

Machbarkeitsstudie

Anergienetz Humboldtstraße Bremen



24. April 2026

UTECH GmbH

Regine Hirschberg und Arne Zschorlich

Cuxhavener Str. 10

28217 Bremen

Erstellt für ErdwärmeDich Anergienetze eG

Humboldtstr. 18

28203 Bremen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	IST-Analyse Untersuchungsgebiet	5
2.1	Gebäudebestand und Anschlussnehmende	5
2.2	Wärmebedarf- und Heizlastermittlung	7
2.3	Suchschachtungen für Trassenfindung	10
3	Potentialermittlung erneuerbare Energien und Abwärme	11
3.1	Wärmequellen	11
3.2	Probebohrung	13
4	SOLL-Analyse des Anergienetzes	14
4.1	Wärmeverteilsystem	14
4.1.1	Trassenführung und Sondenanbindung	15
4.1.2	Dimensionierung	17
4.2	Wärmeerzeugung	18
4.2.1	Dezentrale Sole-Wasser-Wärmepumpen	18
4.3	Geothermie-Sonden	18
4.4	Energiebilanz	21
4.5	Nachtrag Ergebnisse TRT-Test	23
5	Kostenrahmen	24
5.1	Investitionskosten und Nutzungsdauern	24
5.2	Betriebsgebundene Kosten	27
5.3	Wärmegestehungskosten nach VDI 2067	27
5.4	Finanzierungskonzept	29
5.4.1	Anfangsinvestition	29
5.4.2	Laufende Kosten	30
5.5	Sensitivitätsbetrachtung	31
6	Pfad zur Treibhausgasneutralität	32
7	Zusammenfassung und Fazit	33
8	Literaturverzeichnis	34

Anhangsverzeichnis

- A Suchschachtungen
 - A.1 Lageplan Suchschachtungen
 - A.2 Suchschachtungen 1 bis 8
- B Ergebnisbericht TRT-Test (2. Fassung vom 16.04.2026)
- C Straßenquerschnitt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Pilotgebiet Humboldtstraße.....	6
Abbildung 2 Wärmebedarf des Pilotgebietes in Summe im Jahresverlauf, simuliert mit nPro	10
Abbildung 3 Jahresdauerlinie des Pilotgebietes, Spitzenleistung von 367 kW	10
Abbildung 4 Solarstrahlung in Deutschland in kWh/m ³	12
Abbildung 5 Konzeptskizze Anergienetz mit dezentralen Erdwärmesonden, dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen und Ringtopologie (Hirschberg, 2025)	14
Abbildung 6 Trassenverlauf und Positionen der Erdwärmesonden	16
Abbildung 7 Stündlich aufgelöste Entzugsenergie am Sondenfeld, basierend auf Wärmebedarfen, JAZ und Wärmegewinne durch „Trassenkollektor“	20
Abbildung 8 Theoretisches Netz mit fiktivem Sondenfeld zur Ermittlung der Wärmeeinträge in der Software nPro.....	21
Abbildung 9 Sankey-Diagramm zur Energiebilanz Anergienetz	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Angaben zu Heizungsanlagen und Baujahr der Häuser	6
Tabelle 2 Zusammenfassung der IST-Analyse, Heizlastberechnung	9
Tabelle 3 Parameter für Erdsonden-Simulation.....	19
Tabelle 4 Energiebilanz Anergienetz	22
Tabelle 5 Investitionskosten für Sole-Wasser-Wärmepumpen.....	25
Tabelle 6 Kosten für Sonden.....	26
Tabelle 7 Investitionskosten für Netzverlegung	26
Tabelle 8 Insgesamte Investitions- und Planungskosten.....	26
Tabelle 9 Parameter für Bedarfs- und Betriebskosten (Bruttokosten)	27
Tabelle 10 Finanzierungsbausteine zur Deckung der Investitionskosten.....	30
Tabelle 11 Übersicht Investitionsrisiko.....	31

1 Einleitung

Im Rahmen der Klimaschutzstrategie des Landes Bremen, die das Ziel der Klimaneutralität bis spätestens 2038 verfolgt, kommt der Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien eine zentrale Rolle zu. Der aktuelle Abschlussbericht zum Ausbau der Nah- und Fernwärmeversorgung stellt jedoch fest, dass eine Fernwärmeer-schließung für das Stadtteile der östlichen Vorstadt (Ostertor, Steintor, Fesenfeld) aus wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar ist. Die swb AG (Fernwärmebetreiber) plant daher keinen Ausbau in diesem Gebiet. Vor diesem Hintergrund hat sich im Bereich der Humboldtstraße eine Genossenschaft gegründet, die die Wärmewende vor Ort selbst in die Hand nehmen möchte.

Ein innovatives kaltes Nahwärmenetz (Anergienetz) soll 29 Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie eine Kirche mit angegliedertem Gemeindehaus und Kindergarten als Großverbraucher versorgen. Derzeit werden die Gebäude überwiegend mit Erdgas beheizt, teilweise auch noch mit Öl. Da im Gebiet keine zentrale Lösung (z. B. zentrales Sondenfeld oder große Wärmepumpenanlage) möglich ist, wird die Nutzung oberflächennahe Geothermie über dezentral verteilte Erdwärmesonden in Kombination mit dezentralen Wärmepumpen geprüft. Für jeden Endkunden ist eine dezentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe vorgesehen. Über ein Anergienetz mit einer zentralen Ringleitung einheitlicher Dimension, welche Druckverluste minimiert und eine gleichmäßige Verteilung ermöglicht, soll die Erdwärme verteilt und nutzbar gemacht werden.

In dem geplanten Quartier befinden sich Ein- und Zweifamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und als Großabnehmer die Friedensgemeinde. Die Gebäude haben unterschiedliche Baujahre, einen unterschiedlichen Dämmzustand und liegen an Straßen mit sehr unterschiedlicher Breite. Durch diese für Bremen typische Bebauung sind die Ergebnisse der Pilotanlage auf große Teile Bremens übertragbar.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie, wird die grundsätzliche technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit des Anergienetzes untersucht und ein Weg zur Treibhausgasneutralität des Netzes bis 2045 skizziert.

2 IST-Analyse Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Stadtbereich östliche Vorstadt in Bremen und erstreckt sich auf den östlichen Teil der Bremer Humboldtstraße und einige umliegende Nebenstraßen. Die Humboldtstraße ist eine Fahrradstraße mit überwiegend Altbaubestand und teilweise altem Baumbestand. Die IST-Analyse skizziert das Untersuchungsgebiet, die geplanten Anschlussnehmenden und deren Heizlasten und Wärmebedarfe.

2.1 Gebäudebestand und Anschlussnehmende

Die an das kalte Nahwärmenetz anzuschließenden Gebäude sind 29 Ein- und Mehrfamilienhäuser zzgl. Kirche mit Gemeindebüro und Kindergarten (siehe Abbildung 1). Die Wohngebäude werden jeweils über eine eigene dezentrale Anlage versorgt. Zum Teil haben die Gebäudekomplexe mehrere Adressen (Vagtstraße 43/44, Humboldtstr.128-138/ Fesenfeld 72) die zusammen über eine Anlage versorgt werden. Diese sind in der Liste der Liegenschaften als ein Anschluss zusammengefasst aufgeführt. Die Räumlichkeiten der Friedenskirche (Humboldtstr. 175), inklusive Gemeindebüro und Kindergarten werden größtenteils über eine zentrale Gastherme versorgt. Einige Räume (Humboldtstr. 179), die u.a. von der ErdwärmeDich eG als Büroräume genutzt werden, werden über eine kleinere Gas-Therme getrennt versorgt. Es ergibt sich eine Gesamtanzahl von 31 Anschlüssen. Die Ein- und Mehrfamilienhäuser befinden sich überwiegend im Privatbesitz. Anteilig werden die Häuser und Wohnungen von den Eigentümer*innen selbst bewohnt. Kirche, Kindergarten und ein großes Mehrfamilienhaus (Humboldtstr. 128-138 / Fesenfeld 72) werden von der evangelischen Kirche Bremen genutzt oder vermietet.

Die Gebäude verfügen zum Großteil über Gas-Thermen, wobei die älteste im Jahr 1989, die neuste im Jahr 2021 installiert wurde. Zwei Häuser werden noch mit über 20 Jahre alten Ölkesseln versorgt (siehe Tabelle 1). Die Heizung der Friedenskirche wurde 2025 auf Grund eines Totalschadens erneuert (alter Gaskessel wurde durch neuen Gaskessel ersetzt). Da neue Verbrauchsdaten noch nicht vorliegen, wird hier und in den folgenden Abschnitten die alte Anlage angegeben, da die Verbrauchsdatendaten die Basis für die neue Auslegung darstellen.



Abbildung 1 Pilotgebiet Humboldtstraße

Tabelle 1 Angaben zu Heizungsanlagen und Baujahr der Häuser

Adresse	Brennstoff	Leistung	Baujahr	Wohnfläche
Humboldtstraße 128/ Fesenfeld 72	Gas		2009	1326 m ²
Humboldtstraße 138	Gas	24 kW	2019	160 m ²
Humboldtstraße 146	Gas	21 kW	2016	100 m ²
Humboldtstraße 148	Gas		2010	190 m ²
Humboldtstraße 160	Öl	20 kW	1973	90 m ²
Humboldtstraße 163	Gas		2021	382 m ²
Humboldtstraße 166	Gas	28 kW	1989	184 m ²
Humboldtstraße 167	Gas	12 kW	2017	160 m ²
Humboldtstraße 168	Gas	25 kW	2008	227 m ²
Humboldtstraße 169	Gas	19 kW	2018	160 m ²
Humboldtstraße 174	Gas	11 kW	2008	100 m ²
Humboldtstraße 175	Gas	150 kW	2003	2.234 m ²
Humboldtstraße 179	Gas		2018	260 m ²
Lessingstraße 4	Gas	19 kW	2011	140 m ²

Lessingstraße 5	Öl	22 kW	2005	200 m ²
Lessingstraße 6	Gas		2019	140 m ²
Lessingstraße 8	Gas	12 kW	2008	140 m ²
Lessingstraße 14	Gas	21 kW	2006	113 m ²
Lessingstraße 17	Gas	26 kW	2000	180 m ²
Lessingstraße 24	Gas		2009	120 m ²
Stedinger Straße 45	Gas	20 kW	2014	127 m ²
Stedinger Straße 48	Gas			150 m ²
Stedinger Straße 50	Gas	20 kW	2021	170 m ²
Stedinger Straße 52	Gas	15 kW	2006	150 m ²
Stedinger Straße 54	Gas	15 kW	2009	140 m ²
Stedinger Straße 56	Gas	18 kW	2012	140 m ²
Vagtstraße 28	Gas			160 m ²
Vagtstraße 33	Gas			130 m ²
Vagtstraße 36	Gas	20 kW	2008	200 m ²
Vagtstraße 37	Gas	20 kW	2012	200 m ²
Vagtstraße 43/44	Gas	20 kW	2022	300 m ²

2.2 Wärmebedarf- und Heizlastermittlung

Die Bestimmung des Wärmebedarfs und der Heizlast erfolgt auf Basis der zuverlässigsten verfügbaren Verbrauchsdaten und anerkannter technischer Regelwerke. Ziel war eine robuste und nachvollziehbare Auslegung der zukünftigen Wärmeenergieerzeugung unter Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten bei Nutzerzahlen (je Wohneinheit) und Nutzungsprofilen.

Für zentral erzeugtes Trinkwarmwasser (TWW) wurde ein pauschaler spezifischer Bedarf von 21 kWh/m²·a angesetzt. Dieser entspricht dem in der Software *nPro* hinterlegten Standardwert für Ein- und Mehrfamilienhäuser und beinhaltet Verteilverluste. Aufgrund unklarer Personenanzahlen und Nutzungsprofile stellt dieser Ansatz die plausibelste Annahme dar. In Gebäuden mit dezentraler elektrischer Trinkwarmwassererzeugung wurde kein TWW-Anteil vom Heizenergieverbrauch abgezogen.

Die Heizwärmebedarfe aller betrachteten Gebäude werden einheitlich aus den Endenergieverbräuchen von bis zu drei Jahren für Erdgas bzw. Heizöl abgeleitet. Sofern mehrere Verbrauchswerte (die Angaben variieren von Verbräuchen aus nur einem Jahr, bis drei aufeinanderfolgende Jahre) vorliegen, wird ein Mittelwert gebildet. Eine Witterungsbereinigung erfolgt nicht, da keine Angaben darüber vorliegen, aus welchen Kalenderjahren die Verbräuche stammen. Vom gemittelten Verbrauch wird, sofern TWW zentral bereitete wird, der TWW-Anteil gemäß Literaturwerten abgezogen. Der

so ermittelte Heizwärmebedarf bildet die Grundlage für die weitere Auslegung der Wärmeerzeugung (siehe 4.2.1).

Zur Umrechnung vom Jahreswärmebedarf in Heizlast wurden typische Vollbenutzungsstunden von meist 1.800 h/a angesetzt. Für das große Mehrfamilienhaus mit vielen Wohneinheiten sowie für die Kirche wurden abweichend entsprechend nPro andere Vollbenutzungsstunden angesetzt (siehe Tabelle 2).

Der Kesselwirkungsgrad wurde gemäß DIN TS 12831-1 ermittelt. Für die primärenergetische Bewertung kamen die Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599-5 für Öl- und Gasheizsysteme zur Anwendung.

Die ermittelten Heizlasten, sowie die zugehörigen Trinkwarmwasser- und Heizwärmebedarfe sind zusammenfassend dargestellt. Ergänzend zu dieser Berechnung wurden, beauftragt durch *energiekonsens* (Bremer Energie-Konsens GmbH, gemeinnützige Klimaschutzagentur), Heizlastberechnungen gemäß DIN EN 12831-1, für die Ein- und Mehrfamilienhäuser im Privatbesitz durchgeführt. Für das große Mehrfamilienhaus der Kirche, sowie die Räumlichkeiten der Kirchengemeinde liegen bisher keine Heizlastberechnungen vor.

Tabelle 2 Zusammenfassung der IST-Analyse, Heizlastberechnung

Adresse	TWW Bedarf	Heizwärme- bedarf	Vollben- utzungs- stunden	Heiz- last	Heizlast nach DIN EN 12831-1
Humboldtstraße 128/ Fesenfeld 72	27.846 kWh/a	49.774 kWh/a	1.500	33 kW	-
Humboldtstraße 138	3.360 kWh/a	11.942 kWh/a	1.800	7 kW	13,01 kW
Humboldtstraße 146	2.100 kWh/a	18.509 kWh/a	1.800	10 kW	14,67 kW
Humboldtstraße 148	0 kWh/a	23.605 kWh/a	1.800	13 kW	19,99 kW
Humboldtstraße 160	1.890 kWh/a	5.968 kWh/a	1.800	3 kW	6,68 kW
Humboldtstraße 163	0 kWh/a	52.244 kWh/a	1.800	29 kW	40,45 kW
Humboldtstraße 166	0 kWh/a	23.318 kWh/a	1.800	13 kW	11,06 kW
Humboldtstraße 167	3.360 kWh/a	8.828 kWh/a	1.800	5 kW	5,80 kW
Humboldtstraße 168	4.767 kWh/a	15.225 kWh/a	1.800	8 kW	11,15 kW
Humboldtstraße 169	3.360 kWh/a	14.944 kWh/a	1.800	8 kW	13,09 kW
Humboldtstraße 174	2.100 kWh/a	7.790 kWh/a	1.800	4 kW	7,02 kW
Humboldtstraße 175	46.914 kWh/a	202.674 kWh/a	2.200	92 kW	-
Humboldtstraße 179	0 kWh/a	30.187 kWh/a	1.600	19 kW	-
Lessingstraße 4	2.940 kWh/a	11.040 kWh/a	1.800	6 kW	10,70 kW
Lessingstraße 5	4.200 kWh/a	10.121 kWh/a	1.800	6 kW	8,79 kW
Lessingstraße 6	0 kWh/a	13.976 kWh/a	1.800	8 kW	12,04 kW
Lessingstraße 8	2.940 kWh/a	12.808 kWh/a	1.800	7 kW	11,29 kW
Lessingstraße 14	2.373 kWh/a	14.396 kWh/a	1.800	8 kW	10,94 kW
Lessingstraße 17	3.780 kWh/a	17.480 kWh/a	1.800	10 kW	14,89 kW
Lessingstraße 24	2.520 kWh/a	13.355 kWh/a	1.800	7 kW	12,98 kW
Stedinger Straße 45	2.667 kWh/a	15.345 kWh/a	1.800	9 kW	7,63 kW
Stedinger Straße 48	0 kWh/a	8.002 kWh/a	1.800	4 kW	6,73 kW
Stedinger Straße 50	3.570 kWh/a	9.230 kWh/a	1.800	5 kW	6,92 kW
Stedinger Straße 52	0 kWh/a	11.604 kWh/a	1.800	6 kW	13,47 kW
Stedinger Straße 54	2.940 kWh/a	13.982 kWh/a	1.800	8 kW	10,26 kW
Stedinger Straße 56	2.940 kWh/a	7.451 kWh/a	1.800	4 kW	13,23 kW
Vagtstraße 28	0 kWh/a	12.252 kWh/a	1.800	7 kW	12,70 kW
Vagtstraße 33	0 kWh/a	20.676 kWh/a	1.800	11 kW	15,60 kW
Vagtstraße 36	4.200 kWh/a	27.109 kWh/a	1.800	15 kW	8,91 kW
Vagtstraße 37	4.200 kWh/a	9.706 kWh/a	1.800	5 kW	15,71 kW
Vagtstraße 43/44	0 kWh/a	33.912 kWh/a	1.800	19 kW	25,69 kW
	134.967 kWh	727.451 kWh/a		391 kW	

Mit der Software nPro, wurde durch Eingabe der Raumwärme- und Trinkwarmwasserbedarfe das Jahresprofil des Wärmebedarfes für das Pilotgebiete simuliert (Abbildung 2). Die Abbildung zeigt, dass auch im Sommer Wärmebedarfe vorhanden sind, die sich überwiegend aus zentral erzeugten TWW-Bedarfen ergibt.

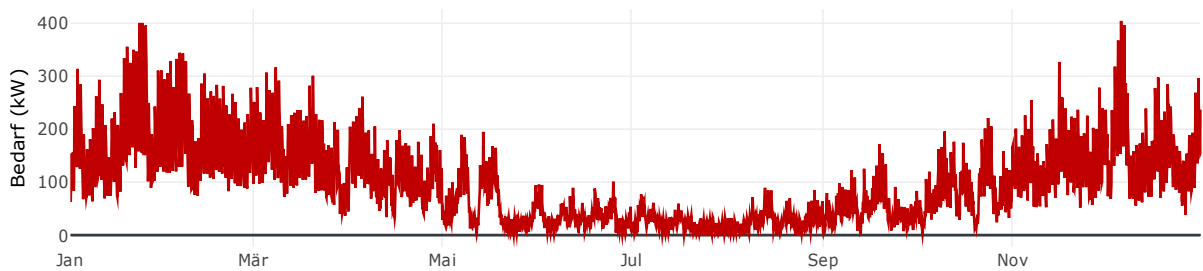


Abbildung 2 Wärmebedarf des Pilotgebietes in Summe im Jahresverlauf, simuliert mit nPro

Durch Sortierung der zeitlich aufgelösten Wärmelasten in absteigender Reihenfolge entsteht die Jahresdauerlinie (JDL) der Wärme, welche aufzeigt, über wie viele Stunden im Jahr bestimmte Leistungsniveaus benötigt werden (Abbildung 3).

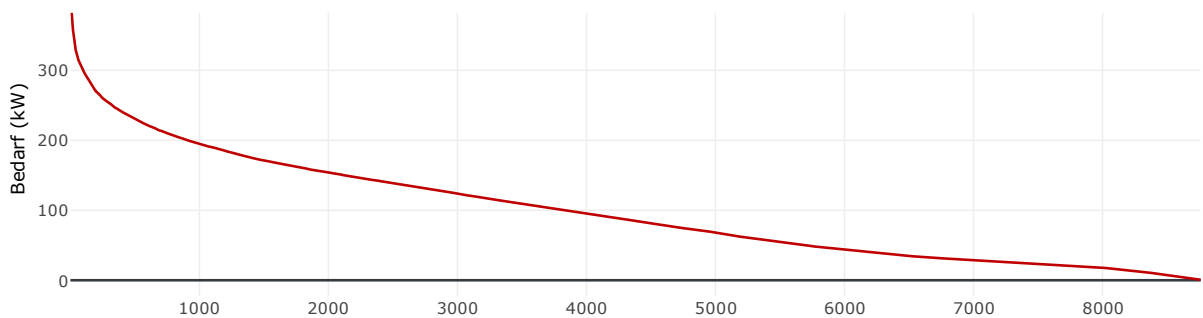


Abbildung 3 Jahresdauerlinie des Pilotgebietes, Spitzenleistung von 367 kW

2.3 Suchschachtungen für Trassenfindung

Zur Vorbereitung der Trassenplanung wurden Suchschachtungen an insgesamt acht Standorten durchgeführt. Ziel war die Erkundung der örtlichen Untergrund- und Bestandssituation zur Bewertung der technischen Umsetzbarkeit möglicher Trassenführungen. Die Lage der Suchschachtungen sowie die jeweiligen Ergebnisse sind im Anhang

A dokumentiert. Die Erkenntnisse aus den Suchschachtungen dienen als Grundlage für die Trassenfindung (siehe 4.1.1).

