

Grundlagenermittlung/ Machbarkeitsprüfung/Vorplanung für eine geplante geothermischen Nutzung des Untergrundes mittels Erdwärmesonden

Bauvorhaben:

Wohngebiet Howingsbrook
in 23570 Lübeck-Travemünde

AUFTAGGEBER:

Grundstücksentwicklungsgesellschaft
Howingsbrook GmbH & Co. KG
Wisbystraße 2
23558 Lübeck

AUFTAGNEHMER:



Gerhart-Hauptmann-Straße 19, 18055 Rostock
Telefon: 0381 252 898 10
E-Mail: info@hsw-rostock.de

HSW PROJEKTNUMMER:

2019/11/511

BEARBEITER:

ERSTELLT:
Rostock, 29.10.2019

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung.....	2
2	Unterlagen/Protokolle	3
3	Nutzung oberflächennaher Geothermie	4
3.1	Allgemeines.....	4
3.2	CO ₂ -Einsparpotential geothermischer Nutzungen	4
3.3	Jahresarbeitszahl (Wirkungsgrad)	4
3.4	Geschlossenes Quellsystem „Erdwärmesonden“	6
3.5	Grundsätzliche genehmigungsrechtliche Aspekte einer Erdwärmenutzung	7
4	Charakterisierung des Standortes	9
4.1	Geographische Lage/Topographie	9
4.2	Geologie	10
4.3	Hydrogeologie.....	12
5	Bewertung des Untergrundes hinsichtlich geologischer bzw. bohrtechnischer Risiken ...	13
6	Genehmigungsrechtliche Voraussetzungen am Standort und empfohlene maximale Bohrtiefe	14
7	Thermophysikalische Bewertung des Untergrundes	16
8	Platzdargebot / Flächenbedarf Geothermie.....	17
9	Vorbemessung eines Erdwärmesondenfeldes	18
9.1	Grundlagen/Erfordernis der EDV-gestützten Simulation	18
9.2	Ziel der Bemessung und Hinweise zur Herangehensweise	19
9.3	Bemessungsrandbedingungen/-kriterien	19
9.4	Ergebnisse der geothermischen Simulation.....	21
10	Kostenschätzungen zum geothermischen Quellsystem	23
11	Fördermöglichkeiten.....	24
12	Zusammenfassung und Ausblick	24

Anlagen

Anlage 1: Protokoll der EED-Berechnung

Anlage 2: Geologischer Schnitt

1 Veranlassung

Die Grundstücksentwicklungsgesellschaft Howingsbrook GmbH & Co. KG entwickelt gegenwärtig nordöstlich der Hansestadt Lübeck im Stadtteil Travemünde (Bundesland Schleswig-Holstein) ein neues Wohngebiet mit dem Namen *Howingsbrook*. Auf einer Gesamtfläche von ca. 9,4 Hektar sollen hier 80 Einfamilien- und 6 Mehrfamilienwohnhäuser entstehen.

Im aktuellen Planungsprozess werden verschiedene Varianten der zukünftigen Energieversorgung mit der fokussierten Einbindung regenerativer Energien untersucht. Als Bestandteil der herausgearbeiteten möglichen Wärmeversorgungsoptionen wird hierbei auch die Nutzung oberflächennaher geothermischer Energie in Erwägung gezogen.

Aufgrund der fachlichen Spezifik der Geothermie wurde die H.S.W. GmbH am 26.07.2019 mit der Recherche der diesbezüglichen Basisdaten und einer Vorplanung der Geothermieranlage beauftragt. Als geschlossenes geothermisches Quellsystem wurden bereits im Vorfeld Erdwärmesonden für die weiterführende Planung favorisiert.

Im vorliegenden Bericht wird die Grundlagenermittlung/Vorplanung der geothermischen Nutzung mittels Erdwärmesonden mit folgendem Inhalt schriftlich fixiert:

- Vorprüfung der grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit, u.a. Abfrage der zu erwartenden wasserrechtlicher Restriktionen (Erstabstimmung mit der Genehmigungsbehörde und dem geologischen Dienst)
- Umfassende geologische/hydrogeologische Standortrecherche (Nutzung der Karten- und Bohrdatenarchive) mit Bewertung der geologischen und bohrtechnischen Risiken
- Erstellung eines geologischen Erwartungsprofils bis zu einer Tiefe von ca. 100...150 m
- Thermophysikalische Bewertung der erwarteten geologischen Einheiten (effektive Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Untergrundtemperatur)
- Definition von Randbedingungen zur räumlichen Verteilung/Anordnung von Erdwärmesonden mit Ausweisung der voraussichtlich erforderlichen Sondenanzahl
- Betrachtung des geothermischen Quellsystems Erdwärmesonden hinsichtlich des vorhandenen Platzdargebotes und des geothermischen Standortpotentials
- Softwarebasierte Prognose des geothermischen Nutzungspotentials unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Randbedingungen und vorgegebener gebäudeseitiger Bedarfe mittels der Software EED 4.2. Vorschläge zum optimierten Bohrlochausbau/Wärmetauscher
- Kostenschätzung für Herstellung der erforderlichen erdseitigen Anlagenteile (Schnittstelle: Gebäudeeinführungen)
- Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise

2 Unterlagen/Protokolle

Für die Erstellung dieses Berichtes lagen u.a. folgende Dokumente/Informationen vor:

- [1] Digitaler Landwirtschafts- und Umweltatlas des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Stand Oktober 2019, Internetlink: <http://www.umweltdaten.landsh.de/atlas>
- [2] Digitaler Atlas Nord, Internetlink: <http://www.digitaleratlASNord.de>
- [3] Endbericht zum Untersuchungsprogramm zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots im Raum Lübeck / Bad Segeberg, LLUR, Flintbeck, 02/2014
- [4] Auskünfte zur erwarteten Standortgeologie und Hydrogeologie durch den geologischen Landesdienst S-H, E-Mails vom 09.10. und 21.10.2019
- [5] Telefonische Voranfrage und Abstimmung mit der Unteren Wasserbehörde der Hansestadt Lübeck am 27.09.2019, Frau Kroos
- [6] Karten und Bohrdatenarchiv der H.S.W. GmbH, insbesondere: Ergebnisse von Geothermal Response Tests in Schleswig-Holstein, H.S.W. GmbH
- [7] Geologische Übersichtskarte von Schleswig-Holstein mit textlicher Beschreibung, Maßstab 1 : 250.000, LLUR, Ausgabe 2012
- [8] Bericht vom 25.11.2015 zur Baugrunduntersuchung am Projektstandort in Travemünde, Sachverständigen-Ring GmbH (Bad Schwartau)
- [9] Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes LLUR, 2011
- [10] VDI-Richtlinie 4640, Blatt 2, Thermische Nutzung des Untergrunds: Erdgekoppelte Wärme-anlagen, Verein Deutscher Ingenieure, Weißdruck vom Juni 2019
- [11] Earth Energy Designer (EED) 4.2, Programmbibliotheken, u.a. Substratkennwerte
- [12] Lageplan mit Grundstück und Bebauung („Variante 1“), 1: 500, Stand: 04.04.2018, Planungsbüro Ostholstein (Bad Schwartau)
- [13] Auszug aus dem Liegenschaftskataster, 1: 2.000, Landesamt für Vermessung und Geoinformation, erstellt am 21.02.2012
- [14] Abstimmung mit dem Auftraggeber hinsichtlich der voraussichtlichen Betriebsweise der Wärmepumpenanlagen und des geschätzten Wärmebedarfs, fernmündlich u.a. am 22.07., 21.10. und 22.10.2019

3 Nutzung oberflächennaher Geothermie

3.1 Allgemeines

Die „oberflächennahe Geothermie“ ist im Allgemeinen mit einer thermischen Erschließung des Untergrundes von der Oberfläche der festen Erdschicht bis maximal 400 m Tiefe definiert.

Der oberflächennahe Untergrund kann aufgrund der ganzjährig relativ konstanten Erdreich- und Grundwassertemperaturen als Wärmequelle, Kältequelle oder zur saisonalen thermischen Energiespeicherung genutzt werden.

Die „Erdwärme“ der oberflächennahen Schichten wird im Regelfall mit Hilfe von Sole-Wasser-Wärmepumpen nutzbar gemacht. Die „Erdkälte“ kann häufig ohne zusätzliche Kälteaggregate direkt genutzt werden („passive“ bzw. „freie“ Kühlung), was sowohl sehr kosteneffizient ist, aber auch zu einer günstigen CO₂-Gesamtbilanz beitragen kann.

Unterschiede der geothermischen Ergiebigkeit der Wärme- bzw. Kältequellen resultieren im Wesentlichen aus den unterschiedlichen thermophysikalischen und thermohydrodynamischen Eigenschaften vorhandener Grundwasserleiter (Sande, Kiese, Klüfte) bzw. Grundwassergegeringleiter (bindige Horizonte, Festgestein).

3.2 CO₂-Einsparpotential geothermischer Nutzungen

Beim Betrieb geothermischer Anlagen ist ein kompletter Verzicht auf fossile Energieträger möglich, wenn die erforderliche Hilfsenergie für die Wärmepumpe vorrangig durch regenerativ erzeugten, elektrischen Strom (Wind-, Wasser- oder Solarstrom) bereitgestellt werden. Doch selbst bei Verwendung konventioneller (fossiler) Energieträger zur Stromerzeugung haben erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen das Potential einer signifikanten CO₂-Reduktion im Vergleich zu konventionellen Energieträgern/Versorgungskonzepten. Dies ergibt sich durch die lediglich anteilige Verwendung von Hilfsenergien.

3.3 Jahresarbeitszahl (Wirkungsgrad)

Maßgebende Größe für das CO₂-Einsparpotential, aber auch die Gesamtwirtschaftlichkeit geothermischer Anlagen ist die Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Geothermieanlage, die das Verhältnis von nutzbarer Heiz-/Kühlenergie zur aufgewendeten Primärenergie innerhalb eines Jahres beifert. Anzustrebende Jahresarbeitszahlen von Geothermieanlagen liegen bei elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpen im Bereich von 4,0 bis 4,5 im Heizbetrieb (mit 1 kWh Strom können in diesem Fall 4,0 bis 4,5 kWh Wärme bereitgestellt werden) bzw. zwischen 6,0 im aktiven Kühlbetrieb und 35,0 im passiven Kühlbetrieb (bei passiver Betriebsweise ohne den Einsatz einer reversiblen Wärmepumpe ist ausschließlich Hilfsenergie erforderlich). Das prinzipielle Energieflussschema für eine geothermische Wärmeversorgung mittels Wärmepumpe ist der Abb. 1 (S. 5) zu entnehmen.

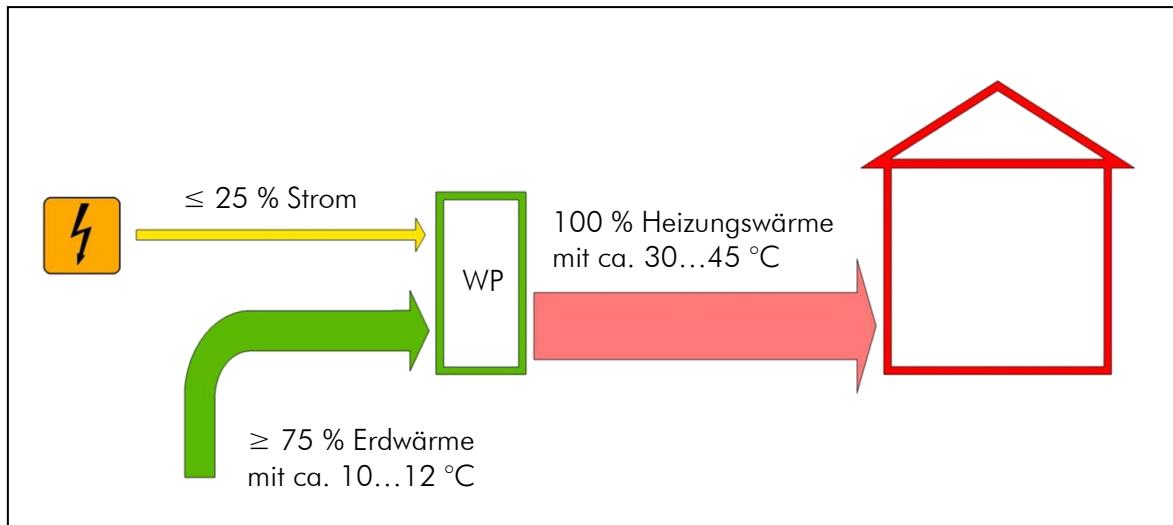


Abb. 1: Prinzipielles Energieflussschema im Heizbetrieb bei einer Jahresarbeitszahl von $\geq 4,0$

Richtet sich die Betrachtung der Anlageneffizienz nicht auf ein Betriebsjahr, sondern auf einen bestimmten Betriebspunkt, wird dies durch die Leistungszahl (LZ) auch COP (Coefficient of Performance) ausgedrückt. Die Summe der durchaus differierenden Leistungszahlen innerhalb eines Betriebsjahrs einer Wärmepumpe entspricht somit der JAZ.

