisch aus Wasser und Glykol, als Wärmeträgermedium verwendet wird. Dieses System besteht aus einem Vorlauf- und einem Rücklaufrohr, was eine effiziente Wärmeverteilung ermöglicht.

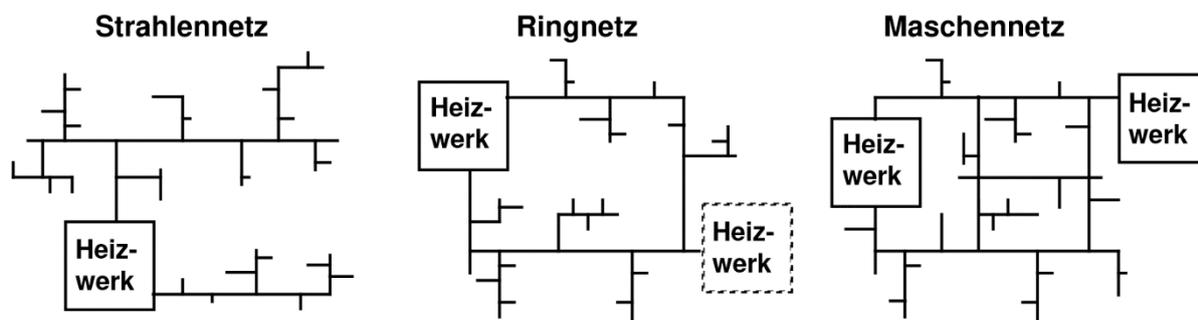


Abb. 4 Übersicht der verschiedenen Netzformen (Dötsch, Taschenberger und Schönberg 1998, S. 37)

Die Struktur und der Aufbau des Wärmeverteilnetzes werden durch mehrere Faktoren bestimmt, darunter städtebauliche Gegebenheiten wie Straßenführung und Bebauungspläne, sowie die Entfernungen zwischen den Netzteilnehmern. Auch Umgebungsbedingungen wie bestehende Ver- und Entsorgungseinrichtungen und die Topografie des Geländes beeinflussen die Netzgestaltung.

Bei Strahlennetzen werden die Verbraucher durch eine oder wenige Leitungen von der Erzeugungsstelle aus angebunden und versorgt. Diese Netzform ist besonders für kleine Wärmenetze geeignet, da sie geringe Baukosten und einfache Betriebsführung ermöglicht. Allerdings kann das Netz nach der Inbetriebnahme nur schwer erweitert werden, und bei Ausfällen oder Wartungsarbeiten kann es zu großflächigen Unterbrechungen der Wärmeversorgung kommen.

Ringnetze ermöglichen die Versorgung der Verbraucher aus mehreren Richtungen. Sie bieten die Möglichkeit, mehrere Wärmeerzeugungsanlagen an verschiedenen Standorten zu integrieren, was die Versorgungssicherheit erhöht und die Netzerweiterung erleichtert. Bei einem Ringnetz sind oft mehrere Leitungen miteinander verbunden, was es ermöglicht, dass bei Ausfällen oder Wartungsarbeiten Teile des Netzes weiterhin versorgt werden können. Die Nachteile dieser Netzform sind jedoch höhere Investitionskosten und die aufwendigere Regelungstechnik.

Maschennetze stellen eine weiterentwickelte Form des Ringnetzes dar, bei der die Leitungsabschnitte innerhalb des Netzes miteinander verbunden sind, um sogenannte Maschen zu bilden. Diese Netzform ermöglicht eine besonders flexible Anbindung der

Verbraucher und eine hohe Versorgungssicherheit. Aufgrund der höheren Komplexität und der damit verbundenen höheren Investitions- und Betriebskosten werden Maschennetze vorwiegend in großen Wärmeverteilungsnetzen eingesetzt. (Dötsch, Taschenberger und Schönberg 1998, S. 37)

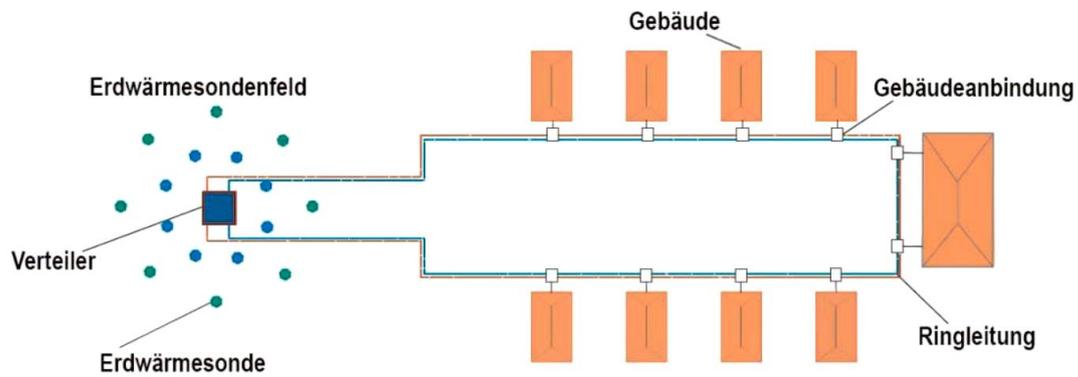


Abb. 5 Skizze eines Ringnetzes für kalte Nahwärme (Giel 2024)

Für die geplante Wärmeversorgung in Schönhöhe wird ein Ringnetz gewählt. Dies erhöht die Versorgungssicherheit und ermöglicht durch das erhöhte Wärmeträgervolumen die Funktion eines Wärmepuffers.

## 3 Analyse des Untersuchungsgebiets

### 3.1 Vorstellung des Dorfes Schönhöhe

Schönhöhe ist ein kleines Dorf im Süden Brandenburgs, das zur Gemeinde Tauer gehört. Es gibt einen Vorort namens Teerofen, der ca. 1km entfernt ist. Der Ort mit ca. 50 Einwohnerinnen und Einwohnern ist geprägt von einer dörflichen Struktur und weist kaum gewerbliche und keinerlei industrielle Aktivitäten auf. Dies trägt zu einem ruhigen und naturnahen Umfeld bei, das insbesondere durch den angrenzenden Großsee als Badeort touristisch genutzt wird (Hoffmann 2022).

### 3.2 Haushalte

Die Demografie Schönhöhes ist durch eine hohe Altersstruktur gekennzeichnet. Viele Gebäude im Dorf sind älteren Datums und weitgehend unsaniert oder nur teilweise modernisiert, was zeigt, dass der Energieverbrauch ein Potenzial für Effizienzsteigerungen enthält.

Das Wärmenetz wird anhand der Daten der Initiative Wärmedorf Schönhöhe in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Stadttechnik entwickelt, welche mittels Fragebogen im Oktober 2023 im Ort Schönhöhe erhoben wurden. Fast alle Haushalte haben an der Umfrage teilgenommen und Angaben gemacht. Diese Gebäude wurden als Grundlage genommen, um den Wärmebedarf zu kalkulieren und das Fernwärmesystem zu dimensionieren.

Gefragt wurden Daten zur Nutzung der Gebäude, zum Baujahr und Modernisierungen, zur beheizten Fläche, zum Heizsystem und dem Energieträger und demografischen Strukturen im Haushalt. Die Datenblätter wurden durch die Haushalte eigenständig ausgefüllt, was zu möglichen Ungenauigkeiten in den Ergebnissen führen kann, da keine verlässlichen Messwerte vorliegen. Fehlerhafte oder unvollständige Angaben wurden durch den Autor dieser Arbeit durch plausible Schätzwerte ergänzt und ersetzt, um eine einheitliche Grundlage zu gewährleisten.

Trotz dieser Einschränkungen lassen sich aus den erhobenen Daten brauchbare Berechnungsgrundlagen ableiten, die zur Dimensionierung des kalten Nahwärmenetzes herangezogen werden können.

#### 3.2.1 Energiebedarf

Die jährlichen Energiebedarfe variieren stark und reichen von wenigen Tausend bis über 50.000 kWh. Entsprechend schwanken auch die spezifischen Verbräuche zwischen 21 und

440 kWh/m<sup>2</sup>. Diese Unterschiede lassen sich sowohl durch das individuelle Heizverhalten und die Warmwassernutzung, als auch durch den unterschiedlichen Sanierungsstand der Gebäudehüllen und Heizsysteme erklären. Energetisch effizient gebaute oder sanierte Gebäude profitieren hierbei von niedrigeren Heizkosten.

Teerofen ist etwa 900 Meter vom letzten anschlusswilligen Gebäude in Schönhöhe entfernt. Aufgrund dieser Entfernung sowie der damit verbundenen Kosten für Leitung und Verlegung wird das Untersuchungsgebiet auf Schönhöhe mit 26 Haushalten begrenzt, um dort ein Nahwärmenetz zu planen. Teerofen ist nicht Teil der in dieser Arbeit durchgeführten Planung. Es wäre sinnvoll, den Vorort mit seinen drei Haushalten separat zu betrachten und möglicherweise mit einem eigenen, kleinen Nahwärmenetz zu versorgen. Diese Option wird in dieser Arbeit nicht weiter untersucht und müsste in einer separaten Studie geprüft werden.

Die geplante Netzstruktur in Schönhöhe ermöglicht eine flexible Erweiterung. Sollten zukünftig weitere Haushalte angeschlossen werden, ist dies durch die gewählte Netzstruktur und die Dimensionierung der Hauptleitungen problemlos umsetzbar. Des Weiteren könnten energetische Sanierungen einzelner Haushalte zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs führen, was es ermöglichte, zusätzliche Gebäude an das bestehende Netz anzuschließen, ohne dass dafür neue Erdwärmesonden erforderlich wären. Insgesamt weist Schönhöhe aktuell einen Gesamtenergieverbrauch von 523.054 kWh auf, der als Grundlage für die weiteren Berechnungen dient. Der spezifische Verbrauch liegt bei 173 kWh/m<sup>2</sup>. Dieser hohe spezifische Verbrauch reflektiert den allgemeinen Stand der energetischen Sanierung der Gebäude im Dorf (Initiative Wärmedorf Schönhöhe 2023).

### 3.3 Geologie

Für die Bewertung der geologischen Gegebenheiten in Schönhöhe sind Temperatur und Wärmeleitfähigkeit des Bodens entscheidende Kenngrößen. Die Temperatur im Erdreich wird durch den Temperaturgradienten bestimmt, der angibt, wie die Temperatur pro Meter Tiefe ansteigt. Typischerweise erhöht sich die Temperatur um etwa 2,8-3 K pro 100 Meter Tiefe (Stober und Bucher 2020, S. 12). Wie in Abb. 6 zu erkennen, sind in einer Tiefe von etwa 15 Metern die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen an der Oberfläche nicht mehr spürbar. Stattdessen steigt die Temperatur im Erdreich gleichmäßig an, was bedeutet, dass tiefere Erdschichten stabilere Temperaturen bieten und der Temperaturgradient eine größere Rolle spielt als saisonale Schwankungen.

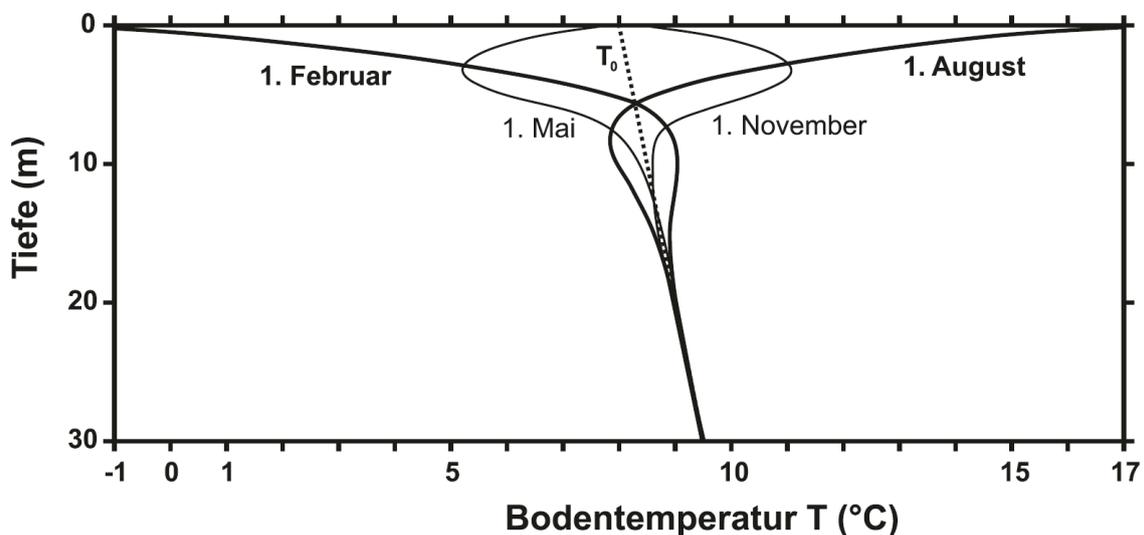


Abb. 6: Temperaturentwicklung im Boden (Stober und Bucher 2020, S. 36)

Die geologischen Untersuchungen im Gebiet Schönhöhe und Teerofen, wie die Bohrungen Hy Söhö 77 und Hy Söhö 2/89 in Abb. 7 zeigen, haben vorwiegend Mittelsand in den oberen Schichten ergeben. Tiefere Bohrungen, wie E Tau 3/67 südlich von Schönhöhe, bestätigen Sandvorkommen bis zu einer Tiefe von 189 Metern. Kleinere Lehm- und Schluffschichten, die eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweisen, sind in der Region ebenfalls vorhanden, aber aufgrund ihrer geringen Mächtigkeit für die Berechnungen nicht maßgeblich.

