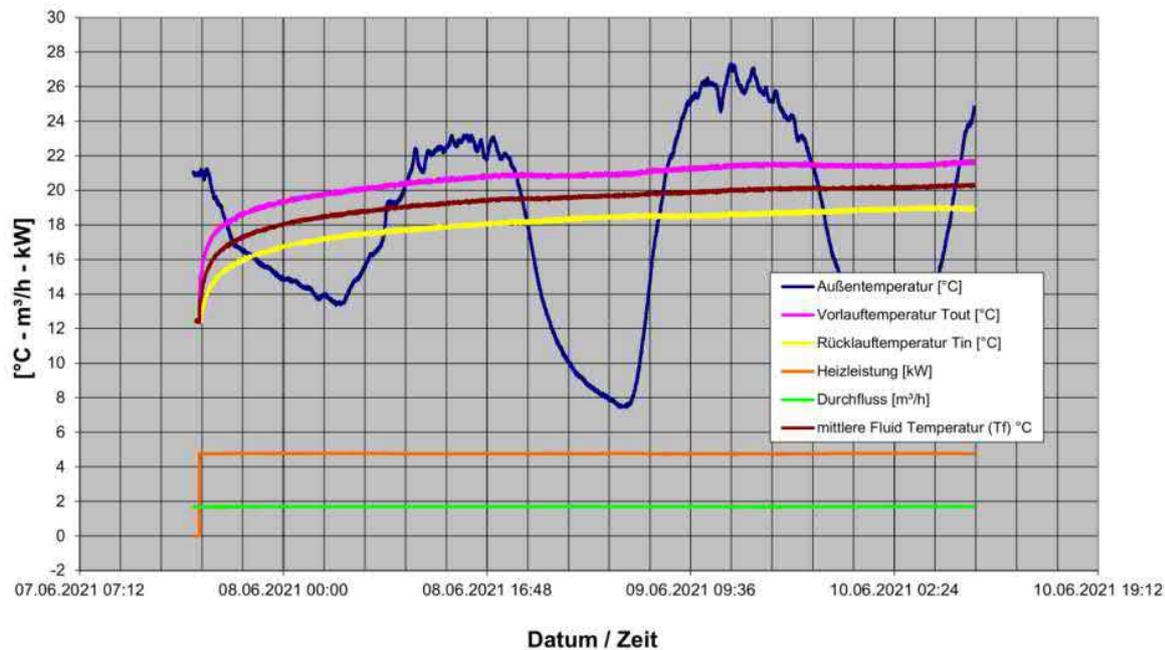


# Bericht

210629

## Geothermal Response Test und Vordimensionierung des Erdwärmesondenfeldes

BV: Urbane Quartiersentwicklung in Reppenstedt



### Auftraggeber

Sven Hansen  
Wasser- und Brunnenbautechnik  
Rosenthaler Weg 20  
21398 Neetze

Osnabrück, 09.07.2021

Rev01



### Auftragnehmerin

Mull und Partner  
Ingenieurgesellschaft mbH  
Neulandstraße 2-4  
D-49084 Osnabrück

### Geschäftsführer:

Dipl.-Geophys. Frank Biegansky  
Dipl.-Geol. Thomas Hartmann  
Dipl.-Ing. Karsten Helms  
Dipl.-Ing. Matthias Wieschemeyer

### Registergericht:

Amtsgericht Hannover  
HRB 59814  
USt-IdNr. DE 115 830 964

### Kontoverbindung:

Sparkasse Hannover  
IBAN: DE 31 2505 0180 0000 7872 80  
BIC: SPKHDE2HXXX



Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17020 akkreditiert.  
Die Akkreditierung gilt für den in der Urkundenanlage  
D-15-20008-01-00 festgelegten Umfang.

210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



## Berichtsdaten

<b>Berichtstitel</b>	Geothermal Response Test und Vordimensionierung des Erdwärmesondenfeldes BV: Urbane Quartiersentwicklung in Reppenstedt
<b>Auftraggeber (AG)</b>	Sven Hansen Wasser- und Brunnenbautechnik Rosenthaler Weg 20 21398 Neetze
<b>Auftragnehmerin (AN)</b>	Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH Neulandstraße 2-4 D-49084 Osnabrück Telefon: +49-541-915327-10 Telefax: +49-541-915327-19 E-Mail: osnabrueck@mup-group.com
<b>Bauvorhaben</b>	BV Urbane Quartiersentwicklung in Reppenstedt bei Lüneburg
<b>Projektnummer AN</b>	210629
<b>Datum der Beauftragung</b>	11.05.2021
<b>Datum des Berichts</b>	09.07.2021
<b>Revisionsnummer</b>	Rev01
<b>Projektleitung</b>	M.Sc. Marvin Proest

Der Bericht (inkl. Anlagen/Anhänge, Pläne usw.) ist urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung (insbesondere Bearbeitung, Ausführung, Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Vorführung, Zurverfügungstellung) der Unterlagen oder Teilen davon ist nur mit ausdrücklicher Zustimmung der Ingenieurgesellschaft zulässig. Sämtliche Unterlagen dürfen daher nur für die bei Auftragserteilung oder durch eine nachfolgende Vereinbarung ausdrücklich festgelegten Zwecke verwendet werden.

Osnabrück, 09.07.2021

Dipl.-Ing. M. Wieschemeyer,  
Geschäftsführer



Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17020 akkreditiert.  
Die Akkreditierung gilt für den in der Urkundenanlage  
D-IS-20008-01-00 festgelegten Umfang.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Anlagenverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>1 Veranlassung und Aufgabenstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Erdwärmesondensystem .....</b>	<b>1</b>
<b>3 Geothermal Response Test .....</b>	<b>1</b>
3.1 Versuchsdurchführung .....	1
3.2 Versuchsauswertung .....	3
<b>4 Messergebnisse – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>4</b>
<b>5 Temperaturtiefenprofil – Pilotsonde 1.....</b>	<b>6</b>
<b>6 Auswertung der Ergebnisse – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>7</b>
<b>7 Messergebnisse – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>9</b>
<b>8 Temperaturtiefenprofil – Pilotsonde 2.....</b>	<b>11</b>
<b>9 Auswertung der Ergebnisse – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>12</b>
<b>10 EED-Simulation zur Vordimensionierung des Erdwärmesondenfeldes .....</b>	<b>14</b>
<b>11 Schlusswort .....</b>	<b>19</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1: Messzeiträume und angelegte Lasten – GRT – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>4</b>
<b>Tabelle 2: Parameter zur Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabelle 3: Messzeiträume und angelegte Lasten – GRT – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>9</b>
<b>Tabelle 4: Parameter zur Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>13</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 1 – kompletter Messzeitraum.....</b>	<b>5</b>
<b>Abbildung 2: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 1 - Anfangsphase .....</b>	<b>5</b>
<b>Abbildung 3: Darstellung der tiefenbezogenen ungestörten Untergrundtemperatur – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>6</b>
<b>Abbildung 4: Zeit-Temperatur Diagramm zur Ermittlung der Geradensteigung k – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>7</b>
<b>Abbildung 5: Darstellung Zeit-Bohrloch Diagramm – Pilotsonde 1 .....</b>	<b>8</b>
<b>Abbildung 6: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 2 – kompletter Messzeitraum.....</b>	<b>10</b>
<b>Abbildung 7: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 2 - Anfangsphase .....</b>	<b>10</b>
<b>Abbildung 8: Darstellung der tiefenbezogenen ungestörten Untergrundtemperatur – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>11</b>
<b>Abbildung 9: Zeit-Temperatur Diagramm zur Ermittlung der Geradensteigung k – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>12</b>
<b>Abbildung 10: Darstellung Zeit-Bohrloch Diagramm – Pilotsonde 2 .....</b>	<b>13</b>
<b>Abbildung 11: Lageplan mit Darstellung der möglichen Positionen der ca. 100 Erdwärmesonden .....</b>	<b>15</b>
<b>Abbildung 12: Fluid-Mitteltemperatur [°C] über die Zeit [Jahre]– Variante 1 (Grund-/Spitzenlast) .....</b>	<b>17</b>
<b>Abbildung 13: Fluid-Mitteltemperatur [°C] über die Zeit [Jahre] – Variante 2 (Grundlast).....</b>	<b>18</b>
<b>Abbildung 14: Fluid-Mitteltemperatur [°C] über die Zeit [Jahre] – Variante 2 (Spitzenlast) .....</b>	<b>18</b>

210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



## Anlagenverzeichnis

- Anlage 1:** Topographische Übersichtskarte M 1:25.000
- Anlage 2:** Bohrprofil der Firma Sven Hansen – Wasser- und Brunnenbautechnik
- Anlage 3:** Ergebnisbericht EED-Simulation
  - Anlage 3.1: Variante 1 – ohne Regeneration
  - Anlage 3.2: Variante 2 – mit Regeneration

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH wurde durch die Fa. Sven Hasen Wasser- und Brunnenbautechnik im Rahmen der geplanten Baumaßnahme BV Reppenstedt – Urbane Quartiersentwicklung im Schnellenberger Weg in Lüneburg Reppenstedt mit der Durchführung eines Geothermal Response Tests (GRT) und die Vordimensionierung des Erdwärmesondenfeldes mittels EED Simulation beauftragt.

Mithilfe von 2 GRTs werden die lokalen geophysikalischen Gesteinseigenschaften im Bereich der geplanten Bohrungen bestimmt, die zusammen mit den Gebäudebedarfsdaten in eine Sondenfeldsimulation einfließen. Zur Dimensionierung des Sondenfeldes wird die sich im Heiz- bzw. Kühlbetriebs einstellende Fluidmitteltemperatur im Erdwärmesondenkreislauf modelliert, um eine nachhaltige Gebäudeklimatisierung der geplanten Bauwerke sicherzustellen.

## 2 Erdwärmesondensystem

Zur Durchführung der GRT Messungen sind in dem Zeitraum vom 02.06.2021 bis zum 10.06.2021 im Bereich der potentiell für die Geothermie zur Verfügung stehenden Fläche zwei Probesonden in einem Abstand von ca. 150 m niedergebracht worden.

Die im Spülbohrverfahren hergestellten Bohrungen wurden gemäß der Dokumentation des Auftraggebers auf 170 m (Sonde 1) bzw. 176 m (Sonde 2) Tiefe abgesetzt (Anlage 2). Der Bohrdurchmesser betrug 200 mm (Sonde 1) bzw. 180 mm (Sonde 2). Der Ausbau der Bohrungen erfolgte mit werkstoffgefertigten PE 100-RC Doppel-U-Erdwärmesonden bei einem Einzelrohrdurchmesser von 40 x 3,7 mm (Außendurchmesser x Wandstärke).

Zur Verfüllung des Bohrlochringraumes wurde das thermisch verbesserte Produkt „ThermoCem Plus“ des Herstellers HeidelbergCement AG verwendet.

## 3 Geothermal Response Test

### 3.1 Versuchsdurchführung

Für die Planung und Leistungsberechnung, insbesondere von mittleren bis großen Anlagen zur Nutzung der oberflächennahen Geothermie, sind möglichst exakte Kenntnisse über die thermophysikalischen Eigenschaften des Untergrundes erforderlich. Im Allgemeinen kann nach Durchführung eines GRT auf Sicherheitszuschläge der konventionellen Bemessung nach Literaturwerten

verzichtet werden. Zudem ermöglicht der Geothermal Response Test eine Absicherung der in der Vorplanung angesetzten Rechenwerte. Ein GRT dient der Ermittlung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, des thermischen Bohrlochwiderstand und der mittleren Untergrundtemperatur. Die ermittelten Kenngrößen dienen im weiteren Verlauf als Eingangsparameter für die Dimensionierung eines Erdwärmesondenfeldes mittels Berechnungsprogrammen, wie Earth Energy Designer.