Die Leistungszahl ist maßgeblich abhängig vom erforderlichen Temperaturhub, den die Wärmepumpe zwischen der Wärmequelle und der Wärmesenke überbrücken muss. Je höher die Wärmequellentemperatur bei gleichzeitig niedriger Nutztemperatur, desto höher die LZ (Effizienz) einer Wärmepumpe. Bei geringen Temperaturen der Wärmequelle und hohen erforderlichen Nutztemperaturen (großer Temperaturhub) lassen sich nur niedrige Leistungszahlen erreichen - siehe auch Abb. 2 (beispielhaft). Daher ist eine optimale, fachübergreifende Planung der geothermischen Gesamtanlage zur Erreichung einer hohen Anlageneffizienz zwingend erforderlich.

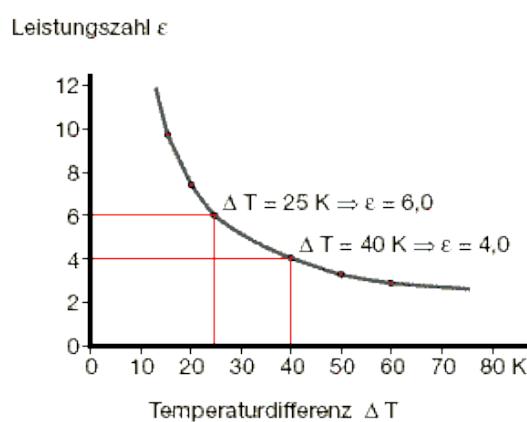


Abb. 2: LZ in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke

3.4 Geschlossenes Quellsystem „Erdwärmesonden“

Aufgrund der geringen Störanfälligkeit, der hohen Lebensdauer, aber auch aufgrund genehmigungsrechtlicher Voraussetzungen kommen bei der oberflächennahen Geothermie überwiegend „geschlossene“ geothermische Quellsysteme (meist Erdwärmesonden, aber auch Energiepfähle, Erdwärmekollektoren und Sonderbauformen wie Spiral- oder Grabenkollektoren) zum Einsatz. Durch das im Erdreich installierte geschlossene Wärmeübertrager-Rohrsystem zirkuliert im Regelfall ein Wasser-Glykol-Gemisch als Wärmeträger, das dem Untergrund die Wärme/Kälte entzieht und einer Wärmepumpe bzw. dem Gebäude zuführt - siehe auch Prinzipskizze gemäß Abb. 3.

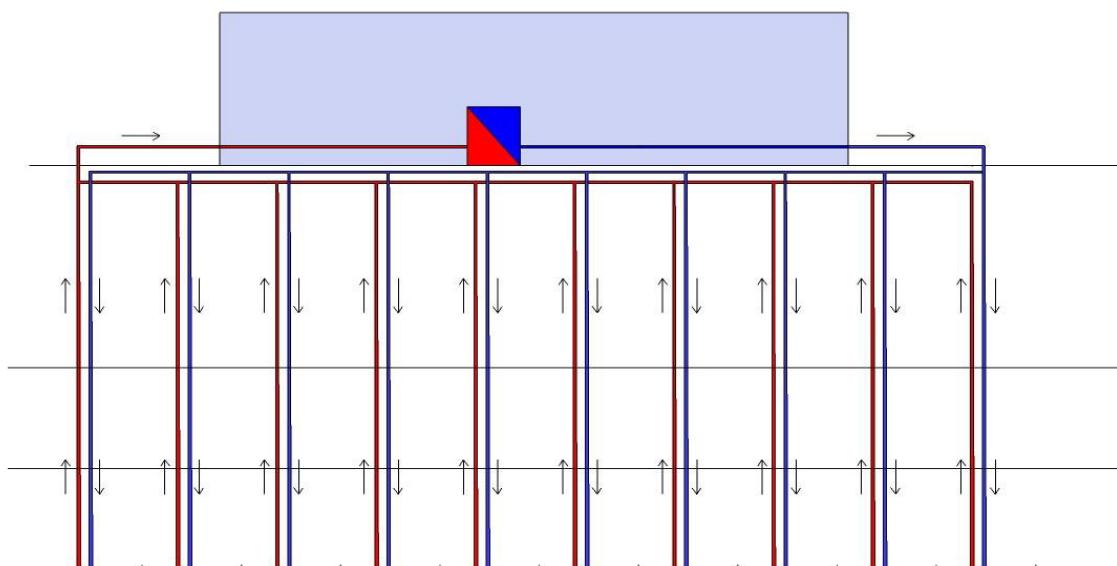


Abb. 3: Prinzipskizze eines geschlossenen geothermischen Quellsystems (Quelle: HSW)

Unter Berücksichtigung einer möglichst hohen Energieausbeute je m² verfügbarer Grundstücksfläche sind vertikal installierte Erdwärmesonden das häufigste verwendete geothermische Quellsystem in Deutschland. Im Rahmen der gewünschten bzw. behördenseitig oder technisch vorgegebenen Temperaturgrenzen können diese eine große Spannbreite thermischer Anforderungen erfüllen. Dabei können Erdwärmesonden für Bauvorhaben nahezu jeder Größenordnung eingesetzt werden.

Typische Erschließungstiefen für Erdwärmesonden liegen aufgrund technischer Aspekte (Leistungsfähigkeit der Bohrtechnik) und aus genehmigungsrechtlicher Sicht (u.a. Bergrecht) häufig im Bereich von 100 m. Bei günstigen geologischen und genehmigungsrechtlich unproblematischen Standortbedingungen sind auch Bohrtiefen bis 150...200 m wirtschaftlich erschließbar.

Im Regelfall kommen für die benannten Bohrtiefen mittelgroße Raupenbohrgeräte zum Einsatz, die aufgrund ihrer Abmessungen, Ausstattung und ihres Leistungsvermögens auch auf kleinflächigen Baustellen agieren können (Abb. 4, S. 7).

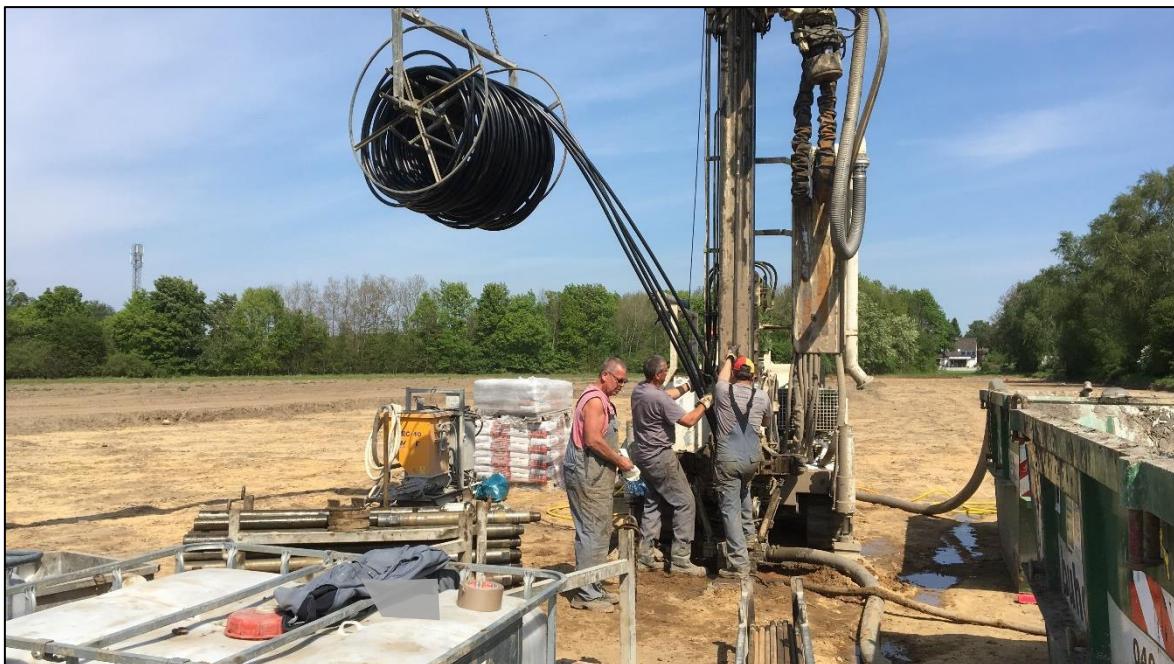


Abb. 4: Einbau einer Erdwärmesonde am Standort Reinbek (Quelle: HSW)

Eine wirtschaftlich und genehmigungsrechtlich optimale geothermische Nutzung mittels Erdwärmesonden lässt sich in der Regel bei saisonal ausbalanciertem Wärmeentzug (winterlicher Heizbetrieb) und Wärmeinjektion (sommerlicher Kühlbetrieb) erzielen. Das Erdreich wird hierbei als temporärer Kälte- und Wärmespeicher genutzt, um ein langfristig stabiles Temperaturregime im Untergrund zu erreichen. Bei langjährig ausgeglichener erdseitiger Wärmebilanz ist die gegenseitige thermische Beeinflussung von Erdwärmesonden zueinander minimiert.

Bei der Dimensionierung von Erdwärmesondenfeldern müssen sowohl rechtliche Rahmenbedingungen als auch systembedingte Bemessungsgrenzen der im Betriebszeitraum auftretenden Temperaturen eingehalten werden. Um dies zu gewährleisten, werden bei größeren geothermischen Anlagen Erkundungsbohrungen und Messungen der thermophysikalischen Untergrundeigenschaften (Temperatur, Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität) zur Ermittlung des geothermischen Standortpotentials durchgeführt.

3.5 Grundsätzliche genehmigungsrechtliche Aspekte einer Erdwärmennutzung

Bei der Nutzung von Geothermie/Erdwärme sind vor allem folgende Gesetze, Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zu berücksichtigen:

Wasserhaushaltsgesetz

Erdwärmesonden und geothermische Brunnenanlagen unterliegen nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in der Regel der Erlaubnispflicht. Zuständige Genehmigungsbehörden sind die Unteren Wasserbehörden der einzelnen Landkreise bzw. kreisfreien Städte.

Bundesberggesetz

Erdwärme gilt nach BBergG als bergfreier Bodenschatz. Wird die Erdwärme für Zwecke genutzt, die über das eigene Grundstück hinausgehen, bedarf es zu deren Gewinnung einer Bergbauberechtigung, d.h. einer bergrechtlichen Bewilligung nach §8 BBergG. Für Bohrungen, die mehr als 100 m in das Erdreich eindringen, gilt zusätzlich eine separate Anzeigepflicht gemäß § 127 Abs. 1 BBergG.

Lagerstättengesetz

Nach §4 Abs.1 Lagerstättengesetz besteht gegenüber dem Geologischen Dienst des jeweiligen Bundeslandes eine Anzeigepflicht für das Abteufen von Bohrungen sowie eine Mitteilungspflicht der Ergebnisse.

Standortauswahlgesetz

Das Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz - StandAG) bringt in bestimmten Gebieten Einschränkungen für die Zulassung sowie mehrwöchige Verzögerungen der Genehmigungsabläufe für Bohrungen über 100 m Tiefe mit sich.

Länderspezifische Regelwerke (Leitfäden, Merkblätter)

In den Bundesländern existieren meist eigene Regelwerke, in denen technische Aspekte, generelle Empfehlungen und der aktuelle Stand der Technik zu einem länderspezifischen Handbuch zusammengefasst sind, das häufig auch den Behörden als Genehmigungsgrundlage dient. Hier wird insbesondere auf Details zu genehmigungsfähigen Bohrlochdurchmessern, Verfüllmaterialien oder Bohrtiefenbeschränkungen und Temperaturgrenzen im Anlagenbetrieb hingewiesen.