3 Potentialermittlung erneuerbare Energien und Abwärme

3.1 Wärmequellen

Für die Versorgung des geplanten Wärmenetzes stehen in der Humboldtstraße eine begrenzte Auswahl an Wärmequellen zur Verfügung.

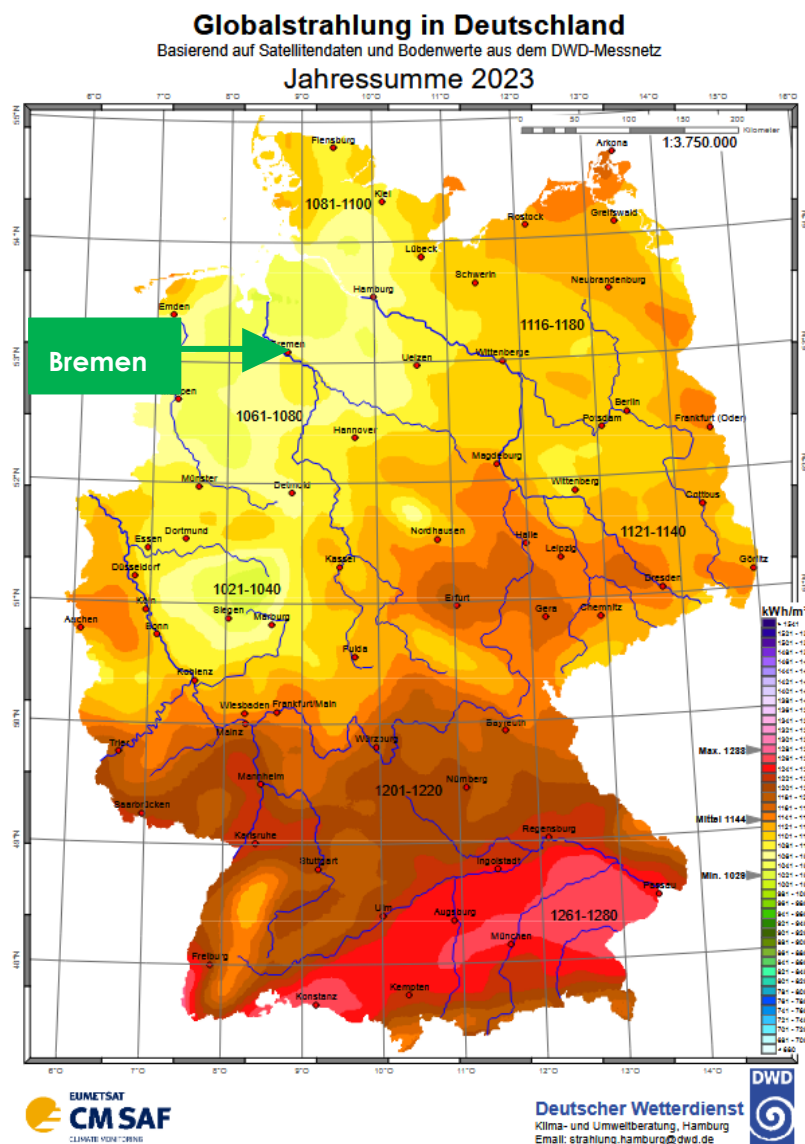
Umweltwärme: Der Einsatz von Luftwärmepumpen wurde auf Grundlage einer Wärmepumpen-Visite durch *energiekonsens* Bremen ausgeschlossen. Für eine zentrale Luftwärmepumpe steht kein geeigneter Platz zur Verfügung. Zudem verfügen die einzelnen Liegenschaften nicht über ausreichend Raum für dezentrale Luftwärmepumpen; insbesondere aufgrund zu erwartender Schallimmissionen ist deren Einsatz nicht realisierbar.

Geothermie: Im Projektgebiet liegen keine Zulassungsbeschränkungen für Geothermie vor (Geologischer Dienst Bremen) Aufgrund der dichten Bebauung steht im Projektgebiet kein geeigneter Platz für ein zentrales Kollektor- oder Sondenfeld zur Verfügung. Dennoch kann oberflächennahe Geothermie genutzt werden, indem über das Gebiet verteilt einzelne Geothermie-Sonden errichtet und über das Anergienetz zusammengeschlossen werden. Diese versorgen dezentrale Sole-Wasser-Wärmepumpe mit der nötigen Umweltwärme. Bohrungen bis 300 m Tiefe können hierbei zuverlässig konstant über das Jahr hohe Quelltemperaturen liefern.

Auch wenn die Umsetzung baulich anspruchsvoll ist, wird sie in diesem Fall favorisiert. Der Hauptgrund dafür ist das Fehlen alternativer Möglichkeiten zur nachhaltigen Wärmeversorgung sowie der begrenzte Raum andere zentrale oder Lösungen.

Abwärme: Abwärme als Wärmequellenpotential steht in der näheren Umgebung des Standortes nicht in ausreichender Menge zur alleinigen Versorgung zur Verfügung. Ein gewisses Potential könnte sich jedoch aus dem nahegelegenen Krankenhaus (Klinikum Bremen-Mitte) ergeben. Langfristig wäre es denkbar, dass dieses, bisher ungenutzte, Potential ergänzend zur Geothermie genutzt werden könnte, um die Regeneration der Sonden zu unterstützen und einen weiteren Ausbau eines kalten Nahwärmenetzes wirtschaftlich zu begünstigen.

Solarthermie: Flächen für Solarthermie stehen auf den Dächern der Gebäude zum Teil zur Verfügung, anteilig sind Flächen bereits durch PV-Anlagen belegt. Die Dachflächen sind im Verhältnis zum beheizten Volumen der zumeist mehrstöckigen Gebäude vergleichsweise klein. Zudem liegt Bremen in einer der Regionen Deutschlands mit der kleinsten verfügbaren Globalstrahlung, siehe Abbildung 4. Da Solarthermie ohne saisonalen Speicher nur im Sommer verfügbar ist, muss die erneuerbare Energie grundsätzlich mit einer weiteren Energiequelle oder einem saisonalen Speicher kombiniert werden. Denkbar wäre eine Kombination mit Geothermie zur anteiligen Regeneration der Erdsonden um das System langfristig effizienter zu betreiben. Die Sonden dienen in diesem Szenario als saisonale Speicher.



3.2 Probebohrung

Zur Bewertung der geothermischen Nutzung wurde eine Probebohrung durchgeführt. Grundsätzlich zeigte sich, dass Bohrtiefen bis etwa 300 m technisch möglich sind.

Im Rahmen der Probebohrung traten jedoch Komplikationen bei der Durchführung des Thermal-Response-Tests (TRT) auf. Der Test wurde daraufhin wiederholt, die Ergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Erstellung der Machbarkeitsstudie noch nicht vor. Für die weitere Planung wurden daher realistische Annahmen auf Basis von Literaturwerten und Erfahrungswerten vergleichbarer Standorte getroffen.

Das ermittelte Schichtenprofil der Probebohrung ist im Anhang B dokumentiert und dient als geologische Referenz für die weiteren Betrachtungen und zur Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit.

Nachtrag: Die Auswertung des zweiten TRT-Tests bestätigen die Messwerte des ersten Tests und werden als unauffällig und plausibel eingeschätzt. Daraus ergeben sich Anpassungen bei der Dimensionierung des Sondenfeldes bzw. den Regenerationsbedarf, die in Abschnitt 4.5 noch näher erläutert werden.

4 SOLL-Analyse des Anergienetzes

Als Ergebnis der IST-Analyse wird herausgestellt, dass ein kaltes Nahwärmenetz, ein sogenanntes Anergienetz, die favorisierte Lösung zur Wärmeversorgung im Pilotgebiet ist. Das geplante Anergienetz wird passiv betrieben, das heißt, dass es keine zentrale Pumpe zur Umwälzung der Sole gibt. Wärmepumpen mit integrierten Umwälzpumpen werden dezentral an jedem Anschlusspunkt des Netzes betrieben. Sie sorgen für den nötigen Soleumlauf und sind in monoenergetischem Betrieb für die Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser zuständig.



Abbildung 5 Konzeptskizze Anergienetz mit dezentralen Erdwärmesonden, dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen und Ringtopologie (Hirschberg, 2025)

4.1 Wärmeverteilsystem

Das Anergienetz wird als in sich geschlossenes hydraulisches System ausgeführt. Zum Einsatz kommen ungedämmte PE-Rohre (SDR 11), die glykolhaltiges Wasser als Wärmeträger-Medium führen. Dieses gewährleistet einen frost- und korrosionssicheren Betrieb sowie geeignete thermophysikalische Eigenschaften für den Einsatz im Anergienetz.

4.1.1 Trassenführung und Sondenanbindung

Die Positionen der Sonden sind eng mit der Trassenführung verbunden, da kein zentrales Sondenfeld vorgesehen ist. Aus diesem Grund wird die Sondenplanung direkt hier im Rahmen der Untersuchung möglicher Trassenführungen behandelt.

Im Vorfeld wurden Suchschachtungen und Vor-Ort-Begehungen durchgeführt. Die größte Herausforderung bei der Trassenfindung ist die Vielzahl an Bestandsmedien.

Der mögliche Trassenverlauf und die Position der Erdwärmesonden sind in Abbildung 6 dargestellt. In Anhang C ist zusätzlich ein Straßenschnitt der Humboldtstraße mit den derzeit vorhandenen Bestandsmedien sowie drei möglichen Trassenvarianten dargestellt (Verlegung in den Nebenanlagen, anteilig in den Parkbuchten oder vollständig innerhalb der Fahrbahn).

Die für Medien dieser Art übliche Trasse liegt in den Nebenanlagen und ist die bevorzugte Variante.

Durch die Suchschachtungen zeigten sich teilweise erhebliche Abweichungen zwischen den Bestandsplänen des ASV (Amt für Straßen und Verkehr) und der tatsächlichen Verortung der Bestandsmedien. Totleitungen wurden von den betreffenden Leitungsträgern nicht zurückgebaut und sind darüber hinaus nicht immer dokumentiert. Somit sind die Bestandspläne nur eingeschränkt für die Trassenplanung nutzbar.

Daher ist beabsichtigt, im Rahmen der HOAI-Planungen für die Humboldtstr. die ALIZ-Planunterlagen der verschiedenen Leitungsträger in einem Gesamtplan zusammenzufassen, mit den Ergebnissen der Suchschachtungen zu vergleichen und dann möglichst eine Trasse in den Nebenanlagen mit dem ASV abzustimmen.

Abweichungen von den Planunterlagen und Totleitungen werden dann bei den Arbeiten vor Ort mit den betreffenden Leitungsträgern abgestimmt und ggf. beseitigt. Dabei ist die Frage der Kostenübernahme zu klären.

Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen, insbesondere da die Kostenübernahme der Neuordnung der Bestandsmedien in den Nebenanlagen noch unklar ist, ist ausschließlich eine Umsetzung der Trasse im Asphaltbereich der Fahrbahn oder den Parkbuchten technisch realisierbar und wirtschaftlich sinnvoll. Zwar sind die Kosten für die Wiederherstellung der Asphaltoberfläche vergleichsweise hoch, sie liegen jedoch deutlich unter den Aufwendungen für eine Neuordnung oder Bergung der Bestandsmedien in den Nebenanlagen, für die gegebenenfalls zusätzliche

Verbaumaßnahmen erforderlich wären (ab einer Grabentiefe von $> 1,25$ m). Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde daher die Trassenvariante im Fahrbahnbereich dargestellt.

Bei den Positionen der Sonden wurde insbesondere auf den Baumbestand geachtet. Es wird davon ausgegangen, dass im Kronenbereich, keine Sonden gesetzt werden können. Dies wurde bei der Verteilung der Sonden entlang der Trasse berücksichtigt. In den Nebenstraßen (Vagt,- Lessing- und Stedinger Straße) gibt es in Hinblick auf Baumbestand keine Schwierigkeiten.

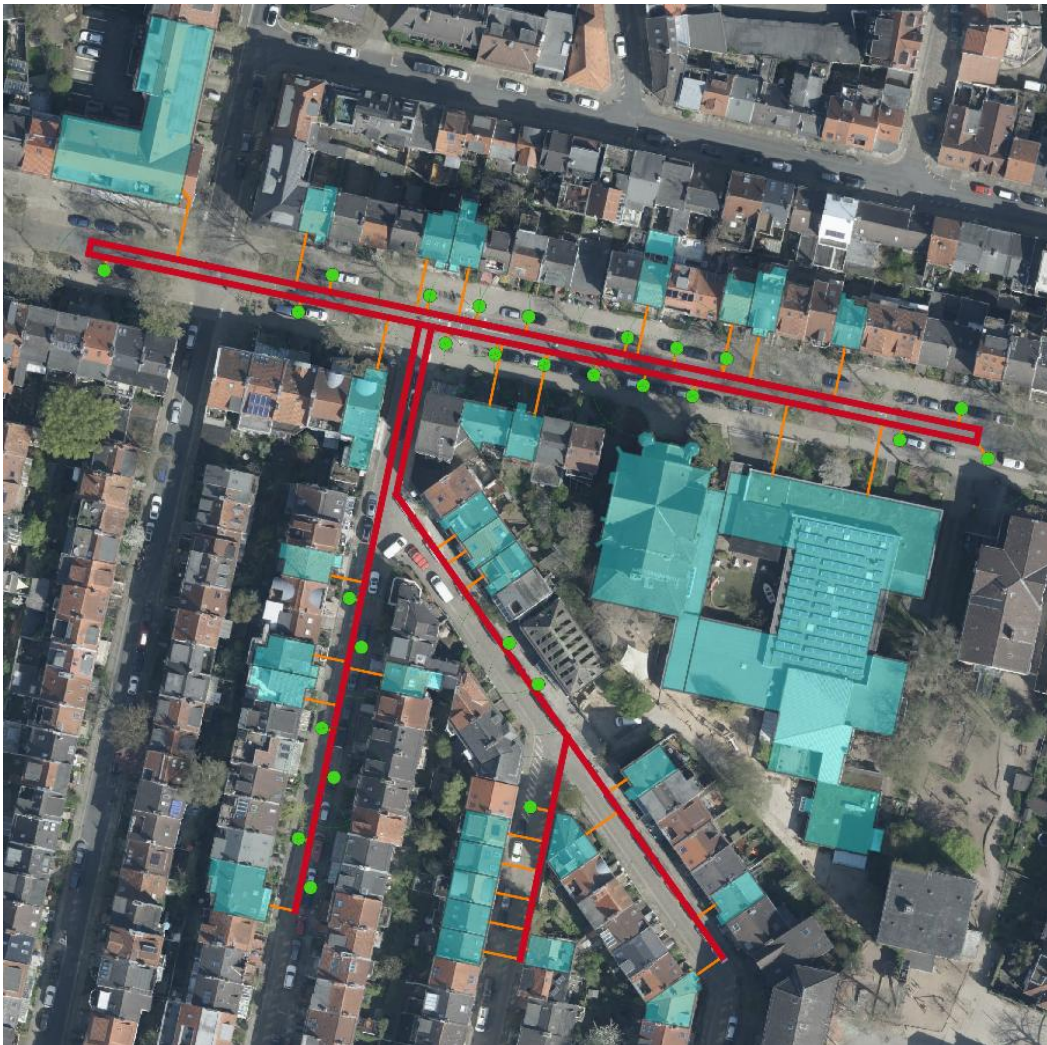


Abbildung 6 Trassenverlauf und Positionen der Erdwärmesonden

4.1.2 Dimensionierung

Die hydraulische Auslegung des Netzes erfolgte getrennt für die Hausanschlussleitungen, die Anbindeleitungen der Erdwärmesonden sowie die Haupt-Ringleitung. Ziel war eine sichere Übertragung der erforderlichen Heizleistungen bei gleichzeitig begrenzten Druckverlusten und einer gleichmäßigen Durchströmung aller Sonden.

Die Auslegung der Hausanschlussleitungen, die vom Ring zu den einzelnen Gebäuden abzweigen, erfolgte mit der Software nPro. Maßgebend waren der zur Übertragung der maximalen Heizleistung erforderliche Massenstrom sowie ein Grenzwert für den spezifischen Druckverlust im Rohr. Die Leitungen wurden so dimensioniert, dass ein maximaler spezifischer Druckverlust von 100 Pa/m nicht überschritten wird.

Die Anbindeleitungen der Erdwärmesonden werden einheitlich mit DA 80 ausgeführt. Dadurch werden die Druckverluste in den Anbindeleitungen gering gehalten und es wird sichergestellt, dass alle Sonden gegenüber der Ringleitung einen möglichst gleichen hydraulischen Widerstand (in Bezug auf den Anschluss an die Haupt-Ringleitung) aufweisen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gleichmäßige Durchströmung der Sonden bei deren dezentraler Anordnung.

Für die Haupt-Ringleitung wurde zunächst eine überschlägige Dimensionierung vorgenommen. Dabei wurde angenommen, dass jeweils die Hälfte der gesamten Wärmeleistung über die Hälfte der Ringlänge transportiert wird. Auf dieser Grundlage ergibt sich ein erforderlicher Nenndurchmesser von DA 160, der für die Ringleitung angesetzt wurde.

Die Auslegung der Ringleitung mit DA 160 wird sowohl durch Erfahrungswerte (u. a. nach (Giel, 2022)) bestätigt als auch im Hinblick auf eine mögliche zukünftige Erweiterung des Netzes als ausreichend bewertet. Da jede Sonde eine eigene hydraulische Masche bildet, ist für die Dimensionierung der Ringleitung nicht die gesamte Anschlussleistung maßgebend, sondern vielmehr der größte Einzelverbrauch in Abhängigkeit von dessen Entfernung zu den jeweiligen Sonden (Hirschberg, 2025).

Vor diesem Hintergrund können die Druckverluste in der Haupt-Ringleitung insgesamt als gering eingestuft werden. Der Gleichzeitigkeitsfaktor spielt eine untergeordnete Rolle und ist für die Dimensionierung der Hauptleitung nicht ausschlaggebend.

4.2 Wärmezeugung

4.2.1 Dezentrale Sole-Wasser-Wärmepumpen

Die Wärmepumpen werden auf die ermittelte Heizlast der jeweiligen Gebäude ausgelegt. Die Heizlast dient als Führungsgröße für die Dimensionierung der Wärmezeugung. Der Trinkwarmwasserbedarf ist für die Auslegung nicht relevant. Für den Bestand wird eine notwendige Heizungs-Vorlauftemperatur von 55 °C angenommen.

Die Dimensionierung der Wärmepumpe basiert auf zwei Berechnungsansätzen: zum einen auf der Auswertung der Verbrauchsdaten, zum anderen auf der nach DIN ermittelten Heizlast. Die verbrauchsbasierte Heizlast bildet das tatsächliche Heizverhalten der Bewohner*innen besonders realitätsnah ab und stellt daher die primäre Grundlage dar. Die nach DIN berechnete Heizlast wurde ergänzend herangezogen und dient als wichtige Plausibilisierung der Ergebnisse. Sie stimmt im Wesentlichen mit der aus Wärmebedarf und Vollbenutzungsstunden abgeleiteten Heizlast überein (vgl. Abschnitt 2.2).

Für die Praxis wird die Wärmepumpe marktüblich etwas größer dimensioniert, um Standardgeräte einsetzen zu können und eine zuverlässige Versorgung sicherzustellen, dies ist insbesondere für die Ermittlung der Investitionskosten relevant (vgl. Abschnitt 5.1).

4.3 Geothermie-Sonden

Bei der Auslegung der Erdwärmesonden wird das Verteilnetz mitberücksichtigt. Die Gesamtleitungslänge der Haupttasse beläuft sich für Vor- und Rücklauf auf 1400 m (700 m Trasse, jeweils mit Vor- und Rücklauf). Da es sich um ein Anergienetz mit ungedämmten PE-Rohren handelt, ergibt sich hieraus ein nennenswerter Flächen-Kollektor als Ergänzung zu den Geothermie-Sonden. Die dezentrale Anordnung der Erdwärmesonden muss die vom Netz geforderte Entzugsleistung bereitstellen, die sich aus der Leistung der Wärmepumpe und deren Jahresarbeitszahl (JAZ) ergibt.

Die Bestimmung der Anzahl der Sonden unterscheidet sich hierbei nicht nennenswert von der Auslegung bei einem zentralen Sondenfeld, da bei einer ausreichend dimensionierten Ring- und Verteilstruktur alle Sonden gleichmäßig durchströmt und belastet werden können (vgl. Hirschberg, 2025). Einzig eine Annahme zur Anordnung der Sonden muss getroffen werden, da klassische Auslegungssoftware nur Sondenfelder in rechteckiger Anordnung berücksichtigt. Auf Basis des Sondenplans (Abbildung 6) wurde angenommen, dass ein Sondenfeld-Äquivalent in einer Anordnung von zwei

Reihen mit einem durchschnittlichen Abstand von 11m vorliegt. Annahmen für die Auslegung Sondenanlage:

- **Sondentyp:** Doppel-U-Sonden mit DA 40 mm, 300m Tiefe, verbessertes Verfüllmaterial mit Bohrlochwiderstand 0,5 (mK)/W
- **Wärmeträgerfluid:** Wasser-Glykol-Gemisch, Glykolanteil 25 %
- **Hinterfüllung:** verbessertes Material mit $\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$
- **Simulation:** mit *nPro* als „Quartier-Strahlnetz“, um Temperaturprofile und Sondenauflastung zu ermitteln
- **JAZ:** 3,5 → Erfahrungs- und Literaturwerte für Sole-Wasser-Wärmepumpen bei Vorlauftemperaturen von 55°C
- **Netz- und Wetterdaten:** aus *nPro*, inklusive Wärmeeinträgen und Verbrauchsprofilen
- **Sondenabstand:** mind. 10m, für rechnerische Auslegung mittlerer Sondenabstand im Sondenfeld-Äquivalent von 11m angenommen
- **Simulationszeitraum:** 30 Jahre, ohne Regeneration, insgesamt wird erwartet, dass Heizwärmebedarf sinkt, weil sich der Sanierungsstand der Anschlussnehmenden perspektivisch verbessert

In der folgenden Tabelle sind weiteren Parameter für die Simulation der Temperaturprofile über 30 Jahre in *nPro* angegeben.

