

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung -

Geltungsbereich: Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Inhalt

1.	Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS)	2
2.	Wasserwirtschaftliche Situation	2
3.	Bohr- und Ausbauarbeiten; Bohrrisiken	3
4.	Standörtliche geologische und hydrogeologische Situation.....	3
5.	Standörtliche geothermische Situation.....	5
6.	Auslegung exemplarischer geothermischer Anlagen.....	5
6.1.	Privates Wohngebäude (nur Heizen).....	6
6.2.	Öffentliches Gebäude mit Heiz- und Kühlbedarf.....	7
6.3.	Großes Erdwärmesondenfeld, z. B. für Kalte Nahwärme	8
7.	Zusammenfassende Hinweise	8

Anlagen

- 1 Schichtenverzeichnisse Bohrung Nord und Süd
- 2 Geologische Schnitte
- 3 Dokumentation Thermal Response Tests Bohrungen Nord und Süd
- 4 Beispielhafte Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Erdwärmesondenfeldes am Standort Erzhausen, Beitrag Fa. UBeG Dr. E. Mands & Dipl.-Geol. M. Sauer GbR

1. Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS)

Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS) ist das nordöstlich der bebauten Ortslage von Erzhausen geplante Baugebiet „Die vier Morgen“ (Abb. 1).



Abb. 1: Geltungsbereich Bebauungsplan „Die vier Morgen“, Erzhausen (ohne Maßstab; entnommen aus Offenlage Bebauungsplan)

2. Wasserwirtschaftliche Situation

Das Baugebiet „Die vier Morgen“ liegt in der Zone IIIB des Wasserschutzgebietes der Brunnen III-VII des Wasserwerkes Mörfelden der Stadtwerke Mörfelden-Walldorf sowie in der Zone IIIB des Wasserwerkes Gerauer Land, so dass es gemäß den *Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden* vom 21.03.2014 (StAnz 17/2014 S. 383)¹ als „wasserwirtschaftlich ungünstig“ im Hinblick auf die Errichtung von EWS beurteilt ist. Die Entfernung zu den Brunnen der Gewinnungsanlagen beträgt rd. 5 km (WW Mörfelden-Walldorf) bzw. 9 km (WW Gerauer Land) (siehe hierzu Abschnitt 6).

¹ Die Geltungsdauer der *Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden* vom 21.03.2014 2014 (StAnz 17/2014 S. 383) wurde mit Erlass vom 13.12.2019 (StAnz 1-2/2020 S. 19) bis zum 31.12.2021 verlängert.

3. Bohr- und Ausbauarbeiten; Bohrrisiken

Es wurden zwei Erkundungsbohrungen bis 96 m bzw. 100 m Tiefe mit Stufenmeißel abgeteuft und mit Erdwärmesonden (EWS) in der Ausführung Doppel-U-Sonde 32*2,9 mm ausgebaut. Standrohre wurden bis 22 m (EWS Nord) bzw. 2 m (EWS Süd) mitgeführt.

Es haben sich keine Hinweise auf Bohrrisiken (Grundwasserstockwerksbau, artesische Druckverhältnisse, Hohlräume etc.) ergeben.

Gegenüber dem theoretischen Suspensionsbedarf für die Verfüllung des Bohrlochringraums nach Einbau der EWS ergab sich bei beiden Bohrungen ein Mehrbedarf von 18 – 20%.

4. Standörtliche geologische und hydrogeologische Situation

Im Planungsraum stehen bis zu einer Tiefe von 100 m Lockersedimente an.

Die von den beiden Erkundungsbohrungen erschlossene Schichtenfolge ist in Anlage 1 detailliert beschrieben. Zusammengefasst lässt sich die Abfolge wie folgt beschreiben:

Die Bohrungen haben unterhalb von ca. 4 m mächtigen pleistozänen Flugsanden (schluffige Feinsande) bis 10 m (Bohrung Süd) bzw. 14 m (Bohrung Nord) schwach feinkiesige Grobsande (pleistozäne Terrassenablagerungen) aufgeschlossen. Darunter folgt schluffiger bis stark toniger Feinsand, schluffiger Ton und toniger Schluff in Wechsellagerung, teilweise kalkhaltig. Diese Abfolge wird von mehreren locker gelagerten, teilweise schluffigen Mittel- und Grobsandlagen, teilweise Feinkies-führend, unterbrochen. Diese Zwischenlagen erreichen in der Regel nicht mehr als 2 m, maximal aber auch bis zu 10 m Mächtigkeit.

Ähnliche Abfolgen wurden bei allen Bohrungen in der Umgebung beobachtet (Anlage 2). Die Mächtigkeit der oberen Terrassenkieslage schwankt und kann offensichtlich bis zu 25 m Mächtigkeit erreichen. In der darunterliegenden Abfolge lassen sich die grobsandigen und grusigen Partien nicht eindeutig flächenhaft verbreiteten Schichten zuordnen, sondern belegen einen von unterschiedlichen Ablagerungsbedingungen bedingten lateralen Wechsel. Die stratigrafische Einstufung der Schluff-/Tonabfolgen ist nicht ganz eindeutig, insbesondere, was die kalkführenden Bereiche angeht. Wahrscheinlich handelt es sich um im Quartär umgelagertes Material, das teilweise auch aus Abtragungsprodukten tertiärer Sedimente besteht.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Untergrundverhältnisse im Projektgebiet nur wenig variieren.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Grundwasserstandsdaten liegen nicht aus den Neubohrungen, aber aus einem Baugrundgutachten der Fa. Anina (Diplom Ingenieur Gerd Stirmlinger, Pfungstädter Straße 48, 64297 Darmstadt) nach Untersuchungen mit 10 über das Projektgebiet verteilten Rammkernsondierungen vor. Danach wurden am 20.06.2017 Grundwasserstände zwischen ca. 1,15 und 2,10 m unter Geländeoberfläche (GOF) gemessen. Hiernach fällt der Grundwasserspiegel von ca. 118,95 im SE (RKS 10) in westnordwestliche Richtung auf ca. 117,05 m ü. NN (RKS 1), also um rd. 1,90 Meter; die Grundwasserströmung ist nach Nordwesten orientiert.

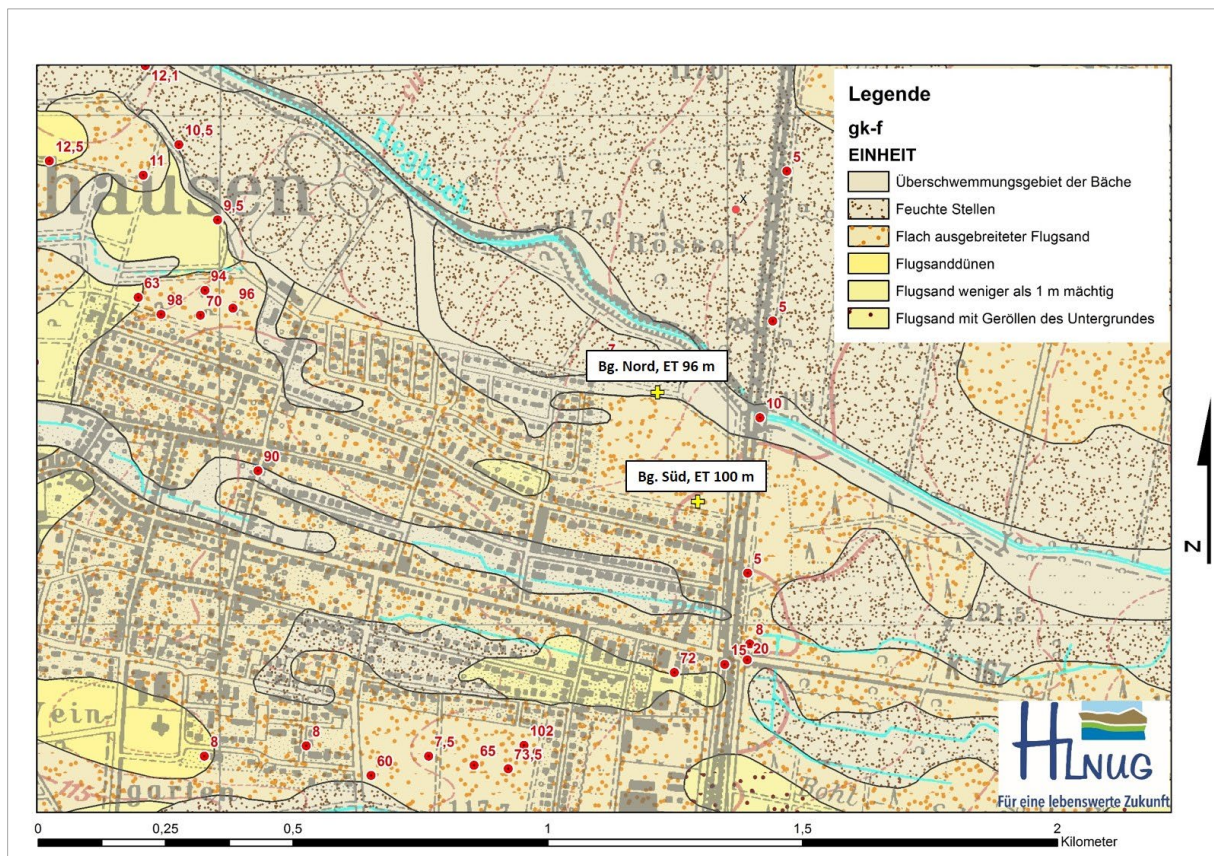


Abb. 2: Ausschnitt aus der digitalen geologischen Karte 1:25.000, Blatt 6017 Mörfelden.
Bohrungen im Umfeld: rote Punkte (mit Endtiefen), Bohrungen PES-Projekt: gelbe Kreuze

Mit der Erkundung wurden die in der Stellungnahme des HLNUG vom 25.10.2019 (Az. 89-0570-643/19) getroffenen Aussagen zur (hydro-)geologischen Situation weitgehend bestätigt, so dass die Aussage gemäß Mitteilung des Bearbeiters der vorgenannten Stellungnahme ihre Gültigkeit behält.

5. Standörtliche geothermische Situation

Für die von den 96 m bzw. 100 m tiefen Erdwärmesonden (EWS) erschlossene Schichtenfolge wurden mittels Thermal Response Tests sowie mit vorausgehend durchgeführten Messungen der Temperatur-Tiefen-Profile (Anlage 3) folgende geothermische Daten ermittelt:

Tab. 1: Ergebnisse TRT und Temperaturmessungen

Parameter		EWS Süd	EWS Nord
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	m	100	96
Tiefe der saisonalen Zone	m	10	16
Mittlere Untergrundtemperatur ohne saisonale Zone (gemäß Messung vor TRT)	°C	12,6	12,3
Effektive Wärmeleitfähigkeit λ (inkl. Messfehler)	W/(m*K)	2,1 ± 0,1	2,3 ± 0,1
Therm. Bohrlochwiderstand R_b	K/(W*m)	0,11	0,08

Die mittels Thermal Response Tests ermittelten effektiven Wärmeleitfähigkeiten weichen mit rd. 10% geringfügig voneinander ab. Eine Abweichung in dieser Größenordnung ist normal und z. B. auf Variationen der Gesteinsausbildung und Schichtabfolge zurückzuführen.

Die ebenfalls mittels Thermal Response Test ermittelten thermischen Bohrlochwiderstände sind typisch für die eingesetzten Verfüllbaustoffe und im Falle des in Bohrung Nord eingesetzten thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs mit einer Wärmeleitfähigkeit von rd. 2,4 W/(m*K) geringer als in der Bohrung Süd, bei der die Wärmeleitfähigkeit des Verfüllbaustoffs nur rd. 1,1 W/(m*K) beträgt.

6. Auslegung exemplarischer geothermischer Anlagen

Zur Veranschaulichung, wie viele EWS mit welchen Bohrtiefen bei der für das Baugebiet „Die vier Morgen“ erkundeten geothermischen Situation erforderlich sind, werden nachfolgend die Ergebnisse der Auslegungen zweier exemplarischer EWS-Anlagen mit einer max. Bohrtiefe von 100 m stichpunktartig vorgestellt. Ergänzend wird durch den Vergleich der Auslegung mittels Tabellenwerten der VDI-Richtlinie 4640-2: 2019 gezeigt, wie groß der Nutzen (hier die Ersparnis von Bohrmeter) bei der durch einen TRT gewonnenen Kenntnis geothermischer Daten ist.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Mit einem dritten Beispiel wird die Auslegung eines großen EWS-Feldes zur Versorgung von 50 Gebäuden über ein kaltes Nahwärmenetz vorgestellt. Für dieses Beispiel wurde von der Begrenzung der Bohrtiefe auf 100 m abgewichen.

Die nachfolgenden Beispiele ersetzen keine auf tatsächliche Heizanforderungen für konkrete Vorhaben abgestimmte Planung.

6.1. Privates Wohngebäude (nur Heizen)

Wesentliche haustechnische Daten (Beispiel)

Heizleistung der Wärmepumpe:	10 kW	
Verdampferleistung der Wärmepumpe:	8 kW	(bei COP = 5)
Jahresbetriebsdauer:	1.800 h	

In der Praxis erfolgt die Auslegung von kleinen EWS-Anlagen durch Bohrfirmen häufig mittels Schätzgrößen und Tabellenwerten der **VDI 4640-2: 2019**, da spezielle Software-Tools wie Earth Energy Designer (EED) fehlen.

Zu beachten ist hierbei, dass die Anwendung der Tabellenwerte voraussetzt, dass die Randbedingungen, die ihrer Herleitung zugrunde gelegt wurde, im Falle der auszulegenden EWS eingehalten werden. Beispielhaft ist hier die mittlere Untergrundtemperatur anzuführen, für die bei der Herleitung der Tabellenwerte eine mittlere Untergrundtemperatur von 11 °C zugrunde gelegt wurde, während die am Standort Erzhausen bis 100 m Tiefe gemessene Untergrundtemperatur 12,3 – 12,6 °C beträgt.

Führt man die Auslegung der EWS-Anlage für diese haustechnischen Daten und die Maßgabe einer Begrenzung der Bohrtiefe auf max. 100 m mittels der Tabellenwerte durch, ist folgende Anlagenkonstellation notwendig, um den Heizleistungs- und Heizwärmebedarf zu decken:

Ergebnis Tabellenwerte VDI 4640-2:2019: **3 EWS von 80 m Tiefe**

Folgende Anlagenkonstellationen ist möglich, wenn für die Auslegung der EWS-Anlage für die o. g. haustechnischen Daten und die Maßgabe einer Begrenzung der Bohrtiefe auf max. 100 m das Software-Tool **Earth Energy Designer (EED)** genutzt wird, mit dem die standörtlichen Daten berücksichtigt werden können, wie beispielsweise die mittlere Untergrundtemperatur von 12,3 °C und Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs:

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Ergebnis Earth Energy Designer: **2 EWS von 78 m Tiefe**

Der Vergleich der Auslegung mit Tabellenwerten einerseits sowie Berechnung mittels Software-Tool EED mit Berücksichtigung standörtlicher bzw. Vorhabens spezifischer Randbedingungen andererseits zeigt deutlich den Nutzen, den Bauherren durch die Bereitstellung vor Ort ermittelter geothermischer Daten und deren Berücksichtigung bei der Planung haben: im betrachteten Beispiel kann die Anzahl der erforderlichen EWS bei gleicher Bohrtiefe von drei auf zwei reduziert werden. Die Kostenersparnis liegt bei ca. 5.000 Euro.

6.2. Öffentliches Gebäude mit Heiz- und Kühlbedarf

Wesentliche haustechnische Daten (Planungsdaten einer realen KiTa in Frankfurt)

Heizleistung der Wärmepumpe:	17,5 kW
Jahresarbeitszahl Heizen (JAZ _H):	4,7
Jahresbetriebsdauer Heizen:	2.000 h
Kühlleistung der Wärmepumpe:	11,0 kW
Jahresarbeitszahl Kühlen (JAZ _K):	9999 (= freie Kühlung)
Jahresbetriebsdauer Kühlen:	800 h

EWS-Anlagen zum Heizen und Kühlen werden nicht mittels Tabellenwerten der VDI 4640-2:2019 ausgelegt, so dass hier ein entsprechender Vergleich entfällt.

Folgende Anlagenkonstellationen sind möglich, wenn für die Auslegung der EWS-Anlage für die o. g. haustechnischen Daten und die Maßgabe einer Begrenzung der Bohrtiefe auf max. 100 m das Software-Tool **Earth Energy Designer (EED)** genutzt wird, mit dem die standörtlichen Daten berücksichtigt werden können, wie beispielsweise die mittlere Untergrundtemperatur von 12,3 °C und Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs:

Ergebnis Earth Energy Designer: **3 EWS von 100 m Tiefe**
(nur Heizen, keine Kühlung)

3 EWS von 90 m Tiefe
(Heizen und Kühlen)

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

6.3. Großes Erdwärmesondenfeld, z. B. für Kalte Nahwärme

Neben der dezentralen Wärmeengewinnung durch eine Vielzahl kleiner EWS-Anlagen besteht die Möglichkeit der Errichtung eines zentralen EWS-Feldes, an das die Gebäude des Baugebietes über ein Wärmenetz (sog. „kalte Nahwärme“) angeschlossen sind.