Besondere Schutzgebiete (eingeschränkte Genehmigungsfähigkeit)

Vom Grundsatz her sind Erdwärmeverwendungen, Bohrungen oder Grundwasserentnahmen in Natur-, Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten i.d.R. nicht zulässig. Ausnahmen sind ggf. möglich, doch sind dann „sehr strenge Maßstäbe“ anzulegen. Schon bei geringfügigen Restrisiken, u.a. für die öffentliche Trinkwasserversorgung, ist eine Zulassung zu versagen („Besorgnisgrundsatz“).

Behördliche Anforderungen an große Erdwärmeanlagen

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens wird häufig bei Anlagengrößen mit mehr als 30 kW Heizleistung der Wärmepumpen die Durchführung mindestens eines Geothermal Response mit dem standortspezifischen Nachweis der thermophysikalischen Untergrundparameter gefordert. Die Ergebnisse der geothermischen Messungen sind dann in die weitere Planung zu integrieren.

Ab 50...100 kW Leistung wird zudem häufig (ist aber nicht die Regel) eine Prognose der thermischen Auswirkungen auf Nachbargrundstücke beauftragt, die mittels einer numerischen dreidi-

mensionalen Untergrundsimulation erfolgt. Dadurch ist die Einhaltung einer maximalen Abweichung von der ungestörten Untergrundtemperatur in Höhe von üblicherweise 1...3 K an den Grundstücksgrenzen sowie ein wasserrechtlich unbedenklicher Anlagenbetrieb nachzuweisen.

Bei größeren Erdwärmeanlagen wird teilweise (regional unterschiedlich) zur Überwachung und Kontrolle der Grundwassertemperaturen zudem die Herstellung von Temperaturmessstellen im An- und Abstrom der betreffenden Grundwasserleiter mit einem entsprechenden Temperatormonitoring gefordert.

Weiterhin ist es möglich, dass die Betriebs- und Verbrauchsdaten der Wärmepumpe-/Erdwärmeanlage aufgezeichnet bzw. dokumentiert werden müssen, um einen nachträglichen Abgleich mit der wasserrechtlich beantragten geothermischen Nutzung zu ermöglichen.

4 Charakterisierung des Standortes

4.1 Geographische Lage/Topographie

Das betreffende Planungsgebiet *Howingsbrook* befindet sich im südöstlichen Schleswig-Holstein, nordöstlich der Hansestadt Lübeck im Stadtteil Travemünde. Die Entfernung zur nordöstlich gelegenen Ostsee (hier: Lübecker Bucht) beträgt ca. 1,2 km.

Gegenwärtig werden die Flächen des Planungsgebietes landwirtschaftlich genutzt. In unmittelbarem Umfeld befinden sich im Süden überwiegend Wohnbauten und eine Kleingartenanlage, im Norden schließen sich weitere landwirtschaftlich genutzte Flächen an (Abb. 5, S. 10).

Naturräumlich gehört die Region zum „Ostholsteinischen Hügel- und Seenland“, naturräumliche Haupteinheit ist das „Schleswig-Holsteinische Hügelland“.

Morphologisch wurde das Vorhabensgebiet maßgeblich während des Weichselglazials geprägt (Jungmoränenlandschaft).

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf einer Hochlage im nördlichen Randbereich Bereich des Lübecker Beckens mit Geländehöhen zwischen ca. 25 und 33 m NN.

Das Becken wurde bereits in der Elsterkaltzeit angelegt und während der Saale- und Weichselkaltzeit ausgeformt. Es handelt sich um Bildungen der weichselkaltzeitlichen Grundmoräne (kupige Grundmoräne) im Hinterland der südlich des Standortes im Raum Ratekau-Pöppendorf generell in NW-SE-Richtung verlaufenden Höhenrücken der Endmoräne. Oberflächig anstehend sind vor-rangig die für die Grundmoräne typischen Substrate Geschiebemergel und seine entkalkte Verwitterungsbildung Geschiebelehm.



Abb. 5: Lage des Planungsgebiets, Umgrenzung Baugebiet weiß gestrichelt (Quelle: Google Earth)

4.2 Geologie

Die geologischen und hydrogeologischen Standortverhältnisse können v.a. anhand von vorliegenden Bohrungsdaten des Geologischen Landesarchivs des LLUR [4] und des H.S.W.-Archivs [6], Geologischen Kartenwerken [7], digitalen Umweltkartenportalen [1] sowie dem Endbericht zum Untersuchungsprogramm zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots im Raum Lübeck / Bad Segeberg, LLUR, Flintbeck, 02/2014 [3] bewertet werden.

Am Projektstandort Howingsbrook wird die oberflächig anstehende Geschiebelehm-/Geschiebemergeldeckschicht (vgl. Abb. 6, S. 11) bis in eine Tiefe von ca. 45 m erwartet [4] bzw. wurde im Zuge der Baugrunduntersuchungen bis zur Erkundungsendtiefe von 5 m nachgewiesen. Im Liegenden der bindigen Deckschicht werden überwiegend glazifluviatile Sande der Saale-Kaltzeit erwartet (ggf. Weichselzeitlich überprägt).

Die mehrfache Überprägung und Umlagerung pleistozäner Sedimente im Verlauf mehrerer Vereisungsperioden verursachte z.T. intensiv glazitetonisch gestörte Lagerungsverhältnisse und Sedimente unterschiedlicher Ausdehnung und Mächtigkeit.

Die Quartärbasis liegt im Untersuchungsraum etwa zwischen 50 und 60 m unter GOK.

Die quartäre Schichtenfolge wird im Untersuchungsgebiet durch die Unteren Braunkohlensande (UBKS) des Untermiozän/Jungtertiär unterlagert. Diese wurden im betreffenden Gebiet im Mittel mit Mächtigkeiten von 10 m nachgewiesen. Unterlagert werden diese von den feinkörnigeren Vierlandfeinsanden (VFS) des Untermiozän, die mit Mächtigkeiten zwischen ca. 5-15 m ausgewiesen sind.

Die Sandhorizonte des Jungtertiärs bilden zusammen mit den in hydraulischer Verbindung direkt überlagernden eiszeitlichen Sanden den regionalen Hauptgrundwasserleiterkomplex.

Zum Liegenden hin folgen der Untere Glimmerton (UGT) des Untermiozäns und alttertiäre Schluffe und Tone, die das Liegende des Hauptgrundwasserleiterkomplexes bilden.

An der Geländeoberfläche stehen in unverwittertem Zustand holozäne Bodenbildungen an.

Die anstehenden Böden haben sich durch natürliche und anthropogene Bodenbildungsprozesse aus den anstehenden glazigenen Schmelzwasser- und Grundmoränensedimenten mit Sickerwasser-, Stauwasser- und/oder Grundwassereinfluss entwickelt. Sie sind heterogen und im Vorhabensgebiet durch intensive landwirtschaftliche Nutzung teilweise stark anthropogen überprägt.

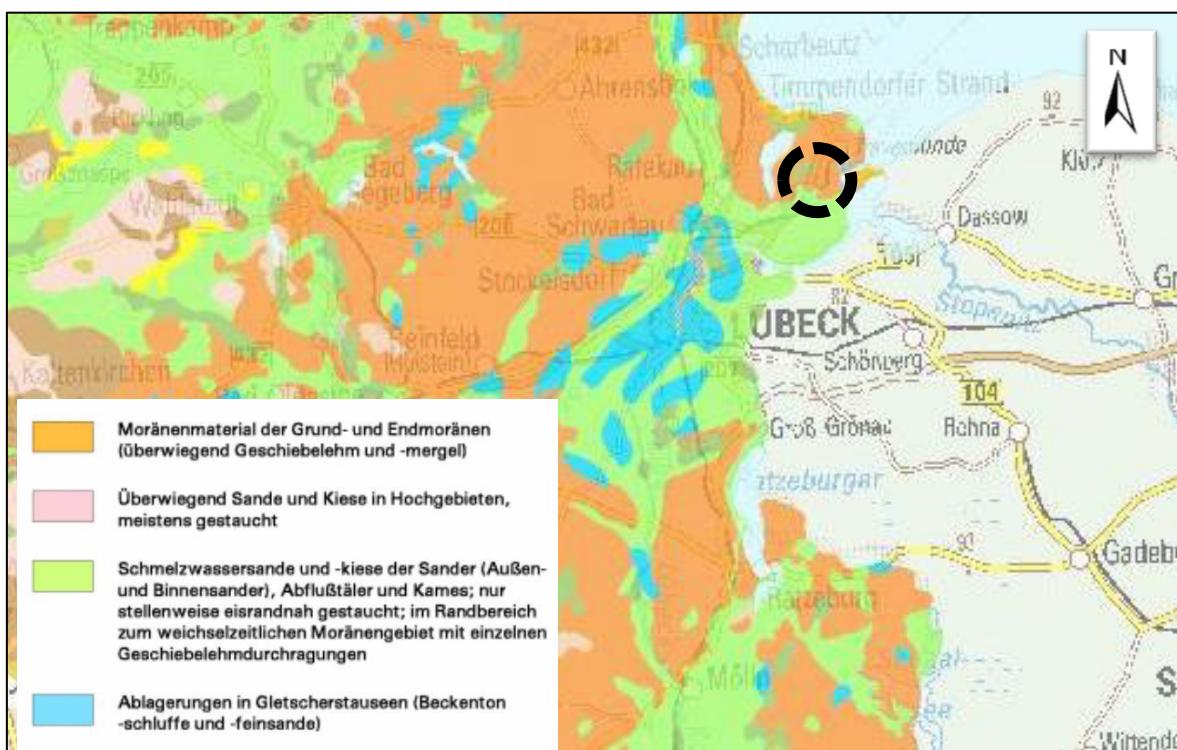


Abb. 6: geologische Übersichtskarte GÜK 500 (Ausschnitt) mit Kennzeichnung des Projektstandortes [1]

Auf Basis der recherchierten Daten/Informationen wird das nachstehende, vereinfachte geologische Erwartungsprofil für das Planungsgebiet prognostiziert (Betrachtungstiefe: 150 m):

Tiefenbereich / Mächtigkeit	erwartete Schicht	geologische Zuordnung
00 - 45 m / 45 m	Geschiebelehm/Geschiebemergel	Quartär/Pleistozän
45 - 55 m / 10 m	Grobsand	Quartär/Pleistozän
55 - 65 m / 10 m	Fein- bis Mittelsand (UBKS)	Tertiär/Miozän
65 - 75 m / 20 m	Feinsand (VFS)	Tertiär/Miozän
75 - 85 m / 10 m	Schluff/Ton (UGT)	Tertiär/Miozän
85 - >>150 m / >65 m	Ton	Alttertiär/Miozän

Aufgrund der glazialen und glazialtektonischen Prägung des Untersuchungsgebietes sind Abweichungen vom Erwartungsprofil generell nicht auszuschließen. Die tatsächliche Standortgeologie kann nur in Rahmen mehrerer Aufschlussbohrungen im Baufeld detailliert erkundet werden.

4.3 Hydrogeologie

Die hydrogeologische Situation ist im Betrachtungsraum durch ein ca. 30 m mächtiges Hauptwasserleitersystem (Quartär-Tertiär, nachfolgend als HWL bezeichnet) geprägt. Das HWL ist großräumig und flächendeckend im Untersuchungsgebiet vorhanden (vergl. geologischer/hydrogeologischer Schnitt Anlage 2). Es ist von der Basis der Hauptdeckschicht (ca. 45 m unter GOK) bis zum ersten im Liegenden angrenzenden Tertiärtönen (ca. 75 m unter GOK) mit einer Gesamtmaßigkeit der gut durchlässigen Sande im Bereich des Projektstandortes von ca. 30 m ausgewiesen.

Entsprechend der Grundwasserpotentiallinien des LLUR [3] und den Informationen der amtlichen Erstauskunft werden im Bereich des Vorhabensstandortes Standrohrspiegelhöhen zwischen 0 und 1,5 m NN vermutet. Das entspricht in Abhängigkeit von der jeweiligen geodätischen Höhe im Bereich des Bauvorhabens einem Flurabstand des Druckwasserspiegels zwischen ca. 23 und 33 m unter GOK.

Der Grundwasserabfluss im HWL folgt den morphologischen Gegebenheiten, wird aber gemäß den recherchierten Grundwassergleichenplänen [3] hydraulisch durch die südlich gelegenen Grundwasserentnahmen (WW Kleinensee/Schlutup) beeinflusst. Die Richtung des Grundwasserabstroms im HWL ist auf Grundlage der recherchierten Daten für das Vorhabensgebiet nicht eindeutig prognostizierbar, erfolgt aber vermutlich hauptsächlich in östliche Richtung zur Untertrave bzw. nordöstlich in Richtung Lübecker Bucht.