Tabelle 3 Parameter für Erdsonden-Simulation

Sondenordnung	---	2 x 13 (26)
Sondenabstand	m	11
Sondenlänge	m	300
Auslegungszeitraum	Jahre	30
Temperaturdifferenz (Sonde)	K	3
Min. Temp. am Sondereintritt	°C	-3,00
Max. Temp. am Sondaustritt	°C	30,00
Wärmeleitfähigkeit	W/(mK)	2
Volumetrische Wärmekapazität	MJ/(m ³ K)	2
Geothermische Wärmestromdichte	W/m ²	0,07
Bohrlochwiderstand	mK/W	0,05
Bohrlochradius	m	0,08

Die Wärmegewinne der Leitungen wurden mit der Software *nPro* simuliert. Die Berechnungen basieren auf der DIN EN 13941. Für den umgebenden Boden wurde eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 1,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ angesetzt.

Als mittlere Verlegetiefe der Leitungen wurde 1,0 m angenommen, entsprechend dem im Trassenschnitt dargestellten Aufbau. Da in *nPro* keine dezentrale Sondenordnung

simuliert werden kann wurde eine fiktives Sondenfeld eingerichtet, dies ist für das Ergebnis jedoch unerheblich, entscheidend sind Entzugsleistung und Entzugsenergie die mit nPro anhand der stündlich aufgelösten Quartiersdaten (siehe 2.2) simuliert wurden. Die Simulation berücksichtigt Wetterdaten von Bremen. In Sommermonaten kommt es sogar dazu, dass Bedingungen auftreten in denen durch das Netz mehr Wärmegewinne auftreten als durch die Verbraucher abgefragt werden. Dies führt zu einer Einspeisung von Wärme in die Sonden und unterstützt die partielle Regeneration des Untergrundes. Dies ist in Abbildung 7, als „Kälte“ bezeichnet dargestellt.

Ergebnis der Simulation: Es werden 26 Sonden benötigt. Die minimale Temperatur am Sondeneintritt nach 30 Jahren beträgt $-0,9\text{ °C}$

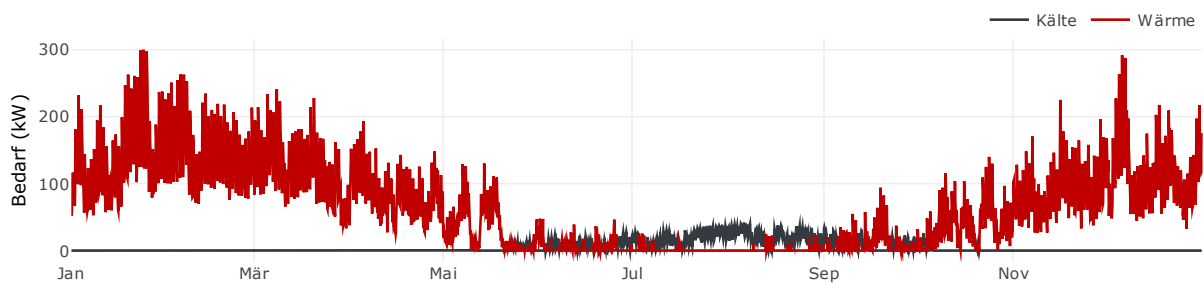


Abbildung 7 Stündlich aufgelöste Entzugsenergie am Sondenfeld, basierend auf Wärmebedarfen, JAZ und Wärmegewinne durch „Trassenkollektor“

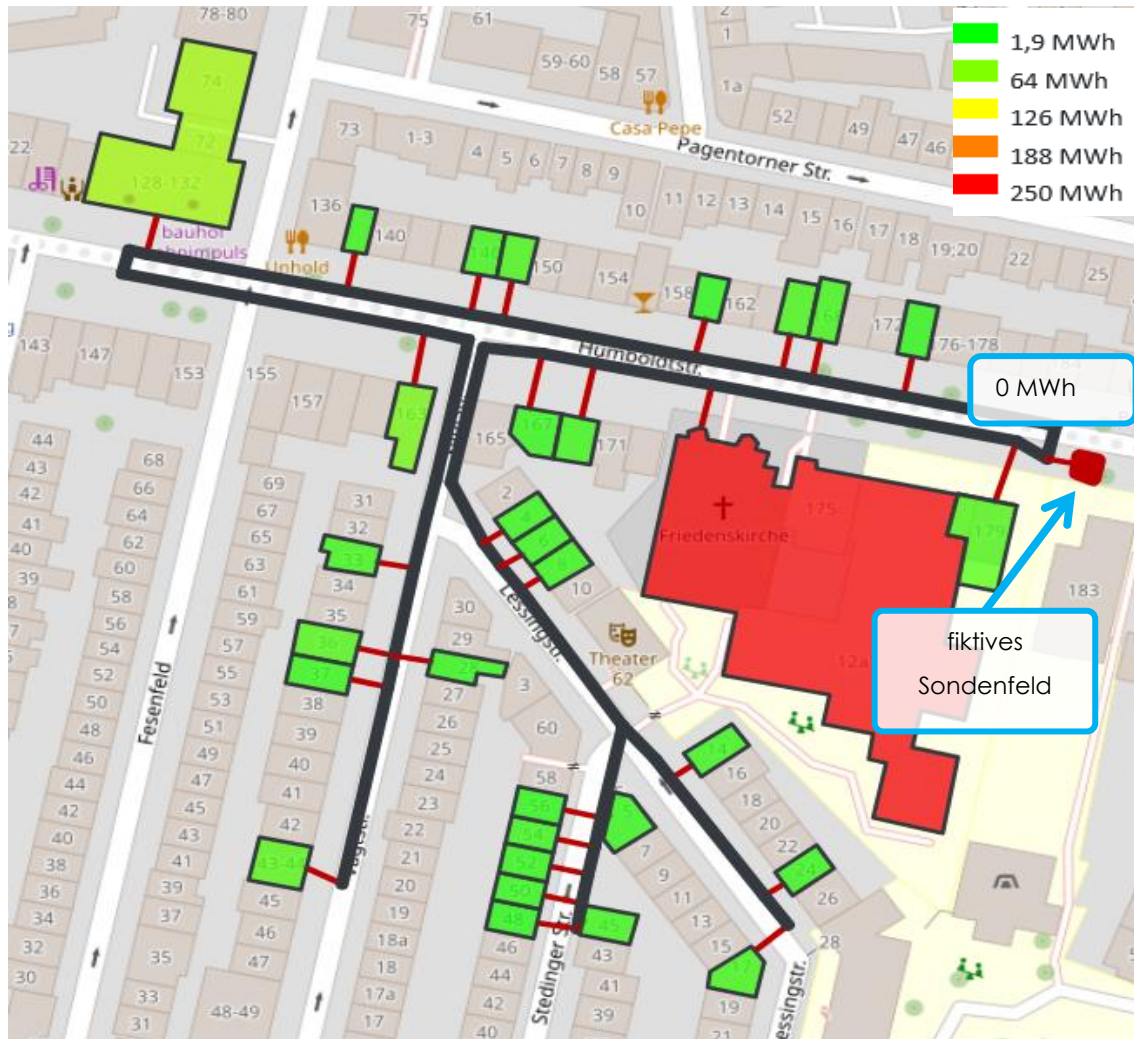


Abbildung 8 Theoretisches Netz mit fiktivem Sondenfeld zur Ermittlung der Wärmeeinträge in der Software nPro

4.4 Energiebilanz

Die Energiebilanz des Gesamtsystems stellt die Herkunft, Umwandlung und Nutzung der eingesetzten Energiemengen dar. Sie zeigt, in welchem Umfang Umweltwärme aus Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden sowie elektrische Energie aus dem Stromnetz in der Wärmepumpe zusammengeführt und in nutzbare Wärme umgewandelt werden. Die von der Wärmepumpe bereitgestellte Wärme wird anschließend anteilig der Raumheizung und der Trinkwarmwasserbereitung (TWW) zugeordnet.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist die Energiebilanz sowohl tabellarisch (Tabelle 4) als auch grafisch in Form eines Sankey-Diagramms (Abbildung 9) dargestellt. Während die Tabelle die absoluten Energiemengen ausweist, verdeutlicht das Sankey-Diagramm die energetischen Flüsse und deren prozentuale Verteilung innerhalb des Systems.

Tabelle 4 Energiebilanz Anergienetz

	Jahresenergie
Raumwärme	727 MWh
Trinkwarmwasser	135 MWh
Gesamt	862 MWh
Stromeinsatz für Booster-Wärmepumpen –	246 MWh
Wärmebezug aus Wärmenetz	616 MWh
Wärmegewinne	– 87 MWh
Wärmeverluste	32,7 MWh
Wärmeentzug aus Geothermie	562 MWh

- Strom
- Sole
- Wärme

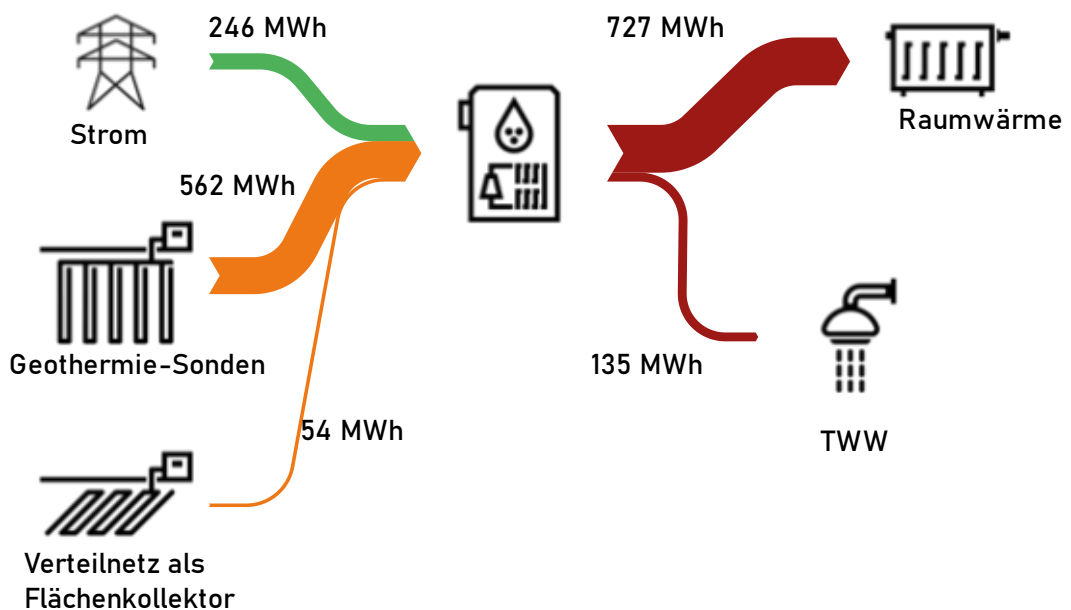


Abbildung 9 Sankey-Diagramm zur Energiebilanz Anergienetz

4.5 Nachtrag Ergebnisse TRT-Test

Die auf Basis des TRT-Tests von einem externen Büro für Geowissenschaften durchgeführte Simulation ergibt einen Bedarf von 42 Sonden (siehe Anhang B). Diese wird jedoch als nicht realistisch bewertet, da von laminaren Strömungsverhältnissen ausgegangen wurde, obwohl turbulente Strömung zu erwarten ist. Zudem wurde eine rechteckige Anordnung des Sondenfeldes angenommen, die die Beeinflussung der Sonden untereinander wahrscheinlich überschätzt. Zudem wurde das Verteilnetz (Haupttrasse) nicht als zusätzlicher Kollektor berücksichtigt.

Im Vergleich zu den hier durchgeführten Simulationen mit nPro, welche eine Sondenanzahl von 26 Sonden ergeben hat, zeigen sich nur geringe Abweichungen bei Wärmeleitfähigkeit und Bohrlochwiderstand gegenüber den getroffenen Annahmen. Eigene Untersuchungen der Genossenschaft belegen, dass der Einfluss des Bohrlochwiderstands auf die erforderliche Sondenanzahl gering ist.

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen wird daher für das Pilotgebiet davon ausgegangen, dass bei den hier zugrunde gelegten Anschlussnehmenden etwa 30 Sonden ausreichend sind. Diese Anzahl wurde auch in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nachträglich berücksichtigt (vorher 26 Sonden). Bei einem späteren Ausbau können zusätzliche Sonden oder Maßnahmen zur Regeneration des Sondenfeldes erforderlich werden (siehe Abschnitt 7).

5 Kostenrahmen

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde ein Kostenrahmen erarbeitet. Die Abschätzung der Investitionskosten basiert auf einem Technikkatalog (dena, 2025), eigenen Erfahrungswerten sowie konkreten Angeboten. Die Berechnung der Wärmegebungskosten (Levelized Cost of Heat, LCOH) erfolgt in Anlehnung an die VDI 2067 und ist zugleich eine wesentliche Grundlage für das Finanzierungskonzept (siehe 5.4). Dies ist insbesondere relevant, da die Versorgung durch eine Genossenschaft erfolgt und keine Gewinnerzielung angestrebt wird, sondern ausschließlich die Kostendeckung.

Zur Ermittlung des Kostenrahmens wurden folgende Kostenpunkte herangezogen.

- Kosten Wärmeerzeuger inklusive dezentraler Pumpen
- Kosten Netz inklusive Hausanschlüsse
- Planungskosten
- Fördergelder

Dabei wurden Investitionskosten, verbrauchsgebundene Kosten und Betriebskosten berücksichtigt. Hierzu wurde die Wärmevollkostenberechnung nach VDI 2067 angewendet. Alle Kosten sind als Nettokosten angegeben.

5.1 Investitionskosten und Nutzungsdauern

Für die Kostenermittlung des kalten Nahwärmenetzes wurden die Kosten für das Verteilnetz sowie für die benötigten Sole-Wasser-Wärmepumpen auf Grundlage von Erfahrungswerten, konkreten Angeboten und Angaben aus dem Technikkatalog Wärmeplanung (dena, 2025) abgeschätzt.

Die Kostenansätze für die Wärmepumpen wurden dabei direkt aus dem Technikkatalog abgeleitet und setzen sich aus leistungsspezifischen Kosten sowie einem pauschalen Kostenansatz für Pufferspeicher zusammen (Tabelle 5).

Die Kosten der Netztrasse und Verlegung (Rohrleitungen und Tiefbauarbeiten) sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 8 zeigt die angenommenen Preise und Gesamtkosten für die Umsetzung des Anergienetzes, inklusive Planungskosten und 40% Förderung nach BEW. Die Netto-Gesamtkosten belaufen sich nach diesen Ansätzen auf 1.425.568 €. Die für die spätere

Berechnung der LCOH angesetzten Nutzungsdauern nach VDI 2067 sind ebenfalls angegeben.

Tabelle 5 Investitionskosten für Sole-Wasser-Wärmepumpen

Adresse	Heizlast	Leistung WP	Spez. Kosten	Kosten WP inkl. Pauschal 2500€ für Pufferspeicher
Humboldtstraße 128/ Fesenfeld 72	33 kW	35 kW	876 €	33.153 €
Humboldtstraße 138	7 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Humboldtstraße 146	10 kW	12 kW	1.274 €	18.150 €
Humboldtstraße 148	13 kW	15 kW	1.186 €	20.292 €
Humboldtstraße 160	3 kW	5 kW	1.758 €	11.289 €
Humboldtstraße 163	29 kW	30 kW	925 €	30.265 €
Humboldtstraße 166	13 kW	15 kW	1.186 €	20.292 €
Humboldtstraße 167	5 kW	7 kW	1.566 €	13.312 €
Humboldtstraße 168	8 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Humboldtstraße 169	8 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Humboldtstraße 174	4 kW	5 kW	1.758 €	11.289 €
Humboldtstraße 175	92 kW	95 kW	613 €	60.695 €
Humboldtstraße 179	19 kW	20 kW	1.070 €	23.902 €
Lessingstraße 4	6 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Lessingstraße 5	6 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Lessingstraße 6	8 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Lessingstraße 8	7 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Lessingstraße 14	8 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Lessingstraße 17	10 kW	12 kW	1.296 €	17.678 €
Lessingstraße 24	7 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Stedinger Straße 45	9 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Stedinger Straße 48	4 kW	5 kW	1.758 €	11.289 €
Stedinger Straße 50	5 kW	7 kW	1.548 €	13.535 €
Stedinger Straße 52	6 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Stedinger Straße 54	8 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Stedinger Straße 56	4 kW	5 kW	1.758 €	11.289 €
Vagtstraße 28	7 kW	10 kW	1.371 €	16.215 €
Vagtstraße 33	11 kW	15 kW	1.186 €	20.292 €
Vagtstraße 36	15 kW	17 kW	1.133 €	21.825 €
Vagtstraße 37	5 kW	7 kW	1.528 €	13.797 €
Vagtstraße 43/44	19 kW	20 kW	1.070 €	23.902 €
	391 kW	457 kW		587.034 €

Tabelle 6 Kosten für Sonden

Erdsonde Einzelpreis	22.397€
Gesamtpreis 26 Sonden	582.309€

Tabelle 7 Investitionskosten für Netzverlegung

Erdbau	121.001,20 €
Oberflächen	242.352,00 €
Rohrleitungsbau	329.425,00 €
Diverses	203.919,32 €
Gesamtkosten netto:	896.697,52 €

Tabelle 8 Insgesamte Investitions- und Planungskosten

Wärmepumpen	587.034 €
Investition+ 15% Planungskosten	675.089 €
<i>Fördersatz</i>	40%
<i>nach Förderung</i>	405.053,6 €
Nutzungsdauer	20 a
Sonden	671.895 €
Investition+ 15% Planungskosten	772.679 €
<i>Fördersatz</i>	40%
<i>nach Förderung</i>	463.607,6 €
Nutzungsdauer	50 a
Wärmeverteilung (Netz)	896.697 €
Investition+ 15% Planungskosten	1.031.202 €
<i>Fördersatz</i>	40%
<i>nach Förderung</i>	618.720,9 €
Nutzungsdauer	40 a
Gesamte Investitionen (netto)	2.375.946 €
nach Förderung	1.425.568 €

5.2 Betriebsgebundene Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten wurden nach VDI 2067 bzw. auf Grundlage eigener Schätzungen ermittelt. Für die Verwaltungskosten wurde ein Ansatz von 0,5 % der Gesamtinvestition pro Jahr gewählt (in Abstimmung mit dem Auftraggeber).

Für das Sondenfeld wurden die Kosten gemäß Technikkatalog (dena, 2025) mit 1.000 €/a angesetzt. Zwar wird an diesem Standort kein Sondenfeld errichtet, jedoch fallen Wartungs- und Instandsetzungskosten vergleichbar zu einem zentralen Sondenfeld an, weshalb dieser Ansatz auch hier übernommen wurde.

Tabelle 9 Parameter für Bedarfs- und Betriebskosten (Bruttokosten)

Wartung und Instandsetzung				
Wärmepumpen	14.676 €/a	2,50%	pro Jahr	VDI 2067
Sonden	1.000 €/a	1000	€/a	pauschal, Technikkatalog
Wärmeverteilung (Netz)	8.967 €/a	1,0%	pro Jahr	Instandsetzung, VDI 2067
Verwaltung				
	11.880 €/a	0,50%	pro Jahr	von Gesamtinvestition
Gesamt	36.523 €/a			

5.3 Wärmegestehungskosten nach VDI 2067

Für die Berechnung der Wärmegestehungskosten gemäß VDI 2076 wurden in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber folgende Rahmenbedingungen zugrunde gelegt:

- **Kalkulatorischer Zinssatz:** 3 %
- **Strompreis:** 30 ct/kWh netto
- **Betrachtungszeitraum:** 20 Jahre
- Keine Preissteigerung der Energiepreise (relevant ist ausschließlich Strom; langfristig wird von konstanten oder sinkenden Stromkosten ausgegangen)

Grundlage der Berechnung ist die Bestimmung der Annuität der Investitionen. Die Annuität gibt die jährlichen Kosten an, die gleichbleibend über die gesamte Betrachtungsdauer anfallen, um Investitions- und Betriebskosten sowie Zinsen abzudecken. Zusätzlich wird der Barwert des Restwerts angegeben: Hierbei handelt es sich um den

Wert der Investition am Ende des Betrachtungszeitraums (bei linearer Abschreibung), auf den heutigen Zeitpunkt umgerechnet, unter Berücksichtigung des kalkulatorischen Zinssatzes.