Zur Veranschaulichung, wie groß ein EWS-Feld zur Versorgung eines Baugebietes bzw. eines Teils hiervon sein musste, wurde von der UBeG Dr. E. Mands & Dipl.-Geol. M. Sauer GbR eine überschlägige Auslegung für folgendes exemplarisches Szenario durchgeführt:

50 Wohngebäude mit ca. 120 m² Wohnfläche als 4 Personenhaushalt und einer Wärmepumpen-Heizleistung von 6-8 kW für Heizen und Warmwasserbereitung. Alle Häuser haben den gleichen energetischen Standard (z. B. ENEC KfW 55 bzw. KfW 40 oder 40 Plus). Die Gesamtjahresheizarbeit inkl. Warmwasser aller Häuser beträgt dann 12,5MWh (25 Häuser) und 16,8MWh (25 Häuser).

Aufgrund des Platzbedarfs für ein solches EWS-Feld ist eine Begrenzung der Bohrtiefe auf 100 m nicht möglich. Die im Rahmen der bis 100 m Tiefe durchgeführten Erkundung ermittelten Daten wurden daher auf tiefere Bereiche extrapoliert.

Die überschlägigen Berechnungen ergaben, dass für den nachhaltigen Betrieb eines kalten Nahwärmenetzes am Standort Erzhausen 36 EWS mit einer Länge von 200 m ausreichend sind, um 50 Gebäude mit einer durchschnittlichen Heizleistung von 7 kW (14,65 kW/m²/a) 10 Jahre lang mit Wärme zu versorgen.

Details der Berechnungen können Anlage 4 entnommen werden.

7. Zusammenfassende Hinweise

Die durchgeführten Erkundungsbohrungen haben keine Hinweise auf einen relevanten Stockwerksbau oder hohe Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers ergeben, so dass die bisherige Beurteilung des Standortes als „hydrogeologisch günstig“ bestätigt wurde.

Bohrungen mit Tiefen von mehr als 100 m sind möglich und sie können durchaus sinnvoll sein, z. B. bei der Planung größerer Anlagen. Diese Bohrungen unterliegen jedoch den Regelungen des *Bundesberggesetzes* (BBergG) und des *Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle* (StandAG). Die gemäß StandAG erforderliche Prüfung von Bohrungen mit Tiefen von über 100 m im Rahmen des Genehmigungsverfahrens kostet derzeit 200 Euro.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Hinweise für Planung und Genehmigungsverfahren

Da die hydrogeologische Standortbeurteilung bestätigt wurde, ist eine Beeinflussung der Gewinnungsanlagen rd. 5 km (WW Mörfelden-Walldorf) bzw. 9 km (WW Gerauer Land) entfernten durch den Bau von EWS-Anlagen bei Einhaltung der Anforderungen des Gewässerschutzes an EWS vom 21.03.2014 (StAnz 17/2014 S. 383) auszuschließen.

Zur Vereinfachung und Beschleunigung des Erlaubnisverfahrens sowie zur Kostenreduktion wird empfohlen, die Bohrtiefe für EWS kleiner EWS-Anlagen auf max. 100 m zu begrenzen.

Für das Baugebiet wurde vom HLNUG eine Stellungnahme erarbeitet, die auf EWS-Anlagen mit folgenden Randbedingungen übertragbar ist:

- Einhaltung der Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden
- Heizleistung max. 20 kW; Kühlbedarf (kWh) max. 20% des Heizwärmebedarfs
- Max. Bohrtiefe 100 m
- Einzelfallprüfung allein aufgrund der Lage des Vorhabens in der Zone IIIB erforderlich.

Für EWS-Anlagen, die diese Randbedingungen erfüllen, ist keine erneute Einzelfallprüfung erforderlich.

Hinweise für die Planung

EWS müssen aufgrund der Lage des Baugebietes innerhalb der Zone IIIB (= „wasserwirtschaftlich ungünstig“) so geplant und betrieben werden, dass die minimale Temperatur des Wärmeträgermittels am Ausgang Wärmepumpe in Richtung EWS zu keinem Zeitpunkt unter -3°C sinkt.

Das für die Erkundungsbohrungen eingesetzte Drehspülbohren hat sich bewährt. Es ist ein Mehrbedarf der Suspension für die Verfüllung des Bohrlochringraums nach Einbau der EWS von rd. 20% einzuplanen.

Für die Planung von 100 m tiefen EWS sollten eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $2,2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und eine mittlere ungestörte Untergrundtemperatur von $12,3^{\circ}\text{C}$ angesetzt werden.

Ausgehend von der Annahme, dass die oberflächennah anstehenden Terrassenkiese aufgrund ihrer Durchströmung eine höhere effektive Wärmeleitfähigkeit aufweisen als die ab ca. 20 m unter Gelände verstärkt anstehenden Tone und Schluffe, kann auch für EWS mit Längen von weniger als 100 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $2,2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ angesetzt werden. Für

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

EWS mit Längen von über 100 m ist von geringeren effektiven Wärmeleitfähigkeiten auszugehen, wenn die Schichtenfolge tiefer 100 m überwiegend von tonig bis schluffigen Sedimenten gebildet wird. Für EWS geringerer oder größerer Länge (Tiefe) kann die mittlere Untergrundtemperatur im Einzelfall anhand der vorliegenden Temperatur-Tiefenprofile ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

Der Vergleich beider TRT bestätigt die Erfahrung, dass der thermische Bohrlochwiderstand durch thermisch verbesserte Verfüllbaustoffe verringert und somit verbessert werden kann. Es wird daher der Einsatz thermisch verbesserter Verfüllbaustoffe empfohlen.

Die Planung sollte die thermische Beeinflussung durch mögliche Nachbaranlagen berücksichtigen.

Wiesbaden, 08.04.2020

HLNUG, Dezernat G4

Bearbeiter: Dr. Sven Rumohr
Dr. Johann-Gerhard Fritsche

sven.rumohr@hlnug.hessen.de
johann-gerhard.fritsche@hlnug.hessen.de

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Anlage 1

Schichtenverzeichnisse

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Az.:

**Hessisches Landesamt
für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Wiesbaden**



Archivkennzeichen: **6017/**

S c h i c h t e n v e r z e i c h n i s

Bezeichnung der Bohrung: 9012 EWS Erzhausen (Süd)-Plus Energie

Ort: Mörfelden, Erzhausen

TK 25: 6017 - MÖRFELDEN

Koordinaten: Rechtswert: 3474938 Hochwert: 5535239

Bohransatzhöhe: 119,93 m NN

Zeit der Ausführung:

Projekt: Geothermie für Plus-Energie-Siedlungen, Pilotbohrung für thermal response test, Erdwärmesonde

Zweck: Erdwärmesonde

Bohrfirma: CMB Bohrtechnik für Erdwärme GmbH

Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Name des Bearbeiters (z.B. Bohrmeister) der ausführenden Stelle: Handke

Bohrverfahren (Aufschlussart): Bohrung mit Einfachausbau

Endtiefe: 100,00 m

durchteufte geol. Formationen: QT

Endformation: Verschwemmungsablagerung ungegliedert (qV)

Grundwasserspiegel angetroffen:

Grundwasserspiegel eingestellt:

Bearbeiter/in des Schichtenverzeichnisses: Redler, Charlotte, Schweitzer, Silja, Fritsche, Johann-Gerhard

Bearbeiter/in (Datentypist) der Schichtdaten: Radtke, Gudrun

Verwaltungshinweise:


Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Schichtdaten			Interpretation: 0
Tiefe unter BAP in m	Mächtigkeit in m	Schichtbeschreibung	Stratigraphie
4,00	4,00	Schluffsand [Feinsand, mittel schluffig, schwach tonig] Feinsand, schluffig, schwach tonig; dkl rötlichbräunlich; trocken; carbonatfrei Auenlehm; Chronostratigraphie: Holozän	qhDhl
10,00	6,00	kiesführender Sand [Grobsand, schwach feinkiesig] Grobsand, schwach feinkiesig, gut sortiert; (viele Kristallinbruchstücke (Schüttung aus Odenwald); braun-grau, rötlich; schwach feucht; carbonatfrei Terrasse des Mains ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qpMT
26,00	16,00	Sandschluff [Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig] Schluff, feinsandig, stark tonig; (Tonlinsen im Feinsand; blaugraugrün, dkl grau (Kruste rötlich); schwach feucht; carbonatfrei Verschwenmungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
32,00	6,00	Schluffton [Ton, Grobsand, mittel schluffig] Ton, schluffig mit Lagen von Grobsand; (28-30m Grobsandlage; 26-28 m leich kalkhaltig; dkl olivgraubraun, rötlich geflammt, mamoriert; schwach feucht; carbonatfrei Verschwenmungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän 28,00 bis 30,00 m unter BAP: Lage, Lagen: Sand []; Grobsand	qV
34,00	2,00	carbonatführender Sandkies [Feinkies, mittel grobsandig] Feinkies, grobsandig; beigebraun; carbonathaltig Verschwenmungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
52,00	18,00	carbonatführender Schluffton [Ton, mittel schluffig] Ton, schluffig; hellgrüngrau, rot geflammt; feucht (bergfeucht); kalkhaltig Verschwenmungsablagerung ungegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
60,00	8,00	carbonatführender Schluffton [Ton, mittel schluffig] Ton, schluffig; braun, rötlich, fleckig; feucht (bergfeucht); kalkhaltig Verschwenmungsablagerung ungegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
64,00	4,00	carbonatführender Schluffsand [Sand, stark schluffig] Sand, stark schluffig; dkl grau, rot geflammt; carbonathaltig Verschwenmungsablagerung ungegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
66,00	2,00	carbonatführender Tonschluff [Schluff, mittel tonig, schwach feinsandig] Schluff, tonig, schwach feinsandig; (Nachfall?; mittelgrau, rot geflammt; feucht (bergfeucht); kalkarm Verschwenmungsablagerung ungegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
68,00	2,00	Tonschluff [Schluff, mittel tonig, schwach feinsandig] Schluff, tonig, schwach feinsandig; mittel hellolivgrau; feucht (bergfeucht); carbonatfrei Verschwenmungsablagerung ungegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV

Bohrung: 9012 EWS Erzhausen (Süd)-Plus Energie	TK 25: 6017	 Für eine lebenswerte Zukunft
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert: 3474938	
Bohrfirma: CMB Bohrtechnik für Erdwärme GmbH	Hochwert: 5535239	
Bearbeiter: Redler, Charlotte, Schweitzer, Silja, Fritsche, Johann-Gerhard	Bohransatzhöhe: 119,93 m	
Datum: 09.01.2020	Endtiefe: 100,00 m	

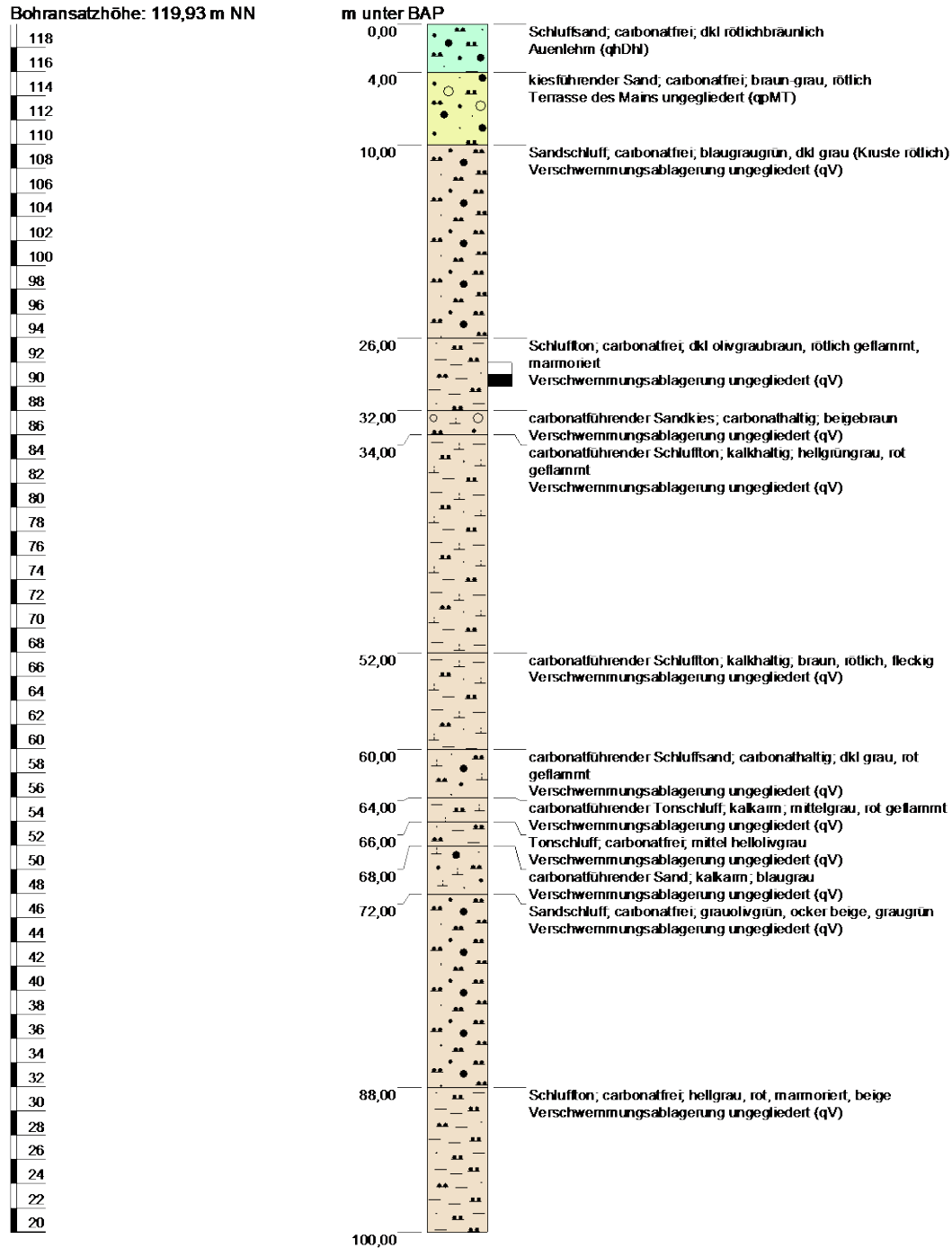
Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
 Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen


Schichtdaten			Interpretation: 0
Tiefe unter BAP in m	Mächtigkeit in m	Schichtbeschreibung	Stratigraphie
72,00	4,00	carbonatführender Sand [Mittelsand, schwach tonig] Mittelsand, schwach tonig; blaugrau; feucht (bergfeucht); kalkarm Verschmammungsablagerung unegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
88,00	16,00	Sandschluff [Schluff, mittel feinsandig, schwach tonig] Schluff, feinsandig, schwach tonig; graulivgrün, ocker beige, graugrün; feucht (bergfeucht); carbonatfrei Verschmammungsablagerung unegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
100,00	12,00	Schluffton [Ton, schwach feinsandig, schluffig] Ton, schwach feinsandig, schwach schluffig; hellgrau, rot, marmoriert, beige; feucht (bergfeucht); carbonatfrei Verschmammungsablagerung unegliedert (wahrscheinlich ungelagertes Pliozän); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
Bohrung: 9012 EWS Erzhausen (Süd)-Plus Energie		TK 25: 6017	 Für eine lebenswerte Zukunft
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie		Rechtswert: 3474938	
Bohrfirma: CMB Bohrtechnik für Erdwärme GmbH		Hochwert: 5535239	
Bearbeiter: Redler, Charlotte, Schweitzer, Silja, Fritsche, Johann-Gerhard		Bohransatzhöhe: 119,93 m	
Datum: 09.01.2020		Endtiefe: 100,00 m	

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

9012 EWS Erzhausen (Süd)-Plus Energie



Bohrung: 9012 EWS Erzhausen (Süd)-Plus Energie	TK 25:	6017	 Für eine lebenswerte Zukunft
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert:	3474938	
Bohrfirma: CMB Bohrtechnik für Erdwärme GmbH	Hochwert:	5535239	
Bearbeiter: Redler, Charlotte, Schweitzer, Silja, Fritsche, Johann-Gerhard	Bohransatzhöhe:	119,93 m NN	
Datum: 09.01.2020	Endteufe:	100,00 m	

Az.:

Hessisches Landesamt
für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Wiesbaden



Archivkennzeichen: 6017/

Schichtenverzeichnis

Bezeichnung der Bohrung: 9014 EWS Erzhausen (Nord)-Plus

Ort: Erzhausen, nordöstlich der Ortschaft an Bahnlinie

TK 25: 6017 - MÖRFELDEN

Koordinaten: Rechtswert: 3474859 Hochwert: 5535453

Bohransatzhöhe: 119,00 m NN

Zeit der Ausführung: 25.11.2019 bis 25.11.2019

Projekt: Geothermie für Plus-Energie-Siedlungen, Pilotbohrung für thermal response test, Erdwärmesonde