Die Abstandsgeschwindigkeit des HWL v_a lässt sich rechnerisch näherungsweise aus dem Quotienten der Filtergeschwindigkeit v_f nach Darcy und dem durchflusswirksamen Hohlraumanteil n_f des durchströmten Sedimentes bestimmen. Die Filtergeschwindigkeit ergibt sich dabei aus dem Produkt des k_f -Wertes des Grundwasserleiters und dem hydraulischen Gradienten ($i = h/L$), dabei ist h der Druckhöhenunterschied und L die Fließlänge.

$$v_a = \frac{v_f}{n_f} = \frac{k_f * i}{n_f}$$

Unter der Annahme eines mittleren k_f -Wertes des HWL (Fein- bis Grobsand) von 2×10^{-4} m/s, eines mittleren Druckhöhenunterschiedes h entsprechend der vorliegenden Grundwasserpotentiallinien von ca. 1,0 m auf einer durchschnittlichen Fließlänge L von 1.500 m im Mittel ein hydraulisches Gefälle von $i = 0,0007$ und so eine Filtergeschwindigkeit von etwa 4,4 m/a berechnen. Unter Berücksichtigung eines durchflusswirksamen Hohlraumanteils n_f von etwa 0,2 für die anstehenden Sande beträgt die geschätzte mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit v_a etwa 22 m/a.

In großen Teilen des Lübecker Beckens sind die unteren Bereiche des Hauptgrundwasserleitersystems (vorrangig im Bereich der Vierlandfeinsande) geogen versalzen. Die Süß-Salzwassergrenze wird nach vorliegenden Angaben des LLUR [3] im Betrachtungsraum bei ca. -70 m NN erwartet d.h. unterhalb des HWL. Gemäß den Aussagen der Unteren Wasserbehörde der Hansestadt Lübeck [5] ist eine Versalzung des HWL am Projektstandort nicht auszuschließen.

Artesische Grundwasserverhältnisse sind am betrachteten Standort aufgrund der Geologie, Hydrogeologie und Geomorphologie nicht zu erwarten.

5 Bewertung des Untergrundes hinsichtlich geologischer bzw. bohrtechnischer Risiken

Aufgrund der glazialen und glazialtektonischen Prägung des Untersuchungsgebietes sind Abweichungen vom geologischen Erwartungsprofil generell nicht auszuschließen. Grundsätzlich ist mit dem Ausbleiben einzelner Schichten und abweichenden Schichtgrenzen zu rechnen.

Die vorherrschenden bindigen Sedimente und Lockersteine lassen sich im verhältnismäßig kostengünstigen direktem Spülbohrverfahren erschließen.

Das mögliche Vorhandensein von Steinen und ggf. Geröllen in den Geschiebemergelschichten (hier: bis ca. 45 m unter GOK) erfordert unter Umständen eine Durchörterung mit einem Rollenmeißel und ggf. ein zusätzliches Umsetzen des Bohrgerätes. Es können des Weiteren grobe Sand- oder Kieslagen angetroffen werden, die eine Anpassung des Bohrverfahrens erforderlich machen (Setzen von Hilfsverrohrung, Einsatz spezieller Spülungszusätze).

Die tertiären Tone und Schliffe (hier ab ca. 75 m unter GOK erwartet) sind erfahrungsgemäß bohrtechnisch schwieriger zu erschließen (Ton bzw. Schluffsteinlagen möglich, Quellverhalten).

Bei einem möglichen Auftreten von salzhaltigem Grundwasser wären durch den Bohrbetrieb entsprechend angepasste Materialien (Spülungszusätze, Ringraumverfüllung) zu nutzen.

Es sollten demnach nur Bohrfirmen mit ausgewiesener regionaler Erfahrung und leistungsstarken Bohrgeräten zum Einsatz kommen.

Im Rahmen der weiterführenden Planung ist eine projekt- und standortbezogene Erkundung des Untergrundes zur Feststellung der tatsächlichen geologischen/hydrogeologischen Verhältnisse erforderlich.

Zusammenfassend sind die geologischen und bohrtechnischen Risiken als „beherrschbar“ einzuschätzen.

6 Genehmigungsrechtliche Voraussetzungen am Standort und empfohlene maximale Bohrtiefe

Die H.S.W. GmbH hat im Rahmen der Beauftragung eine geologische Erstauskunft beim geologischen Landesdienst eingeholt [4] und weitere planungsrelevante Fragestellungen mit der zuständigen unteren Wasserbehörde der Hansestadt Lübeck abgestimmt [5]. Nachfolgend werden die derzeitigen Erkenntnisse zusammengefasst.

Gemäß dem amtlichen Datenbestand [1] liegt der Untersuchungsbereich deutlich außerhalb derzeit bestehender Wasserschutzgebiete. Das Trinkwasser-Gewinnungsgebiet „WGG Kleinensee“ befindet sich ca. 2,2 km südwestlich (Abb. 7).

Daher wird von einer grundsätzlichen Genehmigungsfähigkeit der Erdwärmesnutzung ausgegangen. Bei ordnungsgemäßem Planungs- und Antragsverfahren werden im Wesentlichen die üblichen Auflagen bzw. Nebenbestimmungen entsprechend der Anlagengröße erwartet.

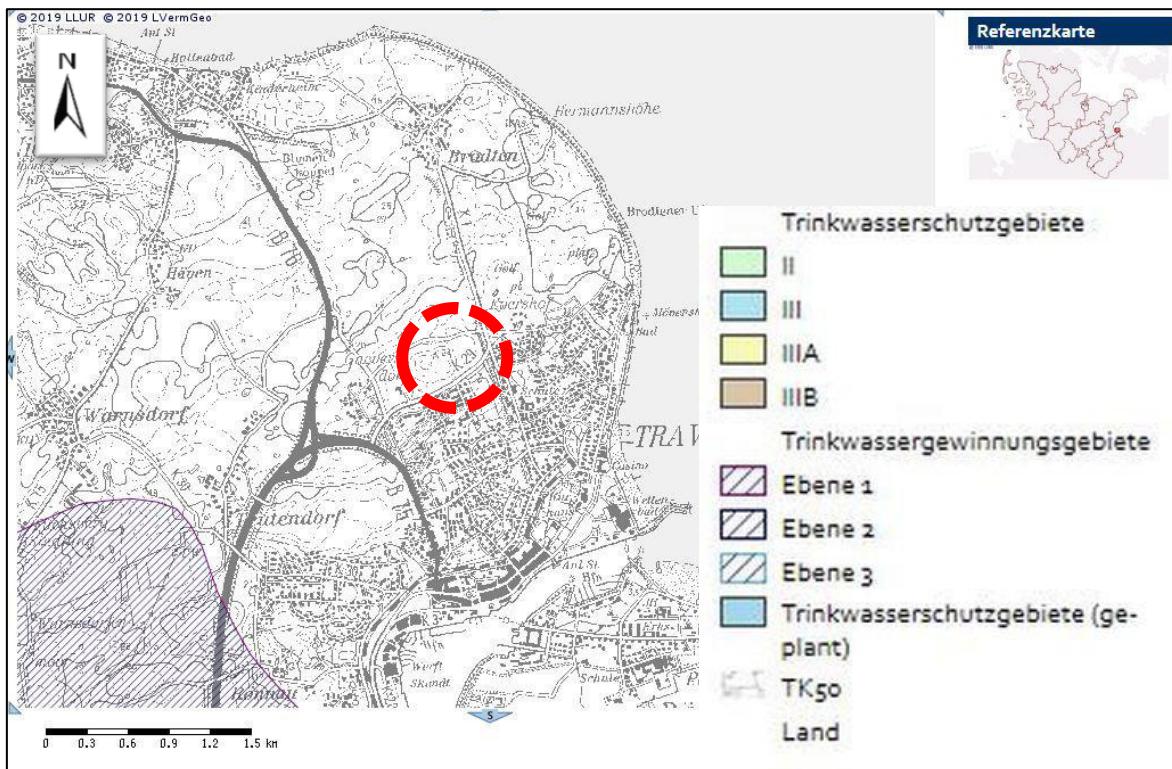


Abb. 7: Trinkwasserschutzgebiete im weiteren Umfeld des Bauvorhabens und Projektgebiet (rot) [1]

Gemäß der benannten Erstabstimmung mit der unteren Wasserbehörde [5] spricht nach aktuellem Kenntnisstand aus wasserrechtlicher Sicht nichts gegen die Nutzung der oberflächennahen Geothermie mittels Erdwärmesonden am Projektstandort.

Im Gegensatz dazu ist der Betrieb von thermischen Brunnen (offenes geothermisches System) aufgrund der möglichen Versalzung des Grundwassers (vgl. Kap. 4.3) nach Aussagen der unteren Wasserbehörde nicht erlaubt.

Bei größeren Erdwärmeanlagen (>30 kW Heizleistung der Wärmepumpenanlage) ist eine Vorerkundung der tatsächlich vorliegenden Geologie und eine Messung der thermophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes i.d.R. Bestandteil des Genehmigungsverfahrens. Die Anzahl der Vorerkundungen richtet sich dabei in der Regel nach der Größe des Erdwärmesondenfeldes und nach den erwarteten geologischen Lagerungsverhältnissen. Bei den aktuellen Planungen werden vermutlich 2...3 Erkundungsbohrungen behördlich beauftragt.

Weiterhin wird wahrscheinlich eine thermohydrodynamische 3D-Untergrundsimulation als Bestandteil des wasserrechtlichen Antrages bzw. für weiterführende Planungen erforderlich. Hier können u.a. die konkreten Standorte der Erdwärmesonden/-felder, die geologische Schichtlagerung und grundwasserdynamische Einflüsse hinreichend genau abgebildet und die thermischen Auswirkungen der geothermischen Nutzung auf den Untergrund simuliert werden, um daraus Antworten auf ingenieurtechnische und wasserrechtliche Fragestellungen abzuleiten.

Der Betrieb größerer geothermischer Anlagen ist erfahrungsgemäß mit einem wasserrechtlich geforderten Monitoring verbunden. Dafür sind entsprechende Temperaturmessstellen in An- und Abstrom des Grundwasserleiters herzustellen und in diesen die Temperaturen des Grundwassers/Untergrundes zu messen und zyklisch zu bewerten. Zudem sind bei sehr großen Erdwärmeanlagen die dem Untergrund entnommenen bzw. auch rückgeführten Wärmemengen zu erfassen, bilanziell darzustellen und der unteren Wasserbehörde in Berichtsform (vermutlich jährlich) zu übergeben. Ein Monitoringkonzept wäre im Rahmen der Genehmigungsplanung zu erarbeiten und der Behörde vorzustellen.

Im Falle einer Überschreitung von 100 m Bohrtiefe wäre zusätzlich eine Anzeige bei der unteren Wasserbehörde sowie nachfolgend eine Prüfung des Standortes beim geologischen Landesdienst und u.U. durch das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit erforderlich (vgl. Kap. 3.5). Aufgrund der erwarteten diesbezüglichen langen Bearbeitungszeit sowie wegen möglicher bohrtechnischer Schwierigkeiten bei der Erschließung der bindigen tertiären Sedimente (vgl. Kap. 5) wird vorerst eine Beschränkung der Bohrtiefe auf ≤ 100 m empfohlen.

Sonstige genehmigungsrechtliche Anforderungen an die Herstellung und den Betrieb von Erdwärmesonden sind auch dem *Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes [9]* zu entnehmen.

7 Thermophysikalische Bewertung des Untergrundes

Das geothermische Standortpotential von geschlossenen Systemen wie Erdwärmesonden wird maßgeblich durch die thermophysikalischen Untergrundparameter wie die Wärmeleitfähigkeit (λ), die Wärmekapazität (c) und durch die ungestörte Gebirgstemperatur ($^{\circ}\text{C}$) bestimmt.

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt das Wärmetransportvermögen mittels Wärmeleitung (Konduktion) im Untergrund. Sie wird im Wesentlichen vom anstehenden Gestein und dessen Wassergesättigung bestimmt. Wenn sich Grundwasser frei bewegt, so ist zusätzlich ein konvektiver Wärmetransport gegeben. Die „effektive“ Wärmeleitfähigkeit, welche den Einfluss von Grundwasserfließbewegungen beinhaltet sollte im weiteren Planungsverlauf mittels Geothermal Response Tests (GRT) in-situ ermittelt werden.

Die Wärmekapazität beschreibt das Vermögen eines Körpers, thermische Energie zu speichern. In wassergesättigten Gesteinen ergibt sich für die Wärmekapazität ein Mittelwert aus dem gesteinbildenden Feststoff und dem enthaltenen Wasser.