Um eine Überdimensionierung des Systems zu vermeiden und die Kosten zu optimieren, wird die Durchführung eines Geothermal Response Tests (GRT) empfohlen. Dieses In-situ-Verfahren misst die thermischen Eigenschaften des Untergrunds, sowie die Effizienz des installierten Wärmeüberträgers, um die tatsächliche Entzugsleistung genau zu bestimmen (VDI 4640 Blatt 5).

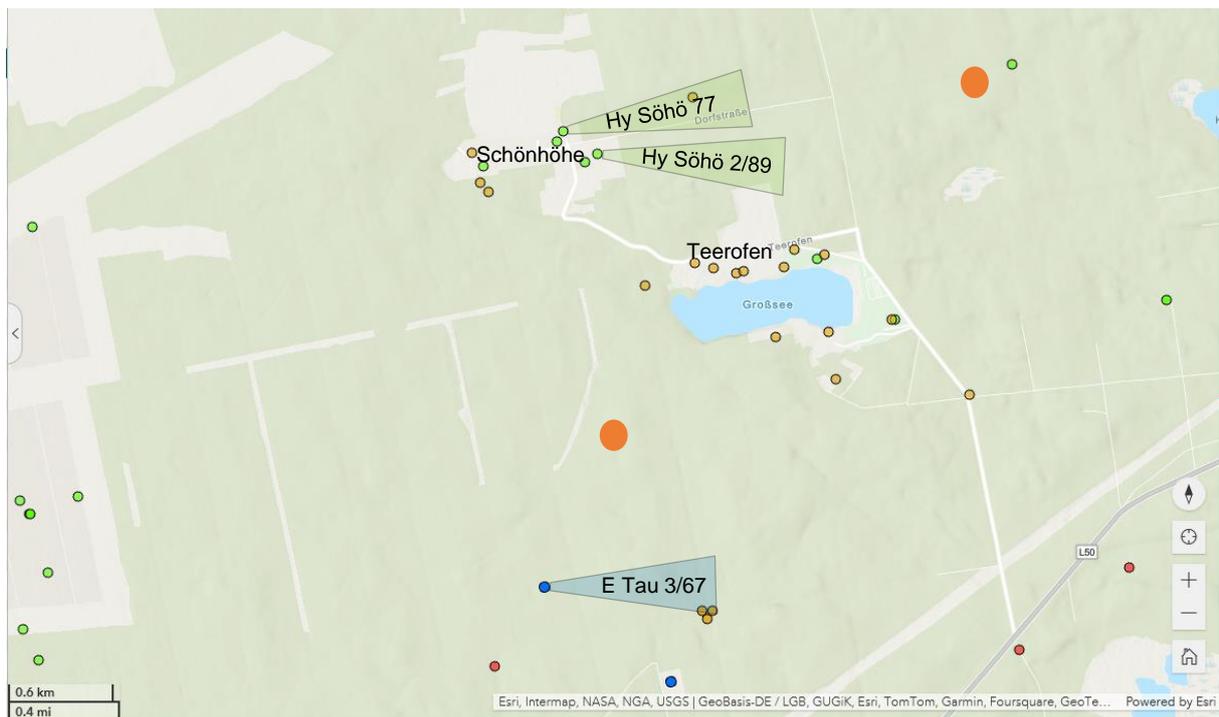
Für das Gebiet um Schönhöhe liegen im LGBR Geothermieportal keine genauen Werte zur Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  des Bodens vor. Allerdings wird in umliegenden Schichten eine Spanne

von 1,24 W/mK bis 2,69 W/mK angegeben. Für die Berechnung wird der Mittelwert dieser Werte verwendet:

$$\lambda_{Boden} = \frac{1,24 + 2,69}{2} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\lambda_{Boden} = 1,965 \frac{W}{m \cdot K}$$

Das entspricht nach Stober und Bucher 2020 dem unteren Bereich der Wärmeleitfähigkeit für Sand, was vor Ort mittels GRT zu überprüfen ist (siehe Kapitel 3.3).



● < 20 m   ● < 50 m   ● < 100 m   ● < 400 m   ● > 400 m   ● Messungen Wärmeleitfähigkeit

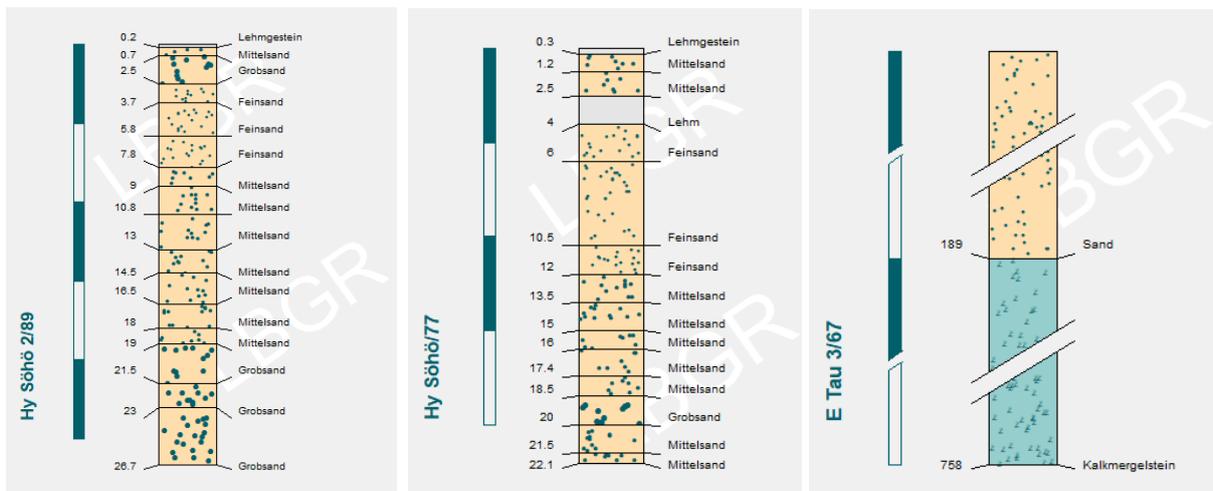


Abb. 7 Tiefenbohrungen (LGBR Bohrpunktkarte 2024)

## 4 Technische Planung des Kalten Nahwärmenetzes

### 4.1 Leistungsbereitstellung

Die genaue Bestimmung des Heizleistungsbedarfs stellt einen wesentlichen Schritt bei der Planung eines Nahwärmenetzes dar, da sie die Grundlage für die Dimensionierung des Sondenfeldes bildet. Aus den Daten der Initiative Wärmedorf Schönhöhe kann errechnet werden, dass die Heizungen mit ihrer aktuellen Heizleistung  $\dot{Q}_{Heiz,B}$  im Durchschnitt nur knapp die Hälfte der üblichen 1800 Volllaststunden laufen. Volllaststunden bezeichnen die theoretische Betriebszeit einer Anlage bei voller Leistung, die erforderlich wäre, um die gleiche Energiemenge zu erzeugen, die unter realen Bedingungen, einschließlich Stillstandszeiten und Teillastbetrieb, bereitgestellt wurde (VDI 4640 Blatt 2 2019, S. 5).

$$t_{Vollast} = \frac{Q_{Heiz}}{\dot{Q}_{Heiz,B}}$$

$$t_{Vollast} = \frac{523.054 \text{ kWh}}{560 \text{ kW}}$$

$$t_{Vollast} = 934 \text{ h}$$

Die geringe Auslastung ist häufig auf die Überdimensionierung der Heizungsanlagen zurückzuführen, die oft ohne fundierte Heizlastberechnung installiert werden. Der Einbau leistungsstarker Kamine als Zusatzheizung oder eine energetische Sanierung kann ebenfalls zu einer Überdimensionierung führen.

Für die Berechnung des Nahwärmenetzes wird von einem Betrieb mit 1800 Volllaststunden ausgegangen. Diese Annahme soll eine wirtschaftliche Auslegung der Wärmepumpen und eine stabile Versorgungssicherheit gewährleisten.

$$\dot{Q}_A = \frac{Q_{Vh}}{t_{Vollast}} = \frac{523.054 \text{ kWh}}{1800 \text{ h}}$$

$$\dot{Q}_A = 309,9 \text{ kW}$$

Das kalte Nahwärmenetz hat also die Aufgabe einen Anschlusswert von 309,9 kW zu bedienen.

#### 4.1.1 Gleichzeitigkeit

Nach dem Planungshandbuch Fernwärme gibt es einen Faktor, der die Dimensionierung eines Wärmenetzes im Gegensatz zu individuellen Wärmeentzugsermittlungen positiv beeinflusst.

„Für den Wärmeleistungsbedarf muss zusätzlich ein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt werden. Dieser beschreibt im Verbund einer Vielzahl von Wärmeabnehmern den Effekt, dass praktisch zu keinem Zeitpunkt alle Verbraucher gleichzeitig die maximale Leistung beziehen“ (Bundesamt für Energie BFE 2021, S. 107).

Diese Gleichzeitigkeit wird für  $n=26$  Hausanschlüsse folgendermaßen berechnet (Schrade, et al. 2022):

$$g = 0,4497 + \frac{0,5512}{1 + \left(\frac{n}{53,8438}\right)^{1,7627}}$$

$$g = 0,88$$

Dadurch reduziert sich die erforderliche Wärmeleistung wie folgt:

$$\dot{Q}_{A,g} = 309,9 \text{ kW} \cdot g = 273,1 \text{ kW}$$

#### 4.1.2 Wärmeentzugsleistung

Nach der Berechnung des notwendigen Heizbedarfs ist es wichtig, die Effizienz der geplanten Wärmepumpen zu bewerten. Hierbei spielen der COP (Coefficient of Performance) und die Jahresarbeitszahl (JAZ) eine zentrale Rolle, da sie maßgeblich die energetische und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des kalten Nahwärmenetzes beeinflussen.

Die Effizienz von Wärmepumpen wird durch den sogenannten COP ausgedrückt. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen der zugeführten elektrischen Energie und der erzeugten Wärmeleistung. Je höher der COP, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe. Noch aussagekräftiger ist die JAZ, welche die Effizienz der Wärmepumpe über die Dauer eines gesamten Jahres betrachtet und die tatsächlichen Betriebsbedingungen berücksichtigt.

Da kalte Nahwärmenetze in der Schweiz auch als Anergienetze bezeichnet werden, sollen hier die Begriffe Anergie und Exergie kurz erläutert werden (Wirtz 2022). Exergie ist die nutzbare Arbeitskraft von Energie, also der Teil der Energie, der tatsächlich in mechanische oder elektrische Arbeit umgewandelt werden kann. Der verbleibende Anteil, der nicht in Arbeit umgewandelt werden kann, wird als Anergie bezeichnet. Für Wärmepumpen bedeutet dies, dass sie Anergie aus der Umwelt (z.B. aus dem Erdreich oder der Luft) entziehen, diese mit Exergie in Form von elektrischer Energie kombinieren und damit die benötigte Heizleistung bereitstellen. Der Wärmepumpenprozess ist damit aktuell die einzige Heizmöglichkeit, die die nicht leistungsfähige Anergie für den Großteil der Wärmeversorgung eines Gebäudes nutzbar macht. Die Anergienmenge, die der Umwelt entzogen werden kann, im Verhältnis zur einzusetzenden Strommenge nennt man COP und ist abhängig von der Temperaturspreizung

zwischen Wärmequelle, Vorlauftemperatur des Heizsystems und dem Wirkungsgrad der Wärmepumpe (Deutsche Physikalische Gesellschaft 2010, S. 27f).