Zweck: Erdwärmesonde

Bohrfirma: UniWork DrillTec GmbH

Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Name des Bearbeiters (z.B. Bohrmeister) der ausführenden Stelle: Thünemann

Bohrverfahren (Aufschlussart): Bohrung mit Einfachausbau

Endtiefe: 96,00 m

durchteufte geol. Formationen: Q

Endformation: Verschwemmungsablagerung ungegliedert (qV)

Grundwasserspiegel angetroffen:

Grundwasserspiegel eingestellt:

Bearbeiter/in des Schichtenverzeichnisses: Hoselmann, Christian

Bearbeiter/in (Datentypist) der Schichtdaten: Hoselmann, Christian

Verwaltungshinweise: Spülbohrung
Proben in Styroporkisten; Probenabstand 2 m
digitale Fotos

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung


Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Schichtdaten			Interpretation: 0
Tiefe unter BAP in m	Mächtigkeit in m	Schichtbeschreibung	Stratigraphie
4,00	4,00	carbonatführender Lehmschluff [Schluff, mittel tonig]; oliv-grau (5Y5/2); feucht (bergfeucht); kalkhaltig; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; fluvial; vorherrschend weich Auensediment ungegliedert; Chronostratigraphie: Holozän	qhDh
8,00	4,00	Lehmsand [Grobsand, mittel mittelsandig, schwach schluffig] zerbohrt; dunkel oliv grau (5Y3/2); nass; carbonatfrei; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: unregelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; fluvial Terrasse ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän 4,00 bis 8,00 m unter BAP: Lage, Lagen: carbonatführender Lehmschluff [Schluff; mittel tonig]; carbonathaltig; Anteil org. Substanz: mittel; Verteilung org. Substanz: ungleichmäßig	qpT
14,00	6,00	kiesführender Sand [Grobsand, mittel feinkiesig, schwach mittelsandig]; (G: mit viel Kristallin, Quarz, rotem Sandstein); braun (jp) (7.5YR4/3); bunt; nass; carbonatfrei; fluvial Terrasse ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qpT
20,00	6,00	Lehmschluff [Schluff, mittel tonig, schwach feinsandig]; grau (jp) (10Y5/1); feucht (bergfeucht); carbonatfrei; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; umgelagert Verschwenmungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
26,00	6,00	Schluffton [Ton, stark schluffig]; dunkel grau (5Y4/1); feucht (bergfeucht); carbonatfrei; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: schwach verwittert; Anteil org. Substanz: mittel; Verteilung org. Substanz: gleichmäßig; limnisch-fluvial; vorherrschend weich Zwischenhorizont ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qpZH
32,00	6,00	Schluffton [Ton, mittel schluffig]; oliv (5Y5/4); feucht (bergfeucht); carbonatfrei; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; limnisch-fluvial Zwischenhorizont ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qpZH
34,00	2,00	kiesführender Sand [Grobsand, mittel mittelsandig, schwach feinkiesig]; dunkel gelblich braun (10YR4/6); feucht (bergfeucht); carbonatfrei; Art der Verwitterung: oxidiert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; fluvial Terrasse ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qpT
38,00	4,00	Schluffton [Ton, mittel schluffig] zum Teil reduziert; hell oliv braun (2.5Y5/4); feucht (bergfeucht); carbonatfrei; Art der Verwitterung: oxidiert; Verteilung der Verwitterung: unregelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; umgelagert; vorherrschend weich Verschwenmungsablagerung ungegliedert (stratigraphische Einstufung unsicher; grundsätzlich ist eine Einstufung zur Iffezheim-Formation nicht auszuschließen (gilt bis zur ET)); Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
50,00	12,00	carbonatführender Grus [Grus, mittel schluffig, tonig] schwach glimmerführend; (Grus: mit Kalkstein, rotem Tonstein und Sandstein); hell oliv braun (2.5Y5/6); nass; kalkhaltig; Art der Verwitterung: oxidiert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; umgelagert Verschwenmungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV

Bohrung: 9014 EWS Erzhausen (Nord)-Plus	TK 25:	6017	
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert:	3474859	
Bohrfirma: UniWork DrillTec GmbH	Hochwert:	5535453	
Bearbeiter: Hosemann, Christian	Bohransatzhöhe:	119,00 m	
Datum: 22.01.2020	Endtiefe:	96,00 m	

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
 Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

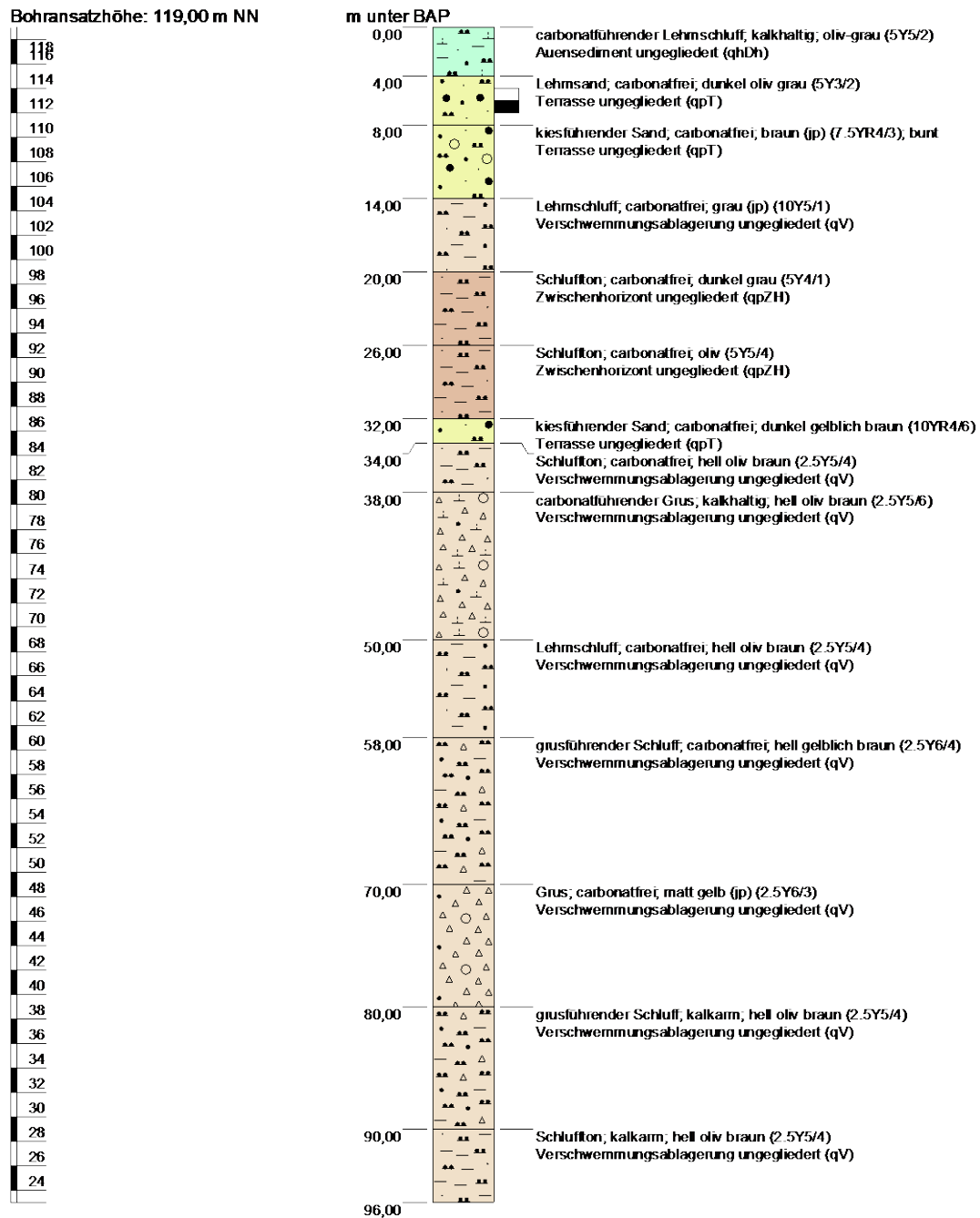
Schichtdaten			Interpretation: 0
Tiefe unter BAP in m	Mächtigkeit in m	Schichtbeschreibung	Stratigraphie
58,00	8,00	Lehmschluff [Schluff, mittel tonig, grobsandig]; hell oliv braun (2.5Y5/4); nass; carbonatfrei; Art der Verwitterung: oxidiert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; ungelagert Verschmummungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
70,00	12,00	grusführender Schluff [Schluff, stark grobsandig, mittel tonig, grusig] in Nestern karbonatisch); hell gelblich braun (2.5Y6/4); nass; carbonatfrei; ungelagert Verschmummungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
80,00	10,00	Grus [Feingrus, mittel grobsandig, schluffig, schwach tonig] in Nestern karbonatisch); matt gelb (jp) (2.5Y6/3); nass; carbonatfrei; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; ungelagert Verschmummungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
90,00	10,00	grusführender Schluff [Schluff, mittel tonig, schwach grusig]; (mit toniger Komponenten von ungelagertem Rotliegenden); hell oliv braun (2.5Y5/4); nass; kalkarm; Art der Verwitterung: reduziert; Verteilung der Verwitterung: regelmäßig; Grad der Verwitterung: mittelmäßig verwittert; ungelagert Verschmummungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV
96,00	6,00	Schluffton [Schluff, mittel tonig]; (mit wenigen rötlichen Komponenten von ungelagertem Rotliegenden); hell oliv braun (2.5Y5/4); nass; kalkarm; Art der Verwitterung: reduziert; ungelagert Verschmummungsablagerung ungegliedert; Chronostratigraphie: Pleistozän	qV


Bohrung: 9014 EWS Erzhausen (Nord)-Plus	TK 25: 6017	
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert: 3474859	
Bohrfirma: UniWork DrillTec GmbH	Hochwert: 5535453	
Bearbeiter: Hosemann, Christian	Bohransatzhöhe: 119,00 m	
Datum: 22.01.2020	Endtiefe: 96,00 m	

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

9014 EWS Erzhausen (Nord)-Plus



Bohrung: 9014 EWS Erzhausen (Nord)-Plus	TK 25: 6017	 Für eine lebenswerte Zukunft
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert: 3474859	
Bohrfirma: UniWork DrillTec GmbH	Hochwert: 5535453	
Bearbeiter: Hosemann, Christian	Bohransatzhöhe: 119,00 m NN	
Datum: 22.01.2020	Endteufe: 96,00 m	

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

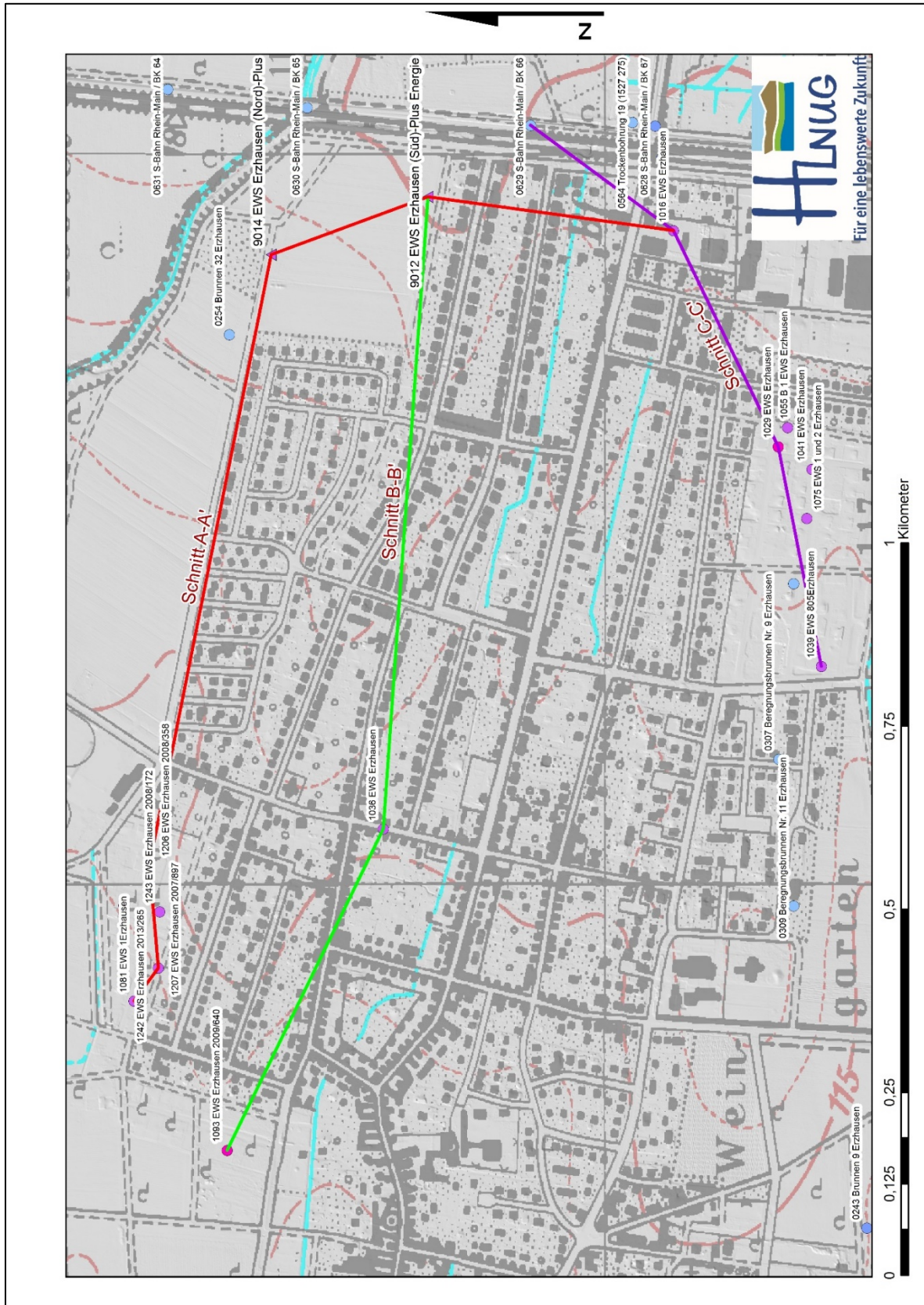
Anlage 2

Geologische Schnitte

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

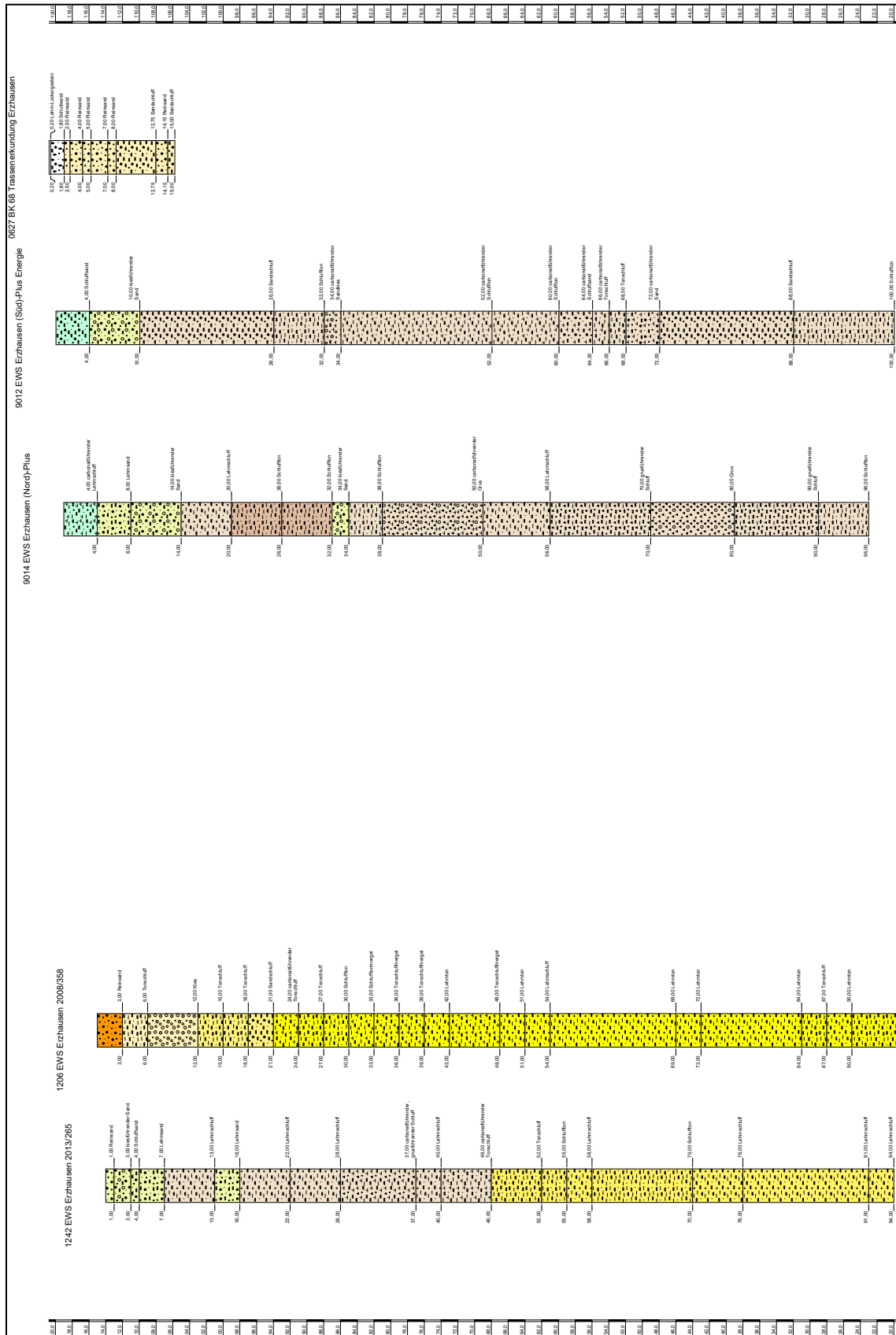
Lage der Schnitte



Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Schnitt A-A'