Nachfolgend sollen die benannten Parameter vorerst auf der Basis von Vergleichswerten abgeschätzt werden. Diese Erfahrungswerte werden aus Tabellen der VDI-Richtlinie 4640 [10] sowie aus Messwerten von in Schleswig-Holstein (hier: Europaweg in Travemünde, Timmendorfer Strand) durchgeführten Geothermal Response Tests (GRT) abgeleitet [6].

Anteil bis <u>100 m</u> *	prognostizierter Untergrund	abgeschätzte Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]	abgeschätzte Wärmekapazität [MJ/(m ³ ·K)]
25 %	Schluff und Ton (wg**)	2,0	2,4
30 %	Fein- Grobsand (wg**)	2,4	2,5
45 %	Geschiebemergel (bf**)	2,1	2,0
Mittelwert (gerundet)	-	2,2	2,3

* empfohlene maximale Bohrtiefe, vgl. Kapitel 6, ** wg = wassergesättigt; bf = bodenfeucht

Zum Vergleich: Im Zuge der Auswertung eines GRT am Timmendorfer Strand (Rodenbergstraße) wurde bei vergleichbarer Geologie (etwas höherer Sandanteil) eine Wärmeleitfähigkeit von 2,4 W/m·K ermittelt.

Die mittlere ungestörte Untergrundtemperatur ist beim benannten GRT für 100 m Tiefe mit ca. 10 °C gemessen worden. Damit stimmt diese Messung gut mit Werten der Datenbank der Software Earth Energy Designer (EED) überein und wird deshalb in der nachfolgenden Vorplanung berücksichtigt. Die thermophysikalische Bewertung des Untergrundes im Hinblick auf dessen Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Untergrundtemperatur zeigt somit vergleichsweise günstige Parameter für eine geothermische Nutzung mittels Erdwärmesonden.

Eine exakte Aussage zu den thermophysikalischen Bedingungen vor Ort kann allerdings erst nach Herstellung einer Test-Erdwärmesonde sowie Durchführung entsprechender Messungen im Rahmen eines GRT durchgeführt werden.

8 Platzdargebot / Flächenbedarf Geothermie

Auf einer Gesamtfläche des Planungsgebiets von ca. 9,4 Hektar sollen ca. 80 Einfamilien- und 6 Mehrfamilienwohnhäuser neu errichtet werden. Gemäß dem vorliegenden Planungsstand (Abb. 8) sind die Einfamilienwohnhäuser relativ gleichmäßig auf der Fläche verteilt und verfügen voraussichtlich jeweils über eine für die Herstellung von 1...3 Erdwärmesonden ausreichend große Freifläche. Auch im Bereich der Mehrfamilienhäuser stehen größere Freiflächen zur Verfügung. Grundsätzlich ist das Areal hinsichtlich der Herstellung und Nutzung von Erdwärmesonden demnach als grundsätzlich unproblematisch zu bewerten.

Die Herstellung von Erdwärmesonden unterhalb der Gebäude ist möglich, wird aber aufgrund der Nachteile (u.a. Zugänglichkeit, höherer Aufwand im Bauablauf, Beschädigungsgefahr durch Bautätigkeit) in diesem Fall nicht empfohlen.

Bei einem zu berücksichtigenden Mindestabstand der Erdwärmesonden untereinander von 6 m wäre theoretisch die Herstellung von bis zu ca. 2.600 Erdwärmesonden auf dem gesamten Areal denkbar.



Die genaue Standortwahl der Erdwärmesonden ist im Zuge der weiterführenden Planungen auch unter Beachtung der konkretisierten Bebauungs- und Außenanlagenplanung zu ermitteln.

9 Vorbemessung eines Erdwärmesondenfeldes

9.1 Grundlagen/Erfordernis der EDV-gestützten Simulation

Die fachgerechte Dimensionierung einer geothermischen Quellenanlage schützt vor den Folgen einer Überbemessung (z.B. hohe Investitionskosten) sowie einer Unterbemessung (u.a. hohe Betriebskosten bis hin zum Ausfall der Gesamtanlage, aber auch Ursache für wasser- und bergrechtlich relevante Schadensfälle) und wird i.d.R. durch die Genehmigungsbehörden im Zuge des wasserrechtlichen Antragsverfahrens als Nachweis eines für den Grundwasserschutz unbedenklichen Anlagenbetriebes gefordert.

Die Anlagendimensionierung setzt dabei möglichst detaillierte Kenntnisse über verschiedene projektspezifische Randbedingungen voraus, um eine nachhaltige und wirtschaftliche Funktion der Geothermieanlage sicherzustellen. Verschiedene Einflussfaktoren haben bei der Bemessung von Erdwärmesondenanlagen eine entsprechende Relevanz.

Die maßgebenden Parameter für das mittels Erdwärmesonden erzielbare geothermische Nutzungspotential sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

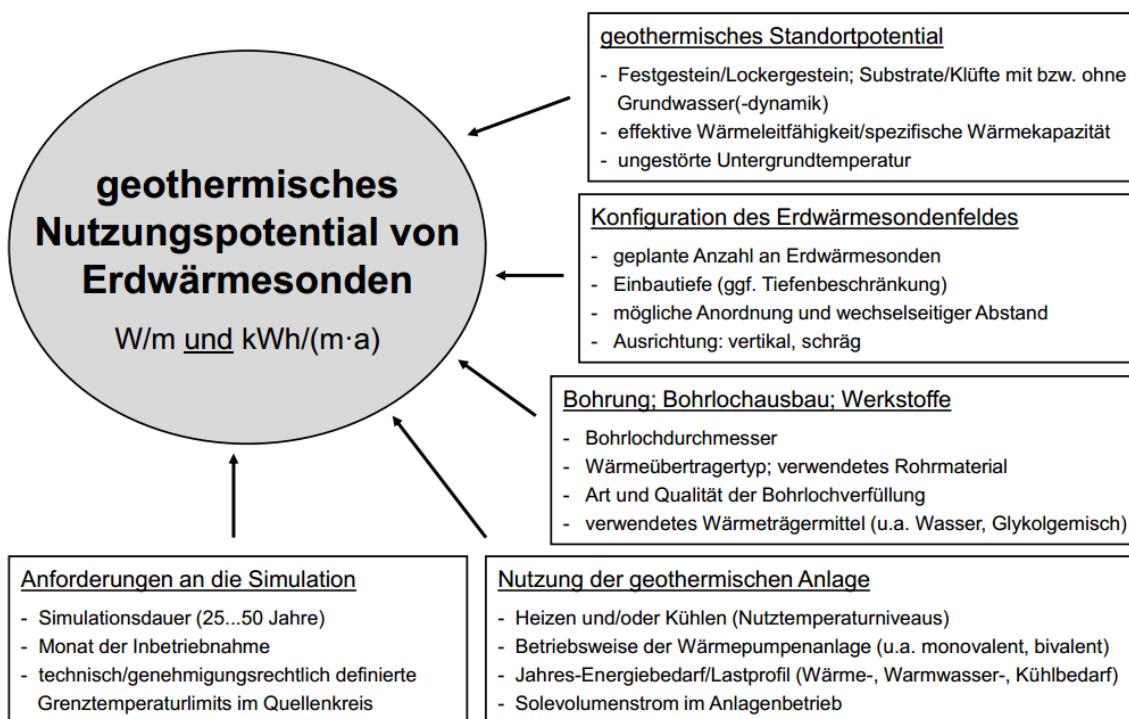


Abb. 9: Einflussfaktoren auf das geothermische Nutzungspotential von Erdwärmesonden (H.S.W. GmbH)

Die Vielfalt der vorgenannten Parameter und deren differierende Wechselwirkungen erfordern eine rechnergestützte Simulation der geothermischen Quellenanlage. Zur Nachbildung der dy-

namischen Speicher- und Transportvorgänge im Einflussbereich von erdgebundenen Wärmeübertragern kommen spezielle Softwarelösungen zum Einsatz, z.B. das hier verwendete Earth Energy Designer (EED).

Bei der Prognose der Temperaturentwicklung im Untergrund setzt EED u.a. eine radiale Ausbreitung der Temperatur um die jeweilige Erdwärmesonde nach der Linienquellentheorie voraus. Weitergehende Untersuchungen unter Berücksichtigung einer ggf. vorhandenen Grundwasserströmung sowie einer unregelmäßigen Anordnung von Erdwärmesonden/Erdwärmesonden-einzelfeldern sind nur mit speziellen numerischen Computermodellen möglich (z.B. mit Feflow).

9.2 Ziel der Bemessung und Hinweise zur Herangehensweise

Im Zuge der nachfolgenden Simulation soll eine Vordimensionierung des geothermischen Quellsystems (u.a. erforderliche Anzahl der Erdwärmesonden) im Hinblick auf eine Auslegung konform unter anderem zur maßgeblichen VDI-Richtlinie 4640 und zu den Vorgaben des Landes Schleswig-Holstein unter Berücksichtigung des vorläufigen Wärmeversorgungskonzeptes und definierter Bemessungsrandbedingungen erfolgen.

Bei der nachfolgenden Vorbemessung werden alle Erdwärmesonden als Gesamterdwärmesondenfeld betrachtet, d.h., der Wärmebedarf wird kumulativ betrachtet. Durch die Gesamtbetrachtung der Erdwärmesonden ist eine rechnerische Berücksichtigung der gegenseitigen thermischen Beeinflussung möglich. Differenzierte Bemessungen für die jeweiligen Einzelhäuser erfolgen im Zuge der Entwurfsplanung bzw. einer thermohydrodynamischen Simulation (3D-FEM).

9.3 Bemessungsrandbedingungen/-kriterien

Bei der Simulation wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

Berücksichtigte Parameter des Untergrundes bis 100 m Tiefe

- Mittlere effektive Wärmeleitfähigkeit: 2,2 W/(m·K)
- Mittlere spezifische Wärmekapazität: 2,3 MJ/(m³·K)
- Ungestörte mittlere Untergrundtemperatur: 10,0 °C

Anzahl, Tiefe, Konfiguration und Ausbauparameter der Erdwärmesonden

- Die erforderliche Anzahl der Erdwärmesonden mit einer maximalen Einheitstiefe von 100 m wird rechnerisch ermittelt.
- Der wechselseitige Abstand der Erdwärmesonden wird unter Berücksichtigung der Gesamtfläche der geplanten Einzelgrundstücke (ca. 85.000 m²; ohne gemeinschaftliche Außenanlagen im Randbereich) zunächst mit durchschnittlich 19 m zugrunde gelegt.
- Die Anordnung der Erdwärmesonden erfolgt als generalisierte Rechteck-Formation.
- Der Bohrlochausbau wird mit Doppel-U-Erdwärmesonden (32 x 3 mm) bei einem Bohrlochdurchmesser von ca. 180 mm und der Verwendung eines Ringraumverfüllmaterials mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\geq 2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ berücksichtigt.

Versorgungskonzept, thermische Bedarfsdaten

- Es ist eine vollständige Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasserbereitung) mittels der erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen in monovalenter Betriebsweise geplant.
- Eine geothermische Kühlung sollte in der Berechnung nicht berücksichtigt werden [14].
- Die geschätzte Gesamtheizlast aller Wohngebäude wurde wie folgt ermittelt:
 - EFH: $80 \times 6,5 \text{ kW} = 520 \text{ kW}$
 - MFH: $6 \times 30 \text{ kW} = 180 \text{ kW}$
 - $\Rightarrow \text{EFH} + \text{MFH} = 700 \text{ kW}$
- Der Jahresheizwärmebedarf aller Gebäude wird mit geschätzten 1.800 jährlichen Vollbenutzungsstunden unter Berücksichtigung der Gesamtheizlast mit **1.260 MWh** berechnet.
- Für die Warmwasserbereitung wurden folgende vorläufige Annahmen getroffen:
 - EFH: $80 \times 3 \text{ Personen} \times 2 \text{ kWh/pers./d} \times 365 \text{ Tage} = \sim 175 \text{ MWh/a}$
 - MFH: $66 \text{ WE} \times 2 \text{ Personen} \times 2 \text{ kWh/pers./d} \times 365 \text{ Tage} = \sim 96 \text{ MWh/a}$
 - $\Rightarrow \text{EFH} + \text{MFH} = 271 \text{ MWh/a}$

Hinweis: Gebäudebedarfsdaten sind generell stark von klimatischen Bedingungen und den Nutzungsgewohnheiten der Bewohner abhängig. Daher können sie in der Praxis signifikant von den theoretisch berechneten bzw. hier auch teilweise geschätzten Werten abweichen. Die H.S.W. GmbH übernimmt für die Richtigkeit der angesetzten Werte keine Gewähr.