In bestehenden Nahwärmenetzen, die in Neubaugebieten errichtet wurden, liegt der COP laut Thomas Giel, Professor für Nachhaltige Gebäudeenergiesysteme an der Universität Essen, bei durchschnittlich 5,6. Dieser Wert resultiert aus einem COP von über 7 für die Heizung und etwa 4 für die Warmwasserbereitung (Giel 2024). Für ältere, unsanierte Gebäude, die höhere Vorlauftemperaturen von etwa 65–70 °C benötigen, ist ein COP von 4 damit auch zum Heizen realistisch. Dies entspricht in etwa den Anforderungen der Warmwasserbereitung. In modernen oder energetisch sanierten Gebäuden des Dorfes Schönhöhe werden höhere COP-Werte erreicht, da hier niedrigere Vorlauftemperaturen möglich sind. Für die weitere Berechnung nach VDI 4640 Blatt 2 wird daher ein durchschnittlicher COP von 4,5 angenommen, der den unterschiedlichen energetischen Standards im Versorgungsgebiet Rechnung trägt.

$$\dot{Q}_E = \dot{Q}_{A,g} \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

$$\dot{Q}_E = 273,1 \text{ kW} \cdot \left(1 - \frac{1}{4,5}\right)$$

$$\dot{Q}_E = 212,4 \text{ kW}$$

Es ist demnach eine Entzugsleistung von 212,4 kW aus dem Erdreich nötig.

Im Falle von energetischen Sanierungen würde der erwartbare durchschnittliche COP steigen, aber der Anschlusswert und die Heizleistung würden sinken, wodurch keine größere, sondern eine geringere Entzugsleistung resultieren würde.

## 4.2 Konzeption des Netzes

### 4.2.1 Netzbeschreibung und Rohrlängen

Das geplante Rohrnetz besteht aus einem Zweileitersystem mit 10-15°C in den Vorlauf- und 0-5°C in den Rücklaufleitungen, die im Hauptnetz einen Durchmesser von DN150 (Giel 2024) aufweisen und aus dem Material PE100-RC bestehen (Gerodur MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG 2024) (Streng Swiss AG 2024).



Abb. 8 Überblick über das gesamte Rohrnetz im 3D-Modell (Glaser 2024)

Das Netz verläuft im Ring um die Hauptstraße des Dorfes und ermöglicht durch das große Wasservolumen eine gute Pufferfunktion, um Leistungsspitzen auszugleichen. Die Hausanschlussleitungen sind in DN40 dimensioniert, um den Leistungsbedarf der Haushalte bedienen zu können. Zur Vermeidung von Frostschäden wird im Netz ein Frostschutzmittel, ein leichtes Wasser-Glykol-Gemisch, geführt, da in sehr kalten Wintertagen Temperaturen unter 0°C aus den Wärmepumpen der Haushalte in den Rücklauf eingespeist werden können.

Das gesamte Rohrnetz liegt in einer frostfreien Tiefe von 1,20 bis 1,50 Metern (VDI 4640 Blatt 2, S. 22), was notwendig ist um die Wärmeübertragung vom Erdreich in den Rücklauf zu gewährleisten.

In der Detailansicht (Abb. 9) sind die Zuleitungen zu den Hausanschlüssen in Nahaufnahme zu sehen. Der Vorlauf wird, wie im übrigen Netz, in Orange und der Rücklauf in Blau dargestellt. Im Hintergrund ist eine Wärmepumpe mit einem Warmwasserspeicher zu erkennen, die an das Netz angeschlossen ist. Sowohl das Netz als auch die Wärmepumpe sind zur besseren Sichtbarkeit vergrößert dargestellt.

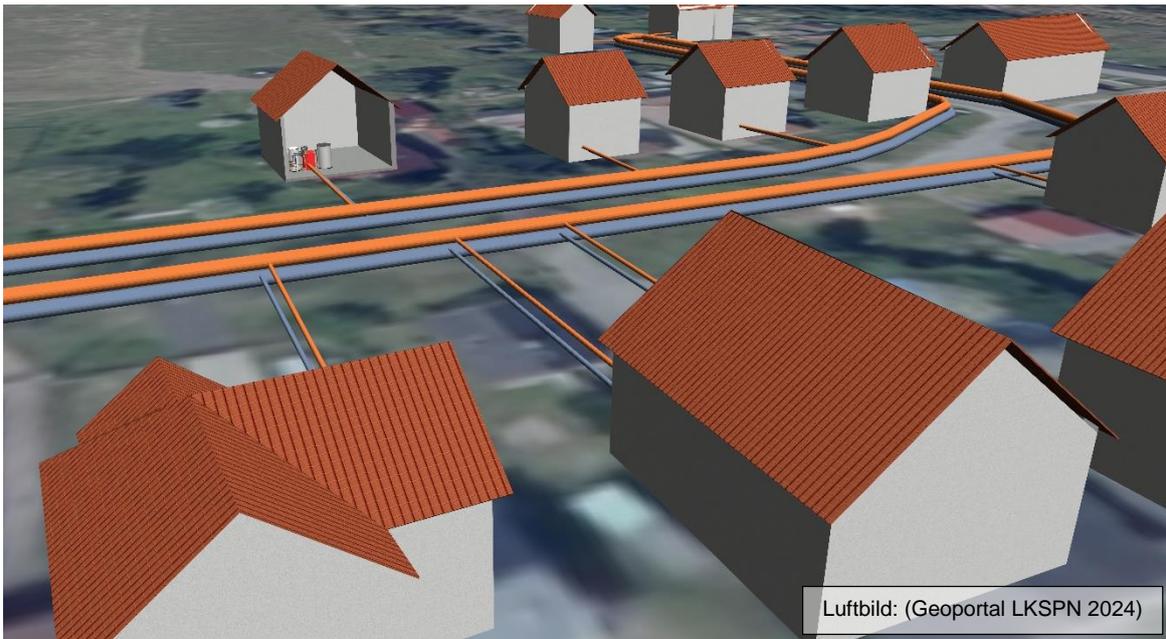


Abb. 9: Detailansicht der Hausanschlüsse (Glaser 2024)

Die Wärmepumpen der Haushalte sind direkt an das kalte Nahwärmenetz angeschlossen. Im Unterschied zu einer individuellen Lösung ist lediglich ein größerer Druckausgleichsbehälter erforderlich, um die Volumenveränderungen im Netz durch Temperaturschwankungen zu regulieren. Zudem wird eine Rückschlagklappe vor den Wärmepumpen installiert, um zu verhindern, dass Wärme aus anderen Haushalten bezogen wird, statt von den Sonden (Giel 2024, S. 32f).

Das Netz wird als passives Kaltes Nahwärmenetz konzipiert. Dabei gibt es keine zentralen aktiven Pumpen im Netz. Der Wärmetransport erfolgt ausschließlich mittels der individuellen Wärmepumpen der Haushalte. Diese Struktur ermöglicht den Betrieb des Netzes ohne aktive Komponenten auf der Netzseite. Die daraus resultierenden wirtschaftlichen Vorteile, wie verringerte Wartung und Betriebskosten, werden im späteren Kapitel zur Wirtschaftlichkeitsanalyse erläutert.

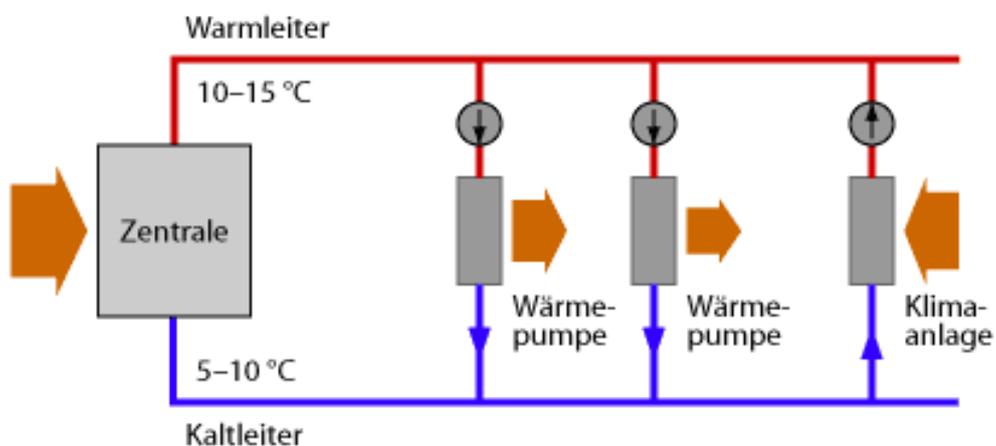


Abb. 10: Schema eines bidirektionalen passiven Netzes (Giel 2024)

Die passive Struktur des Netzes ermöglicht es außerdem zwischen Wärmeverbraucher und –erzeuger zu wechseln, je nachdem ob Heizung oder Kühlung im Gebäude benötigt wird. Diese Bidirektionalität ermöglicht es, die überschüssige Wärme in den Sommermonaten in das Netz zurückzuspeisen, was zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen führt. Dadurch wird ein höherer Wirkungsgrad erzielt, als wenn die Abwärme von Klimaanlage einfach an die Umgebungsluft abgegeben würde.

Die folgende Tabelle listet die Rohrlängen der Hauptleitungen sowie der Hausanschlüsse auf. Die Sonden sind in der Tabelle nicht enthalten, da die erforderlichen Sondenmeter erst in den folgenden Kapiteln ermittelt werden.

Tabelle 1: Ermittlung der Rohrlängen des Netzes (Glaser 2024)

PosNr	Kategorie	DN	Rohrlänge
			[m]
1	Summe VL Hausanschlüsse	DN40	331
2	Summe RL Hausanschlüsse	DN40	329
3	Summe VL Ringnetz	DN150	1366
4	Summe RL Ringnetz	DN150	1370
<b>Summe</b>			<b>3396</b>

#### 4.2.2 Kollektorleistung

Die Berechnung der Entzugsleistung der Ringleitung basiert auf den Vorgaben der VDI 4640 Blatt 2. Bei Erdwärmekollektoren ist die mittlere Umgebungstemperatur, gemittelt über die Jahreszeiten, ausschlaggebend für die Berechnung der Entzugsleistung. Diese werden über die Klimazone in der VDI betrachtet. Ebenfalls entscheidend sind die hydraulischen Eigenschaften des Bodens, welche hauptsächlich durch die Korngrößenverteilung und die daraus resultierende Bodenart bestimmt werden (VDI 4640 Blatt 2).

Schönhöhe befindet sich in der Klimazone 4 mit Potsdam als Referenzort und hat vorwiegend Sand als Boden. Bei größeren Abständen der Rohre gerät die VDI-Richtlinie jedoch an ihre Grenzen und verweist auf den Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.

Für das Schönhöher Nahwärmenetz soll ein Zweileiternetz verlegt werden, welches sowohl als Kollektorfläche als auch als Teil des Ringnetzes bzw. Hausanschlusses dient. Von den zwei Rohren für den Vor- und Rücklauf kann in Bezug auf die Wärmeentnahme jedoch nur der Rücklauf betrachtet werden, da nur dieser eine ausreichende Temperaturdifferenz zum Erdreich aufweist, um eine effektive Wärmeentnahme zu ermöglichen (Streng Swiss AG

2024). Für die Berechnung der Kollektorfläche wird eine Breite von einem Meter entlang der Leitungslänge als Fläche angenommen.