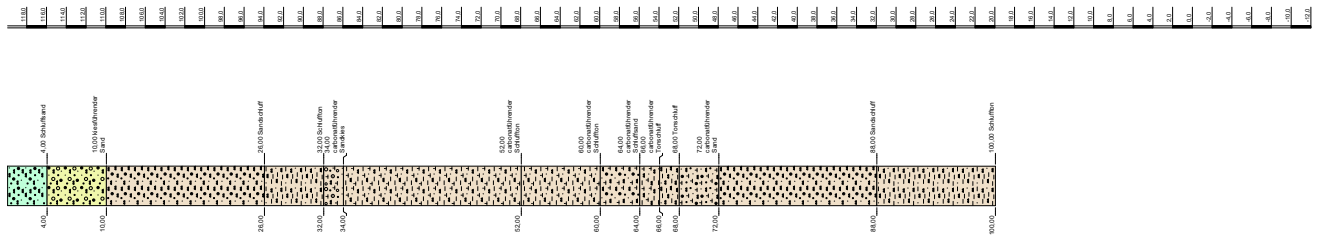


Schnitt B-B'

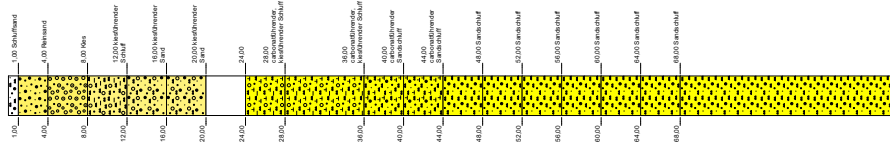
Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

9012 EWS Erzhausen (Süd)-Plus Energie



1038 EWS Erzhausen



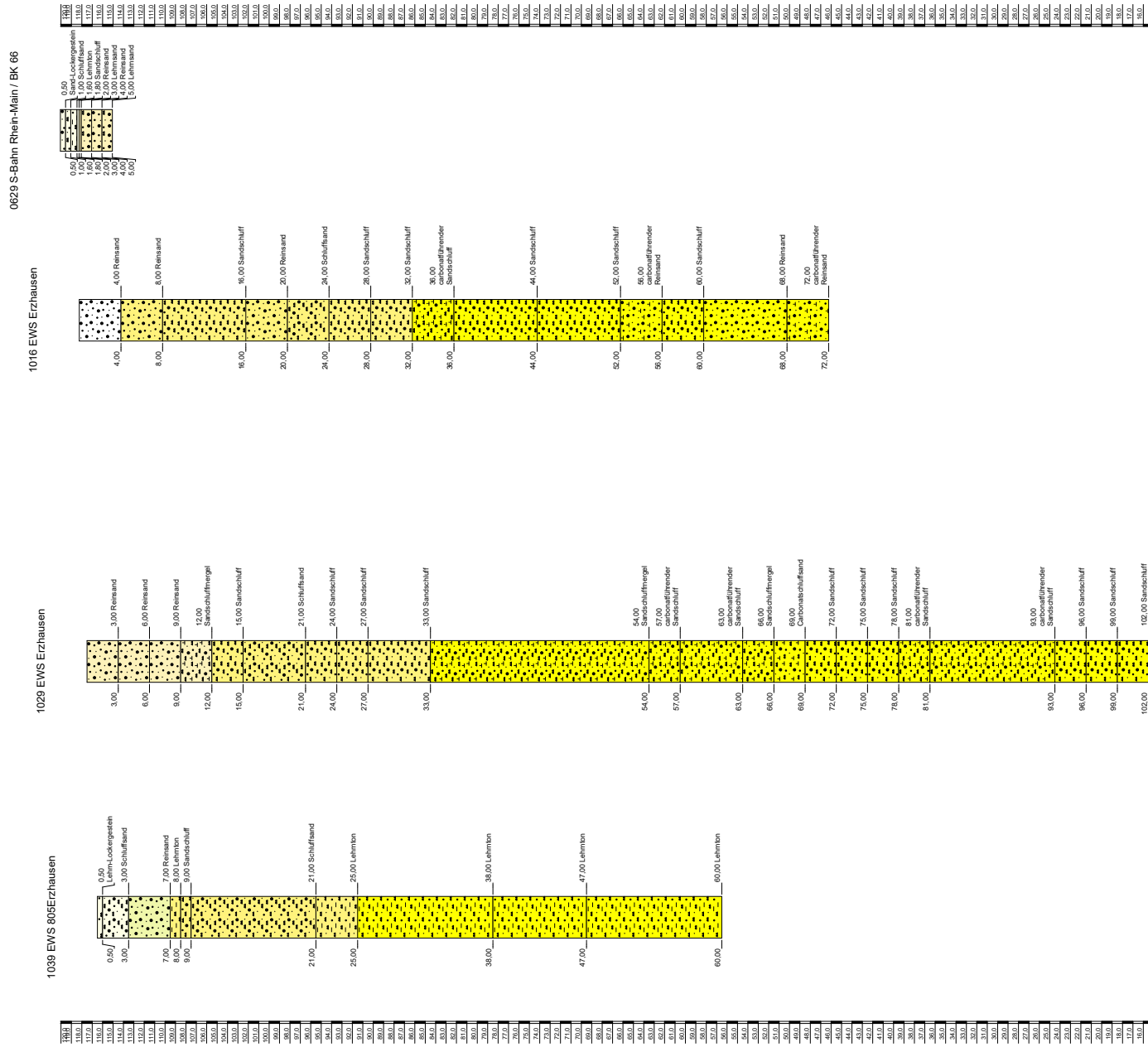
1083 EWS Erzhausen 2009/840



Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Schnitt C-C'



Anlage 3

Dokumentation Thermal Response Tests Bohrungen Nord und Süd

Geothermische Testarbeiten

Pilotbohrung I
64390 Erzhausen

Auftraggeber:

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt
und Geologie
Dezernat W4 Hydrogeologie, Grundwasser
Derzernat G4 Rohstoffgeologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Tel.: +49 611 6939-727
Fax: +49 611 6939-555

E-Mail: sven.rumohr@hlnug.hessen.de
www.hlnug.de

Datum 03.12.2019
Auftragsnummer 04.12.2019
Bearbeiter Dipl.-Ing. Christian Lumm
Dipl.-Hydrol. Steve Thiel
E-Mail thiel@geoenergie-konzept.de
Seiten 9
Anlagen 6

geoENERGIE Konzept GmbH
Am St. Niclas Schacht 13
09599 Freiberg

Tel.: +49 3731 79 878 0
Fax: +49 3731 79 878 29

Internet www.geoenergie-konzept.de · info@geoenergie-konzept.de
Konto Sparkasse Mittelsachsen (BLZ 870 520 00) · Kto.-Nr. 3115026810 · IBAN DE57870520003115026810 · SWIFT-BIC WELADED1FGX
Commerzbank Freiberg (BLZ 870 400 00) · Kto.-Nr. 0303453500 · IBAN DE77870400000303453500 · SWIFT-BIC COBADEFFXXX
EthikBank eG Eisenberg (BLZ 830 944 95) · Kto.-Nr. 3229068 · IBAN DE36830944950003229068 · SWIFT-BIC GENODEF1ETK
Geschäftsführer Dipl.-Geol. Rüdiger Grimm
Handelsregister Amtsgericht Chemnitz · HRB 23305
Identnummern Steuernummer: 20/109/02952 Finanzamt Freiberg · USt-IdNr.: DE 252240063

Inhalt

1	Vorbemerkungen.....	3
2	Grundlagen der geothermischen Testarbeiten.....	4
2.1	Temperaturprofilmessung.....	4
2.2	Thermal Response Test (TRT)	4
3	Randbedingungen.....	4
3.1	Bohrung.....	4
3.2	TRT.....	5
4	Messergebnisse.....	6
4.1	Ruhetemperaturprofil.....	6
4.2	TRT.....	6
5	Zusammenfassung.....	9

Anlagen

- 1 Funktionsprinzip Thermal Response Test
- 2 Messreihen
- 3 Kurzprotokoll Thermal Response Test
- 4 Bilddokumentation der Testarbeiten
- 5 Abklingkurven nach 1h, 2h, 3h nach Testende
- 6 Schichtenverzeichnis

1 Vorbemerkungen

Durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurde die Fa. geoENERGIE Konzept GmbH mit der Durchführung geothermischer Testarbeiten an einer ausgebauten Erdwärmesonden in Erzhausen beauftragt. In der nachfolgenden Abbildung ist der ungefähre Standort der untersuchten Bohrung dargestellt.



Abb. 1: Lage der untersuchten Erdwärmesonde (Quelle: www.google.de)

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Dokumentation des am Standort durchgeführten Thermal Response Tests (TRT) an einer ausgeführten Bohrung zur Bestimmung der thermischen Untergrundeigenschaften zur Erdwärmenutzung.

2 Grundlagen der geothermischen Testarbeiten

2.1 Temperaturprofilmessung

Zur Bestimmung der mittleren ungestörten Untergrundtemperatur wird vor Beginn des Tests eine tiefendiskrete Temperatur-Profilmessung mit dem Micro-Diver-Logger der Fa. Eijkelkamp Soil & Waterdurchgeführt.

Die ungestörte Untergrundtemperatur besitzt einen signifikanten Einfluss für die zu planende geothermische Anlage. Bei der Anlagendimensionierung stellt sie den Ausgangswert zur Bestimmung der relevanten zulässigen Fluidtemperaturen einer Anlage dar. Anhand des Temperaturprofils können des Weiteren Bereiche im Untergrund erkannt werden, welche durch den Zustrom von Grundwasser beeinflusst werden.

2.2 Thermal Response Test (TRT)

Der TRT ist ein Messverfahren gemäß DIN EN ISO 17628 zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Boden und Fels als Grundlage für die Dimensionierung und Auslegung von Erdwärmeanlagen. Zusätzlich werden die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand bestimmt. Die Durchführung erfolgt an einer fertig eingebauten Erdwärmesonde.

Bei einem TRT wird über einen Zeitraum von typischerweise 48 - 72 Stunden eine bestimmte Wärmeenergie über eine Erdwärmesonde in den Untergrund eingetragen und das Temperaturverhalten des Untergrundes gemessen. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die wesentlichen Kenngrößen der Erdwärmesonde und des Untergrundes ableiten. Details zur Funktionsweise eines TRT sind in Anlage 1 beschrieben.

3 Randbedingungen

3.1 Bohrung

Die untersuchte Bohrung wurde von der Fa. Handke Bohr- und Umwelttechnik UG errichtet. In der Tabelle 1 sind die wesentlichen Parameter der Bohrung aufgeführt:

Tab. 1: Parameter der Bohrung/Erdwärmesonde

Parameter der Bohrung	
Bohrtiefe	100 m
Tiefe Verrohrung	2 m
Bohrdurchmesser verrohrt	178 mm
Bohrdurchmesser unverrohrt	152 mm
mittlerer Bohrdurchmesser	153 mm
Sondenlänge	100 m
Sondentyp	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm
Verpressmaterial	Schwenk Füllbinder L
Wärmeleitfähigkeit gemäß Datenblatt	≥ 1,1 W/m,K

3.2 TRT

Nachfolgende Tabelle zeigt die wesentlichen Randbedingungen der Messung.

Tab. 2: Randbedingungen des TRTs

Randbedingungen TRT	
Messzeitraum	30.11.2019 - 03.12.2019
Messdauer	66,25 h
Außentemperatur	0,7 - 11,9 °C
mittlere Heizleistung	7061,0 W
Wärmeträgermedium	Wasser
Durchsatz	23,3 l/min
Temperaturspreizung	4,3 K
Strömungsregime	turbulent

4 Messergebnisse

4.1 Ruhetemperaturprofil

Durch die Messung eines Ruhetemperaturprofils können Aussagen zu jahreszeitlichen Einflüssen und ggf. Grundwassereinfluss getroffen werden. In der Anlage 2 ist das vor dem Test gemessene Temperaturprofil dargestellt. Die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Messung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tab. 3: Ergebnisse Temperaturprofil

Ergebnisse des Ruhetemperaturprofils		
Tiefe saisonale Zone	t_{saisonal}	10 m
mittlere Untergrundtemperatur ohne saisonale Zone	$T_{\text{T-Log}}$	12,6 °C

4.2 TRT

Mit dem durchgeführten Test konnten die folgenden Untergrundeigenschaften bestimmt werden:

Tab. 4: Testergebnisse

Ergebnisse des TRT		
effektive Wärmeleitfähigkeit (inkl. Messfehler)	λ^*	$2,1 \pm 0,1 \text{ W/m,K}$
thermischer Bohrlochwiderstand	R_b	0,11 K/W/m
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	l_{TRT}	100 m

Für die bestimmte Wärmeleitfähigkeit lässt sich gemäß Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz ein Messfehler von 2,3 % angeben (für Details zur Fehlerbetrachtung wird auf die Anlage 1 verwiesen).

Zur Verifizierung der Messergebnisse wurde eine graduelle Auswertung der Messergebnisse vorgenommen. Hierbei wurde der Einfluss der Außentemperatur berücksichtigt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Wärmeleitfähigkeit über die Testdauer.

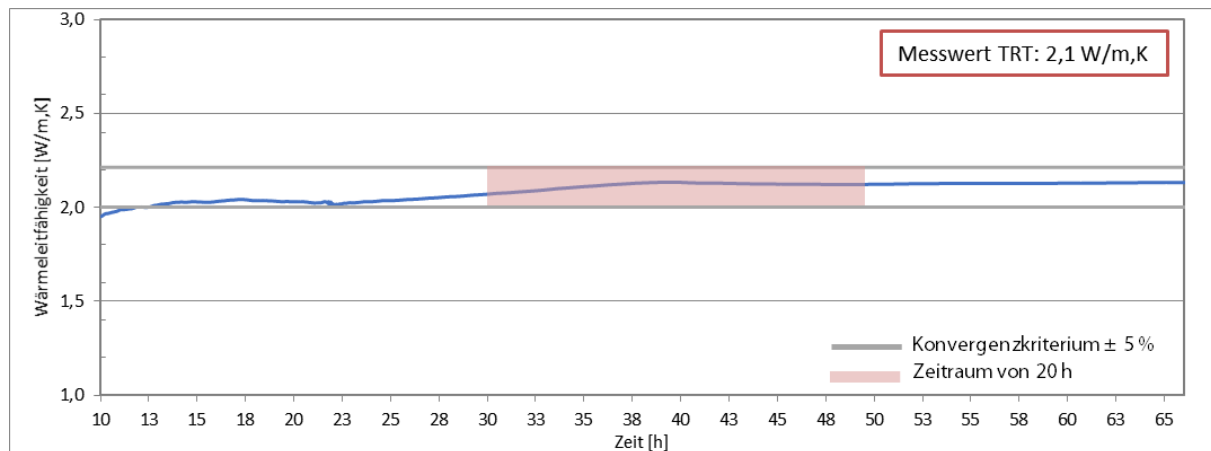


Abb. 2: Graduelle Auswertung der Wärmeleitfähigkeit inkl. Darstellung Konvergenzkriterium

Nach der VDI 4640 Blatt 5 gilt als Konvergenzkriterium für die ausgewertete Wärmeleitfähigkeit eine Konstanz von $\Delta\lambda/\lambda = \pm 5\%$ über einen Zeitraum von 20 h. Dabei darf eine Mindestdauer des gesamten Tests von 48 h nicht unterschritten werden.

Die graduelle Auswertung des durchgeführten Thermal Response Tests ergab, dass sich nach 30 h ein stabiler Messwert einstellt. Das Konvergenzkriterium gilt deshalb ab der 50sten Stunde des Tests als erfüllt.

Für den Standort Erzhausen ergeben sich aus den geothermischen Testarbeiten folgende Untergrundeigenschaften:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit: 2,1 W/m,K
- Thermischer Bohrlochwiderstand: 0,11 K/W/m
- Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur: 12,6 °C

Nach dem Ende des Tests wurden am Standort nach 1h, 2h und 3h die Abklingkurven gemessen (siehe Anlage 5).