Technische Randbedingungen für den Wärmepumpenbetrieb

- Für die Vorbemessung wird wie eingangs beschrieben ein generalisiertes Gesamterwärmesondenfeld mit einer Großwärmepumpenanlage berücksichtigt. Deren angenommene Heizleistung entspricht rechnerisch der geschätzten Gesamtheizlast (hier: 700 kW beim Betriebspunkt B0/W35).
- Der quellenseitige Volumenstrom der WP für eine Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf von 3 K wird mit 172 m³/h bzw. 48 l/s berücksichtigt.
- Die Jahresarbeitszahl [JAZ] der WP im Heizbetrieb wird für eine geschätzte mittlere Vorlauftemperatur im Heizkreis von ca. 35 °C mit 4,5 und für die WW-Bereitung mit 3,0 zugrunde gelegt.
- Es wird davon ausgegangen, dass als Wärmeträgerfluid im Solekreis ein Monoethylenglykol-Wassergemisch mit ca. 25 % Glykolanteil genutzt wird.
- Die Eigenschaften der Wärmeträgerflüssigkeit (u.a. kinematische Viskosität, Dichte) werden für eine Soletemperatur von 0 °C berücksichtigt.
- Die Dauer des Spitzenlastbetriebes (Maximalleistung der Wärmepumpe mit nicht oder nur kurzzeitig unterbrochenem Betriebszyklus) wird angelehnt an Empfehlungen der VDI-Richtlinie 4640 [10] in der Simulation mit maximal 14 Stunden im Heizbetrieb angesetzt.
- Das in der Simulation berücksichtigte Lastprofil (prozentuale Verteilung der Jahresenergie im Heizbetrieb) entspricht einem typischen Standardlastprofil - siehe auch EED-Protokoll, Anlage 1.

Bemessungskriterien

- Gemäß der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 (Juni 2019) muss die Auslegung von Erdwärmesonden so erfolgen, dass die Fluidtemperaturen im vorgesehenen Betriebszeitraum (üblicherweise 50 Jahre) innerhalb vorgegebener Grenzen bleiben. Im Heizbetrieb soll die Eintrittstemperatur des Wärmeträgermediums in die Erdwärmesonde(n) im Monatsmittel 0 °C nicht unterschreiten. Bei Spitzenlastbetrieb (nicht oder nur kurzzeitig unterbrochener Betriebszyklus der Wärmepumpe) soll diese Temperatur entsprechend der Vorgaben des Bundeslandes Schleswig-Holstein -3 °C nicht unterschreiten.
- Die sich einstellende Temperaturspreizung zwischen Sondenein- und -austritt wird mit 3 K angenommen. Daraus ergeben sich als Bemessungskriterium für die Simulation folgende „mittlere“ Fluidtemperaturen in den Erdwärmesonden:
Grundlastbetrieb: $\geq +1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Spitzenlastbetrieb: $\geq -1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Es wird ein Betriebs-/Betrachtungszeitraum von 50 Jahren berücksichtigt.
- Der Beginn der Simulation wird mit dem Beginn der Heizperiode im September definiert.

Es ist unbedingt erforderlich, dass seitens des AG und der beteiligten weiteren Fachplaner eine kritische Prüfung sämtlicher Bemessungsgrundlagen (u.a. Leistung, Jahresarbeit, Temperaturlimits, Nutztemperaturniveaus, Wärmebilanzen, Lastprofil, Jahresarbeitszahlen und Betriebsstunden der Wärmepumpe) vorgenommen wird. Alle nachfolgenden dargestellten Ergebnisse sind nur im Zusammenhang mit den hier aufgeführten Vorgaben bzw. Annahmen gültig.

9.4 Ergebnisse der geothermischen Simulation

Im Ergebnis der Simulation mit dem Programm Earth Energy Designer wäre mit dem nachfolgenden generalisierten Erdwärmesondenfeld unter Berücksichtigung der vorab geschätzten Wärmebedarfsdaten eine Einhaltung der definierten Bemessungsgrenztemperaturen über einen mindestens 50-jährigen Betrachtungszeitraum gegeben:

240 Erdwärmesonden mit einer Einheitstiefe von 100 m

Gesamt-Erdwärmesondenlänge:	24.000 m
gewählte Anordnung:	Rechteck
wechselseitiger mittlerer Sondenabstand:	19 m
Sondentyp:	Doppel-U, 32 x 3 mm
Bohrdurchmesser:	ca. 180 mm
Bohrloch-Verfüllmaterial:	Wärmeleitfähigkeit $\geq 2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Strömungsverhältnisse in den Erdwärmesonden:

laminar (Reynoldszahl ca. 1.300)

Berücksichtigte thermische Bedarfsanforderungen/Untergrundbeanspruchung:

gebäudeseitig		erdseitig	
Gesamtheizleistung	700 kW	Entzugsleistung	545 kW
Wärmeabgabe	1.531 MWh/a	Wärmeentzug	1.161 MWh/a

Aus der Berechnung ergeben sich folgende **spezifische erdseitige Werte** je Meter EWS:

Entzugsleistung	23 W/m	Entzugsarbeit	48 kWh/(m·a)
-----------------	--------	---------------	--------------

Die gemäß EED-Simulation prognostizierten mittleren Fluidtemperaturen im Solekreis sind in der Abb. 10 dargestellt (siehe auch Anlage 1). Bemessungskriterium war im konkreten Fall sowohl das Erreichen der minimalen mittleren Fluidtemperatur von 1,5 °C im Grundlastbetrieb als auch -1,5 °C im Spitzenlastbetrieb.

Die jeweils angegebene spezifische Entzugsleistung/Entzugsarbeit ist neben den Standortbedingungen u.a. von der Konfiguration (Anzahl, Tiefe, Anordnung, Abstand) der Sonden, von deren Ausbauparametern (Bohrlochdurchmesser, Wärmeübertragerart, Ringraumverfüllung), vom Nutzungsverhalten (absoluter Bedarf, Betriebsweise, Lastprofil usw.) sowie von den angesetzten Temperaturlimits abhängig.

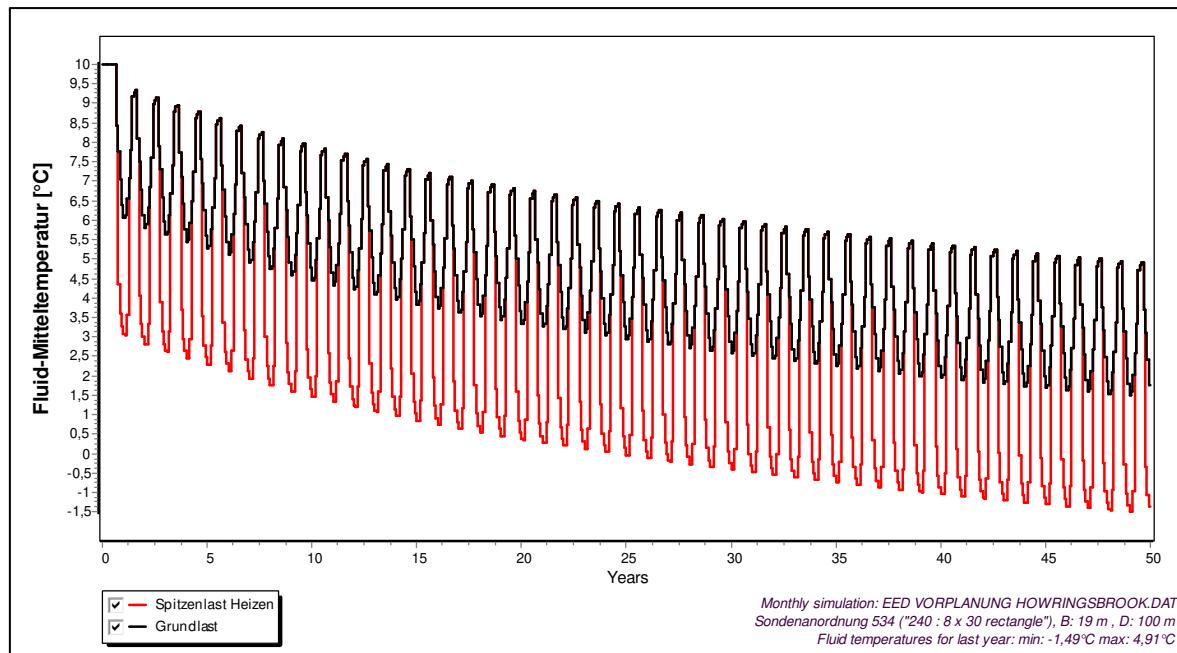


Abb. 10: prognostizierter Verlauf der Fluidtemperaturen über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren

10 Kostenschätzungen zum geothermischen Quellsystem

Nachfolgend werden die Schätzkosten für die erforderlichen Komponenten und die Herstellung des geothermischen Quellsystems bis zur Schnittstelle „Heizzentrale“ zusammengefasst. Die Kosten für die Vorerkundung wurden zunächst für ein mögliches Vorerkundungskonzept mit 3 Erkundungsbohrungen bis max. 100 m Tiefe und der Herstellung von 3 Grundwassermesspegeln angenommen, ohne dass dieses verbindlich umzusetzen ist. Die Ingenieurleistungen der Vorerkundungen wurden in die geschätzten Planungskosten implementiert.

Die Schätzkosten beruhen auf Erfahrungswerten sowie einer Recherche der aktuellen Preise am Markt und sind daher unverbindlich. Eine Präzisierung der überschlägig ermittelten Investitionskosten ist erst nach weiteren Teilplanungsleistungen mit Kostenberechnung und der Einholung von konkreten Angeboten möglich. Zusätzlich bestehen Abhängigkeiten zu den letztlich vor Ort angetroffenen geologischen Bedingungen, aber auch zu den Anforderungen an die Bohrausführung (u.a. Baustelleneinrichtung, zusätzliche Anfahrten, bauseitige Bereitstellung von Baustrom und Bauwasser, Bohrgutentsorgung usw.). Diese Kosten sind aktuell noch nicht feststellbar.

Weiterhin entstehen Kosten bei sämtlichen gebäudeseitigen Komponenten der geothermischen Wärmeversorgung (u.a. Wärmepumpen) und der diesbezüglichen Planung der Technischen Gebäudeausrüstung. Diese Kosten wären durch die TGA-Planung zusammenzustellen.

Alle aufgeführten Preise verstehen sich netto, zuzüglich der gesetzlichen Mehrwertsteuer.

Leistungen	Kosten (netto)
<u>Vorerkundung:</u>	
Vorerkundung des Untergrundes mittels 3 Bohrungen a 100 m Tiefe	15.000 €
geophysikalische Bohrlochmessungen (3x)	3.000 €
Herstellung von 3 nachnutzbaren Test-Erdwärmesonden	6.000 €
Durchführung von 3 geothermischen Messungen (GRT)	10.000 €
Herstellung von 3 Grundwassermesspegeln inklusive Datenlogger	15.000 €
<u>Summe Vorerkundung</u>	<u>49.000 €</u>
<u>Herstellung der geothermischen Quellenanlage:</u>	
Herstellung von 240 Erdwärmesonden mit 100 m Tiefe	1.200.000 €
Horizontale hydraulische Anbindung, inkl. Befüllung & Erdarbeiten	500.000 €
<u>Summe Herstellung der geothermischen Quellenanlage</u>	<u>1.700.000 €</u>
<u>Planungskosten:</u>	
Planungskosten Technische Baugrundausrüstung (Leistungsphasen 3 - 8)	45.000 €
besondere Leistungen: 3D-Thermohydrodynamische Simulation (FEM)	10.000 €
besondere Leistungen: örtliche Bauüberwachung	20.000 €
<u>Summe Planungskosten</u>	<u>75.000 €</u>
vorläufig geschätzte Gesamtkosten	1.824.000 €

11 Fördermöglichkeiten

Sole-Wasser-Wärmepumpen bis 100 kW Heizleistung werden aktuell über das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) gefördert. Die Basisförderung beträgt 100 €/kW Wärmepumpenleistung, mindestens aber 4.500 € je Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesondenbohrung. Im Neubau ist die Förderfähigkeit an eine hohe Energieeffizienz der Wärmepumpenanlage gebunden (Jahresarbeitszahl $\geq 4,5$).