Die Versuchsdurchführung eines GRT kann wie folgt beschrieben werden. An eine im Vorfeld erstellte Piloterdwärmesonde wird eine definierte Wärmelast (Heizen oder Kühlen) angelegt. Die Temperaturentwicklung des in der Erdwärmesonde zirkulierenden Wärmeträgermediums (Wasser) wird bei Sondenein- und Sondenaustritt über die Zeit aufgezeichnet. Aus der Temperatur- / Zeitkurve lässt sich die Wärmeleitfähigkeit bestimmen. An dieser Stelle sei erwähnt, dass in die Berechnung Anteile eines evtl. vorhandenen konvektiven Wärmetransports sowie andere Störsignale einfließen können, sodass es sich hierbei um eine scheinbare Wärmeleitfähigkeit handelt.

Ausschlaggebend für die Genauigkeit der Messergebnisse ist u.A. die Dauer der Versuchsdurchführung. Die Messkurve sollte sich hierbei asymptotisch bei einem gleichbleibenden Endwert einschwingen. Der zu messende Temperaturverlauf wird in den ersten Stunden des Versuchs noch wesentlich durch die Bohrlochverfüllung bestimmt. Eine Reduzierung von Störungen kann durch längere Messzeiten und eine ausreichende Wartezeit nach Erstellung der Pilotsonde erreicht werden. Hierbei sollten die entsprechenden Richtlinien (VDI4640) sowie die Herstellerangaben des Verfüllmaterials zum Abklingverhalten der Hydratationswärme berücksichtigt werden.

Bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit ist unabhängig von der Durchführung des Aufheizens oder Abkühlens theoretisch mit den gleichen Werten zu rechnen. Die Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen nimmt zwar mit steigender Temperatur ab, der Betrag liegt hier allerdings im Bereich von etwa 0,05 W/mK pro 10 K Temperaturänderung und ist daher als wenig ausschlaggebend zu bewerten. Die Fluidmitteltemperaturen in den Erdwärmesonden liegen im Betrieb bei ungefähr 0°C. Mit steigender Entfernung zur Sonde steigt die Temperatur auf die umliegende Untergrundtemperatur an. Eine Temperaturerhöhung auf z.B. 25°C hätte entsprechend einen Messfehler von ungefähr 0,1 W/mK zufolge, bezogen auf eine Messung mit Temperaturerniedrigung.

Folgende Rahmenbedingungen sollten bei der Versuchsdurchführung eines GRTs beachtet werden. Wie bereits erwähnt, ist eine ausreichend lange Versuchsdauer bis zum asymptotischen Einschwingen der Temperaturkurve gegen einen Endwert anzustreben. Die Maximaldauer kann mit

72 Stunden angenommen werden. Darüber hinaus sollte die Temperaturänderung gegenüber der Anfangstemperatur mindestens 10 K betragen. Weiterhin ist eine turbulente Strömung innerhalb der Erdwärmesonden anzustreben.

### 3.2 Versuchsauswertung

Für die Auswertung eines Geothermal Response Tests kommt in der Regel die Kelvin'sche Linienquellentheorie zur Anwendung. Die Temperatur  $T$  im Abstand  $r$  um eine Linienquelle konstanter Heizleistung  $P$  in einem unendlichen, homogenen und isotropen Medium mit der effektiven Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{eff}$  und der Temperaturleitfähigkeit  $a$  ergibt sich zu:

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

$T_0$  = Temperatur des ungestörten Untergrundes [°C]

$P$  = zugeführte Wärmeleistung pro Meter Sondenlänge [W/m]

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes [W/(m\*K)]

$t$  = Zeit [s]

$a$  = Temperaturleitfähigkeit des Untergrundes ( $a=l/cp$ ) [m<sup>2</sup>/s]

$r$  = Abstand von der Sonde [m]

$\gamma$  = Euler'sche Zahl

Die zeitliche Entwicklung der mittleren Fluid-Temperatur ist demnach linear zu  $\ln(t)$ , mit einer Steigung  $k$ . Daraus folgt folgender Zusammenhang, der eine Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes  $\lambda_{eff}$  ermöglicht:

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

Die Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes erfolgt entsprechend der oben gezeigten Gleichung. Der allgemeine Abstand  $r$  wird durch den Bohrlochradius  $r_0$  ersetzt:

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

$T_f$  = Mittlere Fluid-Temperatur [°C]

$R_b$  = thermischer Bohrlochwiderstand [(m K) / W]

$r_0$  = Bohrlochradius [m]

$H$  = Länge Erdwärmesonde [m]

## 4 Messergebnisse – Pilotsonde 1

Der 1. GRT in der Pilotsonde 1 wurde vom 07.06.2021 bis zum 10.06.2021 von M&O durchgeführt. Wie in Tabelle 1 dargestellt wurde zu Beginn der Versuchsdurchführung für 30 Minuten ein Sondendurchfluss ohne angelegte Heizlast gefahren, um die ungestörte Untergrundtemperatur ermitteln zu können. Im weiteren Verlauf wurden die Außen-, Vorlauf- ( $T_{out}$ ) und Rücklauf- ( $T_{in}$ ) sowie die Heizleistung und der Durchfluss gemessen.

Tabelle 1: Messzeiträume und angelegte Lasten – GRT – Pilotsonde 1

Messintervalle [Datum/Uhrzeit]		Heizlast [kW]	Sondendurchfluss [m³/h]
von	bis		
07.06.2021 / 16:35	07.06.2021 / 17:05	0	∅ 1,69
07.06.2021 / 17:05	10.06.2021 / 08:59	∅ 4,77	∅ 1,69

Die oben genannten gemessenen Parameter sind in Abbildung 1 dargestellt. In Abbildung 2 ist zusätzlich die Anfangsphase des GRTs gezeigt. Dargestellt ist der Temperaturverlauf der Vorlauf-  $T_{in}$  und Rücklauf-  $T_{out}$  mit der ungestörten Untergrundtemperatur in der Vorlaufphase ohne Heizen und während der Anfangsheizphase von  $t_{0min}$  bis  $t_{60min}$  [in °C].

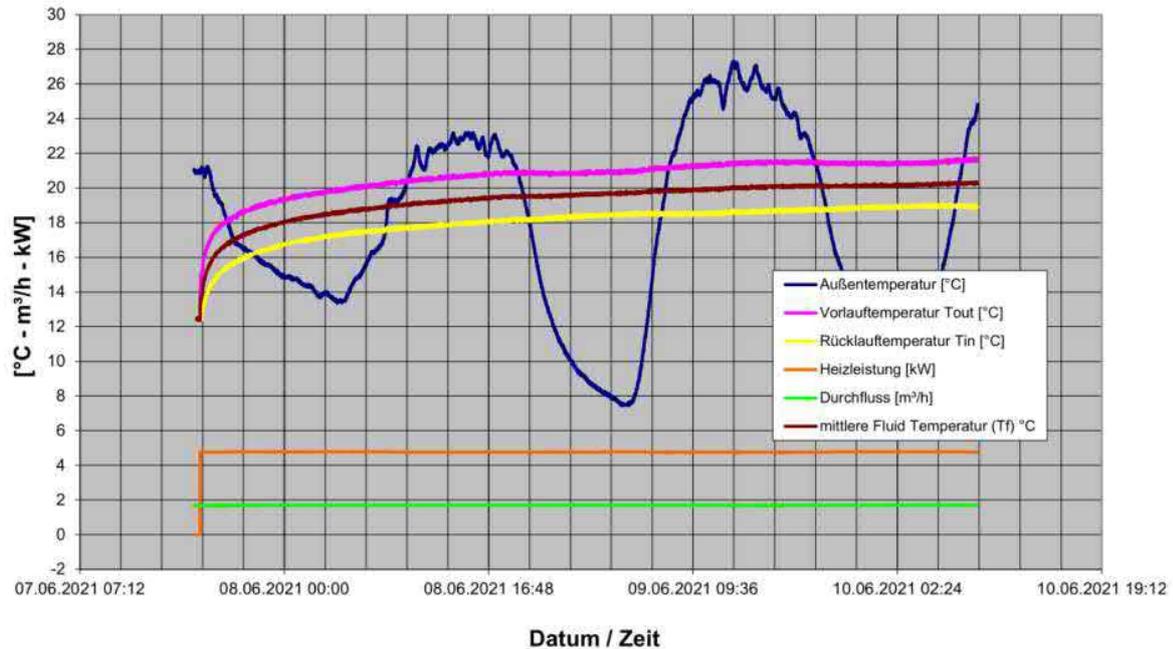


Abbildung 1: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 1 – kompletter Messzeitraum

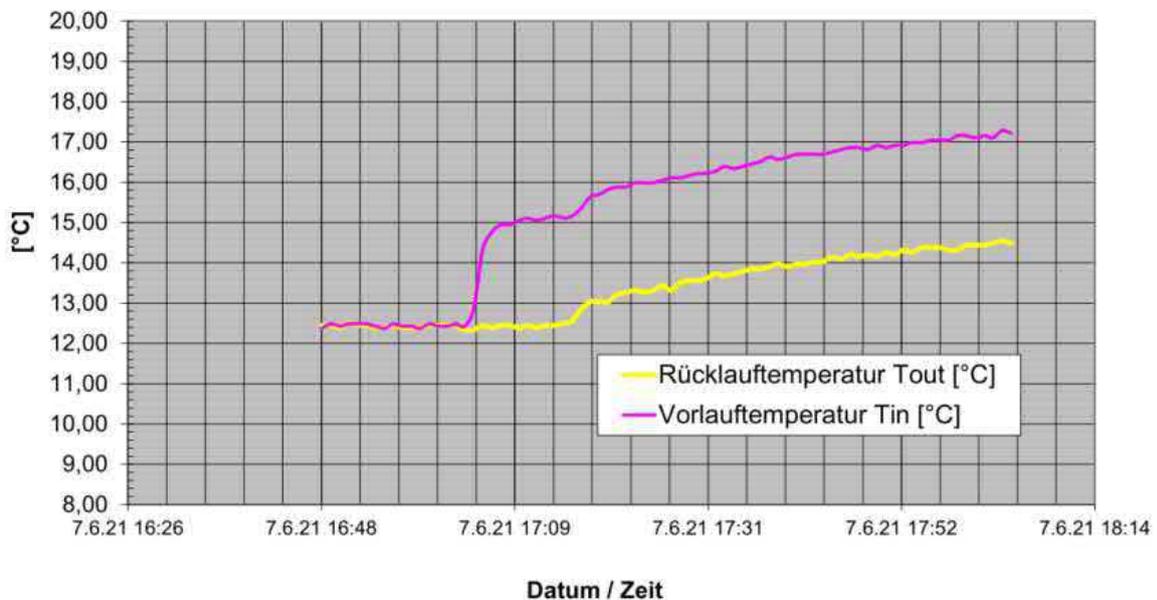
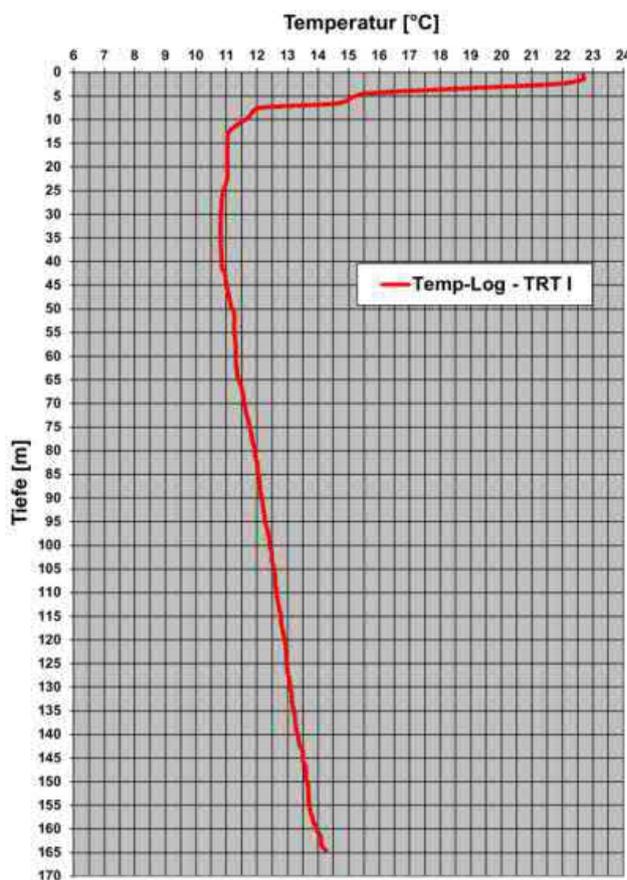


Abbildung 2: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 1 - Anfangsphase

## 5 Temperaturtiefenprofil – Pilotsonde 1

Dem GRT vorgeschaltet wurde die Messung eines Temperaturprofils in der Piloterdschleuse. Die Messung erfolgt hierbei in 1-2 m Schritten mithilfe eines Datenloggers, der sowohl die Temperatur als auch die Druckverhältnisse innerhalb der Erdwärmesonde bestimmen kann. Die Bestimmung des Drucks innerhalb der Sonde erfolgt über einen Micro-Diver (Fa. Schlumberger). Die Bestimmung des Drucks an der Erdoberfläche erfolgt über einen Baro-Diver (Fa. Schlumberger). Die Differenz der Druckmessung dient der Ermittlung der Tiefe des eingehängten Datenloggers. Damit ist eine tiefenbezogene Temperaturmessung möglich. Das Ergebnis des Temperatur-Logs ist in Abbildung 3 dargestellt.