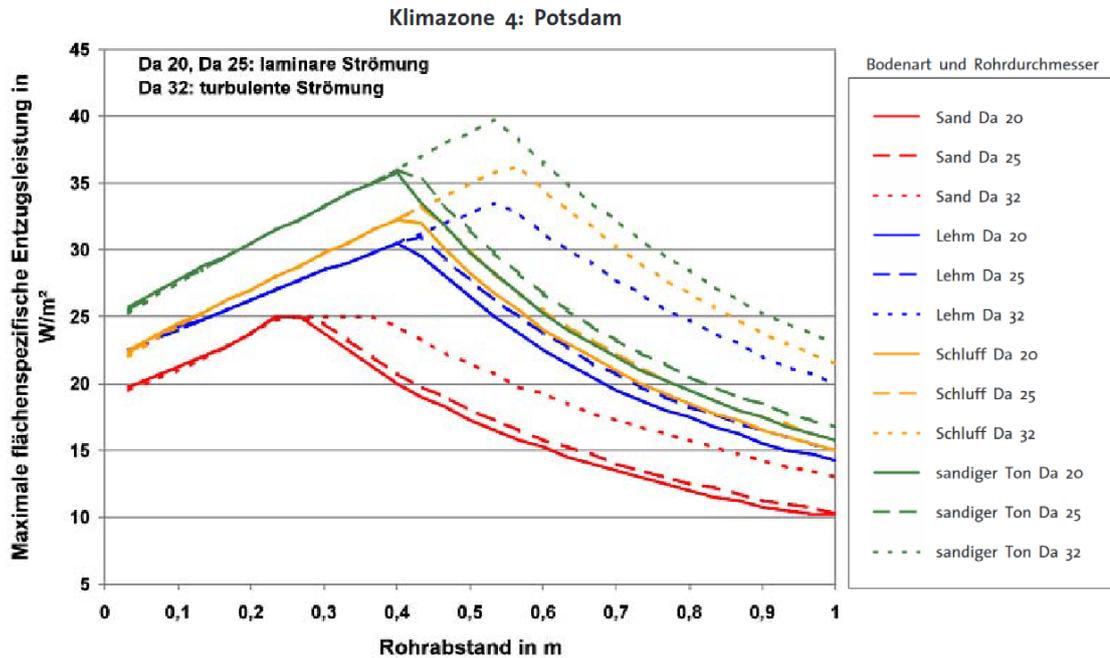


Abb. 11: Entzugsleistung Erdwärmekollektor (BDH 2011)

Die Rohrdimensionen im Netz, mit DN150 für die Ringleitung und DN40 für die Hausanschlüsse, sind nicht direkt in Abb. 11 dargestellt, die sich auf typische Wärmekollektoren mit Rohrdurchmessern von 20 bis 32mm bezieht. Es ist jedoch erkennbar, dass größere Rohrdurchmesser tendenziell zu etwas höheren spezifischen Entzugsleistungen führen. Ob turbulente Strömung im Netz vorliegt, was zu deutlich höheren Entzugsleistungen führen könnte, muss außerhalb dieser Arbeit genauer untersucht werden. Turbulente Strömungen könnten die Entzugsleistung auf bis zu 15 W/m erhöhen, während bei laminarer Strömung ein Wert von etwa  $\dot{q}_{E,K} = 10 \text{ W/m}$  realistisch ist.

Eine weitere Möglichkeit, die Entzugsleistung zu erhöhen, wäre die Verlegung der Rohre in der Nähe von Abwasserleitungen, da diese in der Regel eine höhere Temperatur aufweisen und somit zusätzliche Wärmequellen darstellen könnten. Dieser Aspekt wird in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht näher untersucht.

Für die folgenden Berechnungen wird eine Entzugsleistung von 10 W/m Rohrlänge angenommen, um eine konservative Betrachtung zu erhalten.

Über das Ringnetz mit allen Rohrm Metern, die im Rücklauf einen Wärmentzug aus dem Erdreich generieren, ergibt sich folgende Entzugsleistung:

$$\dot{Q}_{E,K} = l_K \cdot \dot{q}_{E,K} = 1699 \text{ m} \cdot 10 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

$$\dot{Q}_{E,K} = 17,0 \text{ kW}$$

### 4.2.3 Sondenleistung

Die Dimensionierung der Sonden stellen für die kalte Nahwärme einen der größten Kostenfaktoren dar und sollten daher gut berechnet werden.

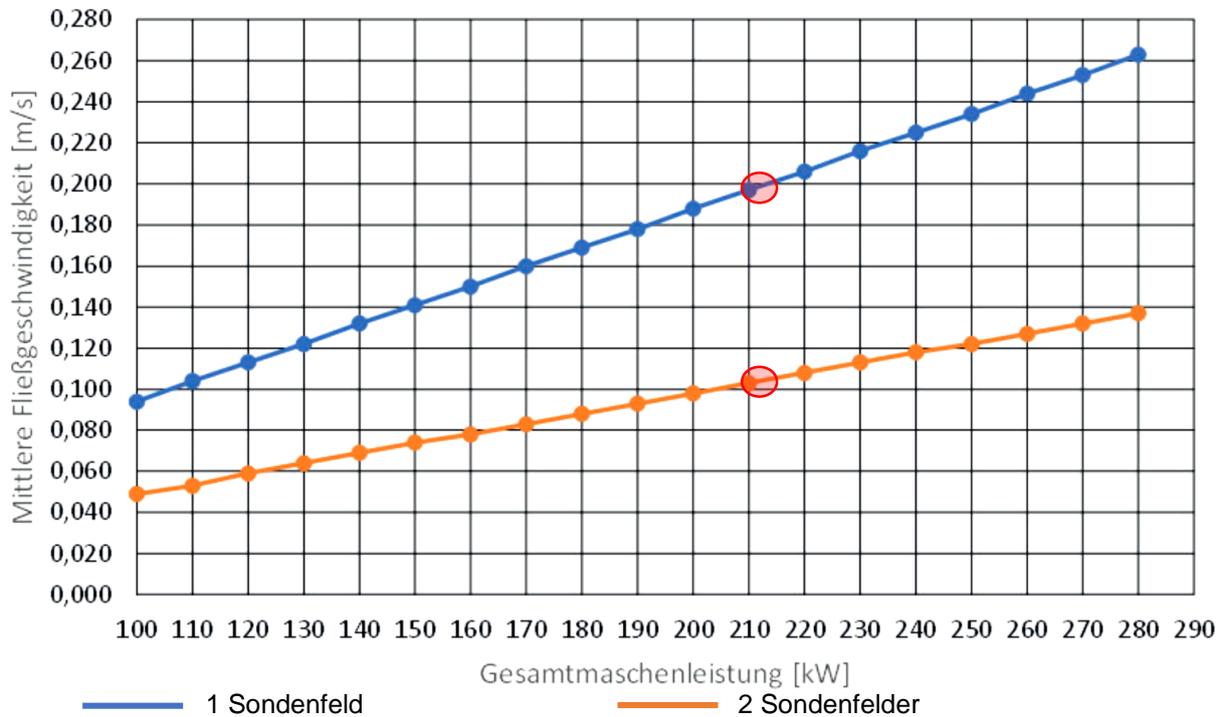


Abb. 12: Fließgeschwindigkeiten eines Ringnetzes (Giel, Yves und Twardawa 2023)

In Abb. 12 wird deutlich, dass die mittleren Fließgeschwindigkeiten im Netz von der Anzahl der Sondenfelder sowie der Gesamtleistung des Rings abhängen. Für das Netz in Schönhöhe mit einer Leistung von 212,4 kW zeigt sich eine Halbierung der Fließgeschwindigkeiten bei einer Verdopplung der Sondenfelder von einem auf zwei. Es ist daher vorteilhaft, die Erdwärmesonden möglichst dezentral an das Netz anzuschließen. Aus diesem Grund werden die Sonden in gleichmäßigen Abständen an die Ringleitung angeschlossen, um optimale Entzugsbedingungen sicherzustellen (siehe Abb. 13).

Langsamere Strömungsgeschwindigkeiten bieten den Vorteil, dass die Wassermoleküle mehr Zeit haben, Wärme aus dem umgebenden Erdreich aufzunehmen. Gleichzeitig weist die VDI-Richtlinie darauf hin, dass bei weniger Sonden eine höhere spezifische Entzugsleistung zu erwarten ist, da sich die Sonden thermisch weniger stark beeinflussen (siehe Tabelle 2). Die VDI-Richtlinie gibt die Entzugsleistung in Abhängigkeit von Faktoren wie den Betriebsstunden der Anlagen, der Anzahl der Sonden und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens an.

Tabelle 2: Entzugsleistung nach Wärmeleitfähigkeit (VDI 4640 Blatt 2)

Jahresvoll- laststunden	Anzahl Sonden	Wärmeleitfähigkeit des umgebenden Untergrunds			
		Entzugsleistung bei turbulentem Durchfluss in W/m			
		1,0 W/(m·K)	2,0 W/(m·K)	3,0 W/(m·K)	4,0 W/(m·K)
1200 h/a	1	37,5	52	61,5	68,3
	2	34,3	48,6	58,3	65,3
	3	32,1	46,3	56,1	63,2
	4	30,6	44,4	54,3	61,5
	5	29,7	43,4	53,4	60,8
1500 h/a	1	32,4	47	56,9	64
	2	29,3	43,4	53,4	60,7
	3	27,2	41	50,9	58,4
	4	25,7	39,1	49	56,5
	5	24,9	38	48	55,6
1800 h/a	1	28,6	43	53	60,4
	2	25,6	39,3	49,3	56,8
	3	23,8	36,9	46,7	54,3
	4	22,4	35	44,8	52,3
	5	21,6	33,9	43,6	51,3
2100 h/a	1	25,8	39,8	49,8	57,4
	2	23	36,1	45,9	53,5
	3	21,2	33,7	43,3	50,9
	4	19,9	31,9	41,3	48,8
	5	19,2	30,8	40,1	47,7

Um eine optimale Wärmeübertragung sicherzustellen, werden die Sonden in ausreichendem Abstand zueinander am Ringnetz angeschlossen. In Abb. 13 sind die Sonden durch rosa Kreise mit einem Wärmeentzugsradius von 6 Metern dargestellt, wodurch ersichtlich wird, dass sie sich nicht gegenseitig beeinflussen. Damit ergibt sich eine erwartbare Entzugsleistung von  $\dot{q}_{\text{Sonde}} = 43 \text{ W/m}$ , bei einer angenommenen Wärmeleitfähigkeit von  $2,0 \text{ W/m}$ .



Abb. 13: Anordnung der Sonden im Netz (Glaser 2024)

Für die Berechnung der notwendigen Bohrmeter wird die erforderliche gesamte Entzugsleistung abzüglich der Leistung, die aus dem Ringnetz generiert werden kann, berechnet:

$$\dot{Q}_{E,S} = \dot{Q}_E - \dot{Q}_{E,K} = 212,4 \text{ kW} - 17,0 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{E,S} = 195,4 \text{ kW}$$

Die Bohrmeter können nun mit den ermittelten Werten berechnet werden:

$$l_S = \frac{\dot{Q}_{E,S}}{\dot{q}_{E,S}} = \frac{195,4 \text{ kW}}{43 \text{ W/m}}$$

$$l_S = 4544,2 \text{ m}$$

Es sind demnach 46 Bohrungen mit 100m Tiefe nötig um die notwendige Leistung für das gesamte Netz bereitzustellen.

### Optimierung der Bohrtiefe

Bei tieferen Bohrungen ist von höheren Entzugsleistungen auszugehen, weil die Temperaturen in der Tiefe auch höher sind (siehe 3.3 Geologie und Abb. 6). Die steigende Temperatur mit zunehmender Tiefe verbessert die Effizienz der Wärmeentnahme, da die Entzugsleistung durch den Temperaturgradienten unterstützt wird.

Aus einer reinen Temperaturbetrachtung wären also sehr tiefe Bohrungen am sinnvollsten. Jedoch greifen tiefere Bohrungen ins Bergrecht ein und sind mit erhöhten Auflagen (z.B. Betriebsplanpflicht) und damit auch Kosten verbunden. Außerdem gibt es weniger Firmen, die eine G200-Zulassung haben und somit berechtigt sind, tiefe Bohrungen bis 200m überhaupt durchzuführen (GSA Brunnenbau 2024).

Aktuell gibt es einen „Gesetzesentwurf zur Beschleunigung der Genehmigungsverfahren von Geothermieranlagen“ vom September 2024, der vorschlägt, dass in Zukunft alle Arten der Geothermie von vereinfachten Genehmigungsverfahren profitieren sollen. Im Entwurf wird erläutert, dass Erdwärmebohrungen im Gegensatz zum klassischen Bergbau keine dynamischen Verfahren und eher „statischer Natur“ sind (Bundesregierung 2024).

Aus Gründen des Bauablaufs wäre eine Tiefe von 150 Metern anzustreben. Diese Tiefe wird sowohl von Thomas Giel als auch von BTB Erdwärmebohrungen und Brunnenbau empfohlen, da sie an einem Tag abgeteuft, verrohrt und verfüllt werden kann. Tieferes Bohren würde über mehrere Tage dauern und das Risiko eines Bohrlochkollapses erhöhen.