	Annuität der kapitalge- bundenen Kosten	Annuität der betriebs- gebundenen Kosten
1 Wärmepumpen	405.054 €	14.676 €
Nutzungsdauer	20 a	
Barwert Restwert	0 €	
Summe	405.054 €	
Annuität	27.226 €/a	14.676 €/a
2 Sonden	463.608 €	1.000 €
Nutzungsdauer	50 a	
Barwert Restwert	-154.013 €	
Summe	309.595 €	
Annuität	20.810 €/a	1.000 €/a
3 Netz	618.721 €	8.967 €
Nutzungsdauer	40 a	
Barwert Restwert	-171.285 €	
Summe	447.436 €	
Annuität	30.075 €/a	8.967 €/a
Zusätzliche Betriebsgebundene Kosten für Verwaltung		11880 €/a
	78.110 €/a	36.523 €/a

**Annuität der
bedarfsgebundenen Kosten**

	Strom
Anfangspreis	0,30 ct/kWh
Bedarf	246.000 kWh
	73.800 €/a

Es ergibt sich eine Annuität der Investition für das Anergienetz und draus resultierende Wärmegestehungskosten von:

Annuität der Investition	Wärmegestehungskosten
188.433 €/a	0,2186 €/kWh

5.4 Finanzierungskonzept

Die Finanzierung des Anergienetzes ist auf die Kostendeckung ausgerichtet, da die Umsetzung durch eine Genossenschaft erfolgt und keine Gewinnerzielung vorgesehen ist. Grundlage für die Finanzplanung sind die ermittelten Investitions- und Betriebskosten.

Die Finanzierung erfolgt über Eigenmittel der Genossenschaftsmitglieder sowie gegebenenfalls Fördermittel und zinsgünstige Kredite, wobei die jährlichen Rückflüsse aus den Wärmeerlösen die laufenden Kosten decken sollen.

Durch diese Struktur wird sichergestellt, dass das Anergienetz langfristig wirtschaftlich tragfähig, stabil und transparent betrieben werden kann, ohne dass eine Gewinnerzielung notwendig ist.

5.4.1 Anfangsinvestition

Die Anfangsinvestitionen für das Pilotprojekt belaufen sich gemäß überschlägiger Berechnung auf rund 2,5 Mio. € für Bau und Inbetriebnahme des kalten Nahwärmenetzes inklusiven Hausanschlüssen und Wärmepumpen.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Summe nicht ausschließlich wirtschaftlich optimierte Investitionskosten von 2.375.946 € widerspiegelt wie in Abschnitt 5.1 dargestellt. Vielmehr enthält sie zusätzliche Aufwände, die dem Pilotcharakter des Projekts geschuldet sind. Hierzu zählen insbesondere:

- einmalige Entwicklungs- und Organisationskosten der Genossenschaft
- Unsicherheiten und Risikozuschläge
- projektbedingte Sonderkosten, die bei Folgeprojekten entfallen

Diese Kostenbestandteile führen dazu, dass die Investitionssumme über den langfristig erwartbaren, wirtschaftlich optimalen Kosten eines Regelbetriebs liegt.

Die Finanzierung der Anfangsinvestitionen erfolgt wie in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 10 Finanzierungsbausteine zur Deckung der Investitionskosten

FINANZIERUNGSBAUSTEIN	BETRAG (€)	ANTEIL AN GESAMT (%)
BEW-FÖRDERUNG (MODUL 2)	1.000.000	40 %
EIGENANTEIL GESAMT	1.500.000	60 %
– Eigenkapital (Genossenschaftsanteile)	150.000	6 %
– Risikokapital	1.000.000	40 %
– Nachrangdarlehen (Mitglieder)	100.000	4 %
– Bankdarlehen	250.000	10 %
GESAMT	2.500.000	100 %

5.4.2 Laufende Kosten

Die laufenden Kosten des Systems werden nutzerbezogen und verursachungsgerecht strukturiert. Sie setzen sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Finanzierungskosten für Netz, Hausanschlüsse und Wärmepumpen
 - Umlage erfolgt proportional zur installierten Heizlast (€/kW)
- Service-, Wartungs- und Instandhaltungskosten
 - inkl. Rücklagenbildung für zukünftige Investitionen

In Summe ergibt sich ein Leistungspreis von 19,91€/kW/Monat.

- Individuelle Stromkosten der Nutzer
 - für den Betrieb der jeweiligen Wärmepumpe
 - nicht Bestandteil der Netzkosten

Das gewählte Modell verzichtet bewusst auf eine verbrauchsabhängige Abrechnung der Wärmemengen und basiert stattdessen auf der installierten Heizlast. Dies reduziert Komplexität und Messaufwand und stärkt gleichzeitig die Eigenverantwortung der Nutzer*innen für ihren Energieverbrauch.

Zusätzlich besteht perspektivisch die Möglichkeit, durch Betriebskostenförderung (z. B. BEW Modul 4) die laufenden Kosten weiter zu senken, insbesondere durch Zuschüsse pro erzeugter kWh Wärme.

5.5 Sensitivitätsbetrachtung

Es ist davon auszugehen, dass sich innerhalb der nächsten Jahre die Kosten für Wärmepumpen insgesamt verringern. Die Ergebnisse beziehen sich auf den derzeitigen Energieverbrauch der jeweiligen Abnahmestellen. Sollten zukünftig Gebäude energetisch saniert werden, so müssten die Heizlasten vor Baubeginn neu bestimmt werden. Tabelle 11 gibt eine Übersicht über weitere Risiken, welche vor Baubeginn jedoch nochmals neu bewertet werden sollten.

Tabelle 11 Übersicht Investitionsrisiko

Risiko	Beschreibung	Gegenmaßnahme
Marktrisiko	Kleiner und leiser werdende Luft-Wasser-Wärmepumpen die für Einzelpersonen erschwinglich werden	-
Zeitrisiko	Mit dem verzögerten Bau ändern sich Rahmenbedingungen (Heizlasten, Energiepreise)	Vor Bauzeitplanung alle Referenzdaten in Bericht auf Gültigkeit prüfen
Finanzierungsrisiko	Steigende Kapital- Marktzinsen für Fremdkapital	Kapitalzinsen vor Ausführung ggfls. Anpassen
Investitionskostenrisiko	Risiko von hohen Kostensteigerungen bei den Investitionen in das Anergie-netz	Kostensteigerung frühzeitig einplanen
Genehmigungsrisiko	Umsetzung aufgrund von genehmigungstechnischen Fragen nicht oder nur verzögert möglich	Frühzeitige Einbindung von Expert*innen und paralleles Bearbeiten mit den genehmigenden Behörden
Risiken im Betrieb	Bedingungen im Erdreich und im WP-Betrieb (JAZ) anders als angenommen/ simuliert	Monitoring von Beginn an, Erweiterung Netz mit mehr Sonden, Regeneration der Sonden
Risiko unsicherer Rechtslage	Für kalte Nahwärme rechtlich unsicher ob eine Betriebskostenförderung nach BEW Modul 4 möglich ist und ob Fernwärmeabrechnungsverordnung greift (zusätzlicher Kostenfaktor)	Frühzeitige Gespräche mit BAFA und BMJV, Einbindung von Rechtsbeistand

6 Pfad zur Treibhausgasneutralität

Die Wärmeversorgung im Versorgungsgebiet erfolgt vollständig über Sole-Wasser-Wärmepumpen und ist damit nach BEW schon ab Inbetriebnahme als treibhausgasneutral einzustufen.

Bei Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien könnte in Zukunft noch zusätzlich auch der Stromverbrauch der Wärmepumpen klimaneutral abgedeckt werden.

Durch das kalte Nahwärmenetz wird so eine vollständig nachhaltige Wärmeversorgung erreicht, wobei die damit verbundene Reduktion von CO₂-Emissionen einen zusätzlichen positiven Effekt darstellt.

7 Zusammenfassung und Fazit

Die Untersuchung zur Realisierung eines kalten Nahwärmenetzes (Anergienetz) für 31 Anschlüsse, 29 Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie eine Kirche mit angegliedertem Gemeindehaus und Kindergarten als Großverbraucher, im Bereich der Humboldtstraße in Bremen hat ergeben, dass das Vorhaben sowohl technisch machbar als auch unter den angenommenen Rahmenbedingungen wirtschaftlich tragfähig ist.

Das favorisierte Konzept basiert auf der Nutzung von oberflächennaher Geothermie. Es sieht ein passiv betriebenes Anergienetz mit einer Haupt-Ringleitung im Bereich der Humboldtstraße vor, welches dezentrale Sole-Wasser-Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden mit Umweltwärme versorgt. Die Wärme wird primär durch 26 Erdwärmesonden mit einer Bohrtiefe von jeweils 300 Metern bereitgestellt. Das ungedämmte Rohrleitungsnetz selbst trägt als "Trassenkollektor" ebenfalls zur Wärmeengewinnung bei. Die hydraulische und energetische Simulation des Systems bestätigt, dass ein stabiler und effizienter Betrieb über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren gewährleistet werden kann.

Der Netzbetrieb wird durch ein Monitoring überwacht, um einen dauerhaft optimalen Betrieb zu gewährleisten. Das Netz wird auch deshalb als zukunftsfähig eingeschätzt, weil vielfältige Ausbaumöglichkeiten bestehen. Dazu zählen der Anschluss weiterer Gebäude, die Regeneration des Sondenfeldes durch Solarthermie oder Abwärme sowie die Ergänzung durch zusätzliche Erdwärmesonden. Das geplante Netz ist somit als eine erste Ausbaustufe zu verstehen. Eine nachhaltige Wärmeversorgung ist auch über den simulierten Zeitraum von 30 Jahren hinaus möglich.

Die Gesamtinvestitionskosten belaufen sich nach Abzug einer angenommenen Förderung von 40 % auf rund 1,43 Millionen Euro (netto). Dies führt zu kalkulierten Wärmegestellungskosten von etwa 21,5 Cent pro Kilowattstunde. Die Finanzierung ist über ein genossenschaftliches Modell geplant, das auf Kostendeckung ohne Gewinnerzielungsabsicht ausgelegt ist.

Durch den Einsatz von Geothermie in Kombination mit Wärmepumpen ermöglicht das System eine vollständig erneuerbare und ab Inbetriebnahme treibhausgasneutrale Wärmeversorgung für das Quartier.

Zusammenfassend stellt das geplante Anergienetz eine robuste und zukunftsfähige Lösung dar, um die Wärmeversorgung im untersuchten Pilotgebiet vollständig zu dekarbonisieren und einen lokalen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele zu leisten.

8 Literaturverzeichnis

dena. (2025). KWW-Technikkatalog Wärmeplanung. Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.).

Giel, T. (2022). *Kaltes Nahwärmenetz in der Humboldtstraße Bremen - Machbarkeitsstudie.*

Hirschberg, R. (2025). Wärmeversorgung im Bestandsquartier: Hydraulische Berechnung passiver Anergienetze mit dezentralen Erdwärmesonden und Ringtopologie. *Masterarbeit.* Universität Kassel.

Diese Machbarkeitsstudie für ErdwärmeDich Anergienetze eG durch die Mitarbeitenden der UTECH GmbH,

Regine Hirschberg und Arne Zschorlich

erstellt.

Bremen, den 24. April 2026

Anhang

A Suchschachtungen

A.1 Lageplan Suchschachtungen

A.2 Suchschachtungen 1 bis 8

B Ergebnisbericht TRT-Test (2. Fassung vom 16.04.2026)

C Straßenquerschnitt



5880550
5880525
5880500
5880475
5880450
5880425

5880550
5880525
5880500
5880475
5880450
5880425

488750

488775

488800

488825

488850

488875

488900

488925

488750

488775

488800

488825

488850

488875

488900

488925

für den AN

Datum

für den AG

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

Projektabschnitt: Übersichtsplan

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse
Ausschnitt 500-01
Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

M 1 : 500 Datum 17.02.2025

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-01

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

Projektabschnitt: Suchschachtung 1

M 1 : 25

Datum 19.02.2025

für den AN

Datum

für den AG

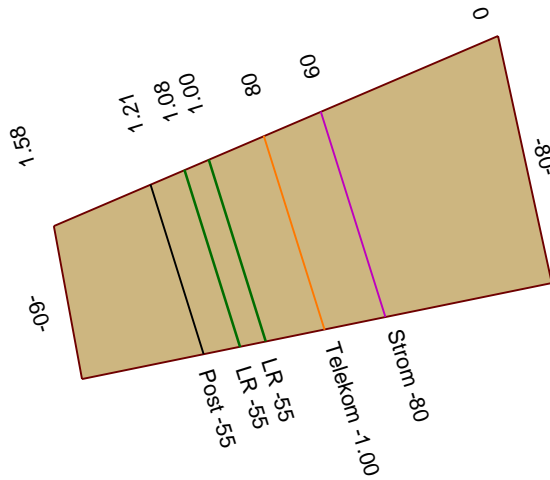
5880500.0

5880500.0

5880497.5

5880497.5

Vagtstraße Ecke Lessingstraße



4888000.0

L B T
1.30 0.70 0.80

488802.5

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-02

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

M 1 : 25

Datum 19.02.2025

Projektabschnitt: Suchschachtung 2

5880€

für den AN

Datum

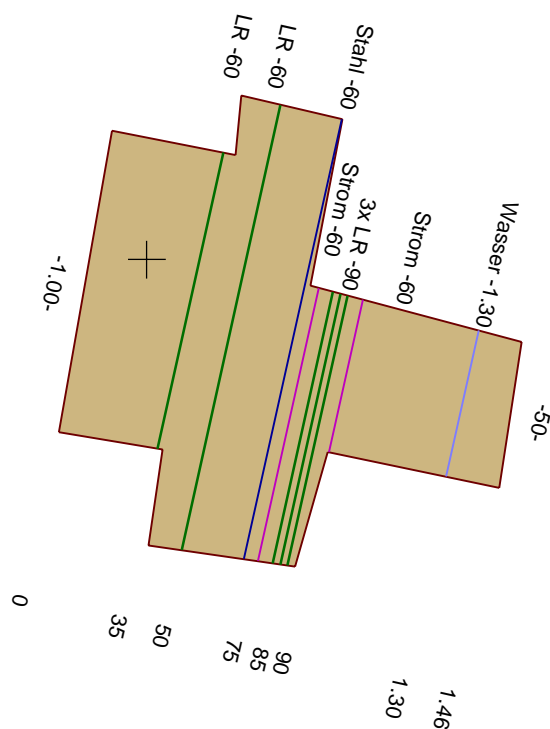
für den AG

5

5880515.0

5880515.0

Ecke Vagtstraße Humboldtstraße 163



L B T
1.40 0.50 1.30

5880512.5

5880512.5



488797.5

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-04

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

Projektabschnitt: Suchschachtung 4

M 1 : 25

Datum 19.02.2025

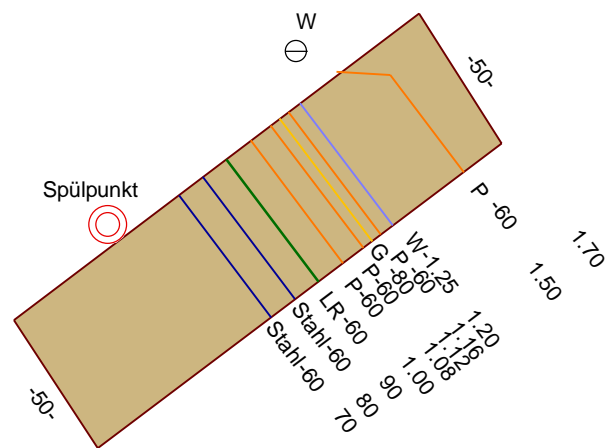
für den AN

Datum

für den AG

5880422.5

5880422.5



Lessingstraße 9

5880420.0

5880420.0



0

L B T
1.70 0.50 1.20



488845.0

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-05

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

588

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

7.5

Projektabschnitt: Suchschachtung 5

M 1 : 25

Datum 19.02.2025

für den AN

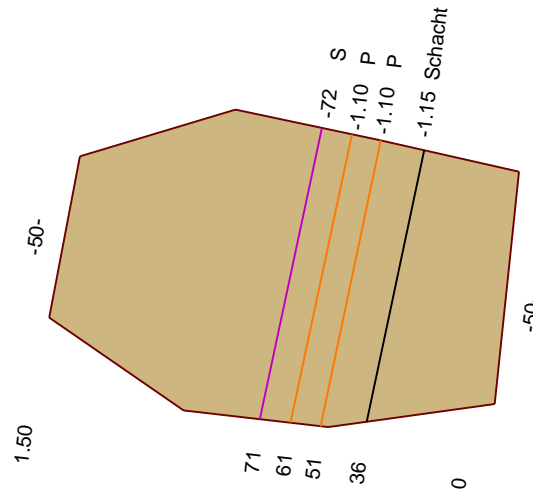
Datum

für den AG

Stedinger Straße 58

5880435.0

5880435.0



L B T
1.50 0.50 1.10

5880432.5

5880432.5



488822.5

488825.0

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-06

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

M 1 : 25

Datum 19.02.2025

Projektabschnitt: Suchschachtung 6

588055

für den AN

Datum

für den AG

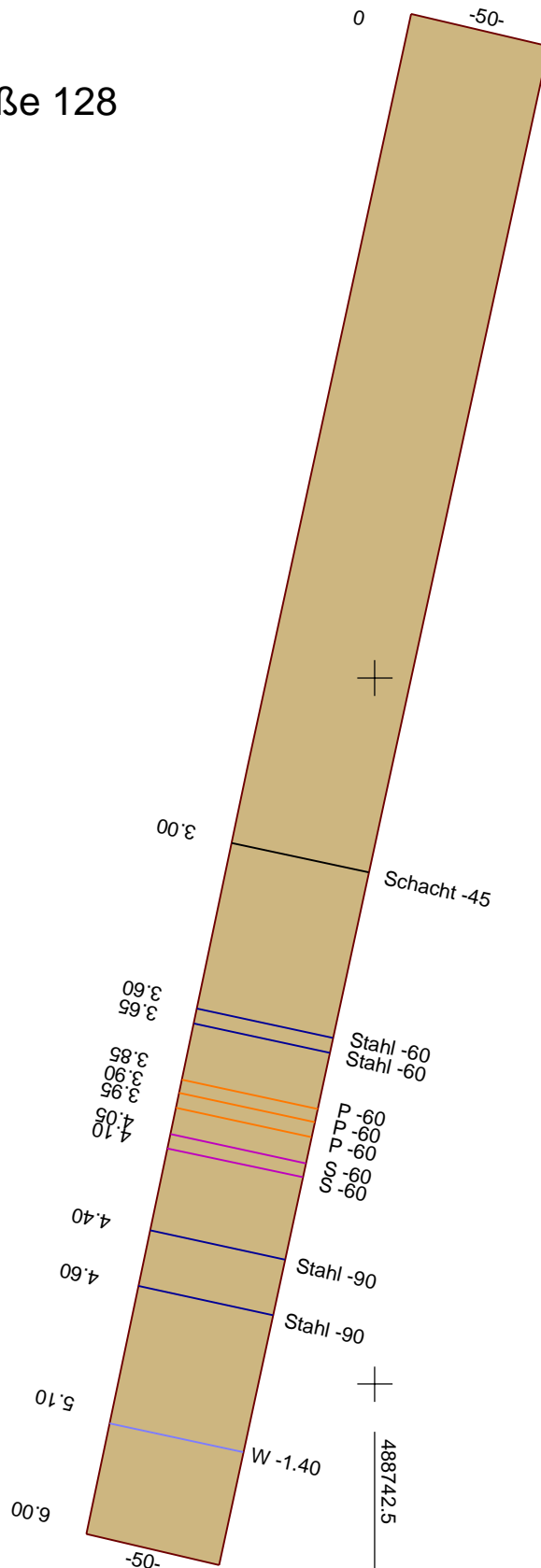
Humboldtstraße 128

5880552.5

5880552.5

5880550.0

5880550.0



L	B	T
6.00	0.50	1.30

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-07

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

58805

M 1 : 25

Datum 19.02.2025)

Projektabschnitt: Suchschachtung 7

für den AN

Datum

für den AG

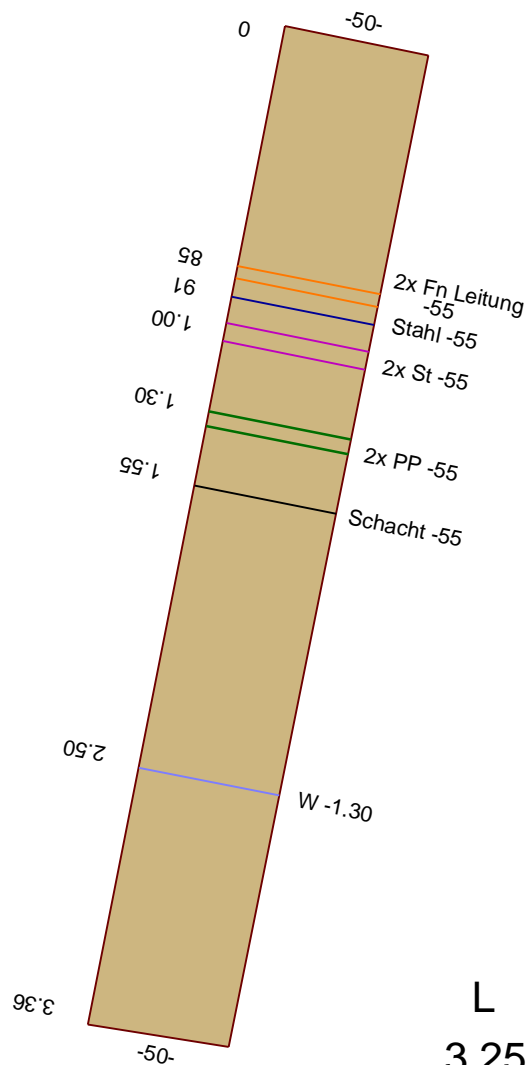
Humboldtstraße 140

5880542.5

5880542.5

5880540.0

5880540.0



L B T
3.25 0.50 1.30



488787.5

488790.0

WARNKE + GERKEN

Warnke + Gerken GmbH
Daverdener Str. 43, 27299 Langwedel

RIBcivil-Projekt 02-Aufmasse

Ausschnitt 25-08

Bearbeiter: H. Jagow, Dipl.-Ing.(FH)