Eine Einschränkung hinsichtlich potentieller Zuwendungsempfänger besteht dabei nicht, allerdings sind einige Anforderungen bezüglich der Anlageneffizienz und der Versicherung der Bohrungsausführung zu erfüllen. Diese können u.a. auf der Homepage des BAFA eingesehen werden. Die Beantragung der Fördermittel sollte in Zusammenarbeit mit dem Installationsbetrieb erfolgen.

12 Zusammenfassung und Ausblick

Die H.S.W. GmbH wurde durch die Grundstücksentwicklungsgesellschaft Howingsbrook GmbH & Co. KG mit einer Grundlagenermittlung und Vorplanung zur möglichen Nutzung oberflächennaher Geothermie als Bestandteil einer geplanten Wärmeversorgung für das aktuell projektierte Planungsgebiet „Howingsbrook“ in Lübeck-Travemünde beauftragt. Die Ergebnisse der Recherchen, Untersuchungen und Berechnungen werden nachfolgend zusammengefasst:

Genehmigungsfähigkeit nach Wasser- und Bergrecht:

Im betrachteten Untersuchungsbereich ist die Herstellung von Erdwärmesonden gemäß den Voraussetzungen mit der Unteren Wasserbehörde und dem geologischen Landesdienst grundsätzlich genehmigungsfähig. Bei ordnungsgemäßem Antragsverfahren werden im Wesentlichen die üblichen Auflagen bzw. Nebenbestimmungen entsprechend der Anlagengröße erwartet.

Im Falle einer Überschreitung von 100 m Bohrtiefe wäre zusätzlich eine Anzeige bei der unteren Wasserbehörde sowie nachfolgend eine Prüfung des Standortes beim geologischen Landesdienst und u.U. durch das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit erforderlich.

Geologische/hydrogeologische Verhältnisse:

Die Standortgeologie ist bis zu einer Betrachtungstiefe von 150 m von quartären und nachfolgend tertiären Sedimenten geprägt. Unter einer ca. 45 m mächtigen bindigen Deckschicht aus Geschiebemergel wird bis in ca. 75 m Tiefe ein sandiger Grundwasserleiterkomplex erwartet. Die geschätzte mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit beträgt ca. 15...25 m/a.

Ab ca. 75 m unter GOK bis zur Betrachtungsendtiefe werden tertiäre Tone und Schluffe prognostiziert. Unter Beachtung der Standortgeologie und genehmigungsrechtlicher Randbedingungen wird eine bohrtechnische Erschließung bis zu einer maximalen Tiefe von 100 m empfohlen.

Die voraussichtlich bohrtechnisch anspruchsvollen geologischen Standortbedingungen erfordern eine Bohrfirma mit ausgewiesener regionaler Erfahrung und leistungsstarkem Bohrgerät. Die geologischen und bohrtechnischen Risiken sind als „beherrschbar“ einzuschätzen.

Geothermisches Standortpotential:

Die thermophysikalische Bewertung des Untergrundes im Hinblick auf dessen effektive Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Untergrundtemperatur zeigt vergleichsweise günstige Parameter für eine geothermische Nutzung mittels Erdwärmesonden. Die Verifizierung der zunächst geschätzten Untergrundparameter muss im Rahmen von Vorerkundungsmaßnahmen erfolgen.

Ergebnis der Simulation:

Für die nachhaltige Bereitstellung des vorab geschätzten gebäudeseitigen Wärmebedarfs (hier: ca. 700 kW Gesamtheizleistung und ca. 1.500 MWh/a Wärmeerzeugung für insgesamt 80 EFH + 6 MFH) wären gemäß der Modellprognose mindestens 240 Erdwärmesonden mit 100 m Einheitstiefe erforderlich.

Die konkrete Dimensionierung für die einzelnen Gebäudetypen erfolgt im Zuge der weiterführenden Planung u.a. unter Berücksichtigung konkretisierter Wärmebedarfsdaten und der Lage der Einzelgrundstücke im Planungsgebiet. Je EFH im Randbereich (ca. 40 EFH) wären voraussichtlich jeweils 2 Erdwärmesonden mit bis zu 100 m Tiefe, im Innenbereich bis zu 2,5 Erdwärmesonden bzw. 2 Sonden mit jeweils 125 m erforderlich. Für die Mehrfamilienhäuser sind wahrscheinlich jeweils etwa 10 Erdwärmesonden zuzuordnen.

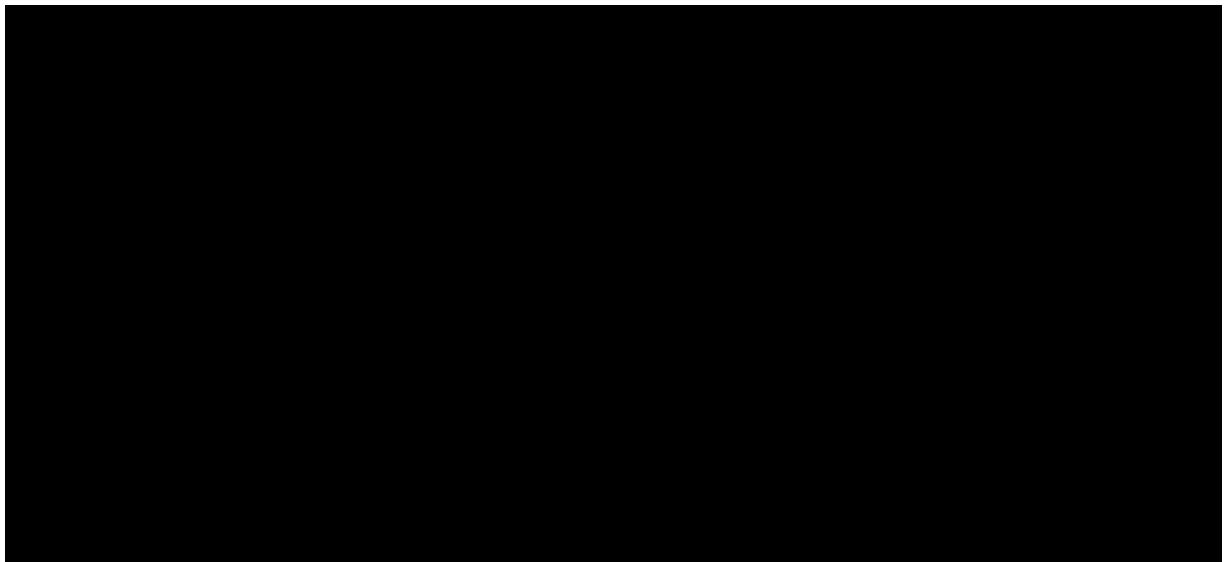
Kostenschätzung:

Die voraussichtlichen Investitionskosten für die gesamten geothermischen Quellenanlagen (86 Einzelanlagen) inklusive der hydraulischen Anbindung bis in die jeweilige Heizzentrale sowie der diesbezüglichen Planungskosten wurden geschätzt und tabellarisch zusammengestellt. Die Gesamtsumme der Investitionskosten liegt voraussichtlich bei ca. 1.824.000 € (netto).

Ausblick:

Bei einer Entscheidung des Bauherrn für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie mittels Erdwärmesonden wären nachfolgende Planungsschritte vorgesehen:

1. Erkundungs- und Testarbeiten an 3 Standorten im Baufeld	Durchführung von Erkundungsbohrungen, Herstellung nachnutzbarer Test-Erdwärmesonden, Durchführung von Geothermal Response Tests, Herstellung von Grundwassermessstellen (Hinweis: Das Erkundungsprogramm ist mit der Unteren Wasserbehörde abzustimmen)
2. Entwurfsplanung	Bemessung der erforderlichen Erdwärmesonden für einzelne Gebäudearten auf Grundlage der GRT-Ergebnisse und konkretisierter Wärmebedarfsdaten mittels analytischer sowie numerischer Simulation (3D-FEM)
3. Genehmigungsplanung	Zusammenstellung und Einreichung der Genehmigungsunterlagen
4. Ausführungsplanung	Planung und zeichnerische Darstellung der Erdwärmesonden-Positionierung und Leitungsverläufe, Mengenermittlung, LV-Erstellung
5. Vergabe und Ausführung	Durchführung des Ausschreibungsverfahrens bzw. Angebotseinhaltung, Bauüberwachung



Literatur

- Verband Beratender Ingenieure VBI: VBI-Leitfaden Oberflächennahe Geothermie, Band 18 VBI-Schriftenreihe, 2012
- AHO-Arbeitskreis „Oberflächennahe Geothermie“: Planungsleistungen im Bereich der Oberflächennahen Geothermie, Nr. 26 AHO-Schriftenreihe, Bundesanzeiger Verlag, 2011
- Hanschke, Th.; Kühl, J.-U.; Oldorf, B. & Uebigau M.: Energetischer Doppelnutzen; Energiepfähle und thermoaktive erdberührte Bauteile, Deutsches IngenieurBlatt, Ausgabe 07-08, 2010
- Koelbel T.: Grundwassereinfluss auf Erdwärmesonden: Geländeuntersuchungen und Modellrechnungen, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2010
- Benz S.: Rechtliche Rahmenbedingungen für die Nutzung der oberflächennahen Geothermie, BWV Berliner Wissenschaft, 2009
- Henning H.-M. et al.: Kühlen und Klimatisieren mit Wärme, BINE-Informationspaket, Solarpraxis AG, 2009
- Baumann M. et al.: Wärmepumpen - Heizen mit Umweltenergie, BINE-Informationspaket, Solarpraxis AG, 2007
- Loose P.: Erdwärmennutzung - Versorgungstechnische Planung und Berechnung, C. F. Müller Verlag, 2007
- Kastura T. et al.: Heat transfer experiments in the ground with groundwater advection, Proceedings of 10th Energy Conservation Thermal Energy Storage Conference Ecostock'2006, New Jersey
- Deng Z.: Modelling of standing column wells in ground source heat pumps, Ph.D Thesis, Oklahoma State University, 2004
- Diao N. et al.: Heat transfer in ground heat exchangers with groundwater advection, Int. Journal of Thermal Sciences, 43, 1203-1211, 2004
- Bernier M.: Ground-coupled heat pump system simulation. ASHRAE Transactions. 107, p.605-616, 2001
- Ottis-Kolleg, Erdgekoppelte Wärmepumpen und unterirdische thermische Energiespeicher, Fachseminar Oberflächennahe Geothermie, Ostbayrisches-Technologie-Transfer-Institut, Energie Kolleg Freising, 21.-22.02.2001
- Schulz/Werner/Ruhland/Bußmann (Hrsg.) Geothermische Energie - Forschung und Anwendung in Deutschland Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe 1991
- Ingersoll L.R. et al.: Heat Conduction with Engineering, Geological and other applications, Madison, WI: The University of Wisconsin Press, 1954
- Carslaw H.S. und Jaeger J.C.: Conduction of Heat in Solids, Clarendon Press, Oxford University Press, 2nd Edition, 1947
- Aktuelle Leitfäden zur Erdwärmennutzung der deutschen Bundesländer
- Handbücher und Datenblätter der Hersteller von Wärmepumpen, Erdwärmesonden und Zulieferern
- VDI-Richtlinie 4640 Thermische Nutzung des Untergrundes Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

Anlage 1 - EED-Berechnungsprotokoll

EED 4.20 - www.buildingphysics.com - license for info@hsw-rostock.de
 Eingabedatei:D:\Daten\Geothermie\Schleswig-Holstein\Travemünde\Wohngebiet Howingsbrook\EED\EED VORPLANUNG HOWINGSBROOK.dat
 Diese Ausgabedatei: EED VORPLANUNG HOWRINGSBROOK.OUT Datum:
 28.10.2019 Uhrzeit: 09:05:58

DATEN KURZFASSUNG

Kosten	-
Anzahl Bohrungen	240
Tiefe der Erdwärmesonde	100 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	2,4E4 m

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

UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,2 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,3 MJ/(m³·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	10 °C
Geothermischer Wärmefluss	0 W/m²

BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenanordnung rectangle")	534 ("240 : 8 x 30
Tiefe der Erdwärmesonde	100 m
Abstand der Erdwärmesonden	19 m
Sondentyp	Doppel-U
Bohrlochdurchmesser	180 mm
U-Rohr, Außendurchmesser	32 mm
U-Rohr, Wandstärke	3 mm
U-Rohr, Wärmeleitfähigkeit	0,42 W/(m·K)
U-Rohr, Mittenabstand d. U-Schenkel	68 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

WÄRMETRÄGERMEDIUM

Wärmeleitfähigkeit	0,47 W/(m·K)
Spezifische Wärmekapazität	3850 J/(Kg·K)
Dichte	1044 Kg/m³
Viskosität	0,0038 Kg/(m·s)
Gefrierpunkt	-12 °C
Umwälzmenge pro Bohrloch	0,2 l/s