### 4.3 Integration weiterer Energien

Eine Optimierung des kalten Nahwärmenetzes in Schönhöhe ist durch die Integration weiterer Energien, insbesondere Solarenergie und die Abwärme aus sommerlicher Kühlung möglich.

Angesichts steigender Temperaturen und sommerlicher Hitzeperioden gewinnt die Kühlung zunehmend an Bedeutung. Die kalte Nahwärme bietet den Vorteil, dass das Netz mit Temperaturen um die 10°C ohne zusätzlichen technischen Aufwand zur Kühlung genutzt werden kann. Moderne Wärmepumpen sind bereits mit der notwendigen Technik ausgestattet. Der Energieaufwand ist dabei deutlich geringer als bei elektrischen Klimaanlageanlagen und bringt den zusätzlichen Nutzen, das Erdreich zu regenerieren, indem überschüssige Wärme in den Boden geleitet wird. Dies verbessert die Effizienz der Wärmesonden im Winter. Der konkrete Kühlbedarf in Schönhöhe müsste jedoch noch detailliert untersucht werden, beispielsweise durch eine Analyse der vorhandenen Klimaanlageanlagen. In anderen kalten Nahwärmenetzen konnte durch diese Technik die benötigte Anzahl an Sondenmetern deutlich reduziert werden (Giel 2024).

Eine weitere sinnvolle Ergänzung ist die Nutzung von Photovoltaik, die es den Haushalten ermöglicht, Strom für den Eigenverbrauch und insbesondere die Wärmepumpen klimaneutral zu erzeugen. Wie in Abb. 14 zu sehen ist, bieten nahezu alle Dächer in Schönhöhe Potenzial für die Installation von Photovoltaikanlagen.



Abb. 14: Eignung der Dachflächen für Solarenergie (Energieagentur Brandenburg 2024)

Auch Solarthermie könnte in Zukunft als zusätzliche Wärmequelle in das Netz integriert werden, falls der Wärmebedarf durch neue Anschlüsse steigt. Solarthermie lässt sich ähnlich wie Photovoltaik ohne großen Aufwand auf vielen Dächern installieren (siehe Abb. 14). In der aktuellen Planung ist sie jedoch nicht notwendig, bleibt aber eine Option für die Zukunft, vor allem bei einer steigenden Netzlast.

Die anfängliche Idee, den Großsee als Wärmequelle zu nutzen, wurde aufgrund der Entfernung zu Schönhöhe fallen gelassen. Für den benachbarten Ortsteil Teerofen könnte der See jedoch noch als potenzielle Energiequelle für ein eigenes kleines Netz relevant sein.

Insgesamt bieten die Integration von Photovoltaik und die Nutzung der sommerlichen Kühlung klare Vorteile für die Bewohnerinnen und Bewohner von Schönhöhe und stellen einen vielversprechenden Ansatz zur Weiterentwicklung des kalten Nahwärmenetzes dar.

## 5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

### 5.1 Kostenanalyse

#### 5.1.1 Kapitalgebundene Kosten

Die geplanten Gesamtkosten für die Errichtung des kalten Nahwärmenetzes in Schönhöhe belaufen sich auf 1.321.196,24 €. Diese Summe umfasst alle relevanten Positionen, von den Erdarbeiten über die Herstellung des Sondenfelds bis hin zur Installation der Wärmepumpen.

Die detaillierte Kostenermittlung basiert größtenteils auf den Vorgaben des Standardleistungsbuches für das Baugewerbe (STLB Bau), das eine Kostenberechnung der Material- und Lohnkosten ermöglicht. Ergänzt wurde die Kalkulation durch Marktpreise für spezielle Komponenten und Dienstleistungen, die nicht im STLB Bau aufgeführt sind oder mit diesem abgeglichen wurden. Die ausführlichen Berechnungen sind im Anhang zu finden.

Bezeichnung	Menge	Einheit	Preis	Gesamt
<b>Spezialtiefbauarbeiten</b>				<b>675.831,00 €</b>
Sondenfeld				325.831,00 €
Geothermal Response Test 100m	100	m	172,31 €	17.231,00 €
Doppel-U-Erdwärmesonde 32mm	4.500	m	65,00 €	292.500,00 €
Anschlussstück PE Erdsonde	46	St	350,00 €	16.100,00 €
<b>Kanalarbeiten</b>				<b>350.000,00 €</b>
Baugrube geböschte Wände 1,5m	1.296,75	m <sup>3</sup>	9,79 €	12.695,18 €
Druckrohr PE100 TW DN150	2.793,00	m	41,88 €	116.970,84 €
Druckrohr PE100 TW DN40	663,00	m	3,85 €	2.552,55 €
T-Stück reduziert PE DN150 DN40	52	St	426,56 €	22.181,12 €
Kugelhahn Wasser Rp1 1/2	52	St	63,11 €	3.281,72 €
Baugrube schließen und verdichten	1.296,75	m <sup>3</sup>	9,67 €	13.163,29 €
Sole liefern und befüllen	12.000	kg	5,00 €	60.000,00 €
Zusatzkosten	pauschal	St	119.155,30 €	119.155,30 €
<b>Wärmeversorgungsanlagen</b>				<b>593.365,24 €</b>
Wärmepumpe 9kW COP 5	26	St	19.821,74 €	515.365,24 €
Pufferspeicher 500 Liter	26	St	3.000,00 €	78.000,00 €
				<b>1.269.196,24 €</b>

Abb. 15: Kostenkalkulation des kalten Netzes (eigene Ermittlung)

Zusätzliche Kosten sind für Vermessungen, Gerichtskosten, wie beispielsweise Grundbucheintragungen, sowie für die Klärung von Grundstücks- und Eigentumsverhältnissen einzuplanen. Darüber hinaus können bei den Erdarbeiten unvorhergesehene Herausforderungen wie das Entfernen von Wurzelwerk oder die Wiederherstellung von Belägen auf einzelnen Auffahrten auftreten. Um diesen potenziellen Aufwänden Rechnung zu tragen, wird pauschal ein Betrag von 119.155,30 € veranschlagt.

Aufgrund der hohen Anzahl an benötigten Wärmepumpen (26 Stück) haben lokale Anbieter darauf hingewiesen, dass bei einer Sammelbestellung Mengenrabatte von 5–10 % möglich sind (Smukalski 2024), (Drescher 2024). Diese Preisnachlässe könnten die Gesamtkosten für die Wärmepumpen entsprechend reduzieren. Bei einem Rabatt von 5 % würde der Stückpreis von 19.821,74 € auf 18.830,65 € sinken, was zu einer Gesamtersparnis von rund 25.000–50.000 € führen könnte, abhängig von der endgültigen Rabattgestaltung. Zudem ist zu beachten, dass die hier verwendete 9-kW-Wärmepumpe nur beispielhaft genannt wurde. In der Realität werden die Wärmepumpen entsprechend des individuellen Bedarfs der Gebäude angepasst.

### 5.1.2 Betriebsgebundene Kosten

Im Betrieb des kalten Nahwärmenetzes zeigen sich die Vorteile des passiven Netzaufbaus deutlich. Auf der Netzseite gibt es keine wartungsintensiven oder pflegeaufwendigen Bauteile. Der Austausch- und Wartungsaufwand konzentriert sich somit hauptsächlich auf die Heizungsanlagen in den angeschlossenen Haushalten, die mit 20 Jahren angegeben werden (siehe Tabelle 3). Das Netz selbst wird voraussichtlich doppelt so lange nutzbar sein und lediglich ein Fünftel des Aufwands benötigen, den die Wärmepumpen in den Haushalten erfordern.

Tabelle 3: Aufwand und Lebensdauer der Anlagenteile (VDI 2067 Blatt 1)

Anlagenkomponenten	Rechn. Nutzungsdauer	Aufwand für Instandsetzung	Aufwand für Wartung und Inspektion	Aufwand für Bedienen
Einheiten	Jahre	%	%	Stunden pro Jahr (h/a)
Kaltwasserleitungen	40	0,5	0	0
Wärmepumpen(Sole/Wasser)	20	1	1,5	5

Aus der Tabelle 3 wird für das Netz ein jährlicher Instandhaltungsaufwand von 0,5 % der Investitionssumme (675.831,00 €) angenommen, was jährlichen Kosten von 3.379,16 € entspricht. Für die Wärmepumpen und das Hausanschlussnetz wird ein höherer Aufwand von 2,5 % der Investitionskosten (645.365,24 €) kalkuliert, was zusätzlich 16.134,13 € pro Jahr bedeutet. Hinzu kommen etwa fünf Stunden Wartungsaufwand pro Haushalt zu einem aktuellen Stundensatz von 60 €, was bei 26 Haushalten weitere 7.800 € ergibt. Darüber hinaus

wird eine Pauschale für Verwaltungskosten von 6.000 € jährlich, basierend auf den Empfehlungen von Prof. Thomas Giel, angesetzt.

Wartung und Instandhaltung Netz:	3.379,16 €
Wartung und Instandhaltung Wärmepumpen:	23.134,13 €
<u>Verwaltungskosten:</u>	<u>6.000 €</u>
<b>Gesamtkosten pro Jahr:</b>	<b>33.313,29 €</b>

### 5.1.3 Bedarfsgebundene Kosten

Neben den Investitionskosten für das Netz entstehen individuelle Verbrauchskosten durch den Strombedarf der Wärmepumpen, der als Exergie benötigt wird, um die Wärme für den Haushalt bereitzustellen. Diese Verbrauchskosten variieren je nach Effizienz der Wärmepumpe, gemessen durch den COP (siehe Kapitel 4.1.2), und den spezifischen Stromtarifen.

Für Wärmepumpen gibt es spezielle Stromtarife, die in der Regel günstiger sind als herkömmliche Haushaltstarife. Diese sogenannten Wärmepumpentarife bieten niedrigere Stromkosten, da sie zu bestimmten Zeiten, in denen der Strompreis am Markt geringer ist, angeboten werden. Aktuell liegt der Brutto-Preis für einen Wärmepumpentarif bei 24 ct/kWh inklusive Grundgebühr, was einem Nettopreis von 20,17ct/kWh entspricht (Verivox 2024).

Die Stromkosten für die Wärmepumpe sind direkt vom COP abhängig. Der COP gibt an, wie viel Wärmeenergie pro Einheit Strom erzeugt wird. Ein höherer COP bedeutet somit geringere Stromkosten pro kWh Wärme, die an den Haushalt abgegeben wird.

Für nicht modernisierte Gebäude (mit älteren Heizsystemen und schlechter Dämmung) wird ein COP von etwa 4 angenommen. Für energetisch modernisierte Gebäude mit geringeren Vorlauftemperaturen (insbesondere bei Verwendung von Flächenheizkörpern) wird ein COP von 5,5 angenommen.

$$\text{Stromkosten} = \frac{\text{Preis je kWh}}{\text{COP}}$$

Für ein nicht modernisiertes Gebäude mit einem COP von 4 und einem Strompreis von 24 ct/kWh ergibt sich ein Preis von:

$$\frac{20,17 \text{ ct/kWh}}{4} = 5,04 \text{ ct je kWh Wärme}$$

Für ein modernisiertes Gebäude mit einem COP von 5,5 beträgt der Preis:

$$\frac{20,17 \text{ ct/kWh}}{5,5} = 3,67 \text{ ct je kWh Wärme}$$

## 5.2 Fördermittel und Finanzierung

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) bietet in ihren aktuellen Förderrichtlinien im Modul 2 einen Zuschuss von 40 % für die Erzeugungsanlagen und die Infrastruktur von Wärmenetzen an (BAFA 2022). Zusätzlich sind im Modul 4 weitere Förderungen für den Betrieb der Anlagen möglich. Darüber hinaus können auch Gelder von anderen öffentlichen Trägern, wie etwa von der Kommune oder dem Land, beantragt werden. Diese sind jedoch nicht pauschal bezifferbar, da sie von individuellen Verhandlungen mit den jeweiligen Entscheidungsträgern abhängen.

Die KfW-Bank bietet ebenfalls Förderungen an, jedoch schließen sich diese mit den BAFA-Förderungen gegenseitig aus. Für den Heizungstausch sind beispielsweise bis zu 70 % der Kosten förderfähig, abhängig von der Art der bestehenden Heizung und dem Haushaltseinkommen. Diese Anträge müssen jedoch privat gestellt werden, was für eine Netzgesellschaft von Bedeutung ist und die Frage aufwirft, ob und wie Kundinnen und Kunden ohne eigene Investitionen einen Anschluss an das Netz erhalten können. Zusätzlich vergibt die KfW-Bank Kredite ab 5,21 % Zinsen, die für nachhaltige Projekte vorgesehen sind (KfW Bank 2024). Es gibt aber weitaus günstigere Kredite von anderen Kreditinstituten. So zeigt die folgende Statistik, dass die aktuellen Bauzinsen für Kredite mit 15 Jahren Laufzeit bei 3,48% liegen.