Projektbezeichnung: **Suchschachtungen
Östliche Vorstadt**

Projektabschnitt: Suchschachtung 8

M 1 : 25

Datum 19.02.2025

für den AN

Datum

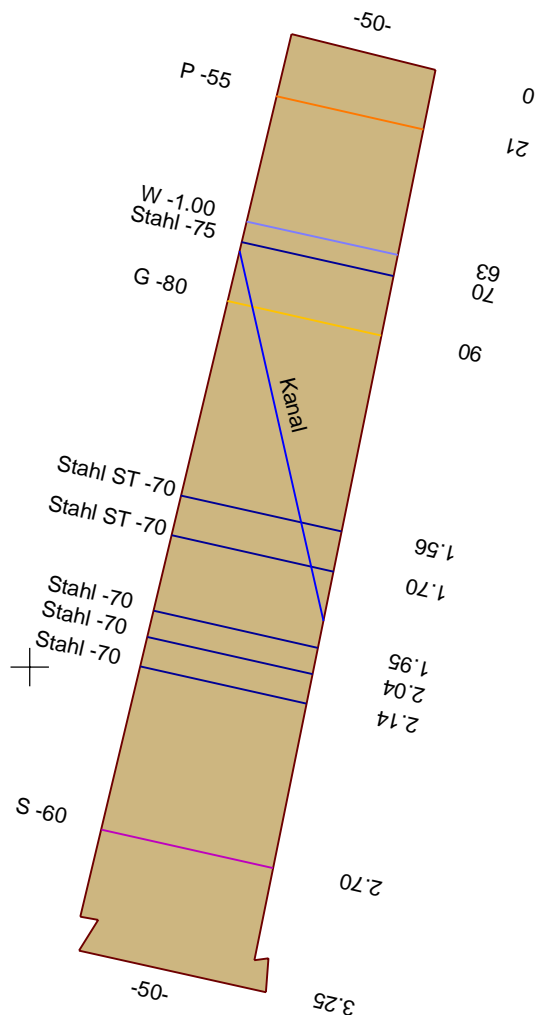
für den AG

5880500.0

5880500.0

5880497.5

5880497.5



Humboldtstraße 183



488922.5

L	B	T
3.25	0.50	1.00



Thermal Response Test (TRT) mit EED Simulation

- Vordimensionierung –
(2 Fassung)

Projekt: 8084-2025

Kaltes Nahwärmenetz ErdwärmeDich

(Humboldtstraße in 28203 Bremen)

Auftraggeber: Erdbohrtechnik Brüntjen GmbH
Omorikastraße 6b
26655 Westerstede

Planendes Büro: UTEC GmbH
Cuxhavener Straße 10 - Speicher 17
28217 Bremen

Auftragnehmer: Büro für Geowissenschaften
M&O GbR
Bernard-Krone-Str. 19
48480 Spelle

Bearbeiter: Dipl. Geograph Ingo-Holger Meyer
Beratender Geowissenschaftler BDG
Sachverständiger oberflächennahe Geothermie
Sebastian Schlenzek, B.Sc. Geow.

Datum: 16. April 2026

Büro für Geowissenschaften M&O GbR

Büro Spelle:
Bernard-Krone-Str. 19, 48480 Spelle
Tel.: 0 59 77 / 939 630
Fax: 0 59 77 939 636
e-mail: info@mo-bfg.de
Internet: www.mo-bfg.de

Büro Sögel:
Zum Galgenberg 7, 49751 Sögel
Tel: 0 59 52 / 90 33 88
Fax: 0 59 52 / 90 33 91

Die Vervielfältigung des vorliegenden Gutachtens in vollem oder gekürztem Wortlaut sowie die Verwendung zur Werbung ist nur mit unserer schriftlichen Genehmigung zulässig.

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass der Untersuchung	2
2	Geologische und hydrogeologische Verhältnisse	3
2.1	Zu erwartende sowie vorgefundene geologische Verhältnisse	3
2.2	Zu erwartende Grundwasserstandverhältnisse und Grundwasserfließrichtung	3
2.3	Obligatorische Sicherungsmaßnahmen während der Bohrarbeiten.....	3
3	Methodik Thermal Response Test.....	4
3.1	Grundlagen und Versuchsdurchführung.....	4
3.2	Theorie und Versuchsauswertung.....	5
4	Darstellung der Messergebnisse	6
5	Auswertung der Ergebnisse	7
6	EED Simulation	9
7	Abschätzung des Einflussbereichs der Temperaturänderung	14
8	Schlusswort.....	15

1 Anlass der Untersuchung

Das Büro für Geowissenschaften M&O GbR aus Spelle wurde von der Erdbohrtechnik Brüntjen GmbH aus Westerstede im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für das geplante Bauvorhaben

Kaltes Nahwärmenetz

in der Humboldtstraße in 28203 Bremen mit der Durchführung eines Thermal Response Tests (TRT) sowie der Erstellung dieses Berichts beauftragt. Nach Vorgabe der ErdwärmeDich eG aus Bremen sollte für die energiewirtschaftliche Beurteilung ein Simulationszeitraum von 30 Jahren angesetzt werden.

Das Bauvorhaben befindet sich in der Planungsphase. Die zugrunde gelegten Energiebedarfswerte und Systemleistungen, welche durch die UTEC GmbH aus Bremen festgelegt werden, basieren auf vorläufigen Annahmen und könnten sich noch ändern.

Für die Wärmeversorgung ist ein kaltes Nahwärmenetz geplant. Das kalte Nahwärmenetz versorgt mehrere Gebäude mit Wärmepumpen, die dezentral betrieben werden. Die maximale Heizleistung beträgt gemäß UTEC GmbH 386,1 kW mit einem durchschnittlichen COP von 4,0.

Der erforderliche Energiebedarf für das Quartier ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Wärmepumpen sollen in rd. 2.100 Betriebsstunden (Vollbenutzungsstunden) pro Jahr die Gesamtheizenergie-menge der Gebäude von rd. 816.400 kWh/a bereitstellen.

Eine Kühlung der Gebäude über die Wärmepumpen (aktiv) oder über das Sondenfeld (passiv) ist nicht vorgesehen.

Der geplante Wärmeentzug soll über Erdwärmesonden erfolgen.

Tab. 1: Zusammenfassung der Verteilung der benötigten Energiemengen.

	Energiebedarf Heizen [MWh/a]	Energiebedarf Kühlen [MWh/a]	Energiebedarf Warmwasser [MWh/a]
Nahwärmenetz	816,400	-	-
Gesamt:	816,400	-	-

Durch die Bestimmung der geophysikalischen Gesteinseigenschaften im Bereich der geplanten Bohrungen und über eine anschließende analytische Simulation der sich im Heizbetrieb einstellenden Betriebstemperaturen der Untertagebauteile mit Hilfe des Programms EED (Earth-Energy-Designer) soll in diesem Bericht ermittelt werden, mit wie viel Erdwärmesonden die nachhaltige Versorgung des geplanten Gebäudes mit Heizenergie sichergestellt werden kann.

Zur Durchführung der TRT Messung wurde durch die der Erdbohrtechnik Brüntjen GmbH im Bereich der geplanten Baumaßnahme eine Probesonde mit einer Endteufe von rd. 292 m unter GOK niedergebracht. Die Bohrung erfolgte im direkten Spülbohrverfahren und wurde mit einem Durchmesser von mind. Ø 160 mm abgeteuft. In das Bohrloch wurde eine PE 100 RC Doppel U-Sonde (40*4,5 mm) eingesetzt. Verpresst wurde der Ringraum mit ThermoCem® PLUS der HeidelbergCement AG).

2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

2.1 Zu erwartende sowie vorgefundene geologische Verhältnisse

Laut geologischer Karte 1:25.000 (Blatt 2919 Bremen Ost sowie Mapserver GDfB) ist die oberflächennahe Geologie im Bereich des geplanten Erdwärmesondenfeldes durch Dünensande (mittelsandiger Feinsand) aus der Weichsel-Kaltzeit bis Holozän gekennzeichnet.

Gemäß Kartengrundlage sowie in den im Umkreis des geplanten Bauvorhabens vorliegenden (hydro-)geologischen Bohrungen und Profilschnitten dargestellten Angaben (Quelle: GDfB) folgen unterhalb dieser Dünensande Geschiebemergel aus dem Drenthe-Stadium bis zu einer Tiefe von etwa 30 m unter GOK. Darunter folgen Schluff (Lauenburger Schichten), die den Übergang zur Elster-Kaltzeit markieren. Unter diesen Schichten lagern wiederum Geschiebemergel und tonige Ablagerungen aus der Elster-Kaltzeit, welche die Basis des Quartärs bilden.

Die quartäre Basis kann entsprechend der Datengrundlage in einer Tiefe von ca. 70 m unter GOK vermutet werden. Im Liegenden sind in einer Wechselfolge feinkörnige Lockergesteine bestehend aus Ton und Schluff aus dem Miozän und Oligozän zu erwarten. Im weiteren Verlauf können bis in Tiefen von mind. 300 m unter GOK Oligozäne und vermutlich Eozäne Tone und Schluffe aufgeschlossen werden.

Die mit der Probesonde aufgeschlossene Schichtenabfolge entspricht den am Standort gem. Kartengrundlage zu erwartenden und oben beschriebenen geologischen Einheiten. Signifikante Abweichungen in der Petrographie sind nicht angezeigt.

Die einzelnen Schichtmächtigkeiten sind dem Bohrprofil in der Anlage 3 zu entnehmen.

2.2 Zu erwartende Grundwasserstandverhältnisse und Grundwasserfließrichtung

Der mittlere Grundwasserspiegel ist im Untersuchungsgebiet entsprechend der Hydrogeologischen Karte (Mapserver GDfB) bei ca. 0,80 m NHN bzw. bei einem Flurabstand von ca. 3,0 m zu erwarten. Im Bereich des Standortes kann entsprechend der Kartengrundlage eine prinzipiell in Richtung Südwest verlaufende Grundwasserfließrichtung für die oberflächennah anstehenden Lockergesteine angenommen werden.

2.3 Obligatorische Sicherungsmaßnahmen während der Bohrarbeiten

Von der ausführenden Bohrfirma sind Gerätschaften und Materialien (z. B. Schwerspat, Kreide, Tonpellets und ggf. Packersysteme) vorzuhalten, welche einen schnellen und ordnungsgemäßen Verschluss der Bohrung z. B. beim Auftreten von gespannten bzw. artesischen Wässern sicherstellen können.

Hinsichtlich der unter Abschnitt 2.1 beschrieben und zu erwartenden Schichtenverhältnisse, ist bezüglich eines pot. hydraulischen Kurzschlusses zu empfehlen, die Bohrungen mind. 3 m in den Tiefenbereich der zu erwartenden bindigen Böden (Geschiebemergel) zwischen vermutlich 3 und 4 m unter GOK zu verrohren. Die Verrohrung kann im Rahmen der Verpressarbeiten wieder aus dem Bohrloch entfernt werden.

3 Methodik Thermal Response Test

3.1 Grundlagen und Versuchsdurchführung

Der Thermal Response Test (TRT) wird gemäß VDI-Richtlinie 4640 – Thermische Nutzung des Untergrundes und den Erdwärmeleitfäden verschiedener Bundesländer eingesetzt, um bei geothermischen Anlagen mit Leistungen > 30 kW die Auslegung der Wärmequellenanlagen fachlich fundiert vornehmen zu können. Der TRT ist eine anerkannte Feldmethode zur Ermittlung folgender Parameter:

- **der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes,**
- **des thermischen Bohrlochwiderstandes und**
- **der mittleren Gesteinstemperatur.**

Die im Zuge der Durchführung des TRT ermittelten Kenngrößen kommen als Eingangsparameter in Berechnungsprogrammen (hier: EED) für die sachgerechte Dimensionierung von Sondenfeldern zum Einsatz. Für den TRT wird eine definierte Wärmelast (Heizen oder Kühlen) an eine Erdwärmesonde angelegt und die Temperaturentwicklung des Wärmeträgermediums (Wasser) bei Sondenein- und Sondenaustritt über die Zeit aufgezeichnet.

Im Ergebnis erhält man eine Temperatur-/Zeitkurve, die mit verschiedenen Methoden ausgewertet wird. Der wesentliche Ergebnisparameter ist ein Maß für das gesamte Wärmetransportvermögen des Untergrunds, nämlich die Wärmeleitfähigkeit. Darin gehen jedoch auch Anteile evtl. vorhandenen konvektiven Wärmetransports und andere Störsignale ein, so dass hier korrekt von der scheinbaren Wärmeleitfähigkeit gesprochen werden sollte.

Neben ausreichender Genauigkeit bei der Messung von Temperaturen und Wärmeleistung ist vor allem die Versuchsdauer wichtig. Diese sollte mindestens so lange andauern, bis die Messkurve sich asymptotisch einem gleichbleibenden Endwert eingeschwungen hat. In den ersten Stunden wird der Temperaturverlauf noch wesentlich durch die Bohrlochverfüllung bestimmt. Durch längere Messzeiten können auch Störungen reduziert werden, wie sie z. B. durch Wärmeentwicklung beim Abbinden des Verfüllmaterials entstehen.

Zur Frage, die Messung mit Aufheizung oder Abkühlung des Untergrundes durchzuführen, ist dahingehend zu beantworten, dass theoretisch die gleichen Ergebnisse für die Wärmeleitfähigkeit zu erwarten sind. Es ist bekannt, dass die Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen mit steigender Temperatur abnimmt. Dieser Effekt ist jedoch nicht stark (er liegt in der Größenordnung von etwa 0,05 W/m/K pro 10 K Temperaturänderung).

Bei Wärmepumpenanlagen liegen die Temperaturen im Betrieb an der Erdwärmesonden um 0 °C, nach außen steigen sie im geringen Abstand zur Sonde auf die natürlichen Untergrundtemperaturen von 10-12 °C an.

Wird bei einer Temperaturerhöhung auf z. B. 25 °C gemessen, so liegt der Fehler zur Messung mit Temperaturerniedrigung bei maximal etwas mehr als 0,1 W/m/K. Bei der Versuchsdurchführung werden somit folgende Rahmenbedingungen eingehalten (n. Sanner 2007):

- Versuchsdauer bis zum asymptotischen Einschwingen der Temperaturkurve gegen einen Endwert bis maximal 72 Stunden,
- Temperaturänderung mindestens 10 K gegenüber der Anfangstemperatur, bis zum gewünschten Betriebstemperaturniveau
- Durchflussmenge: Fließen sollte turbulent sein (oder mit der für den Betrieb gewünschten Durchflussrate).

3.2 Theorie und Versuchsauswertung

Der i. d. R. eingeschlagene Weg zur Auswertung eines thermischen Response Tests beruht auf der **Kelvin'schen Linienquellentheorie**. Diese wurde bereits in den 40er Jahren für die Berechnung erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen verwendet, um die Temperaturentwicklung im Erdreich zeitabhängig näherungsweise zu erfassen (n. Sanner 2007). Die Temperatur T im Abstand r um eine Linienquelle konstanter Heizleistung P in einem unendlichen, homogenen und isotropen Medium mit der effektiven Wärmeleitfähigkeit λ_{eff} und der Temperaturleitfähigkeit a ergibt sich zu (n. Poppel):

$$T(r, t) = T_0 + \frac{P}{4\pi\lambda} \int_{\frac{r^2}{4\alpha t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \cong T_0 + \frac{P}{4\pi\lambda} \left[\ln\left(\frac{4\alpha t}{r^2}\right) - \gamma \right] \quad \text{für } t \geq \frac{5r^2}{\alpha} \quad (\text{Gl. 1})$$

- T_0 = Temperatur des ungestörten Untergrundes [$^{\circ}\text{C}$]
- P = zugeführte Wärmeleistung pro Meter Sondenlänge [W/m]
- λ = Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes [$\text{W}/(\text{m K})$]
- t = Zeit [s]
- a = Temperaturleitfähigkeit des Untergrundes ($a=l/cp$) [m^2/s]
- r = Abstand von der Sonde [m]
- g = Euler'sche Zahl

Die zeitliche Entwicklung der mittleren Fluid-Temperatur ist demnach linear zu $\ln(t)$, mit einer Steigung k . Daraus folgt folgender Zusammenhang:

$$\lambda_{eff} = \frac{P}{4\pi * H * k} \quad (\text{Gl. 2})$$

der eine Bestimmung der **effektiven Wärmeleitfähigkeit** des Untergrundes λ_{eff} ermöglicht.

Die Berechnung des **thermischen Bohrlochwiderstandes** erfolgt gemäß obiger Gleichung, indem der allgemeine Abstand r durch den Bohrlochradius r_0 ersetzt wird:

$$R_b = \frac{H}{P} (T_f(t) - T_f(t=0)) - \frac{1}{4\pi\lambda} \left[\ln\left(\frac{4\alpha t}{r_0^2}\right) - \gamma \right] \quad (\text{Gl. 3})$$

- T_f = Mittlere Fluid-Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- R_b = thermischer Bohrlochwiderstand [$(\text{m K}) / \text{W}$]
- r_0 = Bohrlochradius [m]
- H = Länge Erdwärmesonde [m]

4 Darstellung der Messergebnisse

Mit dem TRT Messgerät sind vom 17.02.2026 bis zum 20.02.2026 die Parameter Außentemperatur, Vorlauftemperatur (T_{out}), Rücklauftemperatur (T_{in}), Heizleistung und Durchfluss gemessen worden. Abbildung 1 zeigt die Ganglinien der gemessenen Parameter. Tabelle 2 fasst die für die Versuchsdurchführung wesentlichen gemessenen Betriebsparameter zusammen.

Tab. 2: Beschreibung der Messzeiträume und der angelegten Lasten.

Messintervalle [Datum/Uhrzeit]		Heizlast [kW]	Sondendurchfluss [m ³ /h]
von	bis		
17.02.2026 / 15:18	17.02.2026 / 15:48	0	Ø 1,90
17.02.2026 / 15:48	20.02.2026 / 09:29	Ø 8,42	Ø 1,93

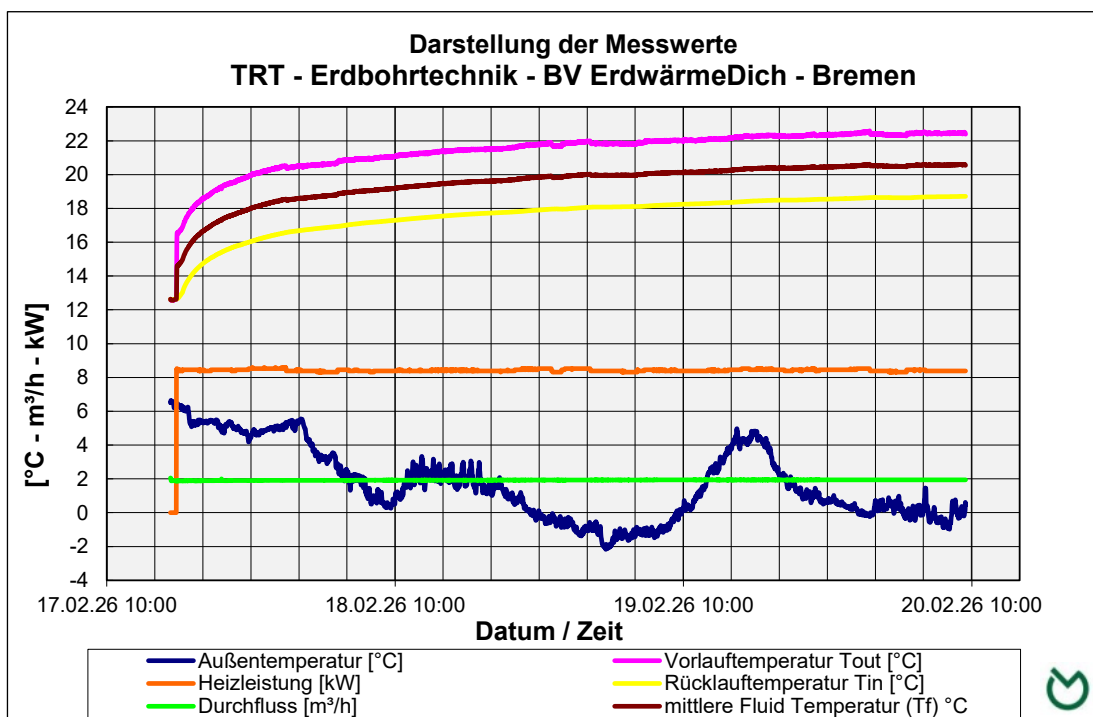


Abb. 1: Darstellung der Messergebnisse.

Zur Ermittlung der ungestörten Untergrundtemperatur wurde zu Beginn der Messung für 30 min der Sondendurchfluss ohne Heizlast durchgeführt. Die Abbildung 2 zeigt den Temperaturverlauf der Vorlauf- (T_{in}) und Rücklauf- (T_{out}) Temperatur mit der ungestörten Untergrundtemperatur in der Vorlaufphase ohne Heizen und während der Anfangsheizphase von t_{0min} bis t_{60min} [in °C].