Der unbeeinflusste geothermische Temperaturgradient beginnt ab einer Tiefe von rd. 40 m unter GOK und liegt bei einem Wert von rd.  $2,74^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Dieser Wert kann als annähernd normal eingestuft werden.

(Normal-Richtwert:  $3,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )

Abbildung 3: Darstellung der tiefenbezogenen ungestörten Untergrundtemperatur – Pilotsonde 1

## 6 Auswertung der Ergebnisse – Pilotsonde 1

Zur Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit ist die Ermittlung der Geradensteigung  $k$  notwendig. Hierfür ist die mittlere Fluidtemperatur  $T_f$  gegen den Logarithmus der Zeit aufzutragen. Die ermittelte Geradensteigung beträgt  $k = 1,01$  [-]. Das entsprechende Diagramm ist in Abbildung 4 dargestellt. Die berechnete effektive Wärmeleitfähigkeit beträgt  $\lambda_{eff} = \sim 2,2$  [W/mK].

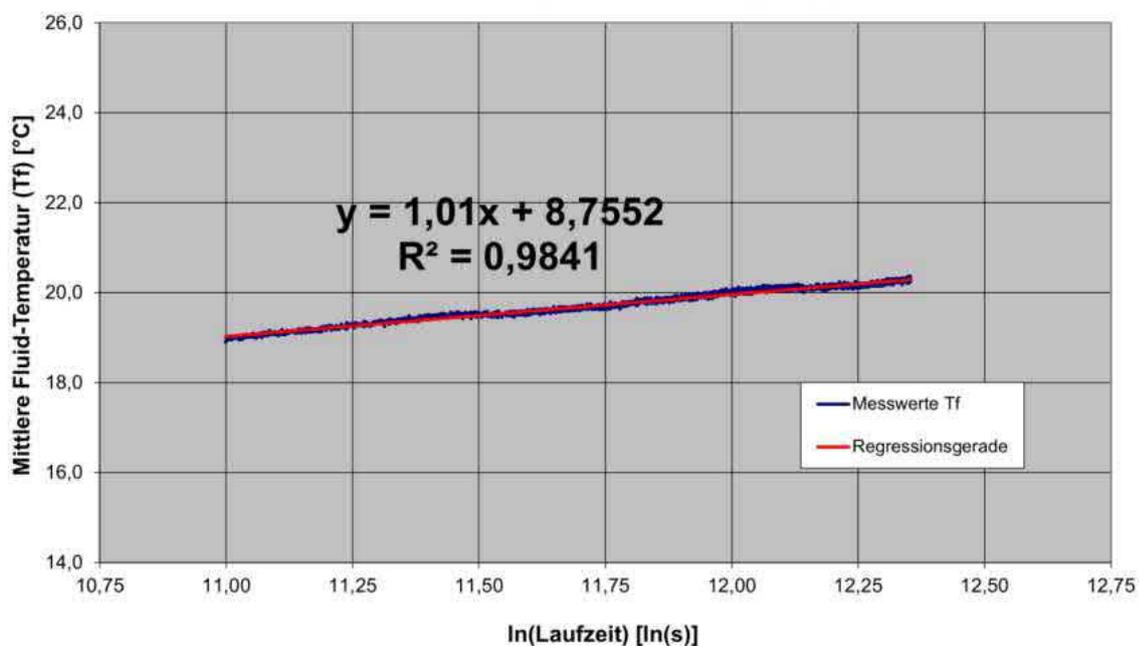


Abbildung 4: Zeit-Temperatur Diagramm zur Ermittlung der Geradensteigung  $k$  – Pilotsonde 1

Die effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,2 W/mK kann mithilfe der in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 hinterlegten Werte einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Für einen wassergesättigten Sand/Kies kann eine effektive Wärmeleitfähigkeit von 1,6 – 3,0 W/m\*K, für einen Geschiebemergel/-lehm ungefähr 1,1 – 2,9 W/m\*K und für einen wassergesättigten Ton/Schluff in etwa 1,1 – 3,1 W/m\*K angenommen werden.

Die auf Grundlage der GRT-Ergebnisse ermittelte effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,2 W/mK korreliert in der gewichteten Gesamtbetrachtung mit den in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 gemachten Angaben.

Der Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes liegen u.A. die in Tabelle 2 hinterlegten Sondenanlagen- und Gesteinsparameter zugrunde:

Tabelle 2: Parameter zur Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes – Pilotsonde 1

Effektive Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Ungestörte Untergrundtemperatur [°C]	Spez. Wärmekapazität Wasser [kJ/(kgK)]	Temperaturleitfähigkeit [m <sup>2</sup> /s]	Vol. spez. Wärmekapazität Gestein [MJ/(m <sup>3</sup> K)]
~2,20	12,39	4,18	5·10 <sup>-7</sup>	2,34 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>gewichtetes Mittel entsprechend Schichtenverzeichnis und nach Vorgaben der VDI 4640-1

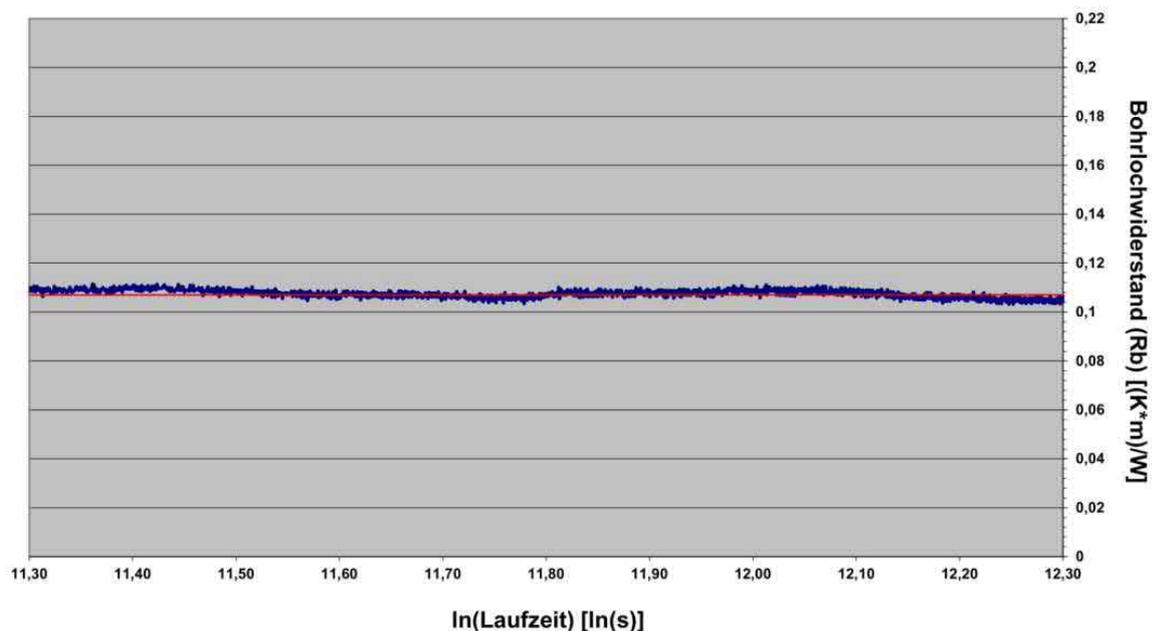


Abbildung 5: Darstellung Zeit-Bohrloch Diagramm – Pilotsonde 1

Für die Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes wurde die in Kapitel 3.2 gezeigte Gleichung 3 herangezogen. Bei dem ermittelten Wert handelt es sich um einen Mittelwert, der während der stationären Betriebsphase des 3. Messtages vom 09.06.2021 08:59 Uhr bis zum 10.06.2021 08:59 Uhr erhoben wurde (siehe Abbildung 5). Der mittlere Bohrlochwiderstand be-

trägt  $R_{b(\text{mittel})} = 0,107$  [Km/W)]. Mit Blick auf die durchgeführte Ausbauart und die turbulenten Strömungsverhältnisse kann der ermittelte Bohrlochwiderstand als normal eingestuft werden.

## 7 Messergebnisse – Pilotsonde 2

Der 2. GRT in der Pilotsonde 2 wurde vom 21.06.2021 bis zum 25.06.2021 durch M&O ausgeführt. Wie in Tabelle 3 dargestellt wurde zu Beginn der Versuchsdurchführung für 30 Minuten ein Sondendurchfluss ohne angelegte Heizlast gefahren, um die ungestörte Untergrundtemperatur ermitteln zu können. Im weiteren Verlauf wurden die Außen-, Vorlauf- ( $T_{\text{out}}$ ) und Rücklauf- ( $T_{\text{in}}$ ) sowie die Heizleistung und der Durchfluss gemessen.

Tabelle 3: Messzeiträume und angelegte Lasten – GRT – Pilotsonde 2

Messintervalle [Datum/Uhrzeit]		Heizlast [kW]	Sondendurchfluss [m <sup>3</sup> /h]
von	bis		
21.06.2021 / 17:05	21.06.2021 / 17:35	0	Ø 2,33
21.06.2021 / 17:35	25.06.2021 / 08:56	Ø 4,78	Ø 2,30

Die oben genannten gemessenen Parameter sind in Abbildung 6 dargestellt. In Abbildung 7 ist zusätzlich die Anfangsphase des GRTs gezeigt. Dargestellt ist der Temperaturverlauf der Vorlauf-  $T_{\text{in}}$  und Rücklauf-  $T_{\text{out}}$  mit der ungestörten Untergrundtemperatur in der Vorlaufphase ohne Heizen und während der Anfangsheizphase von  $t_{0\text{min}}$  bis  $t_{60\text{min}}$  [in °C].