Abb. 16: Entwicklung der Bauzinsen in Deutschland (Statista 2024)

Private Darlehen mit günstigen Zinsen können ebenfalls eine Finanzierungsmöglichkeit darstellen. Besonders das genossenschaftliche Modell ermöglicht den Menschen in Schönhöhe eine direkte Beteiligung am Wärmenetz. So können durch günstige Kredite attraktivere Wärmepreise angeboten werden, während die Investierenden von niedrigeren Bezugskosten profitieren und direkt an ihrer Investition beteiligt sind.

### 5.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Um die langfristige Wirtschaftlichkeit des kalten Nahwärmenetzes zu bewerten, werden verschiedene Szenarien betrachtet, die die Gesamtkosten und den daraus resultierenden Preis pro kWh Fernwärme für den Endkunden aufzeigen. Die Bewertung erfolgt anhand einer detaillierten Analyse der kapitalgebundenen, bedarfsgebundenen und betriebsgebundenen Kosten, die für den Betrieb des Systems anfallen.

Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten die Investitionskosten für den Bau des Nahwärmenetzes sowie die Anschaffung und Installation der Wärmepumpen. Zudem wird ein Wagnis- und Gewinnfaktor von 8 % berücksichtigt, um einen realistischen Marktpreis zu erhalten (Giel 2024). Für die Berechnung der Kosten wird von einer Laufzeit von 15 Jahren für das Heizungssystem und 30 Jahren für das Netz ausgegangen. Da die Investitionskosten über einen längeren Zeitraum finanziert werden, wird die Annuitätenmethode verwendet. Sie sorgt für gleichbleibende jährliche Rückzahlungsbeträge, die sowohl Zinsen als auch Tilgung beinhalten. Wie in Abb. 17 veranschaulicht, nehmen die Zinsen anfangs einen höheren Anteil ein, während der Tilgungsanteil mit der Zeit steigt.

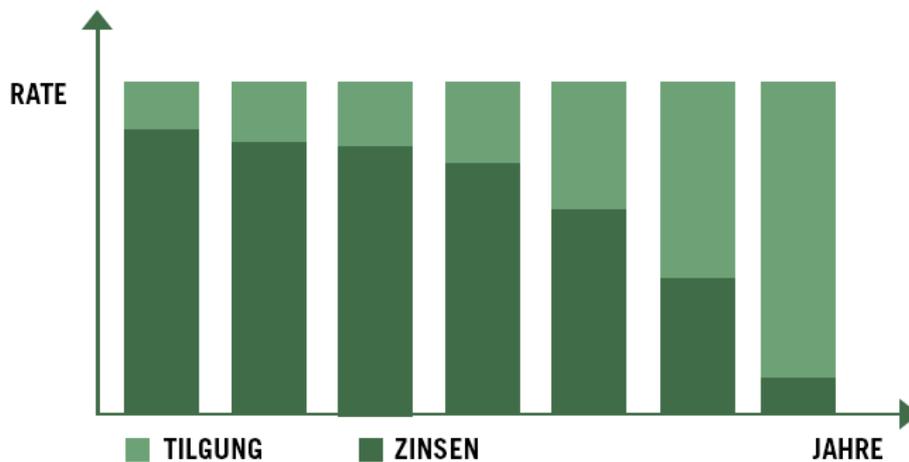


Abb. 17: Jährliche Kosten eines Kredits (Rechnungswesen verstehen 2019)

Um die Annuität zu berechnen werden die Kosten mit einem Annuitätsfaktor multipliziert, der sich abhängig von der Laufzeit  $T$  und dem Zinsfaktor  $q$  wie folgt berechnet.

$$ANF = \frac{q^T \cdot (q - 1)}{q^T - 1}$$

Für einen Zinssatz von 3,5 % und eine Laufzeit von 30 Jahren ergibt sich der Annuitätsfaktor zu:

$$ANF = \frac{1,035^{30} \cdot (1,035 - 1)}{1,035^{30} - 1} = 0,087$$

Dieser muss mit den Kosten multipliziert werden, um die jährliche Rückzahlung zu ermitteln (VDI 2067 Blatt 1). Diese jährlichen Kosten werden anschließend auf den Energiebedarf (523.054 kWh) umgelegt, um die spezifischen Kosten pro kWh zu ermitteln.

Neben den kapitalgebundenen Kosten spielen auch die betriebsgebundenen Kosten, wie Wartung und Instandhaltung, eine Rolle. Diese werden durch Fördermittel reduziert, was die spezifischen Kosten je kWh weiter senkt. Hinzu kommen die bedarfsgebundenen Kosten, die von den individuellen Strompreisen und den energetischen Sanierungsstandards der Gebäude abhängen.

Um den finalen Preis pro kWh Fernwärme für den Endkunden zu ermitteln, werden diese drei Kostenkategorien – kapitalgebunden, betriebsgebunden und bedarfsgebunden – in der folgenden Tabelle summiert. Die Berechnung erfolgt für drei Szenarien (günstig, mittel, ungünstig), die unterschiedliche wirtschaftliche Rahmenbedingungen wie Förderungen und Zinsen berücksichtigen.

Tabelle 4: spez. Kosten verschiedener Szenarien (Eigene Berechnung, Stand: Sep. 2024)

		Günstiges Szenario	Mittleres Szenario	Ungünstiges Szenario	Vergleich Gasheizung
<b>Kapitalgebundene Kosten</b>					
Kosten Heizung	Einheit	593.365,24 €	593.365,24 €	593.365,24 €	227.588,92 €
inkl W+G (8%)		47.469,22 €	47.469,22 €	47.469,22 €	18.207,11 €
Kosten Netz+Sonden		675.831,00 €	675.831,00 €	675.831,00 €	0,00 €
inkl W+G (8%)		54.066,48 €	54.066,48 €	54.066,48 €	0,00 €
Fördermittel		80%	60%	40%	0%
Zinssatz		3,00%	3,50%	4,00%	4,00%
Annuität Heizung(15 a)		10.736,10 €	22.256,20 €	34.582,41 €	20.661,76 €
Annuität Netz (30 a)		7.447,77 €	15.874,20 €	25.326,03 €	0,00 €
<b>spezifische Kosten</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>3,48</b>	<b>7,29</b>	<b>11,45</b>	<b>3,46</b>
<b>Betriebsgebundene Kosten</b>					
Fördermittel		30%	15%	0%	0%
<b>spezifische Kosten</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>4,46</b>	<b>5,41</b>	<b>6,37</b>	<b>5,22</b>
<b>Bedarfsgebundene Kosten</b>					
<b>spezifische Kosten saniert</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>3,67</b>	<b>3,67</b>	<b>3,67</b>	<b>10</b>
<b>spezifische Kosten unsaniert</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>5,04</b>	<b>5,04</b>	<b>5,04</b>	
<b>Gesamtkosten</b>					
<b>saniert</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>11,60</b>	<b>16,37</b>	<b>21,49</b>	<b>18,68</b>
<b>unsaniert</b>	<b>ct/kWh</b>	<b>12,97</b>	<b>17,74</b>	<b>22,86</b>	

Die Tabelle 4 zeigt die spezifischen Kosten, die pro kWh Wärme zu erwarten sind. Im ungünstigsten Szenario (rot) wurde lediglich die Grundförderung der BAFA berücksichtigt. Bei einem relativ hohen Zinssatz ergeben sich spezifische Kosten von 21,49 bzw. 22,86 Cent pro kWh.

Im positiven Szenario (grün) wurde hingegen eine Kombination aus der BAFA-Grundförderung von 40 % für das Netz und zusätzlichen hohen Förderanteilen der KfW Bank von durchschnittlich über 60 % für die Heizungsanlagen angesetzt. Zudem wird mit weiteren Förderungen von Kommunen und anderen öffentlichen Trägern in Höhe von 25 % gerechnet, wodurch sich eine Gesamtförderung von 80 % ergibt. Der Zinssatz ist hier optimistisch und setzt sich aus Bankdarlehen mit 4 % und privaten unterstützenden Darlehen mit 2 % zu einem gemittelten Zinssatz von 3 % zusammen.

Das mittlere Szenario repräsentiert eine ausgewogene Bewertung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und stellt die realistischsten Annahmen dar. Es basiert auf moderaten Förderungen und durchschnittlichen Zinssätzen, wodurch es als plausibelste Annahme betrachtet wird. Hier zeigt sich, dass der Zinssatz nur einen geringen Einfluss auf die spezifischen Kosten hat. Beispielsweise erhöht ein Anstieg des Zinssatzes auf 4 % die spezifischen Kosten nur minimal von 7,29 auf 7,95 ct/kWh. Dagegen bewirkt eine Erhöhung der Förderung um 5 % auf 65 % eine deutliche Reduzierung der Kosten auf 6,38 ct/kWh. Dies verdeutlicht, dass die Herstellungskosten des Netzes den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben.

Der energetische Zustand der Gebäude und der erwartbare COP haben ebenfalls eine große Bedeutung und machen einen Unterschied von 1,37ct in den Gesamtkosten je kWh aus.

Wichtig zu betonen ist, dass alle vorangegangenen Berechnungen bewusst konservativ angesetzt wurden, um unvorhergesehene Schwierigkeiten und mögliche Kostensteigerungen zu berücksichtigen. Trotz dieser vorsichtigen Annahmen bewegen sich die spezifischen Kosten im durchschnittlichen Rahmen, wie er auch von anderen Fernwärmebetreibern angeboten wird (Siepe 2024).

Die Gasheizung wurde mit Kosten von 8753,42 € inkl. Speicher und Installation angenommen (siehe Anhang S. XIV). Die Gasheizung, für die keine Förderungen verfügbar sind, liegt im Vergleich zu den Kosten für das kalte Nahwärmenetz in den Szenarien im mittleren bis oberen Bereich. Dies ist vor allem auf die hohen bedarfsgebundenen Kosten für Gas zurückzuführen, die bei etwa 10 Cent pro kWh liegen. Infolgedessen erreichen die Gaspreise in den Gesamtkosten etwa 18,68 Cent pro kWh.

## 5.4 Langfristige Perspektive und Risiken

Das kalte Nahwärmenetz bietet langfristig mehrere Vorteile, die es zu einer zukunftssicheren Option für die Wärmeversorgung machen. Die Kosten für fossile Brennstoffe werden durch die CO<sub>2</sub>-Bepreisung und die zunehmende Ressourcenknappheit voraussichtlich weiter steigen. Zwar steigen auch die Strompreise, jedoch nicht in dem Maße wie die fossilen Brennstoffe. Zudem erholen sich die Strompreise nach Krisen, wie dem Russlandkrieg, langfristig schneller und haben sich im Gegensatz zu Gas fast wieder dem Vorkriegsniveau angenähert (Bundesnetzagentur 2024). Ein weiterer Vorteil ist, dass der Hauptenergieträger, die Umgebungswärme, kostenfrei bleibt.

Weiterhin können private Solaranlagen durch die Erzeugung von Eigenstrom die Kosten der Wärmeversorgung weiter senken. Gerade für strombasierte Heizungen ist diese Investition besonders vorteilhaft.

Zusätzlich zu diesen finanziellen Vorteilen bietet das kalte Nahwärmenetz durch große Rohrdimensionen eine hohe Flexibilität bei der Integration neuer Hausanschlüsse. Dies ermöglicht eine einfache Erweiterung des Netzes und Anpassungen an zukünftige Anforderungen.

Für die individuellen Haushalte haben energetische Sanierungen der angeschlossenen Gebäude mehrere Vorteile: Sie reduzieren ihren individuellen Wärmebedarf und können durch voraussichtlich geringere Vorlauftemperaturen der Heizung einen höheren COP erwarten, was die individuellen Heizkosten effektiv reduziert. Diese Sanierungen sind allerdings auf der Netzseite zweiseitig zu betrachten: Die Erdwärmesonden werden entlastet, da der reduzierte Wärmebedarf zu einer geringeren Anzahl an Vollaststunden pro Sonde führt. Dies kann die Entzugsleistung je Sonde erhöhen und die Soletemperatur leicht ansteigen lassen, was den COP für alle erhöht und die bedarfsgebundenen Kosten senkt. Zum anderen müssen die kapitalgebundenen Kosten bei einer Reduzierung des Wärmebedarfs auf eine geringere Wärmemenge umgelegt werden, was den spezifischen Preis je kWh wieder erhöht. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die mittelfristig erwartbaren Wärmebedarfe zu kennen und das Netz darauf auszulegen, um eine genauere Einschätzung der Wirtschaftlichkeit zu erhalten.