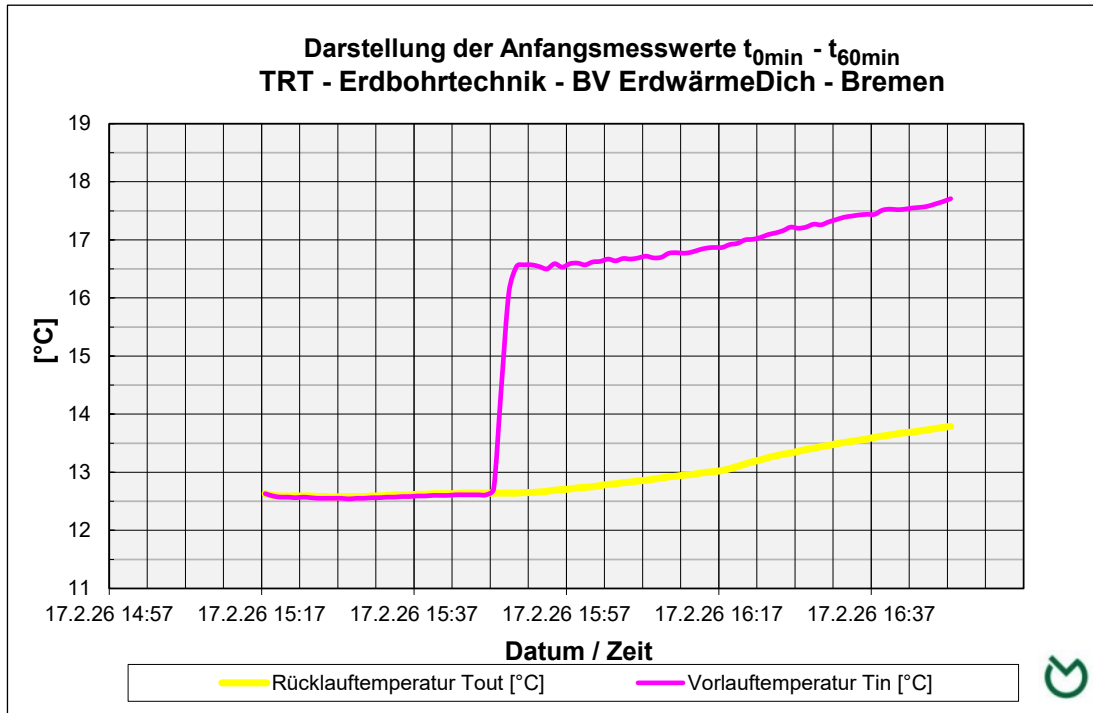


Abb. 2: Darstellung der Anfangsmesswerte.

5 Auswertung der Ergebnisse

Zur Ermittlung der Geradensteigung k ist die mittlere Fluid Temperatur T_f gegen den Logarithmus der Zeit aufgetragen worden (s. Abbildung 3).

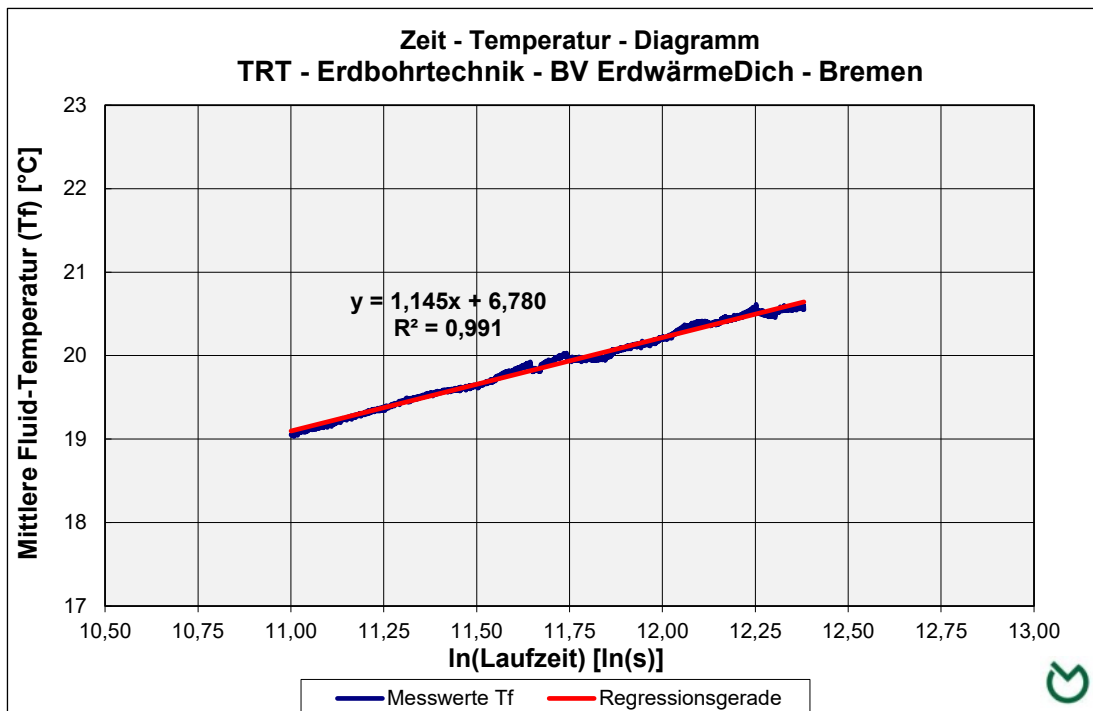


Abb. 3: Zeit-Temperatur Diagramm zur Ermittlung der Geradensteigung k .

Die ermittelte Geradensteigung $k = 1,145 [-]$ kann nun zur Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit λ_{eff} (Gl. 2) verwendet werden. Die hierbei berechnete effektive Wärmeleitfähigkeit beträgt:

$$\lambda_{eff} = \sim 2,00 \text{ [W/mK]}.$$

Plausibilitätsprüfung des Ergebnisses nach VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1:

- Sand (wassergesättigt) 2,0 – 3,0 W/m*K
- Geschiebemergel/-lehm 1,1 – 2,9 W/m*K
- Ton/Schluff (wassergesättigt) 1,1 – 3,1 W/m*K

Der ermittelte Wärmeleitfähigkeitswert der erbohrten Geologie korreliert in der gewichteten Gesamtbetrachtung mit den gesteinspezifischen Vorgaben der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1.

Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung der in die Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes eingehenden Sondenanlagen- und Gesteinsparameter.

Tab. 3: Parameter zur Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes.

effektive Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	ungestörte Untergrundtemperatur [°C]	spez. Wärmekapazität Wasser [kJ/kg*K]	Temperaturleitfähigkeit [m²/s]	vol. spez. Wärmekapazität Gestein [MJ/m³*K]
~2,00	12,66	4,18	$5 \cdot 10^{-7}$	2,35 ¹⁾

¹⁾ gewichtetes Mittel entsprechend Schichtenverzeichnis und nach Vorgaben der VDI 4640-1

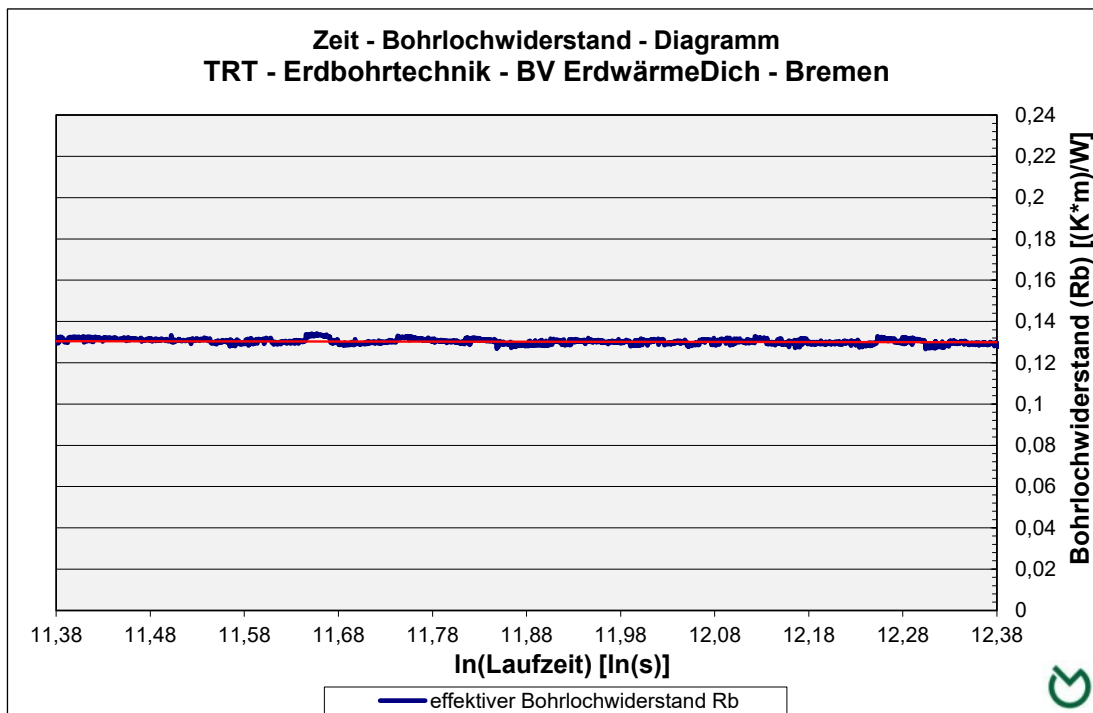


Abb. 4: Darstellung Zeit-Bohrloch Diagramm.

Die Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes R_b (Gl. 3) erfolgte als Mittelwert während der stationären Betriebsphase (s. Abbildung 4) des 3. Messtages vom 19.02.2026 09:29 Uhr bis zum 20.02.2026 09:29 Uhr. Der hieraus resultierende mittlere Bohrlochwiderstand beträgt

$$R_{b(\text{mittel})} = 0,130 \text{ [(K*m)/W]}.$$

Der gemessene Bohrlochwiderstand kann für die durchgeführte Ausbauart des Bohrlochs und den aufgelegten turbulenten Volumenstrom als leicht erhöht eingestuft werden.

Der tatsächliche Bohrlochwiderstand im Betriebszustand, wird in der weiteren Berechnung dem zu erwartenden Fließverhalten im Betriebszustand bei Bedarf rechnerisch angepasst.

6 EED Simulation

Die Auslegung des Sondenfeldes für das geplante Gebäude erfolgt unter Einsatz der Software EED (Earth Energy Designer) Version 4.20. Die Simulation erfolgt mittels der oben bestimmten Parameter, gem. Vorgabe durch den AG für eine Zeitraum von 30 Jahren.

Die Jahresverteilung von Grund- und Spitzenlasten wurde bei der Simulation entsprechend Tabelle 5 und 6 angesetzt. Die graphische Darstellung der Grund- und Spitzenlasten im Jahresverlauf ist den Abbildungen 5 und 6 zu entnehmen. Weitere Simulationsparameter sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Rückkopplungseffekte von sich potenziell in der näheren Umgebung befindlichen anderen erdgebundenen Wärmepumpensystemen werden bei dieser Simulation nicht berücksichtigt.

Tab. 4: Simulationsparameter.

ungestörte Untergrundtemperatur:	12,7 °C	
Temperaturgrenzen bei Grundlast: (Fluid-Mitteltemperaturen)	Niedrigste:	+2,00 °C (min 0,00°C)
	Höchste:	+18,5 °C
Temperaturgrenzen bei Spitzenlast: (Fluid-Mitteltemperaturen)	Niedrigste:	-3,00 °C ¹⁾ (Sondenvorlauf (WP _{out})) -1,50 °C ²⁾ (Sondenfuß)
	Höchste:	+25,0 °C (< 30 Tage) ¹⁾ (Sondenvorlauf) +23,5 °C ²⁾ (Sondenfuß)
Betriebsstunden:	Heizen/WW:	rd. 2.100 h/a
	Kühlen:	-
Leistungszahl (COP):	Heizen/WW:	4,0
	Kühlen:	-
Kältemittel:	Monoethylenglycol -14 °C	
angesetzte effektive Wärmeleitfähigkeit:	2,00 W/m*K	
angesetzte spez. Wärmekapazität des Untergrundes c_U :	2,35 MJ/(m ³ *K)	
geothermischer Wärmefluss:	0,00 W/m ²	
angesetzter Nennvolumenstrom:	rd. 38,8 m ³ /h (Gesamt)	
Durchfluss pro inst. Erdwärmesonde:	0,25 l/s (laminar)	
Bohrlochwiderstand R_b :	rd. 0,200 K*m/W (berechnet)	
Simulationszeitraum:	30 Jahre	
Simulationsbeginn:	Januar	
Abstand der Bohrungen:	Ø mind. 10,00 m (mittlerer Sondenabstand)	
Bohrlochdurchmesser:	Ø 160,0 mm	
Wärmeleitfähigkeit Verfüllmaterial:	≥ 2,0 W/mK	

¹⁾ Temperaturgrenze im Sondenvorlauf entsprechend „Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen“ (GDFB)

²⁾ Temperaturgrenze Sondenfuß (entspricht berechneter Fluid-Mitteltemperatur) bei erdseitiger Temperaturspreizung von 3K zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperatur

Tab. 5: Jahresverteilung Heizwärme-, Kühl- und Warmwasserbedarf.

Energiebedarf: Monate:	Heizen:		Kühlen:		Modus	Warmwasser:
	[kWh/a]	[anteilig]	[kWh/a]	[anteilig]	Kühlen:	[kWh/a]
Januar	130.700	0,160	-	-	-	-
Februar	115.600	0,142	-	-	-	-
März	103.100	0,126	-	-	-	-
April	75.600	0,093	-	-	-	-
Mai	39.100	0,048	-	-	-	-
Juni	22.700	0,028	-	-	-	-
Juli	15.400	0,018	-	-	-	-
August	18.400	0,022	-	-	-	-
September	32.300	0,040	-	-	-	-
Oktober	56.200	0,069	-	-	-	-
November	94.800	0,116	-	-	-	-
Dezember	112.500	0,138	-	-	-	-
Summe:	816.400	1	-	-	-	-

Tab. 6: Jahresverteilung Spitzenlasten.

Spitzenlasten: Monate:	Heizen:		Kühlen:	
	[kW]	[h/d]	[kW]	[h/d]
Januar	382,5	11	-	-
Februar	328,1	12	-	-
März	-	-	-	-
April	-	-	-	-
Mai	-	-	-	-
Juni	-	-	-	-
Juli	-	-	-	-
August	-	-	-	-
September	-	-	-	-
Oktober	-	-	-	-
November	-	-	-	-
Dezember	386,1	9	-	-

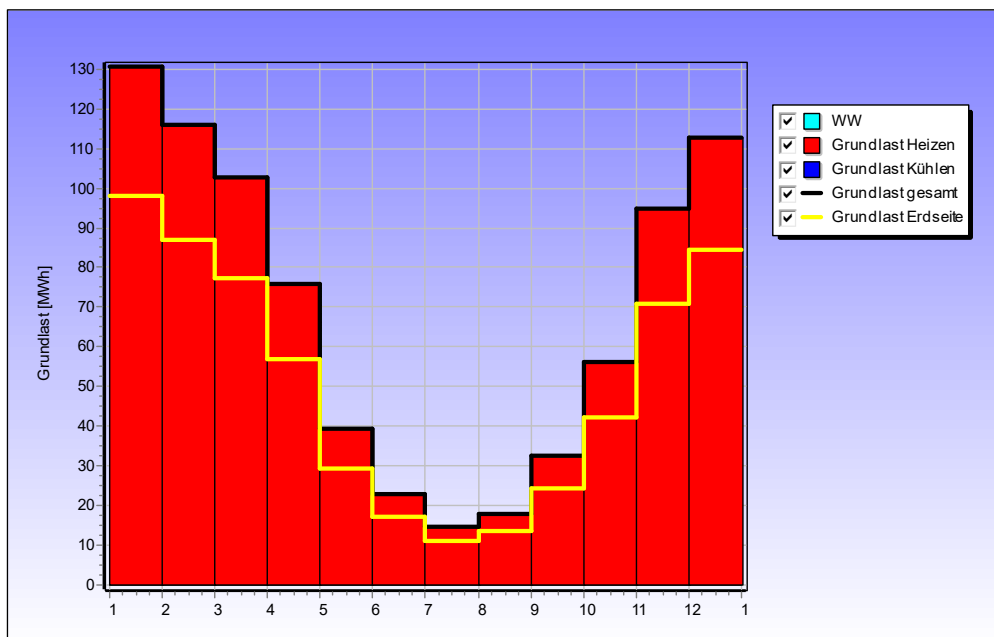


Abb. 5: Darstellung der Grundlasten im Jahresverlauf.

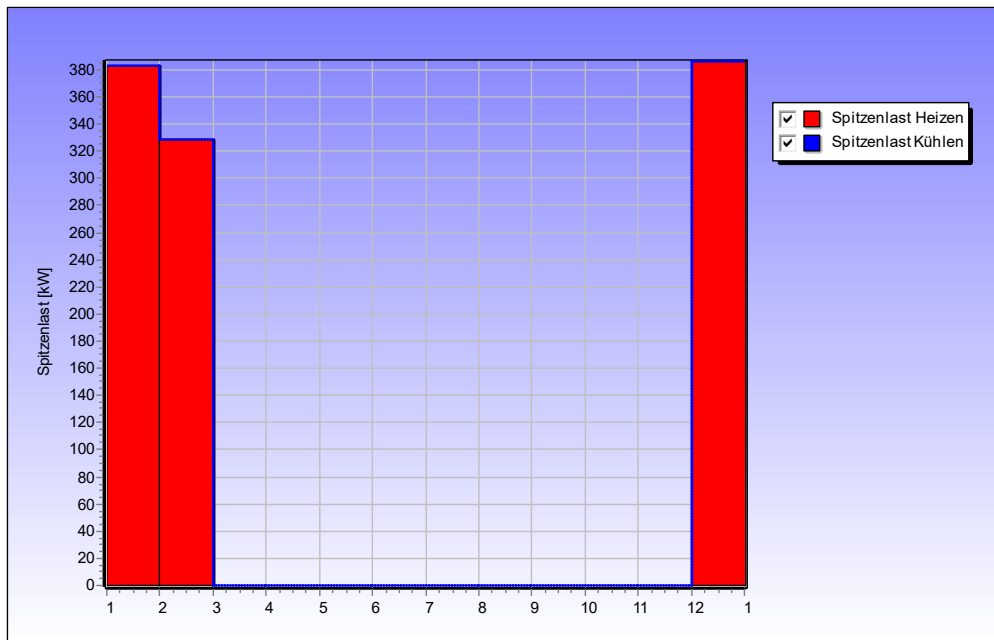


Abb. 6: Darstellung der Spitzenlasten im Jahresverlauf.

Ergebnis der EED Simulation

Die Simulation hat ergeben, dass unter Einhaltung der oben angegebenen Eingangsparameter insgesamt mindestens **42 Erdwärmesonden à 292,0 m** (12.264,0 m Gesamt) zu installieren sind, um die erwartete Energiemenge Heizen/Kühlen im Grund- und Spitzenlastbetrieb nachhaltig bereitstellen zu können.

Die sich einstellenden mittleren Fluidtemperatur der Grund- und Spitzenlast im 50. Betriebsjahr können zusammengefasst der Tabelle 7 entnommen werden.

Die Sondenfeldberechnung erfolgte unter Verwendung der irregulären Feldmodellierung. Hierbei werden durch das EED-Simulationsprogramm die Koordinaten der geplanten, unregelmäßigen Sondenpositionen (irreguläres Sondenfeld) mittels eines mathematischen Äquivalenz-Faktors in ein äquivalentes reguläres Sondenfeld modelliert, welches ein gleiches thermisches Verhalten aufweist.

Das zur Simulation zugrunde gelegte idealisierte bzw. näherungsweise an die geplante Bauweise angepasste, reguläre Sondenfeld hat entsprechend der Abbildung 7 eine rechteckförmige Anordnung (6 x 7 EWS) mit einer Länge von rd. 97,2 m und einer Breite von rd. 81 m.

Die Lage und Geometrie des äquivalenten bzw. geplanten Sondenfeldes kann der Anlage 2 entnommen werden.

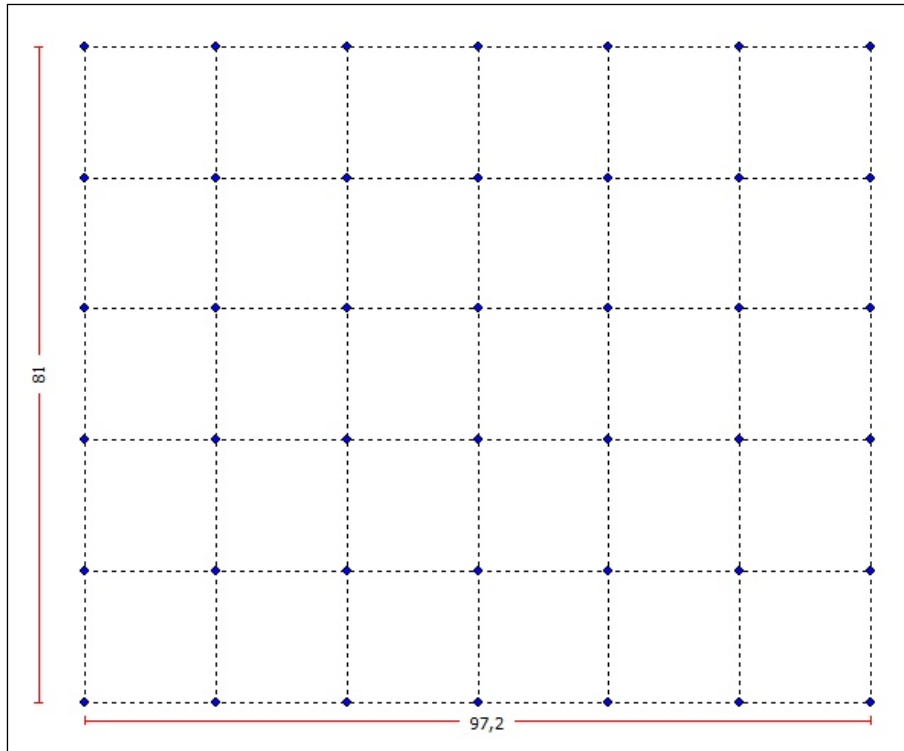


Abb. 7: Darstellung des idealisierten Sondenfeldes.