In der nachfolgenden Abbildung sind Literaturwerte für die Wärmeleitfähigkeit der angebotenen Gesteine gemäß Schichtenverzeichnis (grau, siehe Anlage 6) am Standort dargestellt. Des Weiteren ist die tiefengemittelte Wärmeleitfähigkeit (grün) sowie das Ergebnis des TRT (rot) vergleichend gegenüber dargestellt.

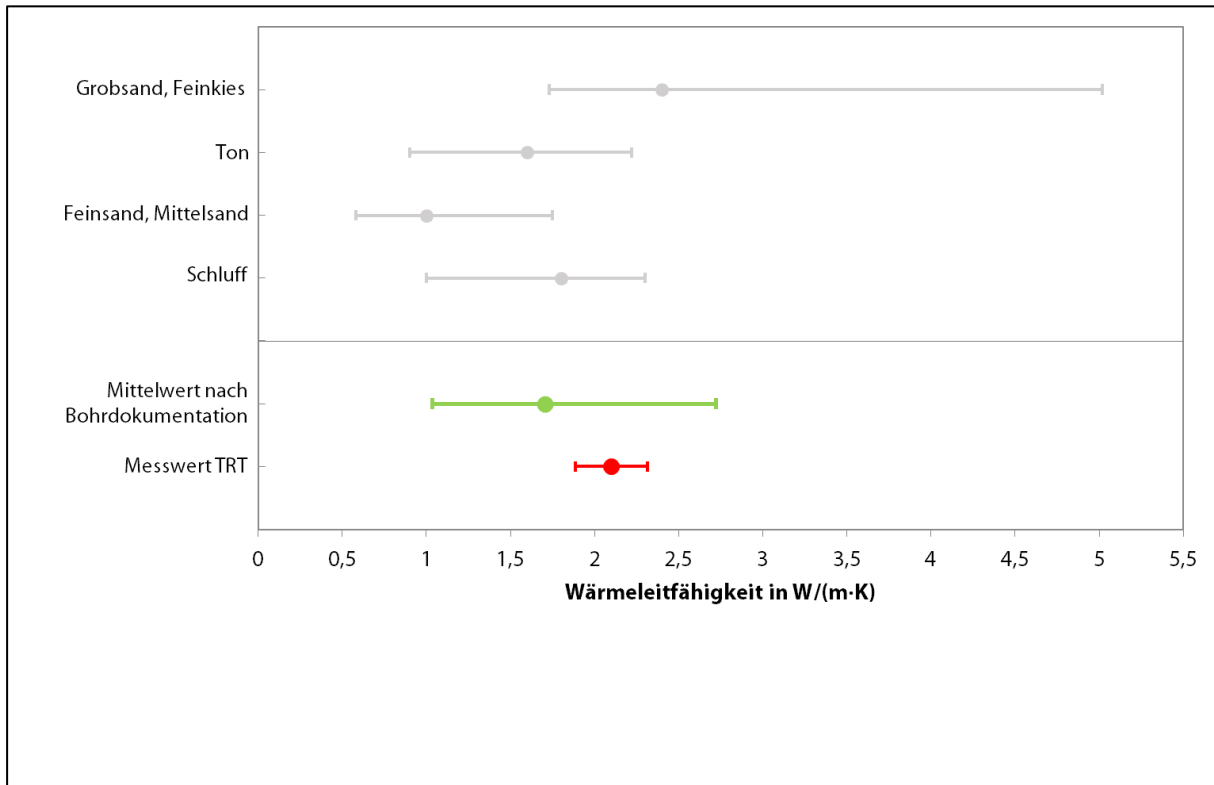


Abb. 3: Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten

5 Zusammenfassung

Im Auftrag des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurden an einer Pilotbohrung am Standort Erzhausen geothermische Testarbeiten durchgeführt. Der Thermal Response Test wurde im Zeitraum vom 30.11.2019 – 03.12.2019 durchgeführt.

Im Ergebnis der Testarbeiten konnte über die Sondenlänge von 100 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,1 W/m·K ermittelt werden.

Für die Sondenanlage wurde unter Berücksichtigung der Testergebnisse ein thermischer Bohrlochwiderstand R_b von 0,11 K/W/m ermittelt.

Die vor Testbeginn erfasste mittlere ungestörte Untergrundtemperatur beträgt am Standort 12,6 °C. Diese wurde über eine Tiefe von 100 m erfasst.

Eine Visualisierung der in Kapitel 4 beschriebenen Messdaten ist als Anlage 2 beigefügt.

Eine Zusammenfassung der Testergebnisse ist in Anlage 3 beigefügt. Die Anlage 4 beinhaltet eine Fotodokumentation der Testarbeiten.

Freiberg, 03.12.2019

Steve Thiel

Dipl.-Hydrol. Steve Thiel



Anlage 1

ANLAGE 1 Funktionsprinzip TRT

Datum	03.12.2019
Projekt-Nr.	3416-3
Bauvorhaben	Pilotbohrung Erzhausen I
zum Bericht	Geothermische Testarbeiten
Seite	1 von 4

1 Allgemein

Der Thermal Response Test ist ein international bewährtes Verfahren zur Bestimmung thermischer Untergrundparameter. Dabei wird eine fertig ausgebaute (und im späteren Sondenfeld nutzbare) Erdwärmesonde mit einem definierten Wärmeeintrag über einen Zeitraum von 48 bis 72 Stunden thermisch belastet und der Untergrund zu einer Temperaturantwort ("response") angeregt. Diese Reaktion ist charakteristisch für die dort anstehenden Gesteine und lässt die Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit im Umfeld der Sonde zu.

Zusätzlich können die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand mit dem Test bestimmt werden. Diese drei spezifischen Werte sind die wichtigsten Kenngrößen zur Dimensionierung von Erdwärmeanlagen.

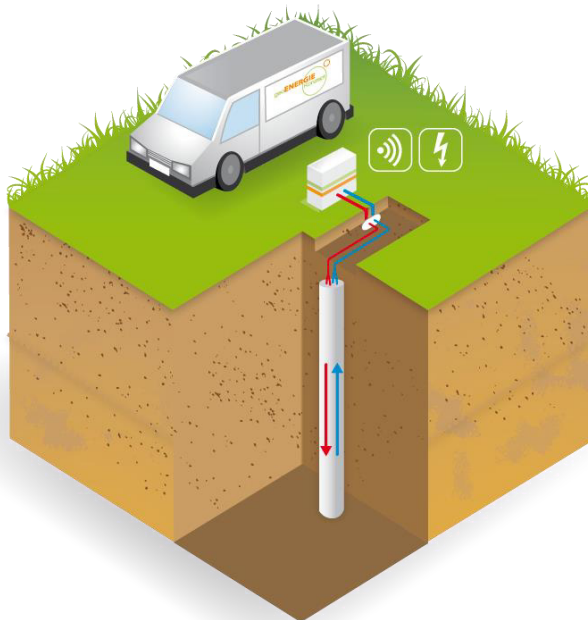


Abb. 1: Prinzip eines Thermal Response Test

2 Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen des Thermal Response Test wurden in den 1980er Jahren aus der Thermodynamik abgeleitet und für die Bestimmung von Wärmeleitfähigkeiten in Erdwärmepumpen angepasst. Seit Mitte der 1990er Jahre stehen mobile Messeinrichtungen für den Baustelleneinsatz zur Verfügung.

Ein TRT-Messgerät besteht im Wesentlichen aus einer Heizeinrichtung, einer Umwälzpumpe sowie einer Datenerfassung und Steuerung. Da der Querschnitt einer Erdwärmesonde gegenüber der Länge zu vernachlässigen ist, kann die Auswertung anhand der Kelvin'schen Linienquelle erfolgen.

Demnach zeigt der Untergrund bei Eintrag einer konstanten Wärmemenge zu Beginn ein typisches Aufheizverhalten und zu späten Zeiten einen konstanten Anstieg. Die Auswertung der zeitlichen Temperaturentwicklung ermöglicht die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit im Umfeld des Bohrloches.

3 Messgrößen

3.1 Ungestörte Untergrundtemperatur

Die ungestörte Untergrundtemperatur wird zur Dimensionierung des Sondenfeldes und zur Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes benötigt. Eine hohe Untergrundtemperatur ermöglicht eine größere Temperaturabsenkung und damit eine Effektivitätssteigerung im Betrieb der Anlage.

Zu Beginn des Thermal Response Test werden die Rücklauftemperaturen aufgezeichnet. Je nach Sondenlänge und Durchflussrate erhält man in der ersten Phase der Testarbeiten ein Abbild der Erdreichtemperatur. Eine zweite Möglichkeit ist die Aufzeichnung eines Ruhetemperaturprofils. Damit kann eine tiefenaufgelöste Information der Untergrundtemperatur dargestellt werden.

3.2 effektive Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes ist bestimmt durch die Geschwindigkeit, mit der sich die Erwärmung ausbreitet. Die Wärmeleitfähigkeit ist das Vermögen eines Stoffes, Energie in Form von Wärme zu transportieren. Die effektive Wärmeleitfähigkeit λ^* liefert einen integralen Wert der Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Bohrung.

Die Berechnung erfolgt nach der Theorie der Kelvin'schen Linienquelle. Die effektiv dem Untergrund zugeführte Heizleistung Q [W] lässt sich aus den Temperaturdifferenzen und dem Volumenstrom bestimmen. Unter Beachtung des theoretischen Mindestzeitkriteriums wird die Fluidtemperatur halblogarithmisch aufgetragen. Der Anstieg k dieser Geraden geht

in die Berechnungsvorschrift für die effektive Wärmeleitfähigkeit λ^* ein. Des Weiteren tritt in der Formel ein Bezug zur Bohrlochteufe H [m] auf. Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$\lambda^* = \frac{Q}{4\pi Hk}$$

Die Wärmeleitfähigkeit ist der entscheidende geothermische Parameter, nach dem Anlagen konzipiert werden. In den Auslegungsprogrammen (z.B. EED Earth Energy Designer) ist die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes die wesentliche Einflussgröße auf die Größe der Erdwärmeanlage.

3.3 thermischer Bohrlochwiderstand

der thermische Bohrlochwiderstand R_b beschreibt den Wärmeübergang zwischen dem Fluid in der Sonde und der Bohrlochwand. Man enthält demnach qualitative Aussagen über die thermischen Eigenschaften von Sonden- und Verpressmaterial.

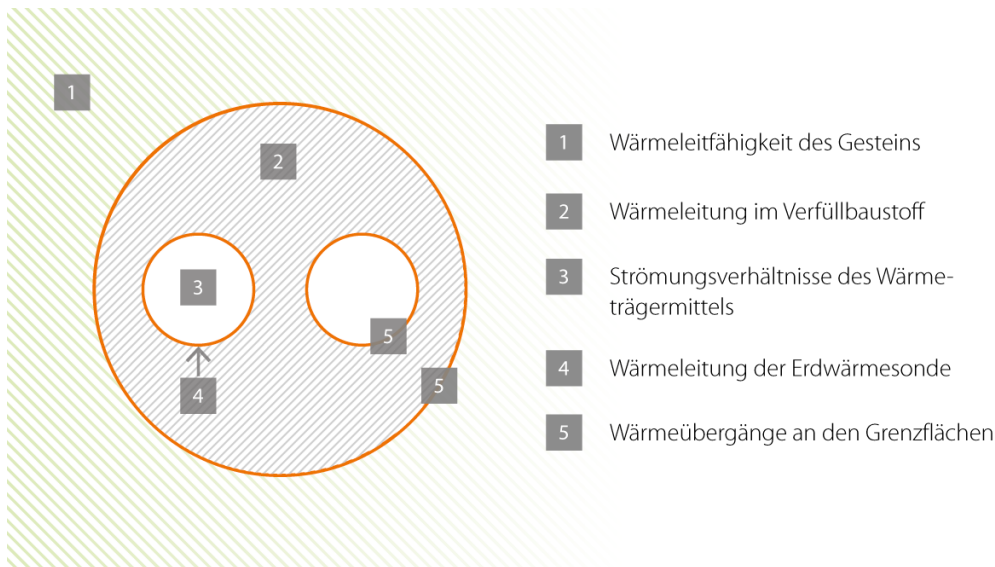


Abb. 2: Einflussfaktoren auf den thermischen Bohrlochwiderstand

Die Ermittlung ist ebenfalls aus der Kelvin'schen Linienquellentheorie abzuleiten. Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$R_b = \frac{H}{Q}(T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda^*} \left[\ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r_0^2}\right) - 0.5772 \right]$$

- T_f aktuelle Fluidmitteltemperatur
 T_0 Fluidtemperatur zu Beginn der Messung
 α Thermische Diffusivität in [m²/s], $\alpha = \lambda / (\rho \cdot c_p)$
 r_0 Bohrlochradius [mm]

Der thermische Bohrlochwiderstand ermöglicht eine qualitative Aussage zur Güte der Anbindung der Erdwärmesonde an das Gebirge. Man erhält damit zum einen Eingangparameter in Simulationsprogramme zum thermischen Verhalten von Erdwärmesonden und zum anderen einen Hinweis auf die Qualität der Verpressung.

3.4 Fehlerbetrachtung

Die Ermittlung der Messunsicherheiten ist ein wesentlicher Bestandteil der Versuchsauswertung. Erst die Fehlerbetrachtung ermöglicht Aussagen über weitere Verwendbarkeit der Daten.

Neben den theoretischen Fehler basierend auf einer mathematischen Näherungslösung (Linienquellentheorie) für die Erdwärmesonde haben die baustellenbedingten Stromschwankungen und die messtechnischen Ungenauigkeiten einen Einfluss auf die Messergebnisse.

Unter dem hier angegebenen Größtfehler versteht man die größtmögliche, d.h. unter ungünstigsten Umständen, auftretende Abweichungen vom wahren Wert. Es gilt die Größtfehlerabschätzung nach Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\Delta\lambda = \left| \frac{3 \cdot s_D}{D} \right| + \left| \frac{3 \cdot s_{\Delta T}}{\Delta T} \right| + \left| \frac{\Delta H}{H} \right| + \left| \frac{\Delta k}{k} \right|$$

Fehler in der Bestimmung von λ^* werden sowohl systematisch durch die Heizleistung Q und die Sondenlänge H als auch zufällig durch die Steigung der Regressionsgeraden k verursacht (siehe Formel). Fehler in Q sind neben den baustellenbedingten Stromschwankungen direkt durch die Messgenauigkeit der Temperatursensoren ($\pm 0,1$ K) und den Volumenstromsensor ($\pm 0,1$ l/min) bedingt. Der Größtfehler der eingebrachten Heizleistung kann durch die 3-fache Standardabweichung abgeschätzt werden.

Die Erdwärmesondenlänge H wird mit einem Fehler \approx von 1 % der im Versuch ermittelten Sondenlänge angenommen. Unter Ansatz der aufgeführten Verfahrensweise ergeben sich bei den Testarbeiten typische Fehler zwischen 3 und 6 %.