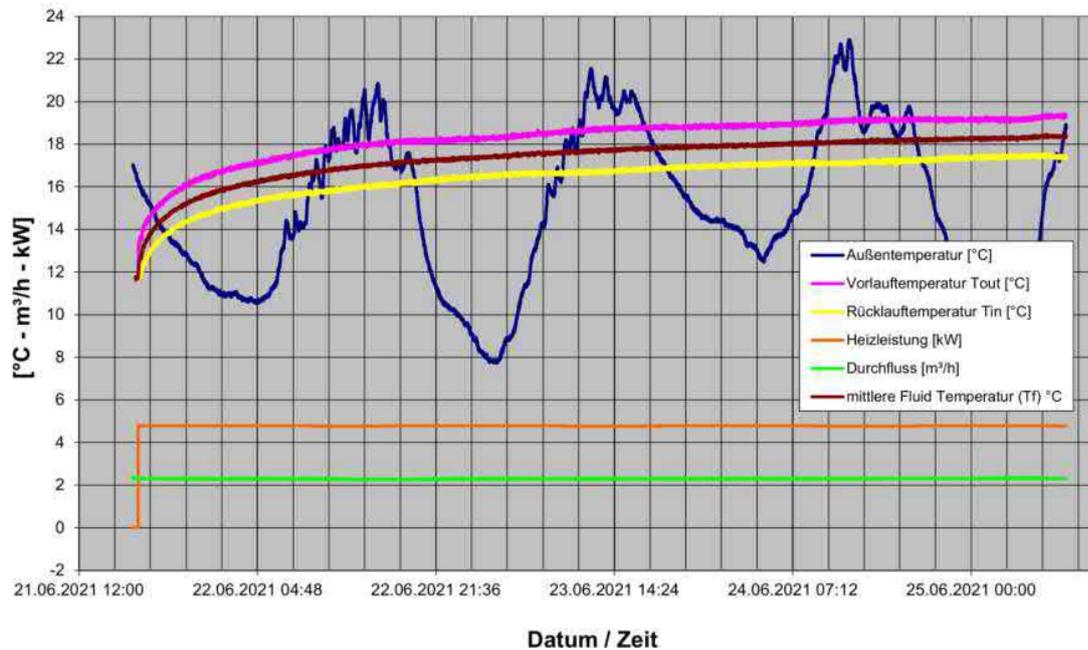


Abbildung 6: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 2 – kompletter Messzeitraum

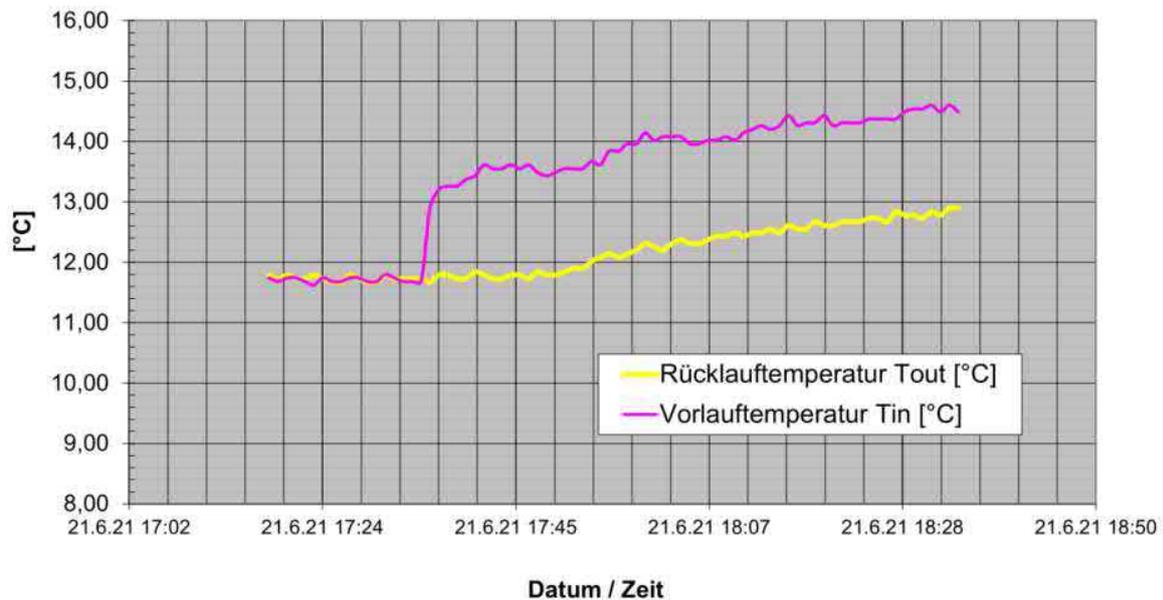
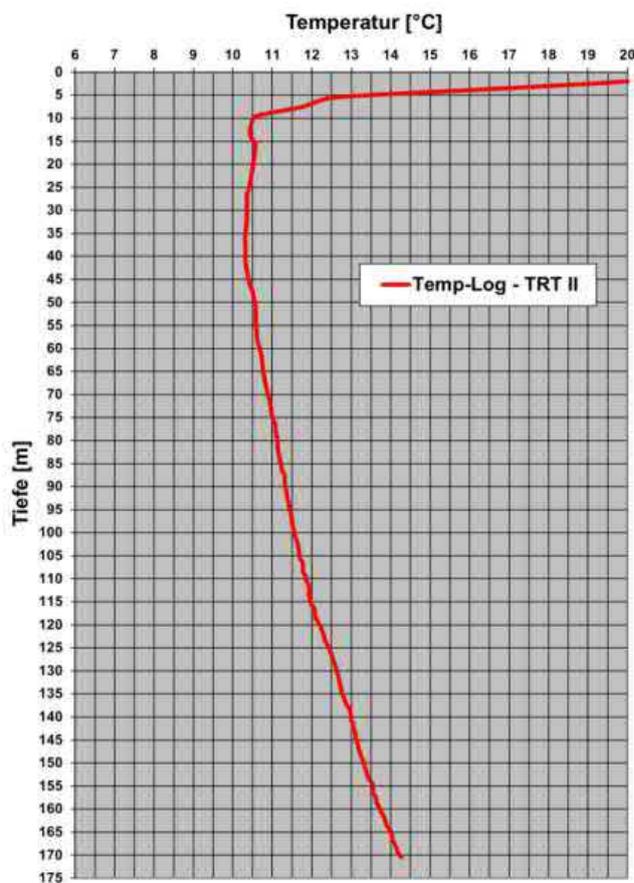


Abbildung 7: Gemessene Parameter – GRT – Pilotsonde 2 - Anfangsphase

## 8 Temperaturtiefenprofil – Pilotsonde 2

Dem GRT vorgeschaltet ist die Messung eines Temperaturprofils in der Piloterdwärmesonde. Die Messung erfolgt hierbei in 1-2 m Schritten mithilfe eines Datenloggers, der sowohl die Temperatur als auch die Druckverhältnisse innerhalb der Erdwärmesonde bestimmen kann. Die Bestimmung des Drucks innerhalb der Sonde erfolgt über einen Micro-Diver (Fa. Schlumberger). Die Bestimmung des Drucks an der Erdoberfläche erfolgt über einen Baro-Diver (Fa. Schlumberger). Die Differenz der Druckmessung dient der Ermittlung der Tiefe des eingehängten Datenloggers. Eine tiefenbezogene Temperaturmessung ist somit möglich. Das Ergebnis des Temperatur-Logs ist in Abbildung 8 dargestellt.



Der unbeeinflusste geothermische Temperaturgradient beginnt ab einer Tiefe von rd. 40 m unter GOK und liegt bei einem Wert von rd.  $3,05^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ . Dieser Wert kann als annähernd normal eingestuft werden.

(Normal-Richtwert:  $3,0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )

Abbildung 8: Darstellung der tiefenbezogenen ungestörten Untergrundtemperatur – Pilotsonde 2

## 9 Auswertung der Ergebnisse – Pilotsonde 2

Zur Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit ist die Ermittlung der Geradensteigung  $k$  notwendig. Hierfür ist die mittlere Fluidtemperatur  $T_f$  gegen den Logarithmus der Zeit aufzutragen. Die ermittelte Geradensteigung beträgt  $k = 1,03 [-]$ . Das entsprechende Diagramm ist in Abbildung 9 dargestellt. Die berechnete effektive Wärmeleitfähigkeit beträgt  $\lambda_{eff} = \sim 2,1 [W/mK]$ .

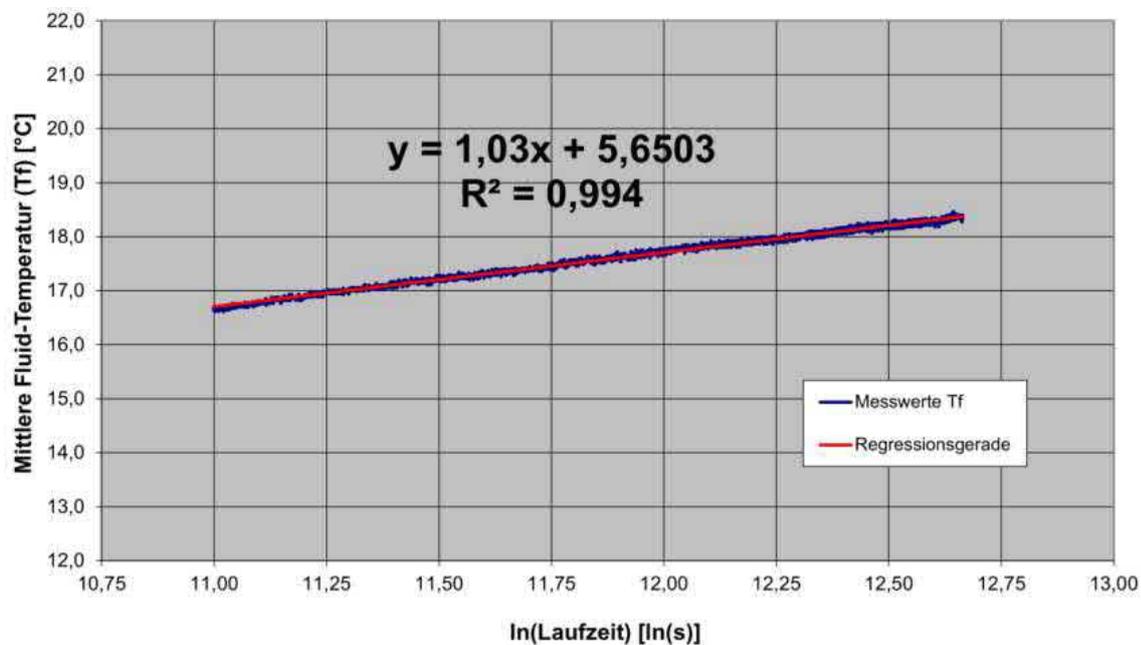


Abbildung 9: Zeit-Temperatur Diagramm zur Ermittlung der Geradensteigung  $k$  – Pilotsonde 2

Die effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,1 W/mK kann mithilfe der in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 hinterlegten Werte einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Für einen wassergesättigten Sand/Kies kann eine effektive Wärmeleitfähigkeit von 1,6 – 3,0 W/m\*K, für einen Geschiebemergel/-lehm ungefähr 1,1 – 2,9 W/m\*K und für einen wassergesättigten Ton/Schluff in etwa 1,1 – 3,1 W/m\*K angenommen werden.

Die auf Grundlage der GRT-Ergebnisse ermittelte effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,1 W/mK korreliert in der gewichteten Gesamtbetrachtung mit den in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 gemachten Angaben.

Der Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes liegen u.A. die in Tabelle 4 hinterlegten Sondenanlagen- und Gesteinsparameter zugrunde:

Tabelle 4: Parameter zur Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstandes – Pilotsonde 2

Effektive Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Ungestörte Untergrundtemperatur [°C]	Spez. Wärmekapazität Wasser [kJ/(kgK)]	Temperaturleitfähigkeit [m <sup>2</sup> /s]	Vol. spez. Wärmekapazität Gestein [MJ/(m <sup>3</sup> K)]
~2,1	11,71	4,18	5·10 <sup>-7</sup>	2,38 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>gewichtetes Mittel entsprechend Schichtenverzeichnis und nach Vorgaben der VDI 4640-1