Um einen guten Wärmeübergang vom umgebenden Gestein in das Sondenfluidum zu gewährleisten ist generell darauf zu achten, dass innerhalb der Erdwärmesonden turbulente (Reynoldszahl > 2.300) Strömungsverhältnisse angelegt werden. Die Höhe der benötigten Mindestdurchflussrate ist ggf. dem im Betrieb verwendeten Sondenfluidum anzupassen.

Tab. 7: sich einstellende mittlere Temperatur Bereiche bei Grund- und Spitzenlast.

Last	min. [°C]		max. [°C]	
	Ergebnis der Simulation	zulässige Temperatur entsprechend VDI	Ergebnis der Simulation	zulässige Temperatur entsprechend VDI
Grundlast	2,21	0,00 ¹⁾	6,85	18,5
Spitzenlast (Heizen)	-1,50	-1,50 ²⁾	6,85	
Spitzenlast (Kühlen)	-		-	23,5 ³⁾

¹⁾ Bei Unterschreitung der minimalen VDI Grenztemperaturen sollte 0°C im Grundlastbetrieb Heizen generell nicht unterschritten werden.

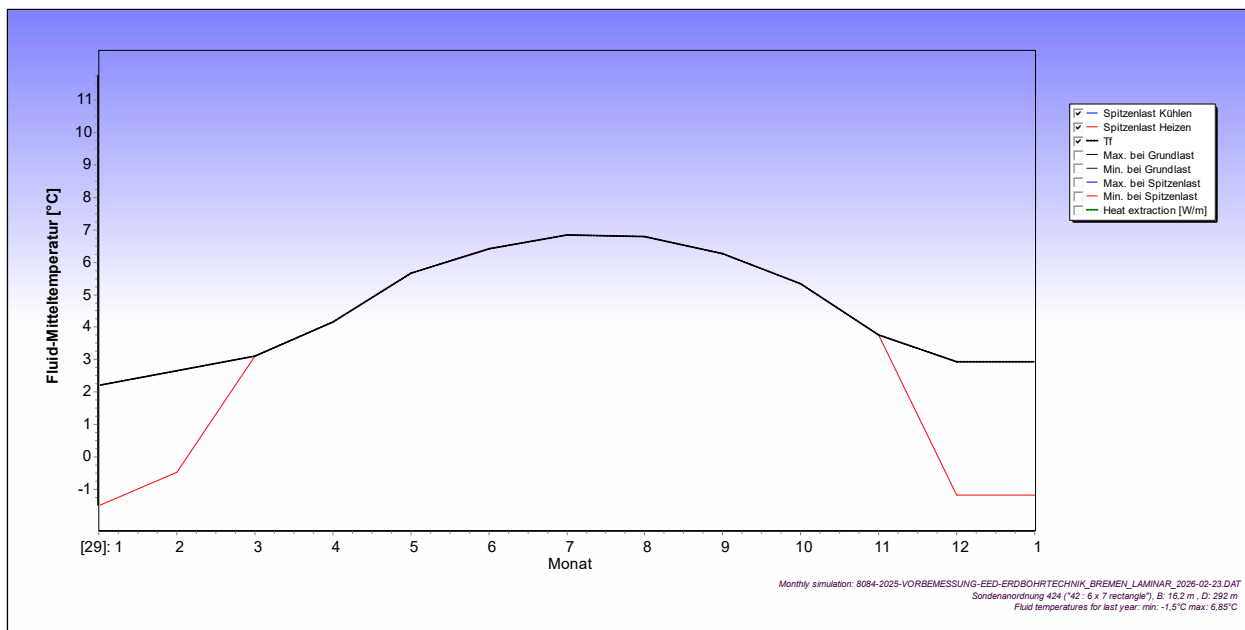
²⁾ Im Spitzenlastbetrieb sollte entsprechend dem Leitfaden Erdwärmenutzung in Bremen (Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen, GfB) eine Fluid-Temperatur von -3,00°C (Heizen) im Sondenvorlauf und folglich eine mittlere Fluid-Temperatur von -1,50°C (Heizen) am Sondenfuß generell nicht unterschritten werden.

³⁾ erlaubt bei Überschreitung der 20°C (18,50°C mittlere Fluidtemperatur) Grenze von < 30 Tagen

Bei einer geplanten Temperaturspreizung zwischen erdseitiger Vor- und Rücklauftemperatur von **3K** im Heiz- und Kühlbetrieb ergeben sich im 30. Betriebsjahr folgende absolute Minimal- und Maximal-Fluidtemperaturen (s. Tabelle 8).

Tab. 8: Absolute Minimal- und Maximal-Fluidtemperaturen in Abhängigkeit der aufgelegten Spreizung im 30. Betriebsjahr.

Last	Minimaler Temperaturbereich Heizen [°C]		Maximaler Temperaturbereich Kühlen [°C]	
	WP _{out}	WP _{in}	WP _{out}	WP _{in}
Grundlast	0,71	3,71	8,35	5,35
Spitzenlast	-3,00	0,00	-	-



In den folgenden Abbildungen 8 und 9 sind die sich einstellenden Sonden-Fluid-Mitteltemperaturen als auch die Minimal- und Maximaltemperaturen im Laufe des Simulationszeitraumes dargestellt.

Abb. 8: Darstellung der sich einstellenden Sonden-Fluid-Mitteltemperaturen im 30. Betriebsjahr.

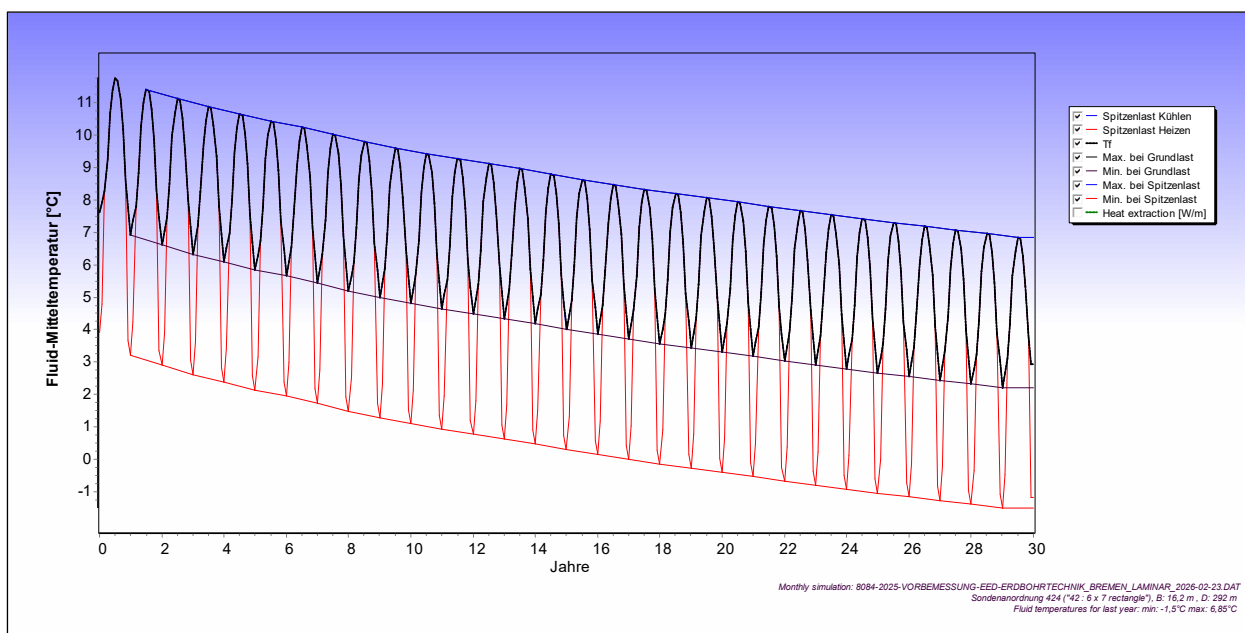


Abb. 9: Verlauf der mittleren Minimal- und Maximaltemperaturen während des Simulationszeitraumes.

Die erdseitige Jahresenergiebilanz (Heizen/WW/Kühlen) liegt rechnerisch bei einem Saldo von rd. -612,300 MWh/a und kann insgesamt als negativ eingestuft werden. Dies ist bei der hauptsächlich zu Heizzwecken gewählten Betriebsweise zu erwarten und für die Dimensionierung angemessen

Abbildung 9 zeigt, dass sich die Temperaturentwicklung im Erdwärmesondenfeld zwischen der jährlichen Heiz- und sommerlichen Erholungsperiode innerhalb des Simulationszeitraumes von 30 Jahren noch nicht stationär verläuft. In den darauffolgenden Jahren ist also mit weiter sinkenden Temperaturverläufen zu rechnen.

Die ermittelten Temperaturveränderungen entsprechen den typischen Werten für VDI 4640-konforme geothermische Anlagensysteme. Der gewählte Simulationszeitraum von 30 Jahren liegt unterhalb der in VDI 4640 empfohlenen Betrachtungszeit von 50 Jahren für die Langzeitbewertung. Eine weitere geothermische Nutzung auf benachbarten Grundstücken ist bei Einhaltung der Mindestabstände (mind. 10 m zu Erdwärmesonden) möglich.

Weitere Informationen können dem EED Simulationsbericht in der Anlage entnommen werden.

Der bei der gezeigten Simulation angesetzte Gesamt-Nennvolumenstrom von mind. rd. 38,8 m³/h (0,25 l/s/EWS) auf das simulierte Erdwärmesondenfeld (s. Tabelle 4) ist obligatorisch einzuhalten. Sollte das standardmäßig vorinstallierte Pumpensystem der Wärmepumpen diesen Volumenstrom nicht generieren können, so ist dieses entsprechend den benötigten Vorgaben anzupassen. Bei einer Unterschreitung des angegebenen Nennvolumenstroms verlieren alle berechneten Temperaturwerte ihre Gültigkeit.

7 Abschätzung des Einflussbereichs der Temperaturänderung

Da die Anlage überwiegend für Heizzwecke ausgelegt ist, wird dem Untergrund Wärmenergie entzogen. Dies führt zur Ausbildung einer Kältesenke um das Erdsondenfeld. Im Bereich durchlässiger Bodenschichten wird die Kälte durch den Grundwasserstrom in südwestlicher Richtung transportiert und bildet eine Kältefahne aus.

In weniger durchlässigen Ablagerungen (Ton und Schluff) mit geringerer Wasserdurchlässigkeit entwickelt sich eine radialsymmetrische Kältesenke unmittelbar um das Sondenfeld. Der Wärmetransport erfolgt hier durch Wärmeleitung statt durch Grundwasserströmung.

Aufgrund der gewählten Heizleistung von > 100 kW ist gemäß Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen (GDfB) eine numerische Modellierung zur Vorhersage des zeitlichen Temperaturverlaufs erforderlich. Diese Modellierung ist nicht Bestandteil des vorliegenden Berichts.

8 Schlusswort

Sollten sich hinsichtlich der vorliegenden Bearbeitungsunterlagen und der zur Betrachtung zugrunde gelegten Gebäudetechnik (z. B. der Wärmepumpe) oder der generellen Heizsystemauslegung Änderungen ergeben ist der Gutachter sofort zu informieren und ggf. zu einer neuen Stellungnahme aufzufordern.

Generell sind die hier im Gutachten verwendeten gebäudespezifischen Systemparameter durch den verantwortlichen TGA Planer zu überprüfen. Alle dargestellten Ergebnisse sind nur im Zusammenhang mit den im Bericht aufgeführten Vorgaben bzw. Annahmen gültig.

Falls sich Fragen ergeben, die im vorliegenden Gutachten nicht oder nur abweichend erörtert wurden ist der Gutachter ebenfalls zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Spelle, 15. April 2026



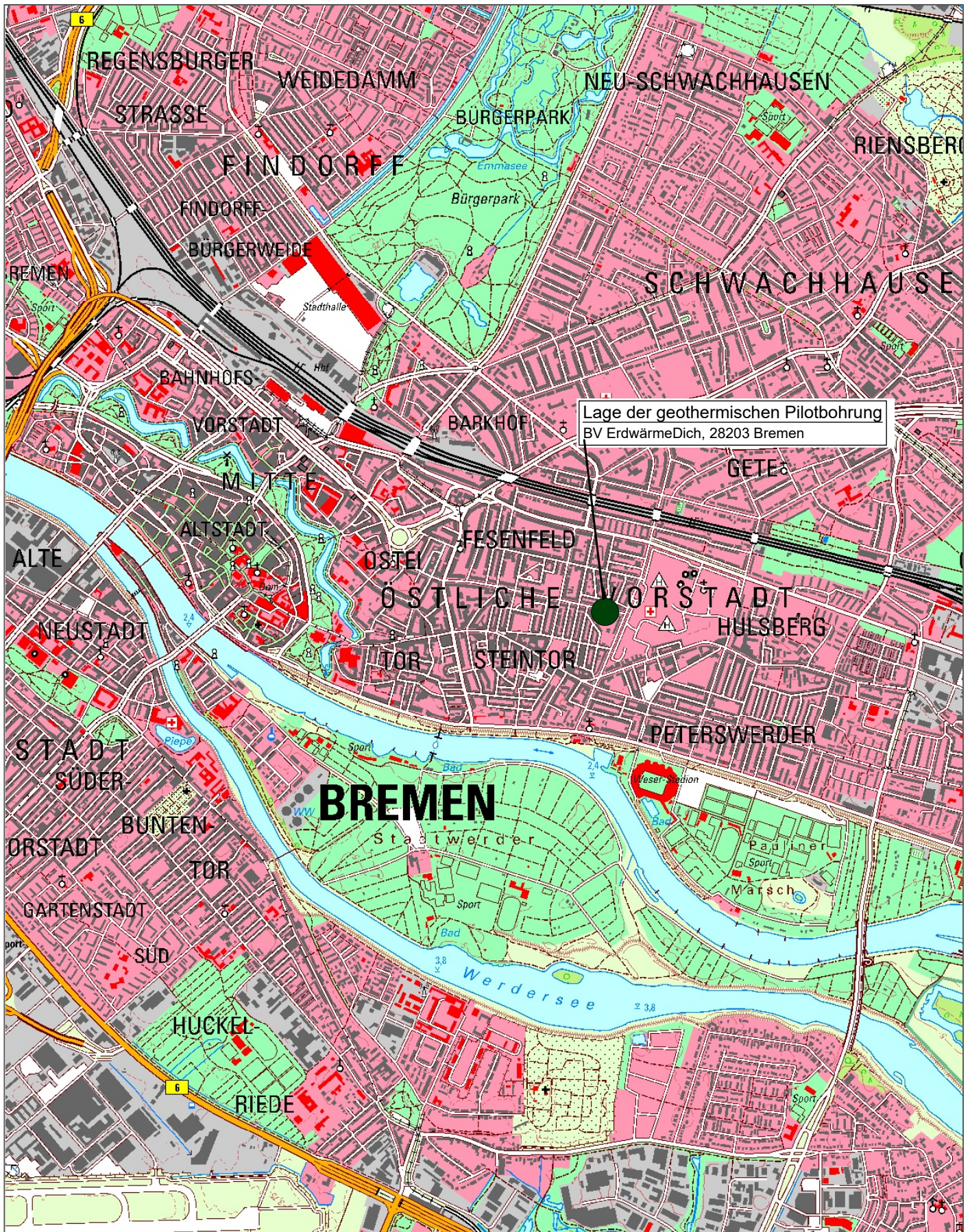
Dipl.-Geograph Ingo-Holger Meyer[^]
Beratender Ingenieur u. Geowissenschaftler BDG
Sachverständiger oberflächennahe Geothermie



Sebastian Schlenzek, B. Sc. Geowissenschaften

Anlagen:

1. Topographische Übersichtskarte M 1:25.000
2. Lageplan Übersicht angesetzte Erdwärmesonden (Quelle: Auftraggeber)
3. Bohrprofil und Ausbauezeichnung (Quelle: Erdbohrtechnik Brüntjen GmbH)
4. Ergebnis der EED Simulation



Lage der geothermischen Pilotbohrung
 BV ErdwärmeDich, 28203 Bremen



M&O | BÜRO FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Projekt: 8084-2025

TRT-Erdbohrtechnik-ErdwärmeDich-Bremen

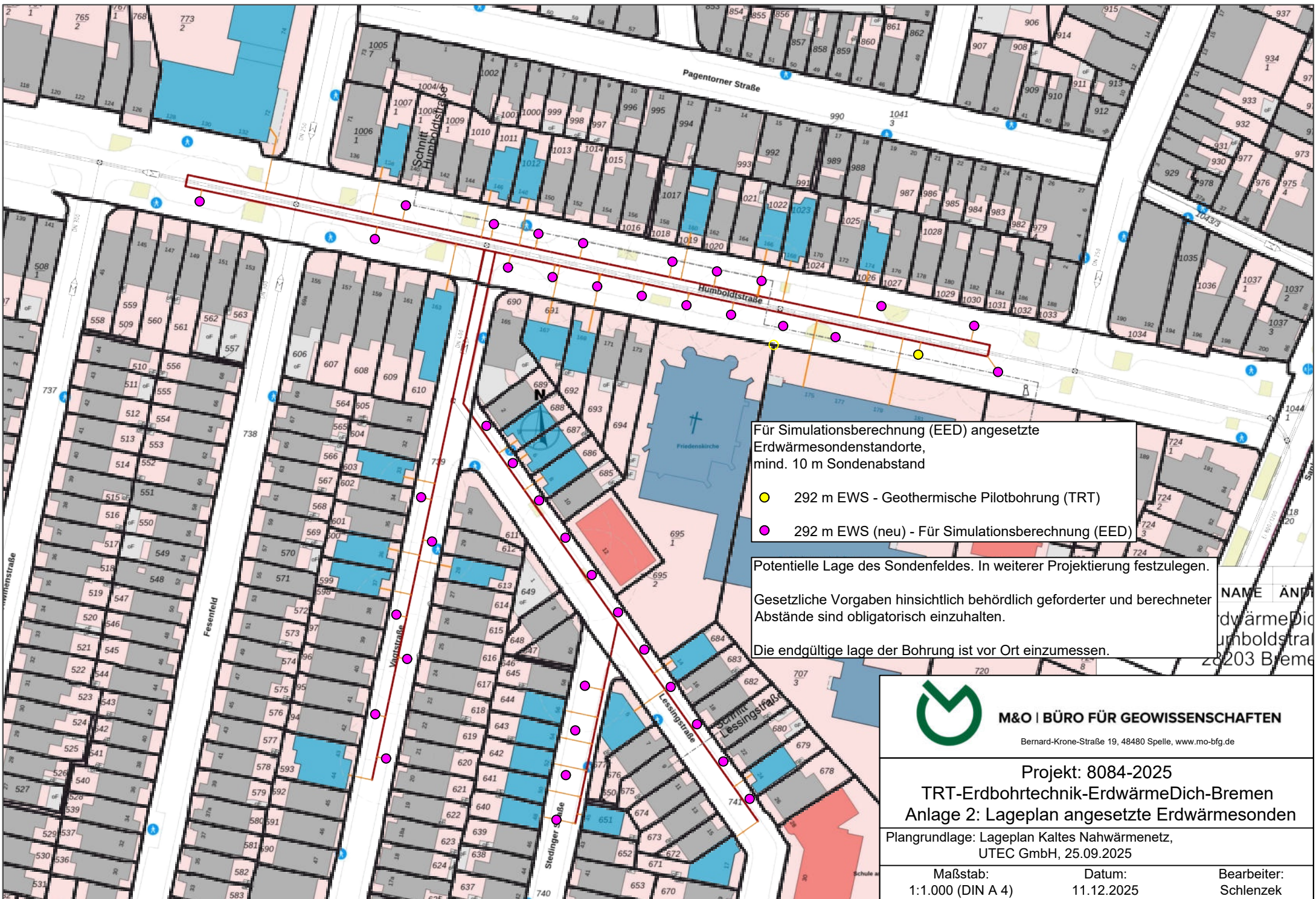
Anlage 1: Übersichtskarte

Quelle: Freie Hansestadt Bremen, Landesamt GeoInformation Bremen, Auszug 2024

Maßstab: 1:25.000 (DIN A4)

Datum: 11.12.2025

Bearbeiter: Schlenzek



Für Simulationsberechnung (EED) angesetzte Erdwärmesondenstandorte, mind. 10 m Sondenabstand

- 292 m EWS - Geothermische Pilotbohrung (TRT)
- 292 m EWS (neu) - Für Simulationsberechnung (EED)

Potentielle Lage des Sondenfeldes. In weiterer Projektierung festzulegen.