Anlage 2

ANLAGE 2
Messdaten

Datum 03.12.2019
Projekt-Nr. 3416-3
Bauvorhaben Pilotbohrung
 Erzhausen I
zum Bericht Geothermische
 Testarbeiten
Seite 1 von 2

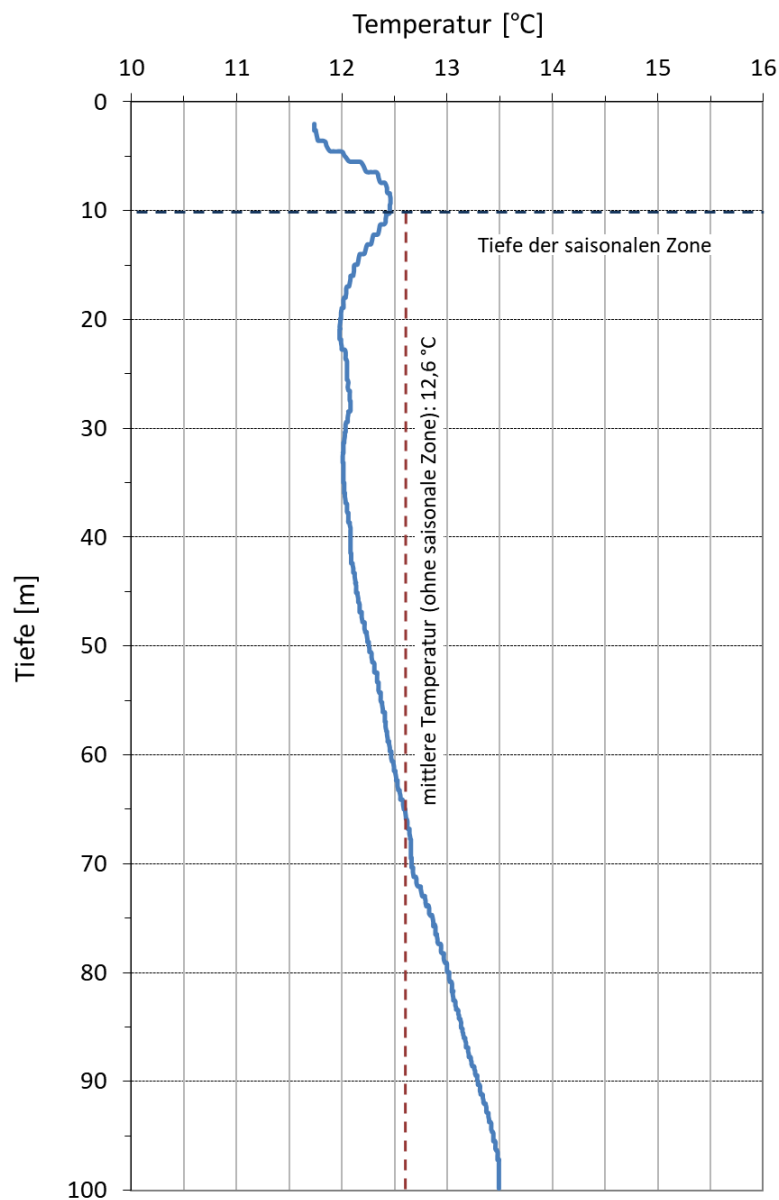


Abb. 1: Tiefenprofil der ungestörten Untergrundtemperatur

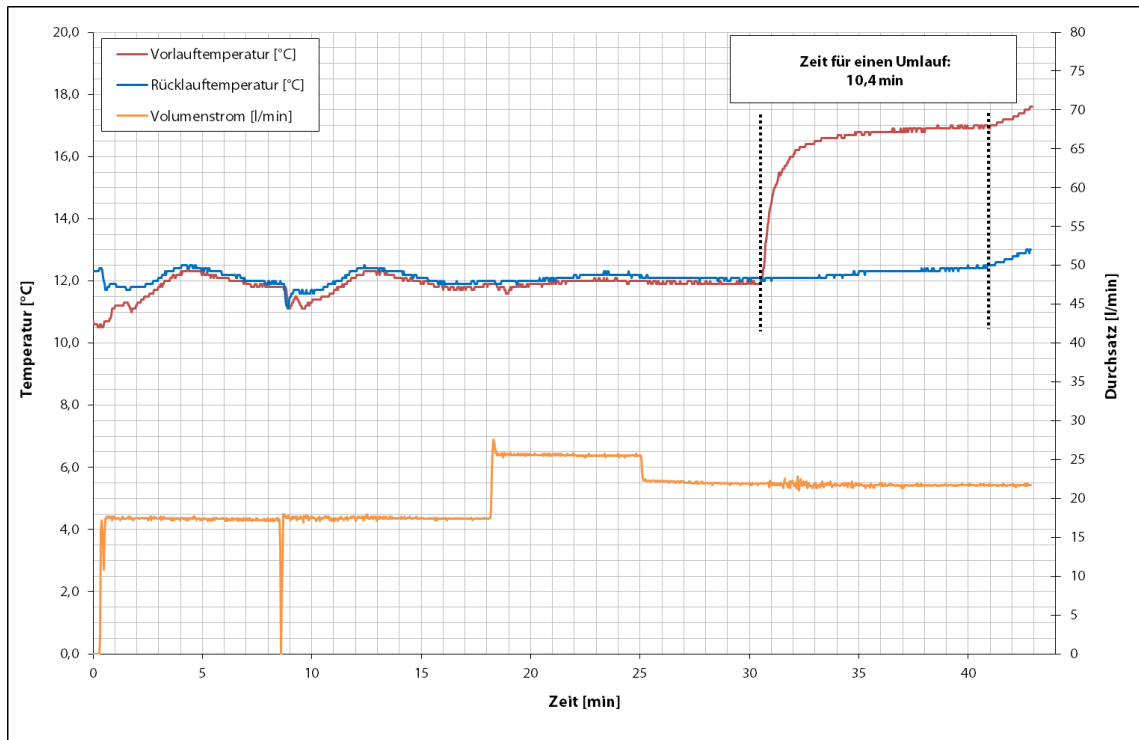


Abb. 2: Erste Testphase zur Bestimmung der Sondenlänge

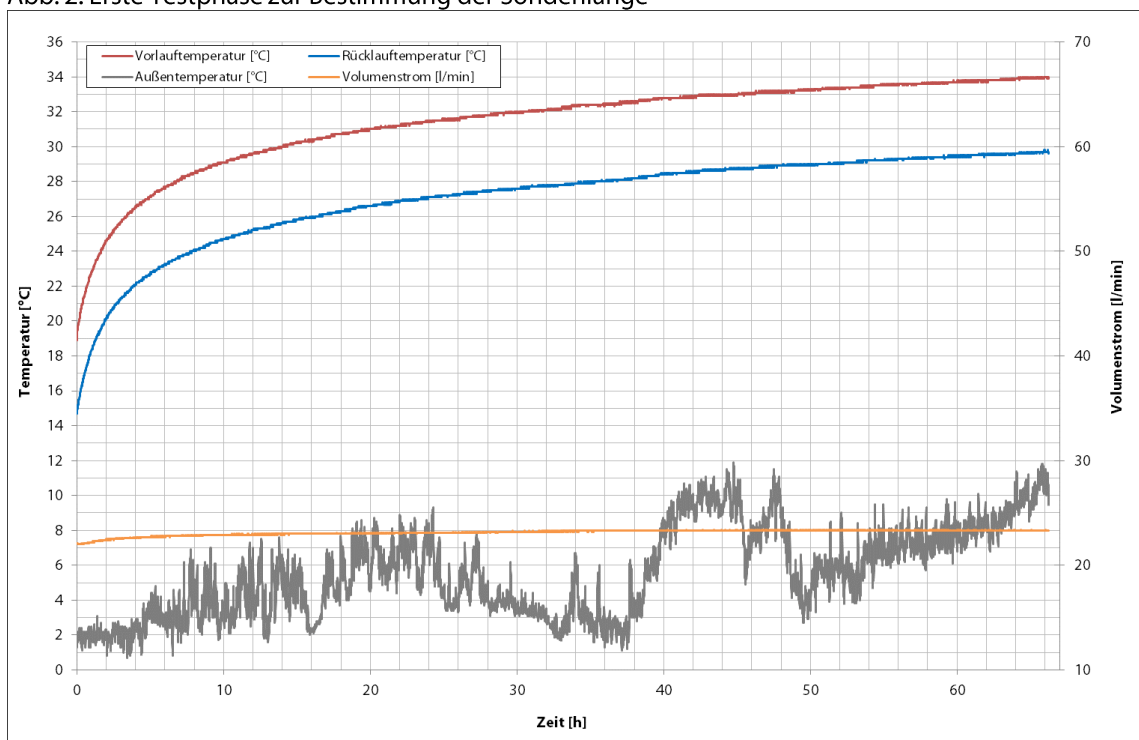
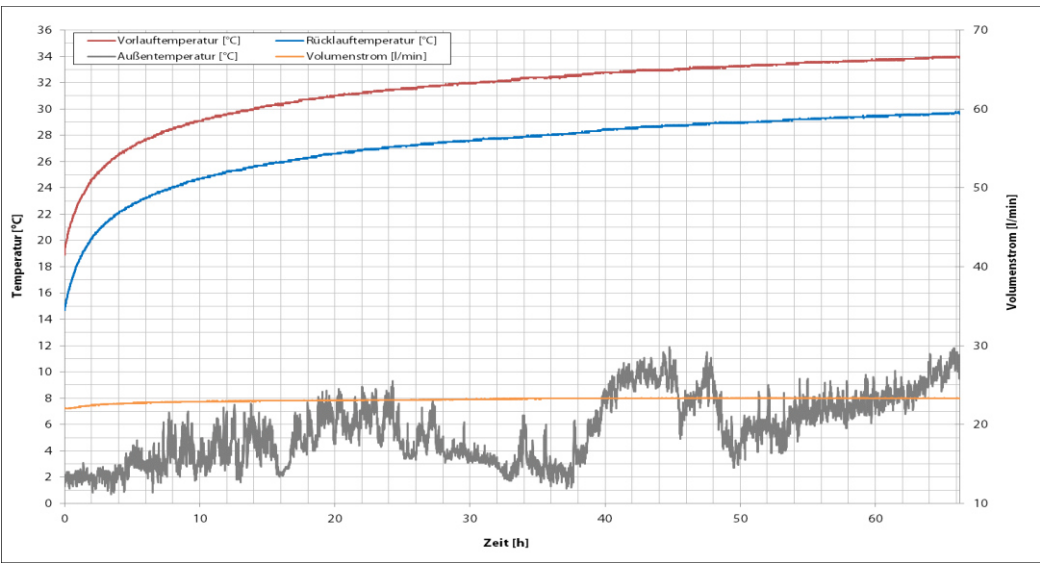


Abb. 3: Messreihe zur Bestimmung der geothermischen Untergrundeigenschaft

Anlage 3

Kurzprotokoll: Thermal Response Test													
Projektnr. AN	3416-3												
Projektnr. /Bestellnr. AG	geoENERGIE Konzept GmbH Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg Tel.: +49 3731 79878 19 Fax: +49 3731 79878 30 info@geoenergie-konzept.de												
Bauvorhaben	Pilotbohrung Erzhausen I 64390 Erzhausen												
Auftraggeber	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie Rheingau Straße 186 65203 Wiesbaden												
Bohrunternehmen	Handke Bohr- und Umwelttechnik UG Gartenstr. 17 65529 Waldems												
Kontaktperson AG	Herr Dr. Sven Rumohr												
Randbedingungen	<table border="0"> <tr> <td>Messzeitraum</td> <td>30.11.2019 - 03.12.2019</td> </tr> <tr> <td>Bohrtiefe</td> <td>100 m</td> </tr> <tr> <td>Sondenlänge</td> <td>100 m</td> </tr> <tr> <td>mittlerer Bohrdurchmesser</td> <td>153 mm</td> </tr> <tr> <td>Sondentyp</td> <td>Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm</td> </tr> <tr> <td>Verpressmaterial</td> <td>Schwenk Füllbinder L</td> </tr> </table>	Messzeitraum	30.11.2019 - 03.12.2019	Bohrtiefe	100 m	Sondenlänge	100 m	mittlerer Bohrdurchmesser	153 mm	Sondentyp	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm	Verpressmaterial	Schwenk Füllbinder L
Messzeitraum	30.11.2019 - 03.12.2019												
Bohrtiefe	100 m												
Sondenlänge	100 m												
mittlerer Bohrdurchmesser	153 mm												
Sondentyp	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm												
Verpressmaterial	Schwenk Füllbinder L												
Messreihen TRT													
Bemerkungen	Ergebnisse des TRT's												
Testergebnisse													
mittlere Untergrundtemperatur	12,6 °C												
effektive Wärmeleitfähigkeit	2,1 ± 0,1 W/m,K												
thermischer Bohrlochwiderstand	0,11 K/W/m												

Anlage 4

ANLAGE 4 Fotodokumentation

Datum 03.12.2019
Projekt-Nr. 3416-3
Bauvorhaben Pilotbohrung
Erzhausen I
zum Bericht Geothermische
Testarbeiten
Seite 1 von 2



Abb. 1: Standort vor den Testarbeiten



Abb. 2: Erdwärmesonde nach Ende der Testarbeiten

Anlage 5

ANLAGE 5 Abklingkurven

Datum 03.12.2019
Projekt-Nr. 3416-3
Bauvorhaben Pilotbohrung
 Erzhausen I
zum Bericht Geothermische
 Testarbeiten
Seite 1 von 1

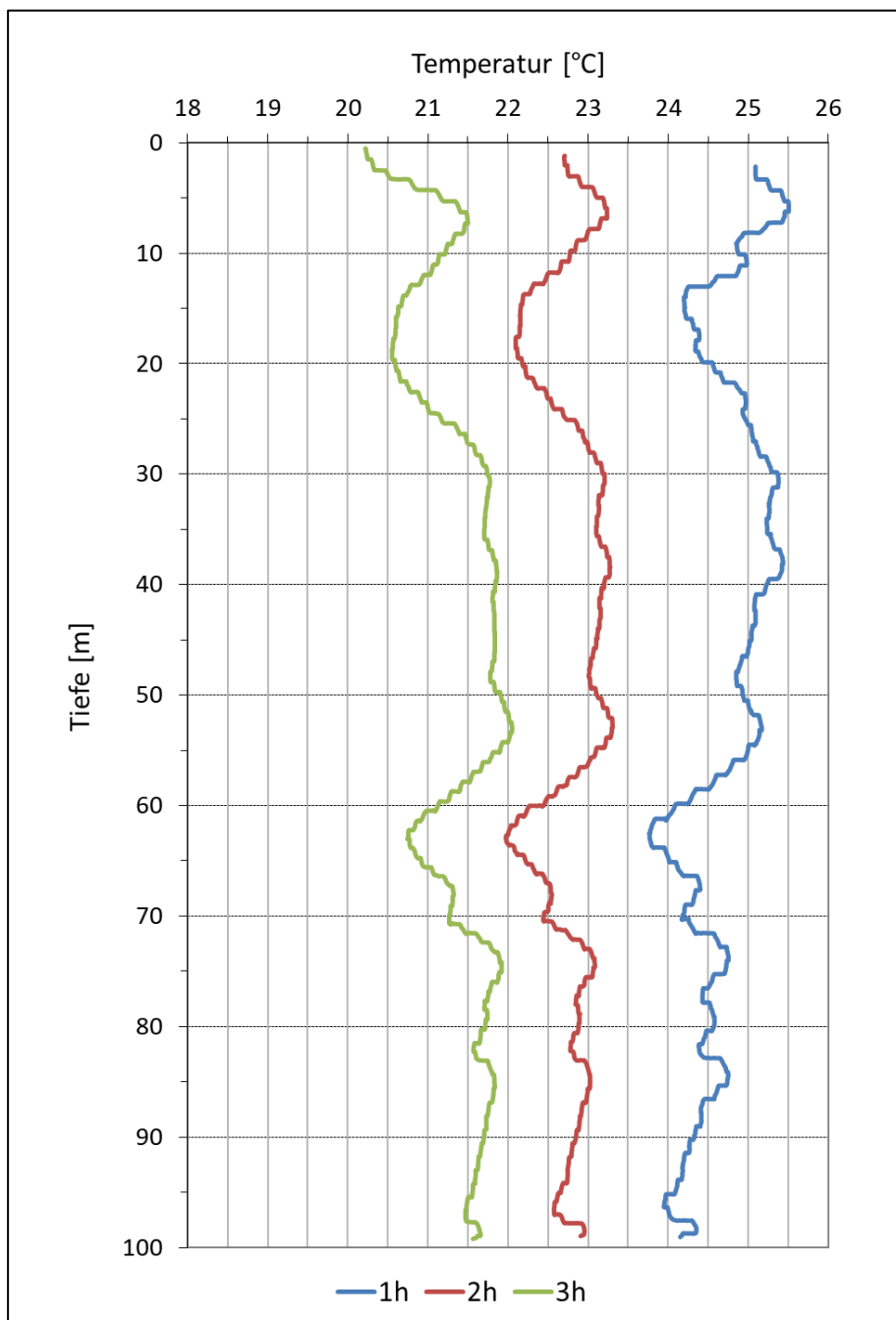
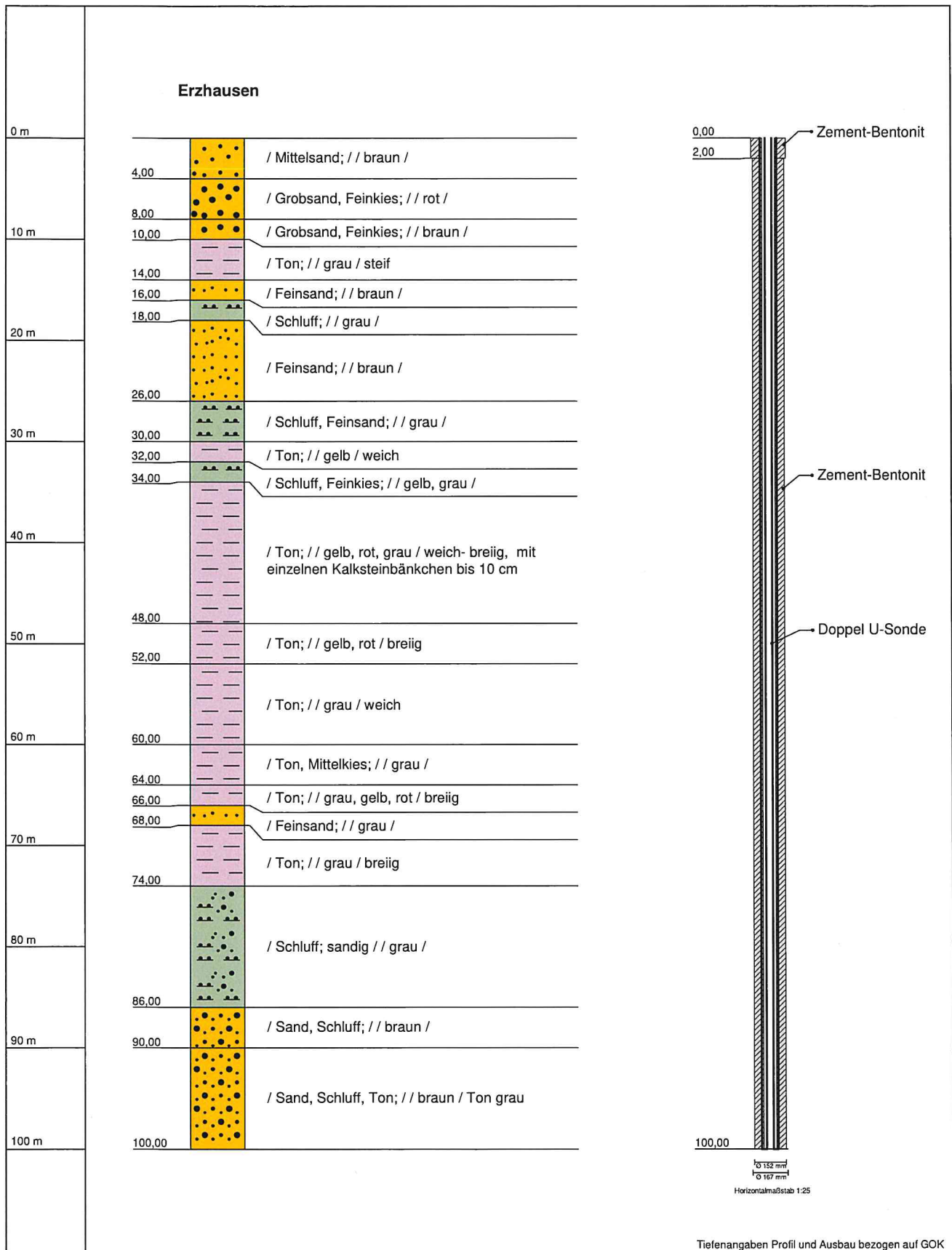