GRUNDLAST

Jährlicher Warmwasserbedarf	271 MWh
Jahresheizarbeit	1260 MWh
Jahreskühlarbeit	0 MWh
Jahresarbeitszahl (WW)	3
Jahresarbeitszahl Heizen	4,5
Jahresarbeitszahl Kühlen	-

Monatliches Bedarfsprofil [MWh]

Monat	Wärmebedarf	Kühlbedarf	Erdseite	
JAN	0,155	218	0	167
FEB	0,148	209	0	160
MÄR	0,125	180	0	138
APR	0,099	147	0,166	112
MAI	0,064	103	0,167	77,8
JUN	0	22,6	0,167	15,1
JUL	0	22,6	0,167	15,1
AUG	0	22,6	0,167	15,1
SEP	0,061	99,4	0,166	74,8
OKT	0,087	132	0	100
NOV	0,117	170	0	130
DEZ	0,144	204	0	156
Gesamt	1	1531	1	1161

SPITZENLAST

Monatliche Spitzenlast [kW]

Monat	Spitzen-Heizlast	Dauer	Spitzen-Kühllast	Dauer	[h]
JAN	700	14	0	0	
FEB	700	14	0	0	
MÄR	700	7	0	0	
APR	0	0	0	0	
MAI	0	0	0	0	
JUN	0	0	0	0	
JUL	0	0	0	0	
AUG	0	0	0	0	
SEP	0	0	0	0	
OKT	700	7	0	0	
NOV	700	14	0	0	
DEZ	700	14	0	0	

Dauer der Simulation (Jahre)

50

Bauer der Simulation (ja / nein) und Monat der Inbetriebnahme

50
SEP

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

=====

* Monthly calculation *

Erdwärmesondenlänge gesamt 2,4E4 m

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Reynoldszahl	1345
Therm. Widerstand Fluid/Rohr	0,1693 (m·K) /W
Therm. Widerstand Rohrmaterial	0,07868 (m·K) /W
Übergangswiderstand Rohr/Verfüllung	0 (m·K) /W
Thermischer Widerst. Fluid/Erdreich	0,1329 (m·K) /W
Effekt. therm. Bohrlochwiderstand	0,1329 (m·K) /W

SPEZIFISCHER WÄRMEENTZUGSLEISTUNG [W/m]

Monat	Grundlast	Spitzen-Heizlast	Spitzen-Kühllast
JAN	9,53	22,7	0
FEB	9,14	22,7	0
MÄR	7,85	22,7	0
APR	6,4	0	0
MAI	4,44	0	0
JUN	0,86	0	0
JUL	0,86	0	0
AUG	0,86	0	0
SEP	4,27	0	0
OKT	5,73	22,7	0
NOV	7,4	22,7	0
DEZ	8,91	22,7	0

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

Jahr	1	2	5	10	50
JAN	10	6,05	5,43	4,59	1,5
FEB	10	6,12	5,51	4,67	1,58
MÄR	10	6,54	5,94	5,11	2,03
APR	10	7,07	6,49	5,65	2,58
MAI	10	7,81	7,24	6,41	3,34
JUN	10	9,18	8,62	7,78	4,72
JUL	10	9,29	8,73	7,89	4,84
AUG	10	9,34	8,79	7,95	4,91
SEP	8,42	8,1	7,56	6,72	3,69
OKT	7,78	7,49	6,95	6,12	3,09
NOV	7,06	6,79	6,25	5,42	2,41
DEZ	6,39	6,14	5,6	4,77	1,77

GRUNDLAST: JAHR 50

Niedrigste Fluid-Mitteltemperatur 1,5 °C zum Ende JAN
Höchste Fluid-Mitteltemperatur 4,91 °C zum Ende AUG

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

Jahr	1	2	5	10	50
JAN	10	3,07	2,45	1,61	-1,48
FEB	10	3,04	2,43	1,6	-1,49
MÄR	10	3,55	2,95	2,12	-0,96
APR	10	7,07	6,49	5,65	2,58
MAI	10	7,81	7,24	6,41	3,34
JUN	10	9,18	8,62	7,78	4,72
JUL	10	9,29	8,73	7,89	4,84
AUG	10	9,34	8,79	7,95	4,91
SEP	8,42	8,1	7,56	6,72	3,69
OKT	4,36	4,07	3,54	2,7	-0,33
NOV	3,59	3,32	2,79	1,95	-1,06
DEZ	3,27	3,01	2,48	1,65	-1,36

SPITZENLAST HEIZEN: JAHR 50

minimale Fluid-Mitteltemperatur -1,49 °C zum Ende FEB

maximale Fluid-Mitteltemperatur 4,91 °C zum Ende AUG

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

Jahr	1	2	5	10	50
JAN	10	6,05	5,43	4,59	1,5
FEB	10	6,12	5,51	4,67	1,58
MÄR	10	6,54	5,94	5,11	2,03
APR	10	7,07	6,49	5,65	2,58
MAI	10	7,81	7,24	6,41	3,34
JUN	10	9,18	8,62	7,78	4,72
JUL	10	9,29	8,73	7,89	4,84
AUG	10	9,34	8,79	7,95	4,91
SEP	8,42	8,1	7,56	6,72	3,69
OKT	7,78	7,49	6,95	6,12	3,09
NOV	7,06	6,79	6,25	5,42	2,41
DEZ	6,39	6,14	5,6	4,77	1,77

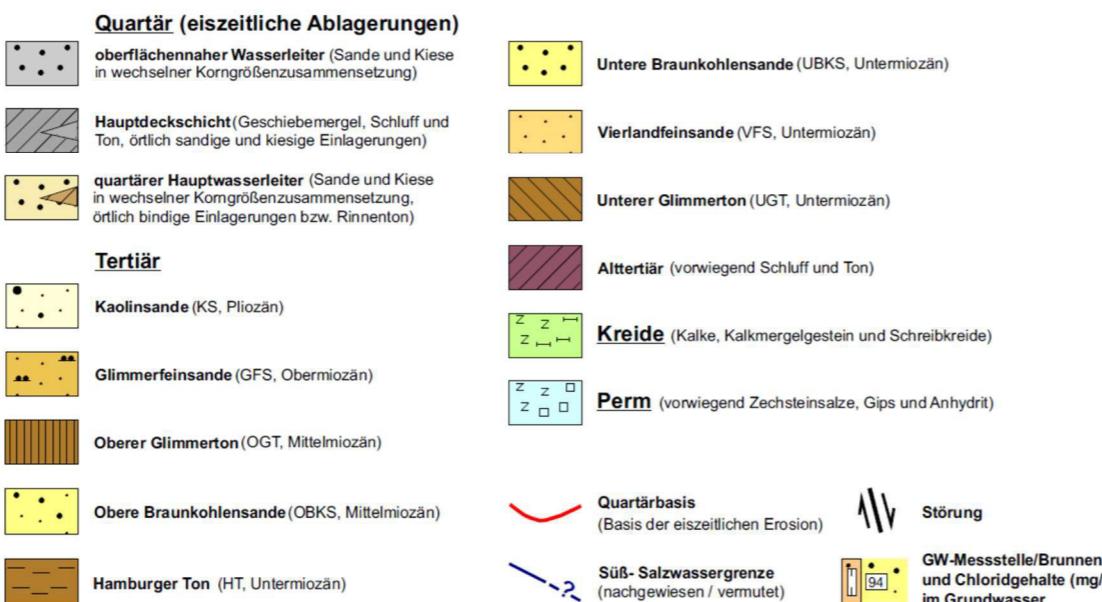
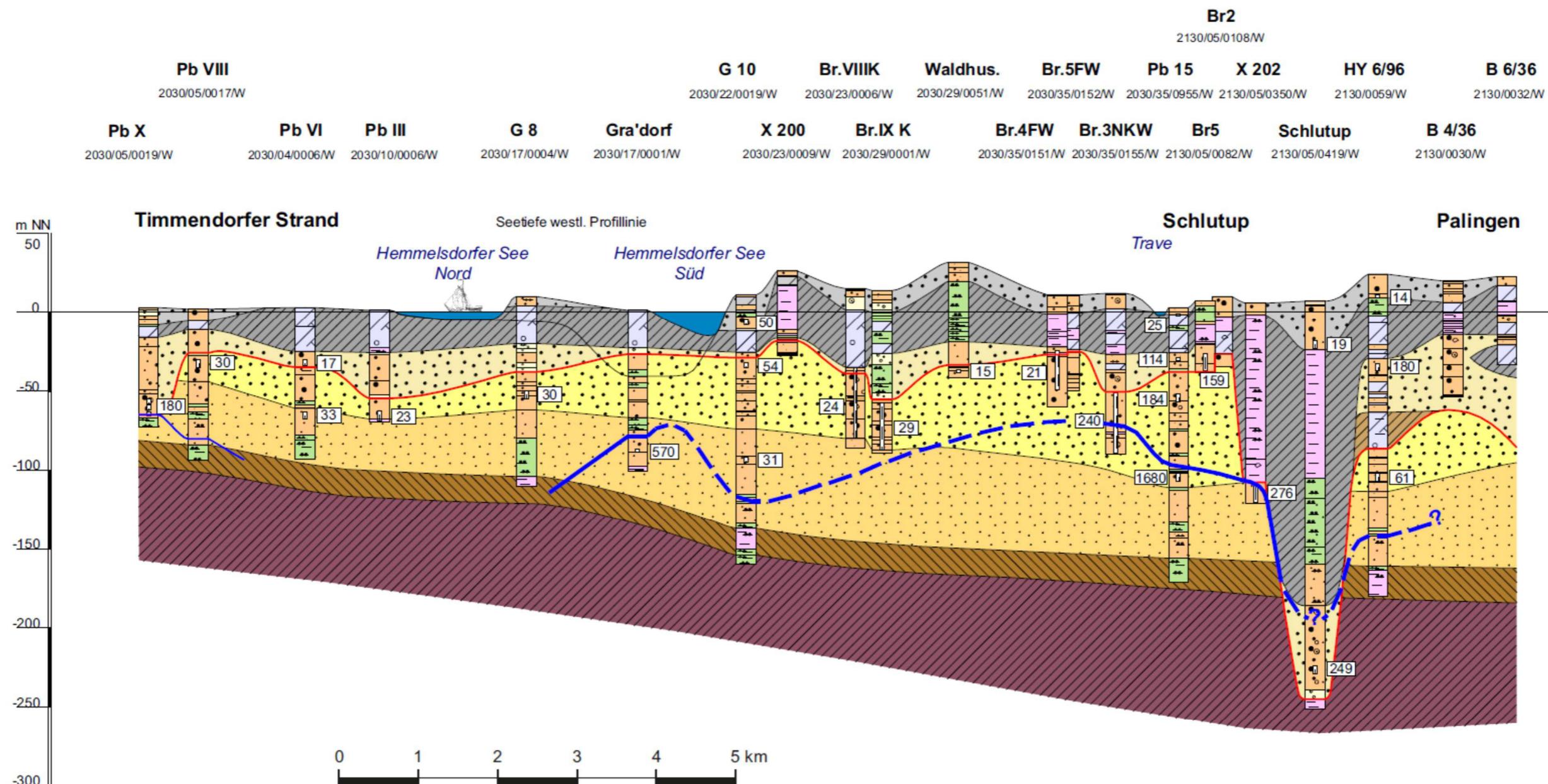
SPITZENLAST KÜHLEN: JAHR 50

minimale Fluid-Mitteltemperatur 1,5 °C zum Ende JAN

maximale Fluid-Mitteltemperatur 4,91 °C zum Ende AUG

N

S



Quelle: Endbericht zum Untersuchungsprogramm zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots im Raum Lübeck / Bad Segeberg; LLUR Schleswig-Holstein, 2014

H.S.W. Ingenieurbüro Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH GEOLOGY ENERGY ENVIRONMENT! Gerhart-Hauptmann-Str. 19 D-18055 Rostock Tel. 0381 2528980 / Fax 0381 25289820 e-mail: info@hsw-rostock.de	Objekt: Machbarkeitsuntersuchung Geothermie Wohngebiet Howingsbrook Lübeck-Travemünde Planinhalt: Geologischer Profilschnitt N - S	Anlage: 2 Projekt-Nr.: 2019/11/511 Maßstab: L 1: 60q
Kartengrundlage: LLUR	Datum: 22.10.2019 gezeichnet:	
Bearbeiter:		