Gesetzliche Vorgaben hinsichtlich behördlich geforderter und berechneter Abstände sind obligatorisch einzuhalten.

Die endgültige Lage der Bohrung ist vor Ort einzumessen.



M&O | BÜRO FÜR GEOWISSENSCHAFTEN
 Bernard-Krone-Straße 19, 48480 Spelle, www.mo-bfg.de

Projekt: 8084-2025
TRT-Erdbohrtechnik-Erdwärmedich-Bremen
Anlage 2: Lageplan angesetzte Erdwärmesonden

Plangrundlage: Lageplan Kaltes Nahwärmenetz,
 UTEC GmbH, 25.09.2025

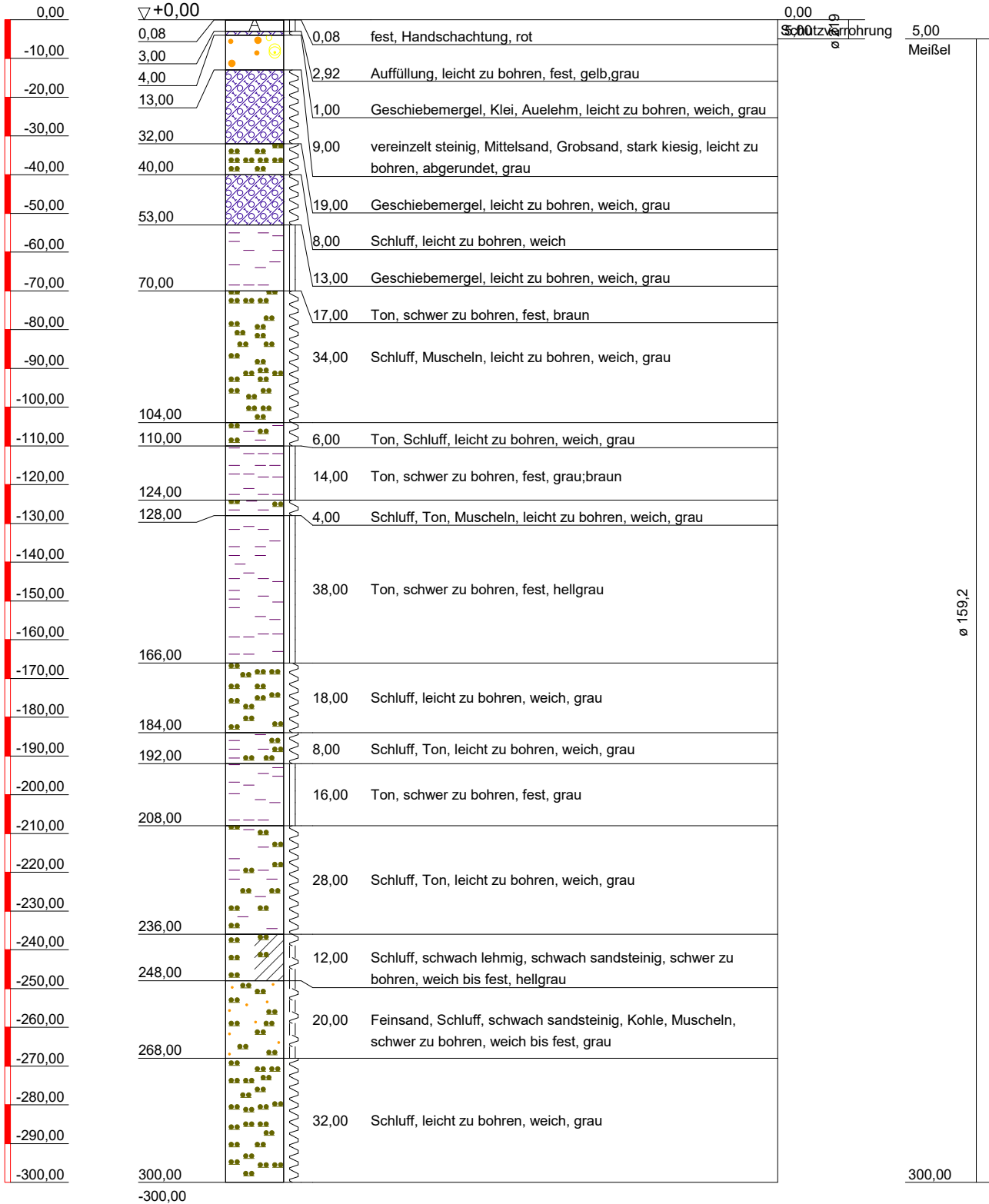
Maßstab: 1:1.000 (DIN A 4)	Datum: 11.12.2025	Bearbeiter: Schlenzek
-------------------------------	----------------------	--------------------------

B1 TRT

Schichtenprofil

2919HY1310

GOK



Erdbohrtechnik

Brüntjen GmbH

Omorikastr. 6b
26655 Westerstede

Bauvorhaben:

Erdsonde TRT: Humboldtstr. 183,
28203 Bremen

Planbezeichnung:

ErdwärmeDich Anergienetze eG
Humboldtstr. 18
28203 Bremen

Plan-Nr:

Projekt-Nr: AB25-1128

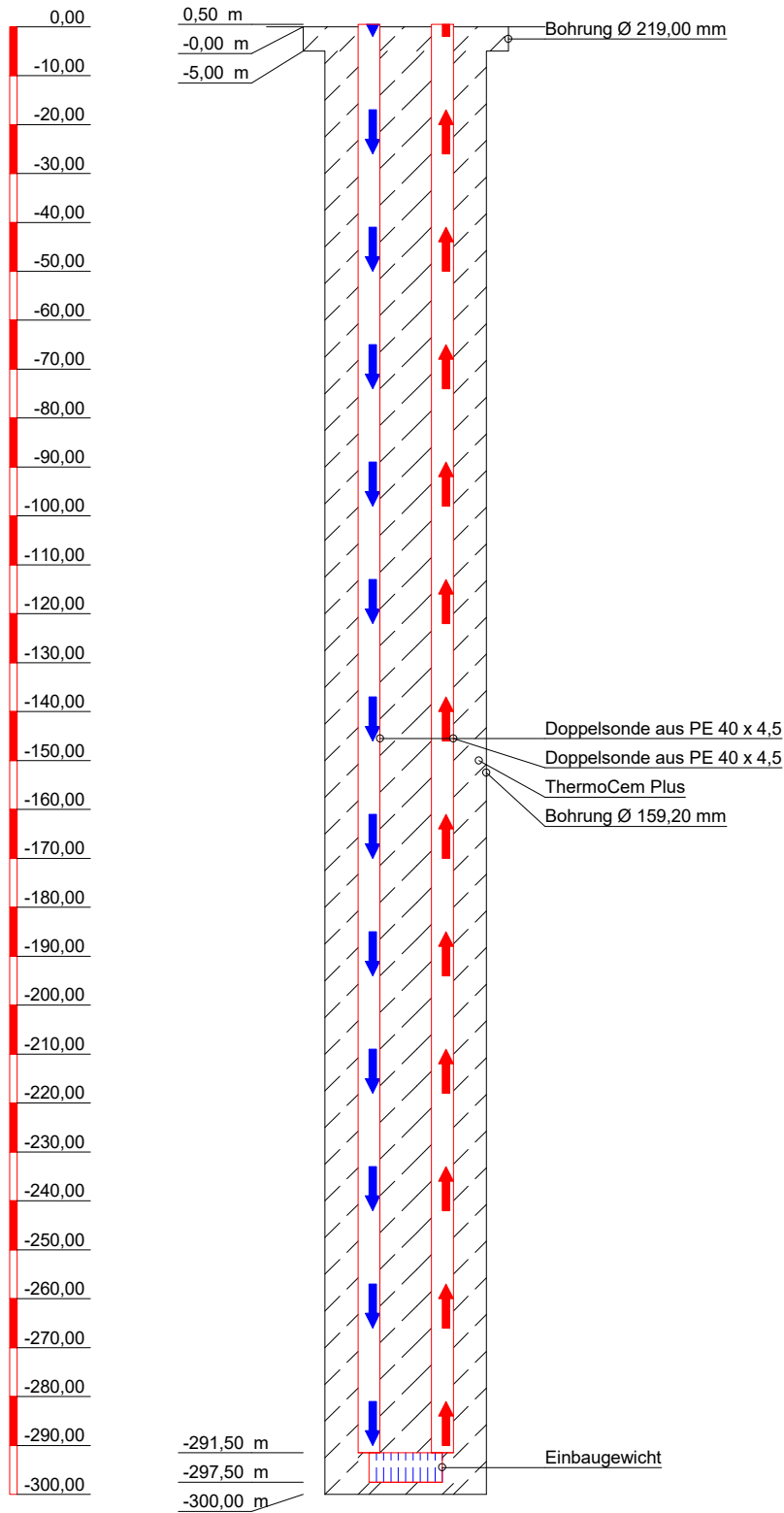
Datum: 18.11.2025

Maßstab: 1 :1000

Bearbeiter: S. Hilla

B1 TRT Sondeneinbau

GOK



Erdbohrtechnik

Brüntjen GmbH

Omorikastr. 6b
26655 Westerstedde

Bauvorhaben:

Erdsonde TRT: Humboldtstr. 183,
28203 Bremen

Planbezeichnung:

ErdwärmeDich Anergienetze eG
Humboldtstr. 18
28203 Bremen

Plan-Nr:

Projekt-Nr: AB25-1128

Datum: 18.11.2025

Maßstab: 1 :1000

Bearbeiter: S. Hilla

Eingabedatei: Z:\AA-Projekte\2025\8084-2025-TRT-Erdbohr-Bremen\Berechnung-TRT\8084-2025-VORBEMESSUNG-EED-ERDBOHRTECHNIK_BREMEN_LAMINAR_2026-02-23.dat

Diese Ausgabedatei:

8084-2025-VORBEMESSUNG-EED-ERDBOHRTECHNIK_BREMEN_LAMINAR_2026-02-23.OUT Datum:
24.02.2026 Uhrzeit: 06:56:06

Anmerkungen zum Projekt

[Anlage 4 - EED-Simulationsberechnung - Irreguläres Sondenfeld - laminar]

DATEN KURZFASSUNG

Kosten	-
Anzahl Bohrungen	42
Tiefe der Erdwärmesonde	292 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	12.264 m

E I N G A B E D A T E N (P L A N U N G)

=====

UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,35 MJ/(m ³ ·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	12,7 °C
Geothermischer Wärmefluss	0 W/m ²

BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenanordnung	äquivalente Sondenfeldanordnung rechteckförmig 6 x 7 EWS
Tiefe der Erdwärmesonde	292 m
Abstand der Erdwärmesonden	16,2 m
Sondentyp	Doppel-U
Bohrlochdurchmesser	160 mm
U-Rohr, Außendurchmesser	40 mm
U-Rohr, Wandstärke	4,5 mm
U-Rohr, Wärmeleitfähigkeit	0,42 W/(m·K)
U-Rohr, Mittenabstand d. U-Schenkel	70 mm
Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung	2 W/(m·K)
Übergangswiderst. Rohr/Verfüllung	0 (m·K)/W

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Thermischer Bohrlochwiderstand wird berechnet
Anzahl der Berechnungsstützpunkte 10
Interner Wärmeübergang zw. auf- und abwärts führenden Rohren berücksichtigt

WÄRMETRÄGERMEDIUM

Wärmeleitfähigkeit	0,48 W/(m·K)
Spezifische Wärmekapazität	3795 J/(Kg·K)
Dichte	1052 Kg/m ³
Viskosität	0,0052 Kg/(m·s)
Gefrierpunkt	-14 °C
Umwälzmenge pro Bohrloch	0,25 l/s (laminar)

GRUNDLAST

Jährlicher Warmwasserbedarf	0 MWh
Jahresheizarbeit	816 MWh
Jahreskühlarbeit	0 MWh
Jahresarbeitszahl (WW)	-
Jahresarbeitszahl Heizen	4
Jahresarbeitszahl Kühlen	-

Monatliches Bedarfsprofil [MWh]

Monat	Wärmebedarf		Kühlbedarf		Erdseite
1	0,16	131	0	0	98
2	0,142	116	0	0	86,9
3	0,126	103	0	0	77,1
4	0,093	75,9	0	0	56,9
5	0,048	39,2	0,15	0	29,4
6	0,028	22,9	0,23	0	17,1
7	0,018	14,7	0,29	0	11
8	0,022	18	0,21	0	13,5
9	0,04	32,7	0,12	0	24,5
10	0,069	56,3	0	0	42,2
11	0,116	94,7	0	0	71
12	0,138	113	0	0	84,5
Gesamt	1	816	1	0	612

SPITZENLAST

Monatliche Spitzenlast [kW]

Monat	Spitzen-Heizlast	Dauer	Spitzen-Kühllast	Dauer [h]
1	383	11	0	0
2	328	12	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	386	9	0	0

Dauer der Simulation (Jahre) 30
 Monat der Inbetriebnahme 1

B E R E C H N E T E W E R T E

=====

* Monatliche Berechnung *

Erdwärmesondenlänge gesamt 12.264 m

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Thermischer Widerstand intern 0,38 (m·K)/W
 Reynoldszahl 1039
 Therm. Widerstand Fluid/Rohr 0,1658 (m·K)/W
 Therm. Widerstand Rohrmaterial 0,09659 (m·K)/W
 Übergangswiderstand Rohr/Verfüllung 0 (m·K)/W
 Thermischer Widerst.Fluid/Erdreich 0,1254 (m·K)/W
 Effekt. therm. Bohrlochwiderstand 0,1998 (m·K)/W

SPEZIFISCHE WÄRMEENTZUGSLEISTUNG [W/m]

Monat	Grundlast	Spitzen-Heizlast	Spitzen-Kühlleistung
1	10,9	23,4	0
2	9,71	20,1	0
3	8,62	0	0
4	6,36	0	0
5	3,28	0	0
6	1,91	0	0
7	1,23	0	0
8	1,5	0	0
9	2,74	0	0
10	4,72	0	0
11	7,93	0	0
12	9,44	23,6	0

GRUNDLAST: FLUID-MITTELTEMPERATUREN (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	30
1	7,63	6,93	6,09	4,99	2,21
2	7,91	7,36	6,53	5,44	2,66
3	8,28	7,81	6,97	5,89	3,12
4	9,26	8,83	8,01	6,94	4,17
5	10,7	10,3	9,49	8,43	5,67
6	11,4	11	10,2	9,19	6,42
7	11,8	11,4	10,6	9,61	6,85
8	11,7	11,4	10,6	9,56	6,81
9	11,1	10,8	10,1	9,02	6,27
10	10,2	9,87	9,12	8,07	5,33
11	8,61	8,31	7,54	6,49	3,76
12	7,77	7,46	6,7	5,64	2,92

GRUNDLAST: JAHR 30

Niedrigste Fluid-Mitteltemperatur: 2,21 °C zum Ende 1
 Höchste Fluid-Mitteltemperatur: 6,85 °C zum Ende 7

SPITZENLAST HEIZEN: FLUID-MITTELTEMPERATUR (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	30
1	3,92	3,22	2,38	1,28	-1,5
2	4,79	4,24	3,4	2,32	-0,46
3	8,28	7,81	6,97	5,89	3,12
4	9,26	8,83	8,01	6,94	4,17
5	10,7	10,3	9,49	8,43	5,67
6	11,4	11	10,2	9,19	6,42
7	11,8	11,4	10,6	9,61	6,85
8	11,7	11,4	10,6	9,56	6,81
9	11,1	10,8	10,1	9,02	6,27
10	10,2	9,87	9,12	8,07	5,33
11	8,61	8,31	7,54	6,49	3,76
12	3,66	3,35	2,58	1,53	-1,19

SPITZENLAST HEIZEN: JAHR 30

minimale Fluid-Mitteltemperatur: -1,5 °C zum Ende 1
 maximale Fluid-Mitteltemperatur: 6,85 °C zum Ende 7

SPITZENLAST KÜHLEN: FLUID-MITTELTEMPERATUR (zum Monatsende) [°C]

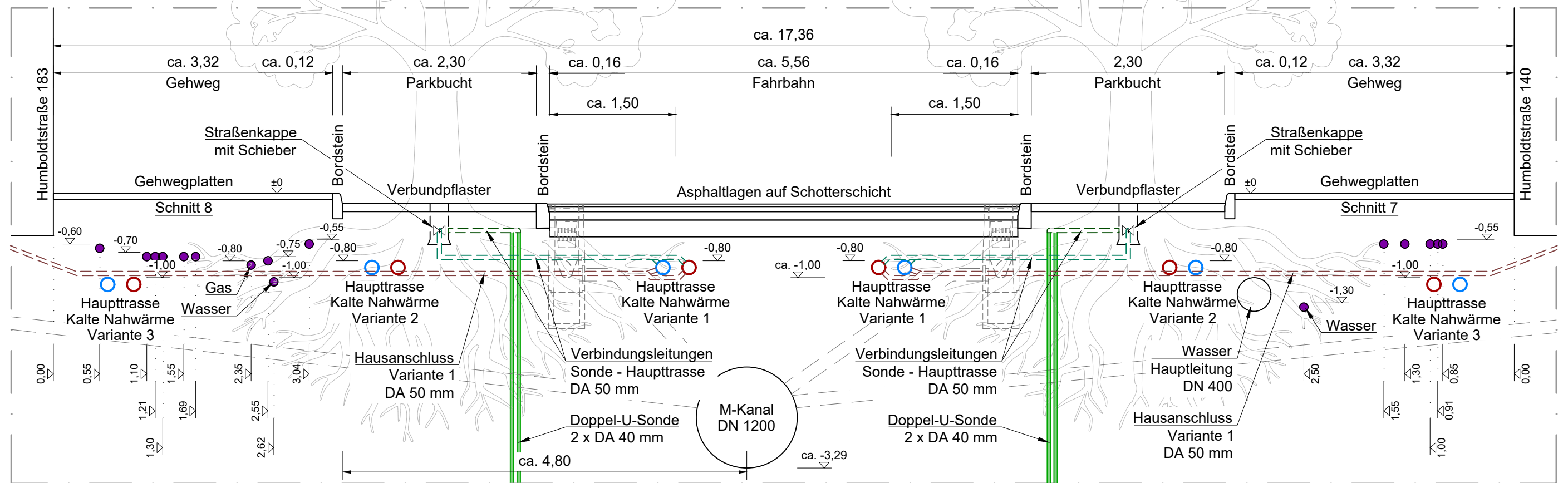
Jahr	1	2	5	10	30
1	7,63	6,93	6,09	4,99	2,21
2	7,91	7,36	6,53	5,44	2,66
3	8,28	7,81	6,97	5,89	3,12
4	9,26	8,83	8,01	6,94	4,17
5	10,7	10,3	9,49	8,43	5,67
6	11,4	11	10,2	9,19	6,42
7	11,8	11,4	10,6	9,61	6,85
8	11,7	11,4	10,6	9,56	6,81
9	11,1	10,8	10,1	9,02	6,27
10	10,2	9,87	9,12	8,07	5,33
11	8,61	8,31	7,54	6,49	3,76
12	7,77	7,46	6,7	5,64	2,92

SPITZENLAST KÜHLEN: JAHR 30

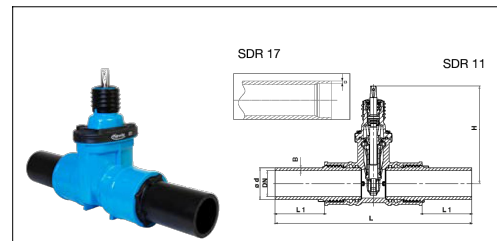
minimale Fluid-Mitteltemperatur: 2,21 °C zum Ende 1

maximale Fluid-Mitteltemperatur: 6,85 °C zum Ende 7

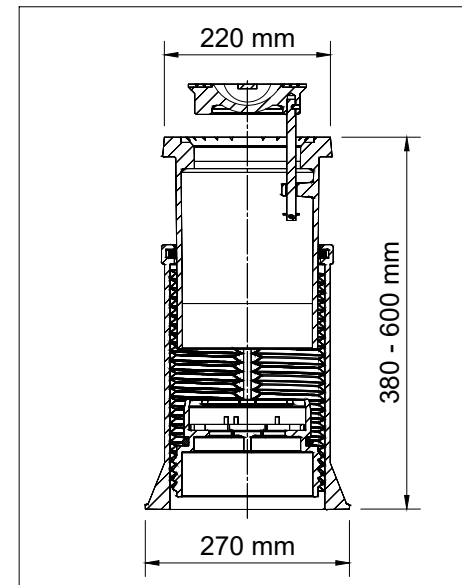
Exemplarischer Schnitt - Humboldtstraße



PE-Einschweiß-Schieber
ohne Maßstab



Schwerlast-Straßenkappe
Maßstab 1:10



Legende

- ○ Haupttrasse - DA 160
- Bestandsleitungen

INDEX	DATUM	NAME	ÄNDERUNG	VERANLASSER; URSACHE
Bauherr: ErdwärmeDich Anergienetze eG Humboldtstraße 179 28203 Bremen				
Ingenieurbüro für Entwicklung und Anwendung umweltfreundlicher Technik GmbH Cuxhavener Straße 10 28217 Bremen Tel: 0421/38678-9 Fax: 0421/38678-88				
Bauwerk: Kaltes Nahwärmenetz				Projektnummer: 906
gezeichnet		22.10.2025	FL	
geprüft				
Bauteil: Schnitt Humboldtstraße				Blatt A3 Maßstab 1:50
Zeichnungsnummer 906 SN 01				