Abb. 1: Tiefenprofile der Untergrundtemperatur für 1h, 2h und 3h nach Ende der Testarbeiten (Abklingkurven)

Anlage 6



Tiefenangaben Profil und Ausbau bezogen auf GOK

Projekt	Pilotbohrung in Erzhausen / HLNUG	NF: Handke Bohrtechnik
Ort	Erzhausen Kreis Darmstadt-Dieburg	
NF		
Bearbeiter	Marcel Handke	Datum: 25.11.2019
Bohrfirma	Handke Bohr- und Umwelttechnik UG	Maßstab : 1:521

Handke

Bohr- und Umwelt-
technik UG (haftungsbeschränkt)

Geothermische Testarbeiten

Pilotbohrung II
64390 Erzhausen

Auftraggeber:

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt
und Geologie
Dezernat W4 Hydrogeologie, Grundwasser
Dezernat G4 Rohstoffgeologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Tel.: +49 611 6939-727
Fax: +49 611 6939-555

E-Mail: sven.rumohr@hlnug.hessen.de
www.hlnug.de

Datum 06.12.2019
Auftragsnummer 3416-4
Bearbeiter Dipl.-Ing. Christian Lumm
Dipl.-Hydrol. Steve Thiel
E-Mail thiel@geoenergie-konzept.de
Seiten 9
Anlagen 6

geoENERGIE Konzept GmbH
Am St. Niclas Schacht 13
09599 Freiberg

Tel.: +49 3731 79 878 0
Fax: +49 3731 79 878 29

Internet www.geoenergie-konzept.de · info@geoenergie-konzept.de
Konto Sparkasse Mittelsachsen (BLZ 870 520 00) · Kto.-Nr. 3115026810 · IBAN DE57870520003115026810 · SWIFT-BIC WELADED1FGX
Commerzbank Freiberg (BLZ 870 400 00) · Kto.-Nr. 0303453500 · IBAN DE77870400000303453500 · SWIFT-BIC COBADEFFXXX
EthikBank eG Eisenberg (BLZ 830 944 95) · Kto.-Nr. 3229068 · IBAN DE36830944950003229068 · SWIFT-BIC GENODEF1ETK
Geschäftsführer Dipl.-Geol. Rüdiger Grimm
Handelsregister Amtsgericht Chemnitz · HRB 23305
Identnummern Steuernummer: 20/109/02952 Finanzamt Freiberg · USt-IdNr.: DE 252240063

Inhalt

1	Vorbemerkungen.....	3
2	Grundlagen der geothermischen Testarbeiten.....	4
2.1	Temperaturprofilmessung.....	4
2.2	Thermal Response Test (TRT)	4
3	Randbedingungen.....	4
3.1	Bohrung.....	4
3.2	TRT.....	5
4	Messergebnisse.....	6
4.1	Ruhetemperaturprofil.....	6
4.2	TRT.....	6
5	Zusammenfassung.....	9

Anlagen

- 1 Funktionsprinzip Thermal Response Test
- 2 Messreihen
- 3 Kurzprotokoll Thermal Response Test
- 4 Bilddokumentation der Testarbeiten
- 5 Abklingkurven nach 1h, 2h, 3h nach Testende
- 6 Schichtenverzeichnis

1 Vorbemerkungen

Durch das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurde die Fa. geoENERGIE Konzept GmbH mit der Durchführung geothermischer Testarbeiten an einer ausgebauten Erdwärmesonden in Erzhausen beauftragt. In der nachfolgenden Abbildung ist der ungefähre Standort der untersuchten Bohrung dargestellt.



Abb. 1: Lage der untersuchten Erdwärmesonde (Quelle: www.google.de)

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Dokumentation des am Standort durchgeführten Thermal Response Tests (TRT) an einer ausgeführten Bohrung zur Bestimmung der thermischen Untergrundeigenschaften zur Erdwärmenutzung.

2 Grundlagen der geothermischen Testarbeiten

2.1 Temperaturprofilmessung

Zur Bestimmung der mittleren ungestörten Untergrundtemperatur wird vor Beginn des Tests eine tiefendiskrete Temperatur-Profilmessung mit dem Micro-Diver-Logger der Fa. Eijkelkamp Soil & Water durchgeführt.

Die ungestörte Untergrundtemperatur besitzt einen signifikanten Einfluss für die zu planende geothermische Anlage. Bei der Anlagendimensionierung stellt sie den Ausgangswert zur Bestimmung der relevanten zulässigen Fluidtemperaturen einer Anlage dar. Anhand des Temperaturprofils können des Weiteren Bereiche im Untergrund erkannt werden, welche durch den Zustrom von Grundwasser beeinflusst werden.

2.2 Thermal Response Test (TRT)

Der TRT ist ein Messverfahren gemäß DIN EN ISO 17628 zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Boden und Fels als Grundlage für die Dimensionierung und Auslegung von Erdwärmeanlagen. Zusätzlich werden die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand bestimmt. Die Durchführung erfolgt an einer fertig eingebauten Erdwärmesonde.

Bei einem TRT wird über einen Zeitraum von typischerweise 48 - 72 Stunden eine bestimmte Wärmeenergie über eine Erdwärmesonde in den Untergrund eingetragen und das Temperaturverhalten des Untergrundes gemessen. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf die wesentlichen Kenngrößen der Erdwärmesonde und des Untergrundes ableiten. Details zur Funktionsweise eines TRT sind in Anlage 1 beschrieben.

3 Randbedingungen

3.1 Bohrung

Die untersuchte Bohrung wurde von der Fa. UniWork DrillTec GmbH errichtet. In folgender Tabelle 1 sind die wesentlichen Parameter der Bohrung aufgeführt:

Tab. 1: Parameter der Bohrung/Erdwärmesonde

Parameter der Bohrung		
Bohrtiefe		96 m
Tiefe Verrohrung		22 m
Bohrdurchmesser verrohrt		185 mm
Bohrdurchmesser unverrohrt		152 mm
mittlerer Bohrdurchmesser		160 mm
Sondenlänge		96 m
Sondentyp	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm	
Verpressmaterial	Fischer GeoSolid 240 HS	
Wärmeleitfähigkeit gemäß Datenblatt		≥ 2,4 W/m,K

3.2 TRT

Nachfolgende Tabelle zeigt die wesentlichen Randbedingungen der Messung.

Tab. 2: Randbedingungen des TRTs

Randbedingungen TRT		
Messzeitraum	03.12.2019 - 06.12.2019	
Messdauer	66,27 h	
Außentemperatur	-1,6 - 10,8 °C	
mittlere Heizleistung	7179,7 W	
Wärmeträgermedium	Wasser	
Durchsatz	22,3 l/min	
Temperaturspreizung	4,6 K	
Strömungsregime	turbulent	

4 Messergebnisse

4.1 Ruhetemperaturprofil

Durch die Messung eines Ruhetemperaturprofils können Aussagen zu jahreszeitlichen Einflüssen und ggf. Grundwassereinfluss getroffen werden. In der Anlage 2 ist das vor dem Test gemessene Temperaturprofil dargestellt. Die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Messung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tab. 3: Ergebnisse Temperaturprofil

Ergebnisse des Ruhetemperaturprofils		
Tiefe saisonale Zone	t_{saisonal}	16 m
mittlere Untergrundtemperatur ohne saisonale Zone	$T_{\text{T-Log}}$	12,3 °C

4.2 TRT

Mit dem durchgeführten Test konnten die folgenden Untergrundeigenschaften bestimmt werden:

Tab. 4: Testergebnisse

Ergebnisse des TRT		
effektive Wärmeleitfähigkeit (inkl. Messfehler)	λ^*	$2,3 \pm 0,1 \text{ W/m,K}$
thermischer Bohrlochwiderstand	R_b	0,08 K/W/m
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	l_{TRT}	96 m

Für die bestimmte Wärmeleitfähigkeit lässt sich gemäß Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz ein Messfehler von 1,6 % angeben (für Details zur Fehlerbetrachtung wird auf die Anlage 1 verwiesen).

Zur Verifizierung der Messergebnisse wurde eine graduelle Auswertung der Messergebnisse vorgenommen. Hierbei wurde der Einfluss der Außentemperatur berücksichtigt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Wärmeleitfähigkeit über die Testdauer.

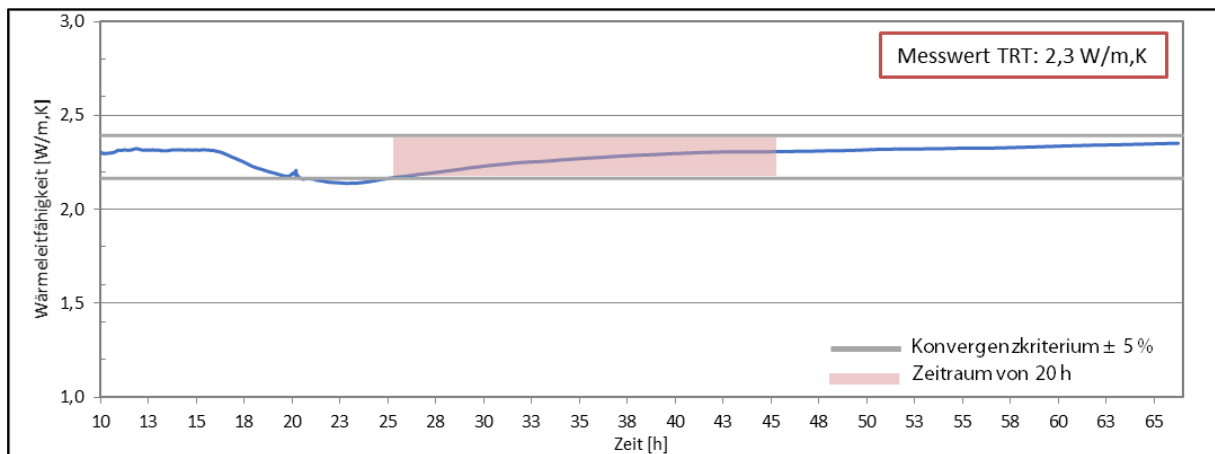


Abb. 2: Graduelle Auswertung der Wärmeleitfähigkeit inkl. Darstellung Konvergenzkriterium

Nach der VDI 4640 Blatt 5 gilt als Konvergenzkriterium für die ausgewertete Wärmeleitfähigkeit eine Konstanz von $\Delta\lambda/\lambda = \pm 5\%$ über einen Zeitraum von 20 h. Dabei darf eine Mindestdauer des gesamten Tests von 48 h nicht unterschritten werden.

Die graduelle Auswertung des durchgeführten Thermal Response Tests ergab, dass die Messwerte ab der 25sten Stunde das Konvergenzkriterium innerhalb des Konvergenzkriteriums liegen. Ab ca. 35 h stellt sich ein stabiler Messwert ein. Das Konvergenzkriterium gilt deshalb ab der 45sten Stunde des Tests als erfüllt.

Für den Standort Erzhausen ergeben sich aus den geothermischen Testarbeiten folgende Untergrundeigenschaften:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit: 2,3 W/m,K
- Thermischer Bohrlochwiderstand: 0,08 K/W/m
- Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur: 12,3 °C

Nach dem Ende des Tests wurden am Standort nach 1h, 2h und 3h die Abklingkurven gemessen (siehe Anlage 5).

In der nachfolgenden Abbildung sind Literaturwerte für die Wärmeleitfähigkeit der ange-
troffenen Gesteine gemäß Schichtenverzeichnis (grau, siehe Anlage 6) am Standort darge-
stellt. Des Weiteren ist die tiefengemittelte Wärmeleitfähigkeit (grün) sowie das Ergebnis
des TRT (rot) vergleichend gegenüber dargestellt.

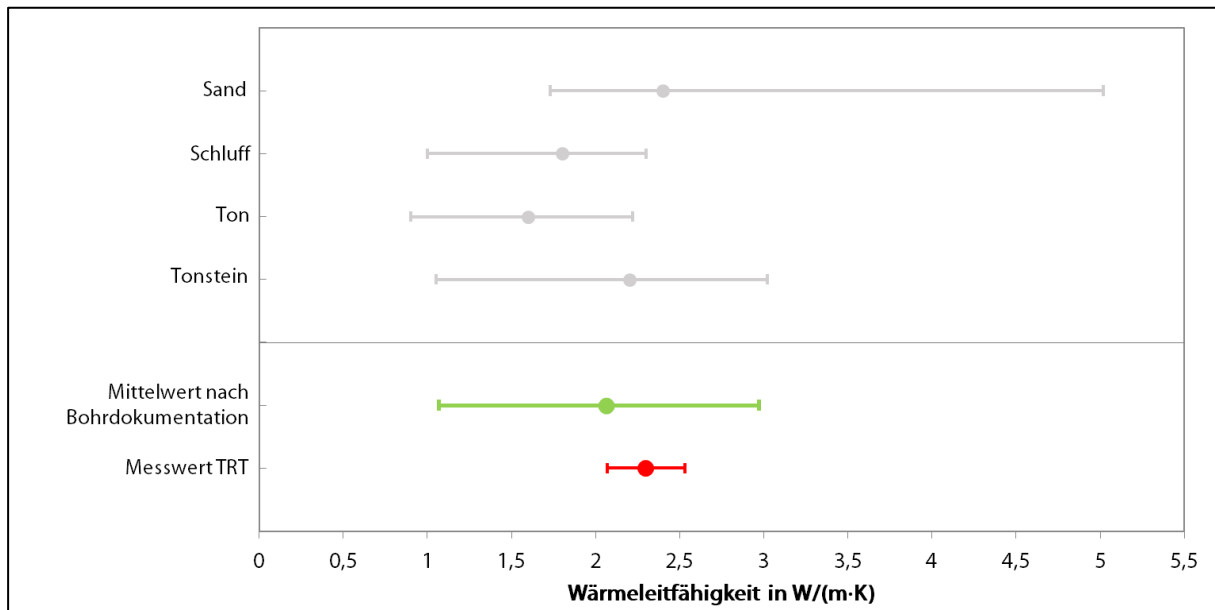


Abb. 3: Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten

5 Zusammenfassung

Im Auftrag des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurden an einer Pilotbohrung am Standort Erzhausen geothermische Testarbeiten durchgeführt. Der Thermal Response Test wurde im Zeitraum vom 03.12.2019 – 06.12.2019 durchgeführt.

Im Ergebnis der Testarbeiten konnte über die Sondenlänge von 96,0 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,3 W/m·K ermittelt werden.

Für die Sondenanlage wurde unter Berücksichtigung der Testergebnisse ein thermischer Bohrlochwiderstand R_b von 0,08 K/W/m ermittelt.

Die vor Testbeginn erfasste mittlere ungestörte Untergrundtemperatur beträgt am Standort 12,3 °C. Diese wurde über eine Tiefe von 96 m erfasst.

Eine Visualisierung der in Kapitel 4 beschriebenen Messdaten ist als Anlage 2 beigefügt.

Eine Zusammenfassung der Testergebnisse ist in Anlage 3 beigefügt. Die Anlage 4 beinhaltet eine Fotodokumentation der Testarbeiten.