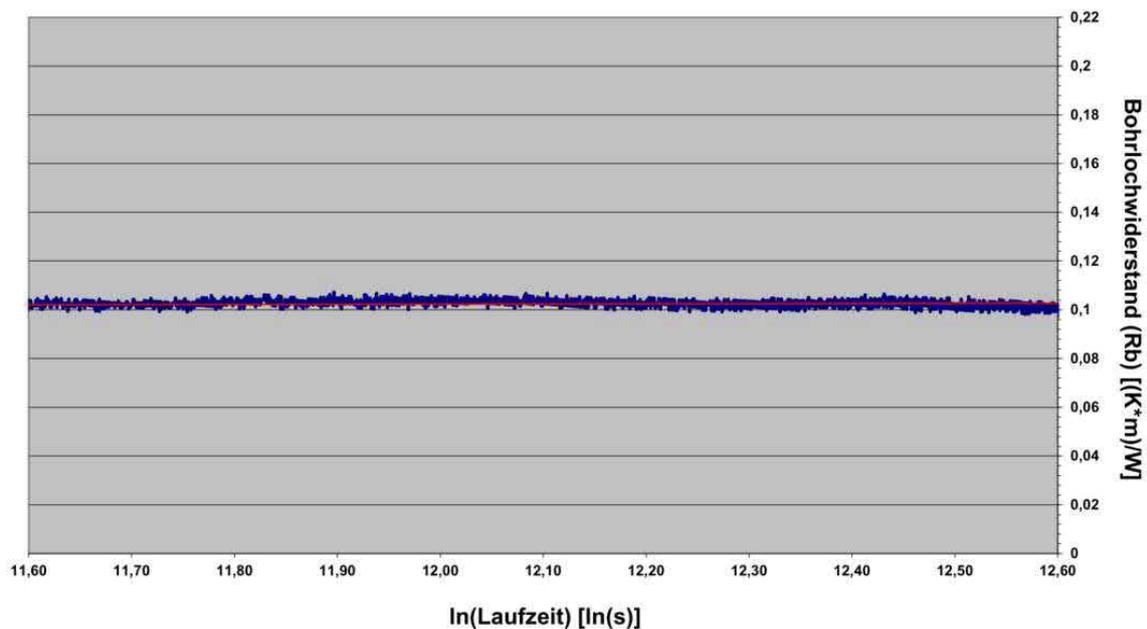


Abbildung 10: Darstellung Zeit-Bohrloch Diagramm – Pilotsonde 2

Für die Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes wurde die in Kapitel 3.2 gezeigt Gleichung 3 herangezogen. Bei dem ermittelten Wert handelt es sich um einen Mittelwert, der während der stationären Betriebsphase des 3. Messtages vom 24.06.2021 08:56 Uhr bis zum 25.06.2021 08:56 Uhr erhoben wurde (siehe Abbildung 10). Der mittlere Bohrlochwiderstand beträgt  $R_{b(\text{mittel})} = 0,102$  [Km/W]. Mit Blick auf die durchgeführte Ausbauart und die turbulenten Strömungsverhältnisse kann der ermittelte Bohrlochwiderstand als normal eingestuft werden.

## 10 EED-Simulation zur Vordimensionierung des Erdwärmesondenfeldes

Die Auslegung des Erdwärmesondenfeldes erfolgt gemäß Aufgabenstellung des AG zur Gebäudeklimatisierung eines urbanen Quartiers u.A. mit mehreren Ein- und Mehrfamilienhäusern. Die Entscheidung darüber, ob eine aktive Regeneration des Sondenfeldes angestrebt werden soll, ist in der jetzigen Projektphase noch nicht getroffen worden. Daher wurde in einer ersten Sondenfeldsimulation von einem reinen Wärmeentzug ausgegangen. In einer weiteren Variantenberechnung wurde eine aktive Regeneration (Wärmeeintrag) berücksichtigt. Die Auslegungsberechnung erfolgt mit dem Fachprogramm Earth Energy Designer (EED).

Das Berechnungsprogramm Earth Energy Designer (EED) dient der Dimensionierung von Erdwärmesondenfeldern. Die aus dem GRT ermittelten Werte für die effektive Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und die mittlere Gesteinstemperatur werden neben den gebäudetechnischen Bedarfsdaten als Eingangsparameter für die EED-Berechnung verwendet. An dieser Stelle sei erwähnt, dass aufgrund der frühen Planungsphase zum Zeitpunkt dieser Potentialstudie nach Aussage des AG noch keine Angaben zu gebäudetechnischen Bedarfsdaten gemacht werden konnten. Seitens des Verfassers wurden daher entsprechende Annahmen getroffen, die im weiteren Verlauf mit dem AG/Planer konkretisiert werden sollten. Das Ergebnis dieser Potentialstudie dient somit lediglich einer Erstabschätzung der maximal möglichen geothermischen Nutzbarkeit des Untergrundes unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Fläche.

In einem ersten Schritt wurde auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Fläche und einem Mindestabstand von 10 m zwischen den Erdwärmesonden die maximale Anzahl an möglichen Erdwärmesonden ermittelt. Nach Aussage des AG kann eine im südlichen Bereich des Baugebietes ausgewiesene Fläche für eine geothermische Nutzung verwendet werden. Es lassen sich überschlägig wie in Abbildung 11 dargestellt maximal ca. 100 Erdwärmesonden platzieren. Aufgrund der Erfahrung der Pilotbohrungstiefe (Rückfall Bohrgut) wurde eine Tiefe von 170 m angenommen.

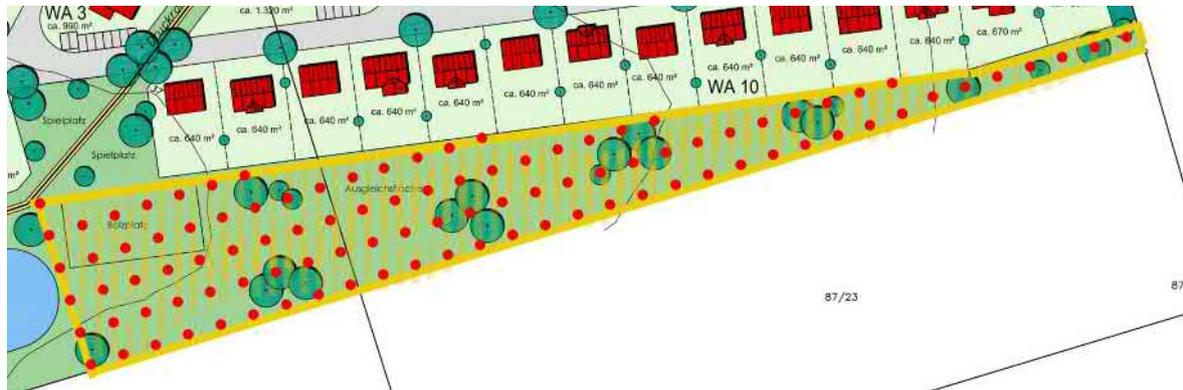


Abbildung 11: Lageplan mit Darstellung der möglichen Positionen der ca. 100 Erdwärmesonden

In der Simulationssoftware Earth Energy Designer (EED) wurden anschließend erste Variantenberechnungen durchgeführt. Nachfolgend zusammengefasste Eingangsparameter gehen in die EED-Berechnung mit ein.

#### Untergrundeigenschaften

Wärmeleitfähigkeit:	2,1 W/mK gemäß GRT-Auswertung
Spez. Wärmekapazität (vol.):	2,34 MJ/m <sup>3</sup> K gemäß GRT-Auswertung
Mittlere Temperatur an der Erdoberfläche:	9,54 °C gemäß GRT-Auswertung
Geothermischer Wärmefluss	0,06 W/m <sup>2</sup> (EED-Datenbank)

Der EED-Simulation liegen mit einer Wärmeleitfähigkeit von 2,1 W/mK und einer spez. Wärmekapazität von 2,34 MJ/m<sup>3</sup>K die geringeren Werte zugrunde, die mittels GRT bestimmt wurden. Die monatliche Verteilung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs ist in Anlage 3 ersichtlich und wurde aus vergleichbaren Projekten übernommen. Die Jahresarbeitszahl wurde aufgrund fehlender Angaben des AGs/TGA-Planers nach Erfahrungen vergleichbarer Projekte mit 4,5 angenommen. Bei dem Wärmeträgerfluid wurde ein Glykolgemisch (25%) verwendet. Das Umwälzvolumen pro Bohrung liegt bei 0,50 l/s, um einen turbulenten Durchfluss zu erreichen.

Die bereits genannten Eingabeparameter sowie weitere zur Berechnung der Dimensionierung des Erdwärmesondenfeldes benötigten Daten können dem Ergebnisbericht der EED-Berechnung in Anlage 3 entnommen werden.

In einer ersten EED-Simulation (**Variante 1**) wurde ermittelt, wie viel Wärmeenergie aus dem Erdreich **ohne aktive Regeneration** bei voller Ausnutzung der verfügbaren Fläche gewonnen werden kann, ohne die genehmigungsrechtlichen Grenz-Fluidmitteltemperaturen zu über- oder unterschreiten. Im Ergebnis zeigt sich, dass überschlägig eine Jahresheizarbeit von 690 MWh /a über die Geothermie abgedeckt werden kann.

In einer zweiten EED-Simulation (**Variante 2**) wurde ermittelt, wie viel Wärmeenergie **mit aktiver Regeneration** (Wärmeeintrag) zur Gebäudeklimatisierung über die Geothermie zur Verfügung gestellt werden kann. Im Ergebnis zeigt sich, dass mit ca. 1.440 MWh/a ungefähr die 2-fache Energiemenge im Vergleich zur Variante 1 ohne aktive Regeneration gewonnen werden kann. Der Wärmeeintrag liegt hier bei ca. 870 MWh/a. Sollte die genannte Kältemenge bei der angestrebten Wohnnutzung nicht erreicht werden können, so wird eine Ergänzung durch andere Quellen, wie z.B. Solarabsorber zum Wärmeeintrag notwendig werden.

In dem beschriebenen Sondenfeld der **Variante 1** bewegt sich die mittlere Fluidmitteltemperatur in einem Betriebszeitraum von 25 Jahren gemäß Simulationsberechnung im Grundlastbetrieb (schwarz) zwischen minimal 2,92 °C und maximal 12,00 °C und im Spitzenlastbetrieb Heizen (rot) zwischen minimal 1,52 °C und 12,00 °C (siehe Abbildung 12 bzw. siehe Anlage 3.1).

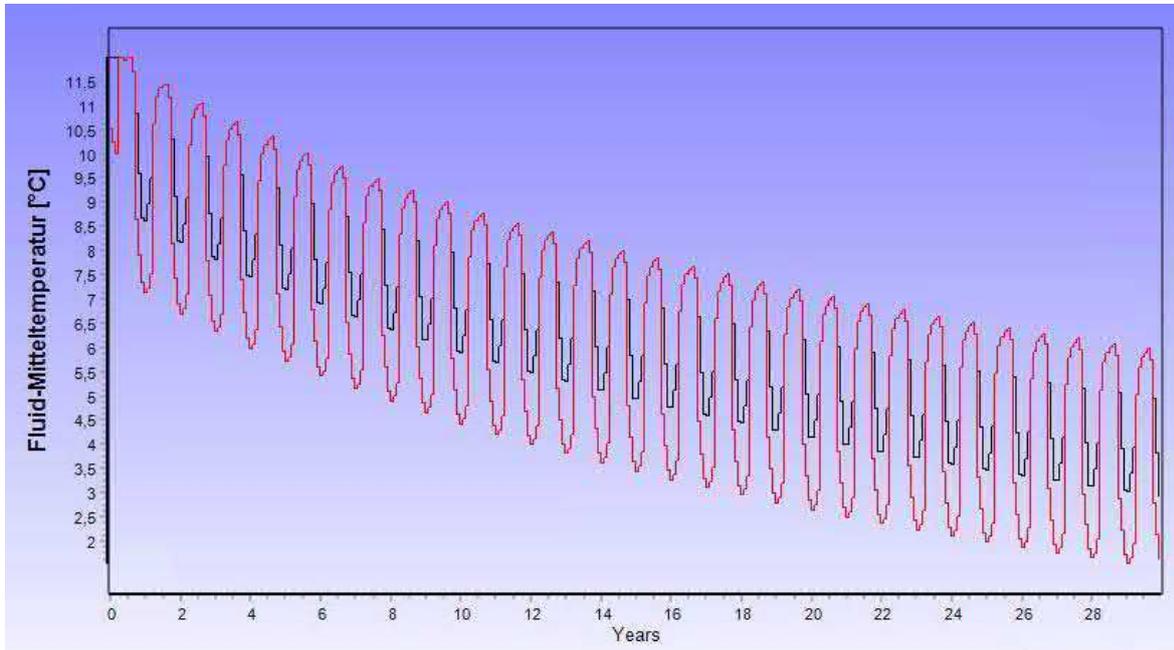


Abbildung 12: Fluid-Mitteltemperatur [°C] über die Zeit [Jahre]– Variante 1 (Grund-/Spitzenlast)

In **Variante 2** bewegt sich die mittlere Fluidmitteltemperatur in einem Betriebszeitraum von 25 Jahren im Grundlastbetrieb (schwarz) zwischen minimal 3,09 °C und maximal 20,00 °C (siehe Abbildung 13). Im Spitzenlastbetrieb Heizen (rot) liegen die Temperaturen zwischen minimal 1,57 °C und 20,00 °C und im Spitzenlastbetrieb Kühlen (blau) zwischen minimal 3,09 °C und maximal 20,6 °C (siehe Abbildung 14 bzw. siehe Anlage 3.2).