Ein weiteres Risiko ist die Abhängigkeit von Fördermitteln. Änderungen in der Förderpolitik können die Finanzierung des Projekts beeinflussen. Daher ist es notwendig, langfristige Verträge abzuschließen, um die finanzielle Sicherheit des Systems zu gewährleisten.

Angesichts der steigenden Kosten für CO<sub>2</sub>-Emissionen (Bundesregierung 2024) bietet das kalte Nahwärmenetz eine kosteneffiziente und nachhaltige Alternative zu fossilen Brennstoffen, die langfristig die Energiekosten senkt und zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Bilanz beiträgt.

## 6 Fazit

### 6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde die Machbarkeit eines kalten Nahwärmenetzes in Schönhöhe untersucht, wobei sowohl technische als auch ökonomische Aspekte betrachtet wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die technische Umsetzung durch den Einsatz von Erdwärmesonden und Wärmepumpen realisierbar ist. Diese Technologien ermöglichen eine nachhaltige und CO<sub>2</sub>-freie Wärmeversorgung, die in Kombination mit grünem Strom einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasemissionen leisten kann.

Ein zentraler Vorteil des kalten Nahwärmenetzes besteht darin, dass es sowohl aus den Sonden als auch aus dem Netz Entzugsleistungen generieren und leicht für neue Hausanschlüsse erweitert werden kann. Durch die Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors konnten die erforderlichen Bohrmeter reduziert werden, was die Effizienz des Systems erhöht.

Die ökonomische Analyse zeigt, dass der Zustand der Gebäude und die Vorlauftemperatur des Heizungssystems einen Einfluss auf die Wärmekosten haben. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit des Systems sind die Fördermittel und die Finanzierungsbedingungen. Die Szenarienanalyse verdeutlicht, dass die spezifischen Kosten für Wärme in einer Spanne von 11,6 ct/kWh bis 22,86 ct/kWh liegen können. Diese Spanne unterstreicht, wie stark die Wärmekosten von verschiedenen Faktoren abhängen, insbesondere von staatlichen Förderungen und den Finanzierungsbedingungen. Der endgültige Preis für eine Kilowattstunde Wärme ist stark von politischen Entscheidungen und zukünftigen Rahmenbedingungen abhängig.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein kaltes Nahwärmenetz in Schönhöhe sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bietet und sich als zukunftssichere Lösung präsentieren kann. Angesichts steigender Heizkosten für fossile Energien könnte dieses System eine beständige Alternative darstellen, die nicht nur den Wärmebedarf der Haushalte deckt, sondern auch zur Erreichung von Klimazielen beiträgt.

## 6.2 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind auf viele Gebiete im ländlichen Raum übertragbar und bieten eine Grundlage für die nachhaltige Wärmeversorgung in weiteren Gemeinden. Diese Technologie bietet besonders in Regionen mit geringer Bevölkerungsdichte und wenig industrieller Infrastruktur eine sinnvolle Option, eine klimafreundliche Wärmeversorgung aufzubauen. Ein großer Vorteil in Schönhöhe besteht darin, dass bereits engagierte Bürgerinnen und Bürger aktiv an einer Energiegenossenschaft arbeiten, um das Projekt voranzutreiben.

Für die langfristige Optimierung des Netzes sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich. Die gezielte Nutzung der Gebäudekühlung im Sommer sollte betrachtet werden, da sie eine effektive Regeneration der Sondenfelder unterstützen kann. Dabei müsste der tatsächliche Kühlbedarf ermittelt werden, um die Effizienz der Regeneration zu maximieren. Zusätzlich sollte die gesamte Anlage über einen Zeitraum von 50 Jahren computersimuliert werden, um fundierte Prognosen zur langfristigen Entwicklung der Entzugsleistung und der zu erwartenden Temperaturen zu erhalten. Des Weiteren sollte geprüft werden, ob für den Ortsteil Teerofen ein eigenes, kleineres kaltes Nahwärmenetz eingerichtet werden kann, um auch dort eine nachhaltige Wärmeversorgung kostengünstig anzubieten.

Zukünftige Entwicklungen, wie die Erhöhung staatlicher Förderungen oder Änderungen der Auflagen für Bohrungen jenseits der 100 Meter, könnten die Wirtschaftlichkeit weiter steigern. Zudem bieten Maßnahmen wie die Integration von Solarstrom und energieeffiziente Gebäudesanierungen zusätzliche Potenziale, um die spezifischen Wärmekosten zu senken und das System noch nachhaltiger zu gestalten. Angesichts des zunehmenden Drucks zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen könnten kalte Nahwärmenetze eine zentrale Rolle in der Energiewende, besonders im ländlichen Raum, übernehmen. Kalte Nahwärmenetze bieten eine zukunftsweisende, praktische Lösung, die entscheidend zur Bewältigung der Klimakrise beitragen kann.

## Literaturverzeichnis

- KfW. Bank. *Kreditanstalt für Wiederaufbau.* 2024. <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/F%C3%B6rderprodukte-f%C3%BCr-Bestandsimmobilien.html> (Zugriff am 18. 09 2024).
- AEE. „Agentur für Erneuerbare Energien.“ 2024. [https://www.unendlich-viel-energie.de/media/image/87701.AEE\\_EE-Anteil-Fernwaerme\\_2023\\_dez23.jpg](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/image/87701.AEE_EE-Anteil-Fernwaerme_2023_dez23.jpg) (Zugriff am 09. 09 2024).
- BAFA. „Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle.“ 15. 09 2022. [https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Energieeffizienz\\_waermenetze/20220915.html](https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Energieeffizienz_waermenetze/20220915.html) (Zugriff am 16. 09 2024).
- BDH. *Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.* Informationsblatt Nr. 43, Köln: BDH und , 2011.
- Breer, Sebastian. „Vortrag - Rezepte für eine Grüne Fernwärme.“ Prenzlau: WWF, 27. 07 2024.
- BTB Erdwärmebohrungen und Brunnenbau, Hr. Gräfe. *Telefonat* (04. 09 2024).
- Bundesamt für Energie BFE. *Planungshandbuch Fernwärme.* Bern: energieschweiz, 2021.
- Bundesnetzagentur. *SMARD.* 19. 09 2024. <https://www.smard.de/home/neu-auf-smard-index-zur-entwicklung-der-haushaltsstrom-und-gaspreise-214712> (Zugriff am 25. 09 2024).
- Bundesregierung. *Bundesregierung.* 01. 01 2024. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622> (Zugriff am 19. 09 2024).
- . „Drucksache 435/24.“ 06. 09 2024. <https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2024/0401-0500/435-24.pdf> (Zugriff am 14. 09 2024).
- DESTATIS. *Statistisches Bundesamt.* 30. 01 2024. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2024/PD24\\_05\\_p002.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2024/PD24_05_p002.html) (Zugriff am 05. 09 2024).
- Deutsche Physikalische Gesellschaft. *Elektrizität: Schlüssel zu einem nachhaltigen und klimaverträglichen Energiesystem.* 2010.
- Donath, Cornelia. *E-Mail Korrespondenz mit dem Bauamt online,* (01. 07 2024).

- Dötsch, Christian, Jan Taschenberger, und Ingo Schönberg. *Leitfaden Nahwärme*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1998.
- Drescher, Fa. Elmak Peitz. *E-Mail Korrespondenz* (16. 08 2024).
- Energieagentur Brandenburg. „Ergebnisse der Potenzialanalyse über nutzbare Flächen für solartechnische Anlagen im Land Brandenburg.“ 03 2024. <https://energieportal-brandenburg.de/cms/inhalte/tools/solaratlas-brandenburg/mein-dach> (Zugriff am 15. 09 2024).
- Geoportal LKSPN. „Geoportal Landkreis Spree-Neisse.“ 2024. [https://geoportal.lkspn.de/gp\\_spn/app.php/application/geo\\_bp](https://geoportal.lkspn.de/gp_spn/app.php/application/geo_bp) (Zugriff am 15. 08 2024).
- Gerodur MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG, P. Tuschling. *E-Mail Korrespondenz* (08. 08 2024).
- Giel, Thomas. „Onlineseminar - kalte Nahwärmenetze.“ *Entwicklung und Bewertung eines kalten Nahwärmenetzes für Neubaugebiete*. online: TGA-GM, 26. 08 2024.
- Giel, Thomas, Marco Mullen Yves, und Twardawa. „Auslegungshilfe für Passive-Kalte-Nahwärmenetze.“ 2023.
- Glaser, Jonas. „Arbeiten erstellt mit ViCADo von mb AEC Software GmbH.“ 09 2024.
- GSA Brunnenbau, Hr. Krause. *Telefonat* (06. 09 2024).
- Hoffmann, Martin. *Wanderglück*. 29. 04 2022. <https://wanderglueck.com/wandern/rundwanderung-am-grossee-im-naturpark-schlaubetal> (Zugriff am 09. 09 2024).
- Initiative Wärmedorf Schönhöhe. „Datenerhebung zu Gebäuden und Verbräuchen in Schönhöhe.“ Oktober 2023.
- Konstantin, Panos, und Margarete Konstantin. *Praxisbuch der Fernwärme- und Fernkälteversorgung*. Berlin: Springer, 2022.
- Langheim, Björn. „Kalte Nahwärme als Quartierslösung der Zukunft.“ *HLH 7/8, 2022*: 26-27.
- Leibniz-Institut für angewandte Geophysik. *Metastudie zur nationalen Erdwärmestrategie*. Metastudie, Hannover: Geozentrum, 2022.
- LGBR Bohrpunktkarte. *Geoportal Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg*. 2024. <https://geo.brandenburg.de/?page=Bohrpunktkarte-Brandenburg> (Zugriff am 23. 08 2024).

- LGBR Geothermieportal. *Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg*. kein Datum. <https://geo.brandenburg.de/?page=Geothermieportal> (Zugriff am 23. 08 2024).
- Rechnungswesen verstehen. 2019. <https://www.rechnungswesen-verstehen.de/upload/annuitaetendarlehen.png> (Zugriff am 19. 09 2024).
- Schmitt, S., R. Zeh, und V. Stockinger. „Quantification of heatlosses and gains of 5th generation district heating and cooling networks compared to conventional heating networks.“ *Bauphysik 44*, 2022: 337-343.
- Schrade, Johannes, Micha Illner, Heike Erhorn-Kluttig, und Hans Erhorn. *Leitfaden für die Entwicklung von klimaneutralen Energieversorgungskonzepten für Wohnquartiere*. 6. Energieforschungsprogramm, Stuttgart: Stadtquartier 2050, 2022.
- Siepe, Werner. *CO2online*. 2024. <https://www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/heizung/fernwaerme/umstieg-von-gas-auf-fernwaerme/> (Zugriff am 19. 09 2024).
- Smukalski, Mirco Fa. Smukalski Guben. *Telefonat* (16. 08 2024).
- Statista. *Statista Research Department*. 03. 09 2024. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1347565/umfrage/entwicklung-der-bauzinsen-in-deutschland/> (Zugriff am 19. 09 2024).
- Stober, Ingrid, und Kurt Bucher. *Geothermie*. Berlin: Springer, 2020.
- Streng Swiss AG, T. Gruber. *E-Mail Korrespondenz* (09. 08 2024).
- UBA. *Umweltbundesamt*. 02. 04 2024. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme> (Zugriff am 04. 09 2024).
- . „Umweltbundesamt.“ *UBA*. 02 2024. <https://www.umweltbundesamt.de/bild/erneuerbare-energie-fuer-waerme-kaelte-anteil> (Zugriff am 22. 09 2024).
- Untere Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde, M. Müller. *E-Mail Korrespondenz* (08. 08 2024).
- Untere Naturschutzbehörde Spree-Neiße, K. Weidlich. *E-Mail Korrespondenz* (11. Juli 2024).
- Untere Wasserbehörde, H. Körtge. *E-Mail Korrespondenz* (09. 08 2024).
- VDI 2067 Blatt 1. „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen.“ *Grundlagen und Kostenberechnung*. Berlin: Beuth, 09 2012.

VDI 4640 Blatt 2. „Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen.“ Berlin: Beuth, 06 2019.

VDI 4640 Blatt 5. „Thermische Nutzung des Untergrunds - Thermal-Response-Test (TRT).“ Berlin: Beuth, 07 2020.

Verivox. „Verivox Vergleichsportal Wärmepumpenstrom.“ 2024.  
<https://www.verivox.de/heizstrom/vergleich> (Zugriff am 16. 09 2024).

Wirtz, M. et. al. „Survey of 53 Fifth Generation District Heating and Cooling (5GDHC) Networks in Germany.“ 2022.

## Anhang

### Telefonate und E-Mail-Korrespondenzen

Telefonat am 04.09.2024 mit Hr Gräfe (BTB Erdwärmebohrungen und Brunnenbau)

- optimale Tiefe im Bauablauf: 150m
- Empfehlung bei Tiefen über 100m: 40er Rohre Einfach-U
- bessere Entzugsleistungen in turbulenter Strömung
- Entzugsleistung im Sondenfeld: 35-40w/m

Telefonat am 04.09.2024 mit Mirko Smukalski Fa. Smukalski

- bei mehr als 20 Wärmepumpen ca. 10% Kostenersparnis wegen Mengenrabatten

### Behörden

Die **Untere Naturschutzbehörde** des Landkreises Spree-Neiße gibt zu bedenken, dass auf Grund des Landschaftsschutzgebietes ‚Großsee‘ und weiterer Schutzgebiete der Schutzstatus dieser nicht beeinträchtigt werden darf (Untere Naturschutzbehörde Spree-Neiße 2024).

Der **Unteren Wasserbehörde** muss das Netz angezeigt werden. Zudem sind die Bohrungen im Sondenfeld genehmigungspflichtig (Untere Wasserbehörde 2024).

Für die **Untere Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde** spricht ebenfalls nichts gegen das Projekt, jedoch müssen die Bohrplätze mit ihnen abgestimmt werden, damit diese nicht mit Altlasten aus angrenzenden militärischen Liegenschaften kollidieren. (Untere Abfallwirtschafts- und Bodenschutzbehörde 2024)

## Kostenberechnungen

### **LV 06 Spezialtiefbauarbeiten**

#### **Titel 06.02 Kanalarbeiten**

##### **06.02.1 Boden Baugrube lösen lagern geböschte Wände L 175-200m T bis 1,5m GU**

STLB-Bau 04/2024 002

Boden für Baugrube, ab Geländeoberfläche, profilgerecht lösen, seitlich lagern, Zuordnung LAGA Z 0 (uneingeschränkter Einbau), mit geböschten Wänden, Gesamtlänge über 175 bis 200 m, Aushubtiefe bis 1,5 m, Homogenbereich 1, mit einer Bodengruppe, Bodengruppe 1 GU DIN 18196 (Kies-Schluff-Gemisch), Tiefe oberer Horizont des Homogenbereiches von 0 m, Tiefe unterer Horizont des Homogenbereiches bis 5 m, Baumaßnahme der Geotechnischen Kategorie 1 DIN 4020, - Konsistenz DIN EN ISO 14688-1 fest, Mengenermittlung nach Aufmaß an der Entnahmestelle.

**1.296,750 m3**

**EP 9,79**

**GP 12.695,18**

##### **06.02.2 Druckrohr PE100 TW DN/OD160 SDR17 Graben abgeböschst Bettung Typ 3 ob. Schicht vorh.Boden T bis 1,25m**

STLB-Bau 04/2024 043

Druckrohr aus PE 100 DIN 8074 und DIN 8075 ohne Schutzmantel, für Trinkwasser, DN/OD 160, SDR 17, Baulängen von 300 m, auf Trommeln, mit glatten Enden, Verlegung DVGW W 400-2, in vorh. Graben, abgeböschst, einschl. Bettung Typ 3, Dicke der oberen Bettungsschicht gemäß beiliegender statischer Berechnung, obere Bettungsschicht aus vorh. Boden, Verlegetiefe bis 1,25 m.

**2.793,000 m**

**EP 41,88**

**GP 116.970,84**

##### **06.02.3 Druckrohr PE100 TW DN/OD40 SDR17 Graben abgeböschst Bettung Typ 3 ob. Schicht vorh.Boden T bis 1,25m**

STLB-Bau 04/2024 043

Druckrohr aus PE 100 DIN 8074 und DIN 8075 ohne Schutzmantel, für Trinkwasser, DN/OD 40, SDR 17, Baulängen von 300 m, auf Trommeln, mit glatten Enden, Verlegung DVGW W 400-2, in vorh. Graben, abgeböschst, einschl. Bettung Typ 3, Dicke der oberen Bettungsschicht gemäß beiliegender statischer Berechnung, obere Bettungsschicht aus vorh. Boden, Verlegetiefe bis 1,25 m.

**663,000 m**

**EP 3,85**

**GP 2.552,55**

##### **06.02.4 T-Stück reduziert PE DN/OD160 DN50 SDR11**

T-Stück, reduziert, aus PE, 90 Grad, zum Heizelementmuffenschweißen, für Druckrohrleitung aus PE, für Wasser, DN/OD 160, 2. DN/OD 40, SDR 11.

**52,000 St**

**EP 426,56**

**GP 22.181,12**

##### **06.02.5 Kugelhahn Wasser Rp1 1/2 PN10 Durchgang EN-GJL**

STLB-Bau 04/2024 042

Kugelhahn, für Wasserleitung, mit Muffenanschluss, Rp 1 1/2, Nenndruck 1 MPa (10 bar), Durchgangsform, Abdichtung mit O-Ring, Gehäuse aus Gusseisen EN-GJL, Betätigung mit Werkzeug.

52,000 St EP 63,11 GP 3.281,72

**06.02.6 Wärmeträgermedium liefern(eigene Schätzung)**

STLB-Bau 04/2024 005

Wärmeträgermedium für Erdwärmesonden nur liefern.

12.000,000 kg EP 4,94 GP 59.280,00

**06.02.7 Wärmeträgermedium einbringen(eigene Schätzung)**

STLB-Bau 04/2024 005

Wärmeträgermedium für Erdwärmesonden einbringen.

10,000 h EP 65,00 GP 650,00

**06.02.8 Boden verbessern einbauen verdichten Graben Körnungsstoff Einbau-T bis 1,5m  
Sohlen-B 0,4-0,5m**

STLB-Bau 04/2024 002

Boden verbessern, einbauen und verdichten, Verdichtungsgrad mind. DPr 0,95, für Gräben, mit Körnungsstoff, Einbautiefe bis 1,5 m, Breite der Sohle über 0,4 bis 0,5 m, Verbesserungs-/Verfestigungsstoff wird beigelegt.

1.361,250 m3 EP 9,67 GP 13.163,29

**06.02.9 Zusatzkosten pauschal**

Notar und Gerichtskosten, Vermessungskosten und eventuelle Zusatzarbeiten, wie Umführung bestehender Leitungen, Aufgaben die aufgrund von Wurzelwerk von Bäumen entstehen oder um unter bestehenden Bodendeckungen durchzuschließen bzw diese aufzunehmen und wieder einzubauen.

1,000 EP 111.306,72 GP 111.306,72

**Titel 06.02 Kanalarbeiten GP 342.081,42**

## LV 40 Wärmeversorgungsanlagen - Betriebseinrichtungen

### Titel 40.03 Wärmepumpen

#### 40.03.1 Wärmepumpe Raumheizung TW-Erwärmung Wärmequelle Wasser 9kW COP 5 monovalent PN4 400VAC

Wärmepumpe Raumheizung TW-Erwärmung Wärmequelle Wasser 9kW COP 5 monovalent PN4 400VAC

Wärmepumpe für Raumheizung und zur Erwärmung von Trinkwasser DIN EN 14511, gemäß beigefügter Wasseranalyse, mit WP-Gütesiegel (EHPA), Wärmequelle Wasser,

Wärmequellentemperatur 9 Grad C, Speichervolumen Trinkwasserspeicher über 100 bis 150 l, Trinkwassertemperatur über 50 bis 60 Grad C, Speichervolumen Pufferspeicher 600 l, max.

Vorlauftemperatur 65 Grad C, Innenaufstellung, mit Verdichter, Nennwärmeleistung im Betriebszustand 9 kW, Leistungszahl (COP) 5, max. Schalleistungspegel 65 dB(A), mit einem Kältekreislauf, Betriebsweise monovalent, Nenndruck 0,4 MPa (4 bar), Bemessungsbetriebsspannung 400 V AC, mit EVU-Abschaltung, einschl. Regelung für Warmwasserbereitung und geregelten Heizkreis,

Hersteller und Typ '...' vom Bieter einzutragen.

26,000 St

EP 19.821,74

GP 515.365,24

#### 40.03.2 Pufferspeicher 500 Liter inkl Installation

26,000

EP 3.000,00

GP 78.000,00

Titel 40.03 Wärmepumpen GP 593.365,24

## Zusammenfassung

LV 06 Spezialtiefbauarbeiten

GP 667.912,42

LV 40 Wärmeversorgungsanlagen – Betriebseinrichtungen

GP 593.365,24

## Kosten Gasheizung

### Wärmeerzeuger-Unit Niedertemperaturkessel 10kW max 3bar Gasgebläsebrenner Erdgas E Leistungsregelung modulierend Speicherladepumpe Speicherwassererwärmer 5l Membran Druckausdehnungsgefäß 50l Vordruck 0,75bar Wärmedämm-Ummantelung

Wärmeerzeuger-Unit Niedertemperaturkessel 10kW max 3bar Gasgebläsebrenner Erdgas E Leistungsregelung modulierend Speicherladepumpe Speicherwassererwärmer 5l Membran Druckausdehnungsgefäß 50l Vordruck 0,75bar Wärmedämm-Ummantelung  
 Wärmeerzeuger als Einheit montiert, einschl. Ummantelung mit Wärmedämmung, mit Niedertemperaturkessel, mind. erforderliche Wärmeleistung über 9 bis 10 kW, zulässige Kesselvorlauf- (Absicherungs-)temperatur bis 110 Grad C, max. zulässiger Betriebsüberdruck 300 kPa (3 bar), Heizmedium Wasser, Mindest-Nutzungsgrad 90 % mit CE-Registrierung und Bauartzulassung, Feuerungseinrichtung mit Gasgebläsebrenner DIN EN 676, für Erdgas E, mit CE-Registrierung, Leistungsregelung modulierend, mit Zünd- und Überwachungseinrichtung, abgasseitige Grenzwerte gemäß 1. BImSchV, mit Kreiselpumpe als Speicherladepumpe, Speicher-Wassererwärmer, DIN 4753-7, mit innenliegender Heizfläche, Speicherinhalt bis 5 l, max. zulässiger Betriebsüberdruck 6 bar, Warmwasserdauerleistung DIN 4708-2 bei Erwärmung von 10 auf 45 Grad C bis 85 l/h, Leistungskennzahl NL 1 DIN 4708, Membran-Druckausdehnungsgefäß, Mindest-Nennvolumen 50 l, Vordruck 0,75 bar, Wärmeerzeugerausrüstung: mit Absperrarmaturen für Vor- und Rücklauf, mit Druck-Messgerät, mit Sicherheitsventil, Ansprechdruck 2,5 bar, mit Temperaturregler und Sicherheitstemperaturbegrenzer, mit Ablauftrichter, mit Füll- und Entleerungsarmatur, mit Abgasanschluss, mit Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen in analoger Ausführung, Bemessungsbetriebsspannung 230 V AC.

**26,000 St**

**EP 5753,42**

**GP 149.588,92**

### Pufferspeicher 500 Liter inkl Installation

**26,000**

**EP 3.000,00**

**GP 78.000,00**

**Gasheizung GP 227.588,92**

## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig verfasst wurde und ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel –insbesondere keine im Literaturverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen –benutzt habe und die Arbeit von mir vorher nicht in einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht wurde. Die Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle als Zitat kenntlich gemacht. Die eingereichte schriftliche Fassung entspricht der digitalen Version.

In dieser Arbeit habe ich ChatGPT der Firma OpenAI, L.L.C als unterstützendes Werkzeug eingesetzt, um die Struktur zu entwickeln und Texte zu überprüfen. Die KI diente dabei zur Anregung und Optimierung der Gliederung sowie zur sprachlichen und stilistischen Kontrolle der Ausarbeitung. Alle inhaltlichen Entscheidungen und die Endversion der Texte wurden von mir selbst erarbeitet und verantwortet.

---

---

Guben, 27. September 2024

 Jonas Glaser  
Matrikelnummer: 3935027