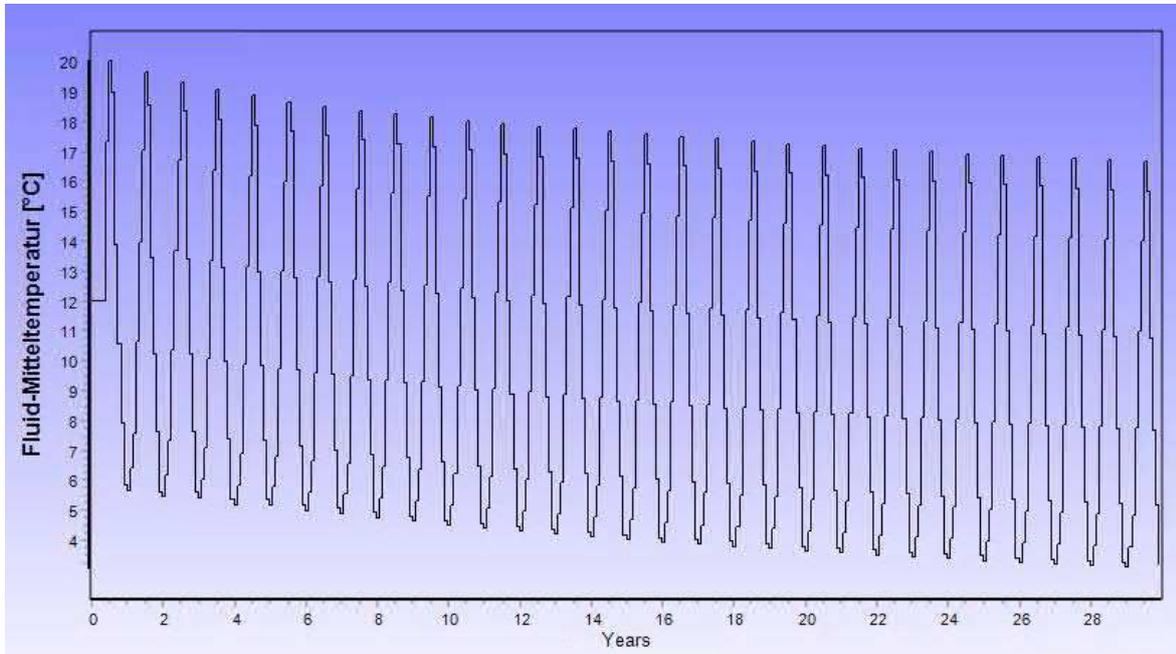


Abbildung 13: Fluid-Mitteltemperatur [°C] über die Zeit [Jahre] – Variante 2 (Grundlast)

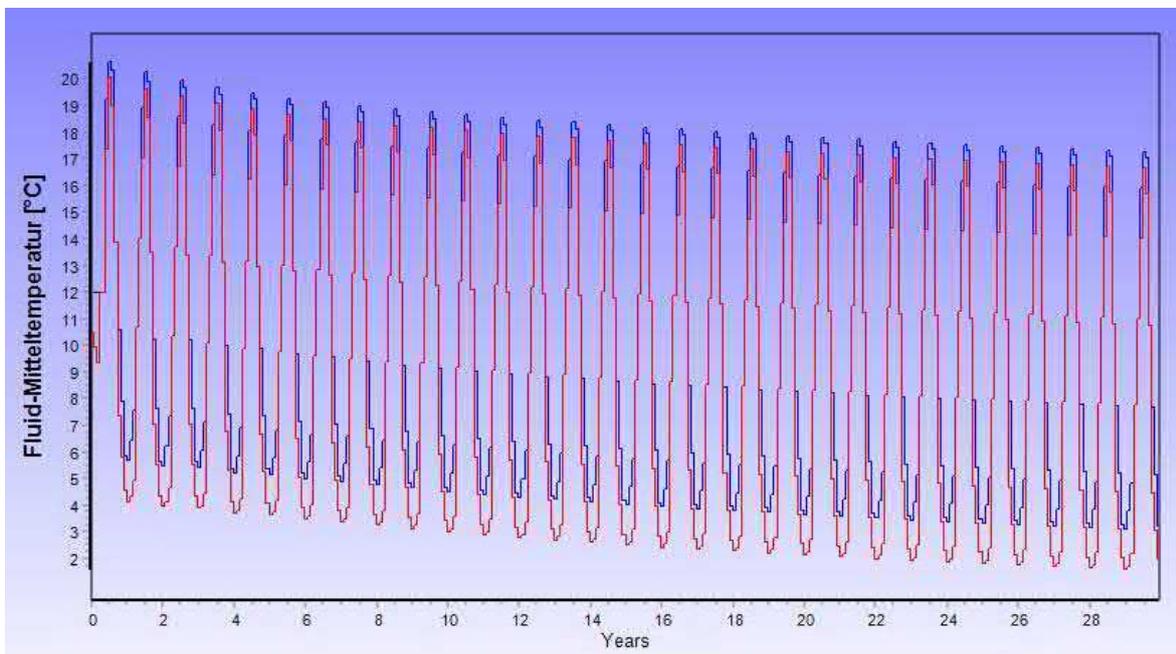


Abbildung 14: Fluid-Mitteltemperatur [°C] über die Zeit [Jahre] – Variante 2 (Spitzenlast)

Anlagentechnische Grenz-Fluidmitteltemperaturen konnten in der jetzigen Planungsphase noch nicht übergeben werden. Daher mussten Annahmen getroffen werden. Zudem wurde sich genehmigungsrechtlich an der Richtlinie VDI 4640 Blatt 2 (Juni 2019) orientiert.

Entsprechend der Angaben in der VDI 4640 Blatt 2 (Juni 2019) und einer angenommenen ungestörten Untergrundtemperatur von 12,05°C liegen die genehmigungsrechtlichen Grenztemperaturen im Grundlastbetrieb bei 0°C – 27,05°C und im Spitzenlastbetrieb zwischen -5°C – 32,05°C.

Zu jedem Zeitpunkt ist ein Absinken der Fluidmitteltemperatur im Sondenfeld unter den Wert von -1,5°C regelungstechnisch zu verhindern, um einen langfristig frostfreien Betrieb sicherzustellen. Im Wochenmittel darf die Fluidtemperatur nicht unter 0° sinken. Aufgrund einer angenommenen Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf von ca. 3 °C, liegt die minimal mögliche Fluidmitteltemperatur bei 1,5 °C. Die maximale mögliche Fluidmitteltemperatur im Grundlastbetrieb wurde mit Blick auf eine dauerhaft funktionierende Kühlfunktion mit 20,00 °C und im Spitzenlastbetrieb mit 21,00 °C annäherungsweise angenommen. Eine Konkretisierung der anlagentechnischen Grenztemperaturen sollte im weiteren Planungsverlauf durch den AG/Planer erfolgen.

Diese Grenztemperaturen werden gemäß EED-Simulation unter den o.g. Annahmen eingehalten.

## 11 Schlusswort

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Standort gute Bedingungen für die Umsetzung einer Erdwärmesondenanlage bietet. In zwei Variantenberechnungen wurde im Sinne einer Erstab-schätzung ermittelt, wie viel Jahresheizarbeit über die Geothermie zur Gebäudeklimatisierung des geplanten urbanen Quartiers zur Verfügung gestellt werden kann.

Im Falle eines reinen Wärmeentzugs (**Variante 1**) liegt die mögliche Jahresheizarbeit bei ca. 690 MWh/a. Im Sommer findet eine Regeneration des Sondenfeldes lediglich über natürliche Wärmenachlieferung statt. Es kommt über die Betriebsjahre zu einem merklichen Abfall der Untergrundtemperaturen im Bereich des Sondenfeldes. Dies führt einerseits mit den Jahren zu einer Reduktion der Wärmepumpeneffizienz und andererseits nach 25 Jahren zum Erreichen der Anlagengrenztemperatur für einen ordnungsgemäßen Betrieb.

In einer weiteren Variantenberechnung (**Variante 2**) wurde die Möglichkeit einer aktiven Regeneration des Sondenfeldes berücksichtigt. In den Wintermonaten findet somit ein Wärmeentzug

und in den Sommermonaten ein aktiver Wärmeeintrag in das Erdreich statt. Der Wärmeeintrag ist z.B. über eine Kombination aus Gebäudetemperierung (Kühlung) und solarthermischer Regeneration möglich. Der Abfall der Untergrundtemperaturen über die Betriebsjahre ist in diesem Fall geringer, verglichen mit der Variante mit lediglich natürlicher Regeneration. Der maximal mögliche Wärmeentzug in dieser Variante liegt erdseitig bei ca. 1.120 MWh/a. Damit könnte eine Jahresheizarbeit von etwa 1.440 MWh zur nachhaltigen Heizwärmeversorgung des geplanten Quartiers erzeugt werden. Der Wärmeeintrag liegt hier bei ca. 870 MWh/a.

Bei den genannten Variantenberechnungen bzw. dessen Ergebnissen handelt es sich lediglich um rein rechnerische Werte, die sich theoretisch erzielen lassen. Die Untergrundeigenschaften am Standort wurden durch 2 GRTs bereits in guter Detailtiefe ermittelt. Die Ergebnisse spiegeln die geothermischen Eigenschaften an diesen Untersuchungspunkten wider. Eine Abweichung dieser Eigenschaften im Umfeld im Rahmen einer heterogenen Geologie kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Da es sich bei den in die EED-Berechnung eingeflossenen Parametern auf der Gebäudeseite um überschlägige Annahmen zur Ersteinschätzung handelt, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu Abweichungen im Erdwärmesondenfeld und deren mittleren Fluidmitteltemperaturen kommen kann. Sämtliche o.g. Angaben und Berechnungen gilt es in weiteren Planungsstadien zu verifizieren.

Die vorgelegten Modellsimulationen haben nicht den Planungsstand einer Ausführungsplanung und bedürfen einer weitergehenden Ausarbeitung und Detaillierung in den folgenden Leistungsphasen, die dieser vorgelegten Potentialstudie nachgegliedert sind.

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

Osnabrück, 09.07.2021



i.V. Dipl.- Ing. M. Raabe,  
(Fachbereichsleiter)



i.A. M.Sc. Marvin Proest  
(Projektleiter)

210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



## Anlagen

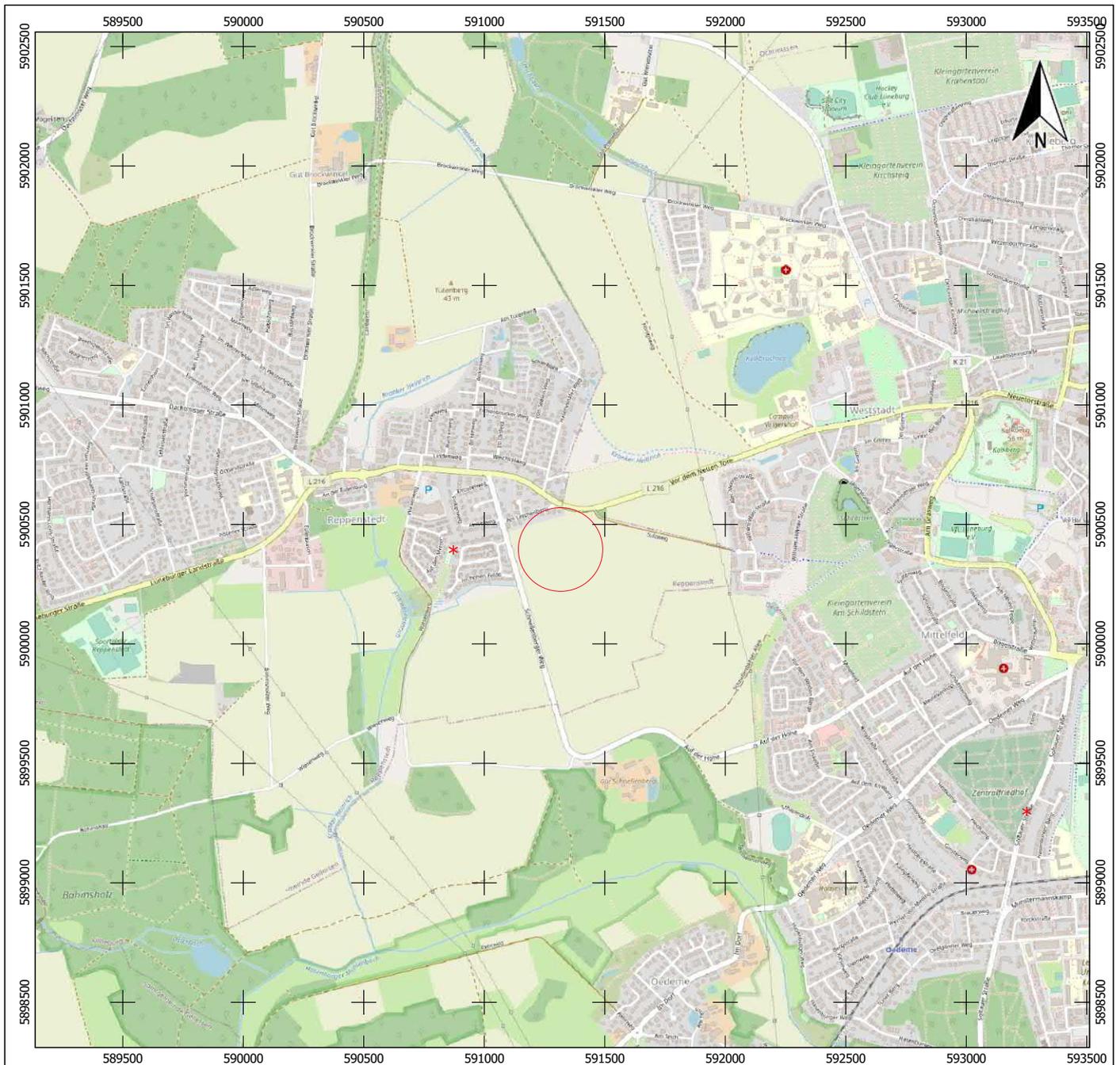
210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



# **Anlage 1**

## **Topographische Übersichtskarte M 1:25.000**



### Legende

 Untersuchungsgebiet

### Geodätische Grundlagen:

### Kartographische Grundlagen: Hauptkarte: OpenStreetMap

0 200 400 600 800 1000 m



Auftraggeber Sven Hansen Wasser- und Brunnebautechnik Rosenthaler Weg 20 21398 Neetze	Anlage	1
	Blatt (DIN A 4)	1 von 1
Projekt 210629 Geothermal Response Test und EED Simulation des Erdwärmesondenfeldes BV: Urbane Quartiersentwicklung in Reppenstedt	Maßstab	1:25000
	Datum	29.06.2021
Benennung	Mull und Partner Ing.-Ges. mbH Neulandstr. 2-4 49084 Osnabrück Telefon: 0541 915 327 10 E-Mail: osnabrueck@mup- group.com Internet: <a href="#">Umweltberatung · Planung · Bauleitung</a>	
Übersichtskarte		

210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

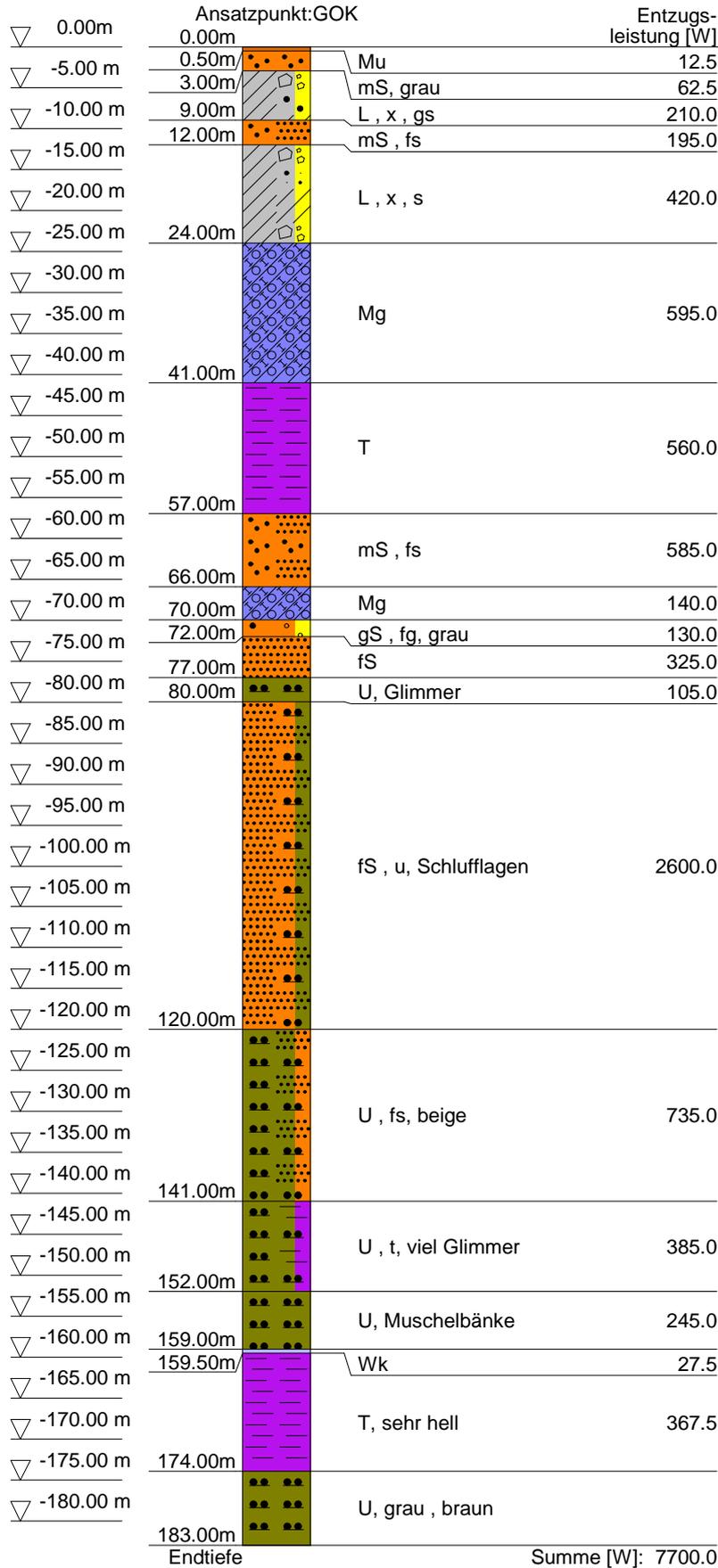
09.07.2021 / Rev01



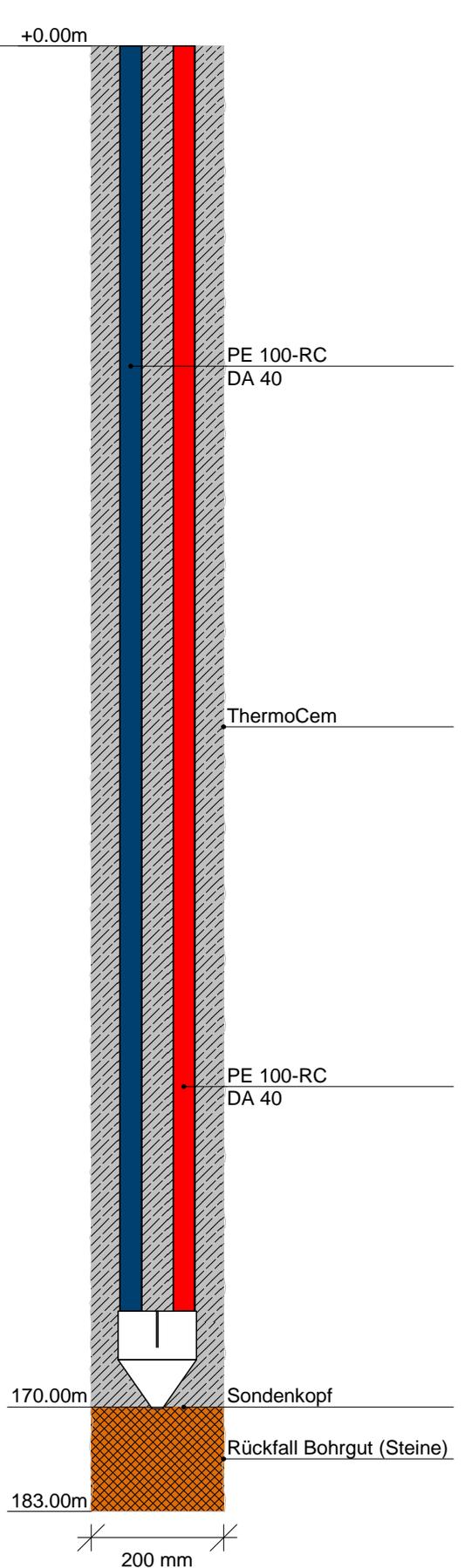
## **Anlage 2**

### **Bohrprofil der Firma Sven Hansen**

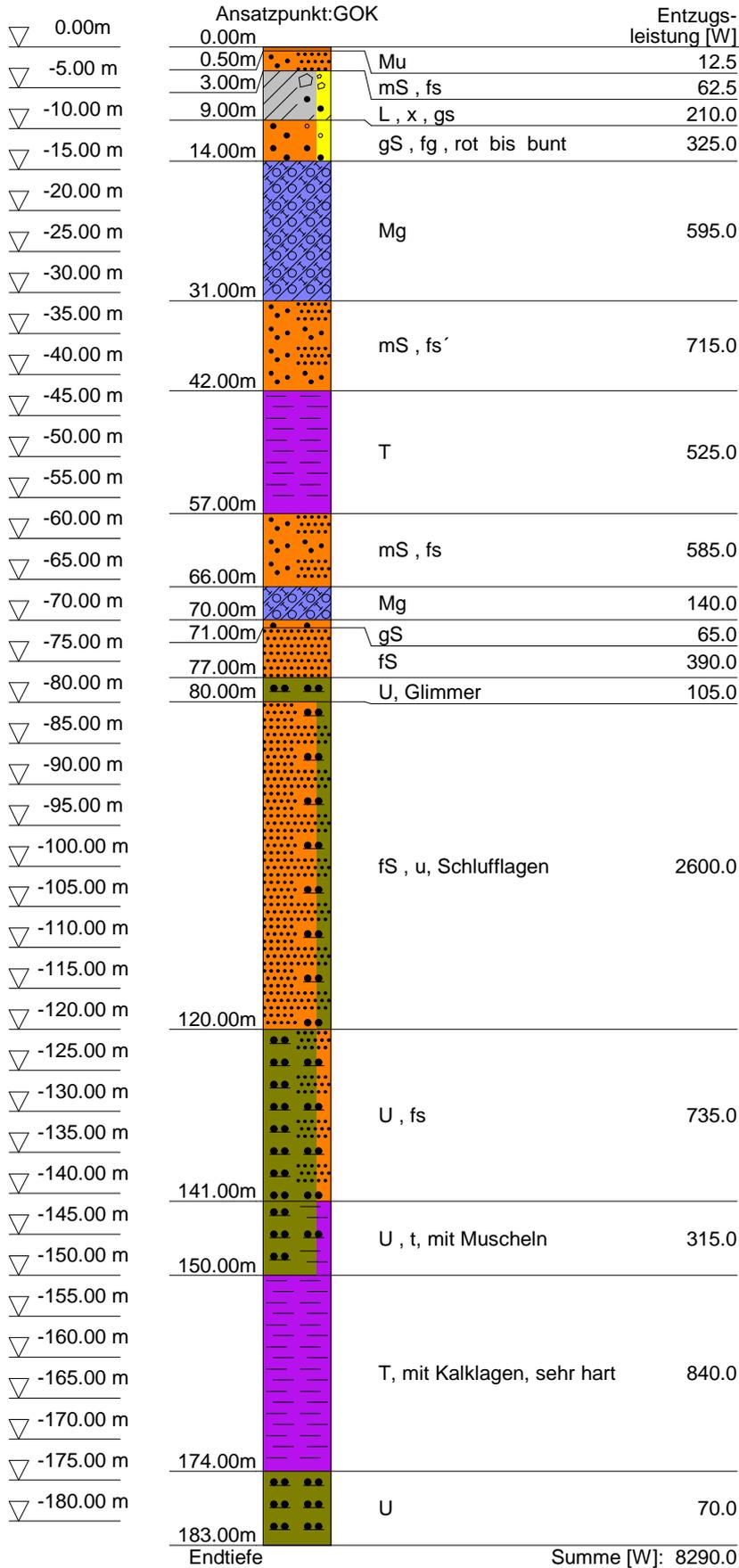
### Bohrprofil



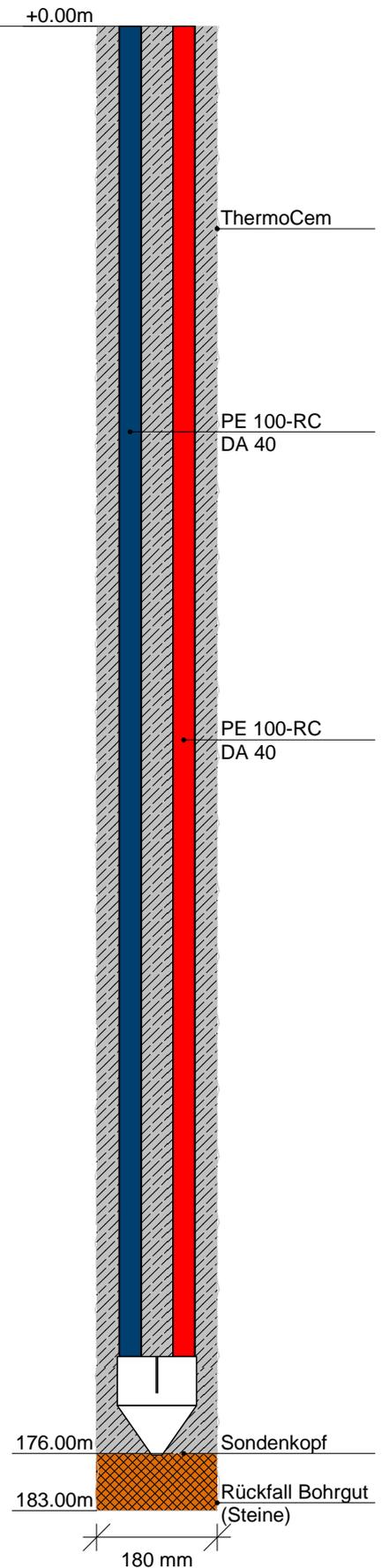
### Brunnenausbau



### Bohrprofil



### Brunnenausbau



210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



## **Anlage 3**

### **Ergebnisbericht EED-Simulation**

210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



## Anlage 3.1

Variante 1 – ohne Regeneration

EED 4.17 - www.buildingphysics.com - license for wieschemeyer@mullundpartner.de  
Eingabedatei:O:\02\_PROJEKT\_CLOUD\2021\210629\_GRT\_Reppenstedt\08  
Sonstiges\2021-07-09\_BV\_Reppenstedt\_V1.dat  
Diese Ausgabedatei: 2021-07-09\_BV\_REPPENSTEDT\_V1.OUT Datum: 09.07.2021  
Uhrzeit: 14:50:16

#### Anmerkungen zum Projekt

- BV: Reppenstedt - Lüneburg - Urbanes Quartier
- Variante 1
- Wärmeentzug ohne Regeneration

#### DATEN KURZFASSUNG

Kosten	-
Anzahl Bohrungen	100
Tiefe der Erdwärmesonde	170 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	1,7E4 m

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

=====

#### UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,1 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,34 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	9,54 °C
Geothermischer Wärmefluss	0,06 W/m <sup>2</sup>

#### BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenordnung	392 ("100 : 5 x 20 rectangle")
Tiefe der Erdwärmesonde	170 m
Abstand der Erdwärmesonden	10 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	69 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 <sup>3</sup>
Viskosität	0,0052 Kg/(m·s)
Gefrierpunkt	-14 °C

Umwälzmenge pro Bohrloch 0,5 l/s

#### GRUNDLAST

Jährlicher Warmwasserbedarf 0 MWh  
Jahresheizarbeit 690 MWh  
Jahreskühlarbeit 0 MWh

Jahresarbeitszahl (WW) 1  
Jahresarbeitszahl Heizen 4,5  
Jahresarbeitszahl Kühlen 1E5

#### Monatliches Bedarfsprofil [MWh]

Monat	Wärmebedarf	Kühlbedarf	Erdseite	
1	0,197	136	0	106
2	0,165	114	0	88,6
3	0,123	84,9	0	66
4	0,047	32,4	0	25,2
5	0,012	8,28	0	6,44
6	0,003	2,07	0	1,61
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0,02	13,8	0	10,7
10	0,076	52,4	0	40,8
11	0,152	105	0	81,6
12	0,205	141	0	110
Gesamt	1	690	0	537

#### SPITZENLAST

##### Monatliche Spitzenlast [kW]

Monat	Spitzen-Heizlast	Dauer	Spitzen-Kühlleistung	Dauer [h]
1	345	18	0	0
2	345	16	0	0
3	345	12	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	345	8	0	0
11	345	10	0	0
12	345	12	0	0

Dauer der Simulation (Jahre) 30  
Monat der Inbetriebnahme 6



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

Jahr	1	2	5	10	30
1	12	7,1	5,96	4,64	1,52
2	12	7,2	6,05	4,74	1,64
3	12	7,5	6,33	5,02	1,93
4	12	10,6	9,41	8,09	5,01
5	12	11,2	9,98	8,65	5,58
6	11,9	11,3	10,2	8,83	5,78
7	12	11,4	10,3	8,92	5,88
8	12	11,4	10,3	8,98	5,95
9	11,7	11,1	10,1	8,73	5,72
10	8,62	8,11	7,09	5,75	2,75
11	7,9	7,41	6,42	5,1	2,11
12	7,33	6,88	5,9	4,59	1,61

SPITZENLAST HEIZEN: JAHR 30

minimale Fluid-Mitteltemperatur 1,52 °C zum Ende 1

maximale Fluid-Mitteltemperatur 5,95 °C zum Ende 8

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

Jahr	1	2	5	10	30
1	12	8,59	7,45	6,13	3,01
2	12	8,94	7,79	6,48	3,38
3	12	9,49	8,32	7,01	3,92
4	12	10,6	9,41	8,09	5,01
5	12	11,2	9,98	8,65	5,58
6	11,9	11,3	10,2	8,83	5,78
7	12	11,4	10,3	8,92	5,88
8	12	11,4	10,3	8,98	5,95
9	11,7	11,1	10,1	8,73	5,72
10	10,8	10,3	9,27	7,93	4,93
11	9,58	9,1	8,11	6,78	3,79
12	8,65	8,19	7,21	5,9	2,92

SPITZENLAST KÜHLEN: JAHR 30

minimale Fluid-Mitteltemperatur 2,92 °C zum Ende 12

maximale Fluid-Mitteltemperatur 5,95 °C zum Ende 8

210629 / Geothermal Response Test und Vordimensionierung  
des Erdwärmesondenfeldes

09.07.2021 / Rev01



## Anlage 3.2

Variante 2 – mit Regeneration

EED 4.17 - www.buildingphysics.com - license for wieschemeyer@mullundpartner.de  
Eingabedatei:O:\02\_PROJEKT\_CLOUD\2021\210629\_GRT\_Reppenstedt\08  
Sonstiges\2021-07-09\_BV\_Reppenstedt\_V2.dat  
Diese Ausgabedatei: 2021-07-09\_BV\_REPPENSTEDT\_V2.OUT Datum: 09.07.2021  
Uhrzeit: 16:56:11

#### Anmerkungen zum Projekt

- BV: Reppenstedt - Lüneburg - Urbanes Quartier
- Variante 2
- Wärmeentzug mit Regeneration

#### DATEN KURZFASSUNG

Kosten	-
Anzahl Bohrungen	100
Tiefe der Erdwärmesonde	170 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	1,7E4 m

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

=====

#### UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,1 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,34 MJ/(m <sup>3</sup> ·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	9,54 °C
Geothermischer Wärmefluss	0,06 W/m <sup>2</sup>

#### BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenordnung	392 ("100 : 5 x 20 rectangle")
Tiefe der Erdwärmesonde	170 m
Abstand der Erdwärmesonden	10 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	69 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 <sup>3</sup>
Viskosität	0,0052 Kg/(m·s)
Gefrierpunkt	-14 °C

Umwälzmenge pro Bohrloch 0,5 l/s

#### GRUNDLAST

Jährlicher Warmwasserbedarf 0 MWh  
Jahresheizarbeit 1440 MWh  
Jahreskühlarbeit 870 MWh

Jahresarbeitszahl (WW) 1  
Jahresarbeitszahl Heizen 4,5  
Jahresarbeitszahl Kühlen 1E5

#### Monatliches Bedarfsprofil [MWh]

Monat	Wärmebedarf	Kühlbedarf	Erdseite	
1	0,197	284	0	221
2	0,165	238	0	185
3	0,123	177	0	138
4	0,047	67,7	0,032	24,8
5	0,012	17,3	0,121	-91,8
6	0,003	4,32	0,225	-192
7	0	0	0,314	-273
8	0	0	0,251	-218
9	0,02	28,8	0,057	-27,2
10	0,076	109	0	85,1
11	0,152	219	0	170
12	0,205	295	0	230
Gesamt	1	1440	1	250

#### SPITZENLAST

##### Monatliche Spitzenlast [kW]

Monat	Spitzen-Heizlast	Dauer	Spitzen-Kühlleistung	Dauer [h]
1	550	18	0	0
2	550	16	0	0
3	550	12	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	425	14
7	0	0	425	16
8	0	0	425	10
9	0	0	0	0
10	550	8	0	0
11	550	10	0	0
12	550	12	0	0

Dauer der Simulation (Jahre) 30  
Monat der Inbetriebnahme 6



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

Jahr	1	2	5	10	30
1	12	4,13	3,65	3,1	1,57
2	12	4,33	3,75	3,23	1,69
3	12	4,9	4,21	3,68	2,14
4	12	10,6	9,86	9,29	7,76
5	12	14	13,1	12,5	11
6	17,3	17	16,2	15,5	14
7	20	19,6	18,8	18,1	16,6
8	18,9	18,5	17,9	17,1	15,7
9	13,8	13,4	12,9	12,2	10,7
10	7,35	7	6,64	5,9	4,45
11	5,78	5,5	5,21	4,49	3,04
12	4,55	4,34	4,06	3,38	1,93

SPITZENLAST HEIZEN: JAHR 30

minimale Fluid-Mitteltemperatur 1,57 °C zum Ende 1

maximale Fluid-Mitteltemperatur 16,6 °C zum Ende 7

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

Jahr	1	2	5	10	30
1	12	5,64	5,16	4,62	3,09
2	12	6,39	5,81	5,29	3,75
3	12	7,57	6,89	6,35	4,81
4	12	10,6	9,86	9,29	7,76
5	12	14	13,1	12,5	11
6	19,2	18,9	18	17,4	15,9
7	20,6	20,2	19,4	18,7	17,2
8	20,3	19,9	19,2	18,5	17
9	13,8	13,4	12,9	12,2	10,7
10	10,5	10,2	9,83	9,1	7,65
11	7,87	7,59	7,3	6,58	5,14
12	5,81	5,6	5,33	4,64	3,19

SPITZENLAST KÜHLEN: JAHR 30

minimale Fluid-Mitteltemperatur 3,09 °C zum Ende 1

maximale Fluid-Mitteltemperatur 17,2 °C zum Ende 7