Freiberg, 06.12.2019

Steve Thiel

Dipl.-Hydrol. Steve Thiel



Anlage 1

ANLAGE 1 Funktionsprinzip TRT

Datum	03.12.2019
Projekt-Nr.	3416-4
Bauvorhaben	Pilotbohrung Erzhausen II
zum Bericht	Geothermische Testarbeiten
Seite	1 von 4

1 Allgemein

Der Thermal Response Test ist ein international bewährtes Verfahren zur Bestimmung thermischer Untergrundparameter. Dabei wird eine fertig ausgebaute (und im späteren Sondenfeld nutzbare) Erdwärmesonde mit einem definierten Wärmeeintrag über einen Zeitraum von 48 bis 72 Stunden thermisch belastet und der Untergrund zu einer Temperaturantwort ("response") angeregt. Diese Reaktion ist charakteristisch für die dort anstehenden Gesteine und lässt die Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit im Umfeld der Sonde zu.

Zusätzlich können die ungestörte Untergrundtemperatur und der thermische Bohrlochwiderstand mit dem Test bestimmt werden. Diese drei spezifischen Werte sind die wichtigsten Kenngrößen zur Dimensionierung von Erdwärmeanlagen.

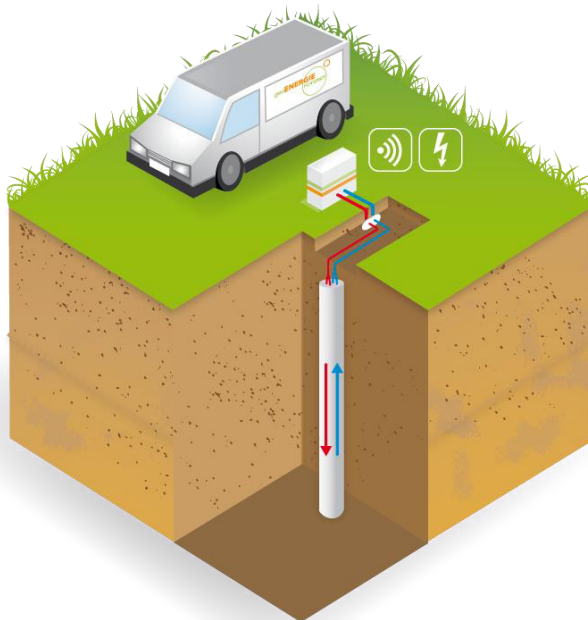


Abb. 1: Prinzip eines Thermal Response Test

2 Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen des Thermal Response Test wurden in den 1980er Jahren aus der Thermodynamik abgeleitet und für die Bestimmung von Wärmeleitfähigkeiten in Erdwärmepumpen angepasst. Seit Mitte der 1990er Jahre stehen mobile Messeinrichtungen für den Baustelleneinsatz zur Verfügung.

Ein TRT-Messgerät besteht im Wesentlichen aus einer Heizeinrichtung, einer Umwälzpumpe sowie einer Datenerfassung und Steuerung. Da der Querschnitt einer Erdwärmesonde gegenüber der Länge zu vernachlässigen ist, kann die Auswertung anhand der Kelvin'schen Linienquelle erfolgen.

Demnach zeigt der Untergrund bei Eintrag einer konstanten Wärmemenge zu Beginn ein typisches Aufheizverhalten und zu späten Zeiten einen konstanten Anstieg. Die Auswertung der zeitlichen Temperaturentwicklung ermöglicht die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit im Umfeld des Bohrloches.

3 Messgrößen

3.1 Ungestörte Untergrundtemperatur

Die ungestörte Untergrundtemperatur wird zur Dimensionierung des Sondenfeldes und zur Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstandes benötigt. Eine hohe Untergrundtemperatur ermöglicht eine größere Temperaturabsenkung und damit eine Effektivitätssteigerung im Betrieb der Anlage.

Zu Beginn des Thermal Response Test werden die Rücklauftemperaturen aufgezeichnet. Je nach Sondenlänge und Durchflussrate erhält man in der ersten Phase der Testarbeiten ein Abbild der Erdreichtemperatur. Eine zweite Möglichkeit ist die Aufzeichnung eines Ruhetemperaturprofils. Damit kann eine tiefenaufgelöste Information der Untergrundtemperatur dargestellt werden.

3.2 effektive Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes ist bestimmt durch die Geschwindigkeit, mit der sich die Erwärmung ausbreitet. Die Wärmeleitfähigkeit ist das Vermögen eines Stoffes, Energie in Form von Wärme zu transportieren. Die effektive Wärmeleitfähigkeit λ^* liefert einen integralen Wert der Wärmeleitfähigkeit über die gesamte Bohrung.

Die Berechnung erfolgt nach der Theorie der Kelvin'schen Linienquelle. Die effektiv dem Untergrund zugeführte Heizleistung Q [W] lässt sich aus den Temperaturdifferenzen und dem Volumenstrom bestimmen. Unter Beachtung des theoretischen Mindestzeitkriteriums wird die Fluidtemperatur halblogarithmisch aufgetragen. Der Anstieg k dieser Geraden geht

in die Berechnungsvorschrift für die effektive Wärmeleitfähigkeit λ^* ein. Des Weiteren tritt in der Formel ein Bezug zur Bohrlochteufe H [m] auf. Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$\lambda^* = \frac{Q}{4\pi Hk}$$

Die Wärmeleitfähigkeit ist der entscheidende geothermische Parameter, nach dem Anlagen konzipiert werden. In den Auslegungsprogrammen (z.B. EED Earth Energy Designer) ist die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes die wesentliche Einflussgröße auf die Größe der Erdwärmeanlage.

3.3 thermischer Bohrlochwiderstand

der thermische Bohrlochwiderstand R_b beschreibt den Wärmeübergang zwischen dem Fluid in der Sonde und der Bohrlochwand. Man enthält demnach qualitative Aussagen über die thermischen Eigenschaften von Sonden- und Verpressmaterial.

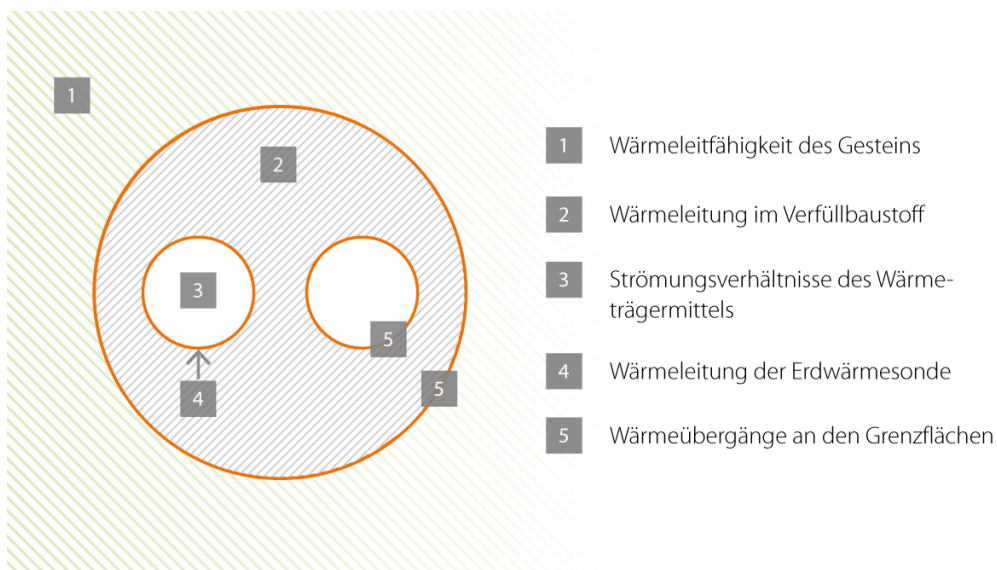


Abb. 2: Einflussfaktoren auf den thermischen Bohrlochwiderstand

Die Ermittlung ist ebenfalls aus der Kelvin'schen Linienquellentheorie abzuleiten. Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$R_b = \frac{H}{Q}(T_f - T_0) - \frac{1}{4\pi\lambda^*} \left[\ln(t) + \ln\left(\frac{4\alpha}{r_0^2}\right) - 0.5772 \right]$$

- T_f aktuelle Fluidmitteltemperatur
- T_0 Fluidtemperatur zu Beginn der Messung
- α Thermische Diffusivität in $[m^2/s]$, $\alpha = \lambda / (\rho \cdot c_p)$
- r_0 Bohrlochradius [mm]

Der thermische Bohrlochwiderstand ermöglicht eine qualitative Aussage zur Güte der Anbindung der Erdwärmesonde an das Gebirge. Man erhält damit zum einen Eingangparameter in Simulationsprogramme zum thermischen Verhalten von Erdwärmesonden und zum anderen einen Hinweis auf die Qualität der Verpressung.

3.4 Fehlerbetrachtung

Die Ermittlung der Messunsicherheiten ist ein wesentlicher Bestandteil der Versuchsauswertung. Erst die Fehlerbetrachtung ermöglicht Aussagen über weitere Verwendbarkeit der Daten.

Neben den theoretischen Fehler basierend auf einer mathematischen Näherungslösung (Linienquellentheorie) für die Erdwärmesonde haben die baustellenbedingten Stromschwankungen und die messtechnischen Ungenauigkeiten einen Einfluss auf die Messergebnisse.

Unter dem hier angegebenen Größtfehler versteht man die größtmögliche, d.h. unter ungünstigsten Umständen, auftretende Abweichungen vom wahren Wert. Es gilt die Größtfehlerabschätzung nach Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz:

$$\Delta\lambda = \left| \frac{3 \cdot s_D}{D} \right| + \left| \frac{3 \cdot s_{\Delta T}}{\Delta T} \right| + \left| \frac{\Delta H}{H} \right| + \left| \frac{\Delta k}{k} \right|$$

Fehler in der Bestimmung von λ^* werden sowohl systematisch durch die Heizleistung Q und die Sondenlänge H als auch zufällig durch die Steigung der Regressionsgeraden k verursacht (siehe Formel). Fehler in Q sind neben den baustellenbedingten Stromschwankungen direkt durch die Messgenauigkeit der Temperatursensoren ($\pm 0,1$ K) und den Volumenstromsensor ($\pm 0,1$ l/min) bedingt. Der Größtfehler der eingebrachten Heizleistung kann durch die 3-fache Standardabweichung abgeschätzt werden.

Die Erdwärmesondenlänge H wird mit einem Fehler \approx von 1 % der im Versuch ermittelten Sondenlänge angenommen. Unter Ansatz der aufgeführten Verfahrensweise ergeben sich bei den Testarbeiten typische Fehler zwischen 3 und 6 %.

Anlage 2

ANLAGE 2
Messdaten

Datum 06.12.2019
 Projekt-Nr. 3416-4
 Bauvorhaben Pilotbohrung
 Erzhausen II
 zum Bericht Geothermische
 Testarbeiten
 Seite 1 von 2

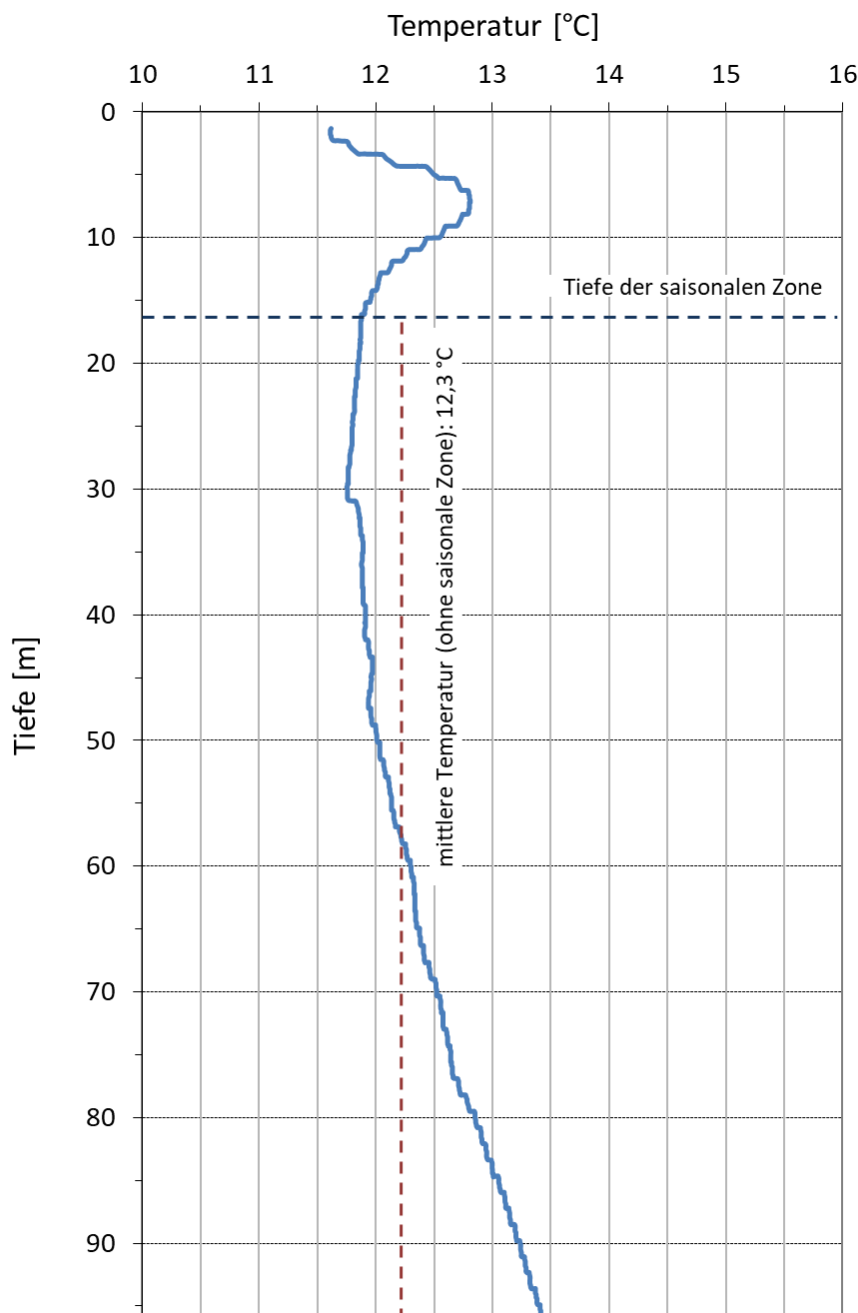


Abb. 1: Tiefenprofil der ungestörten Untergrundtemperatur

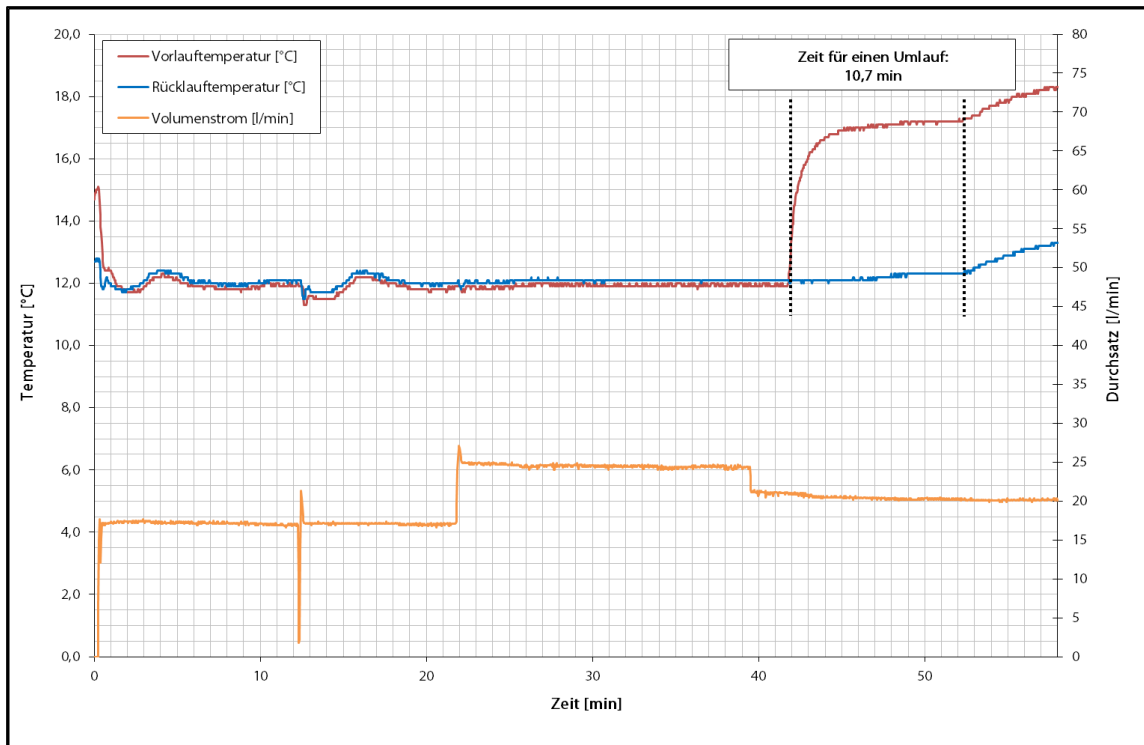


Abb. 2: Erste Testphase zur Bestimmung der Sondenlänge

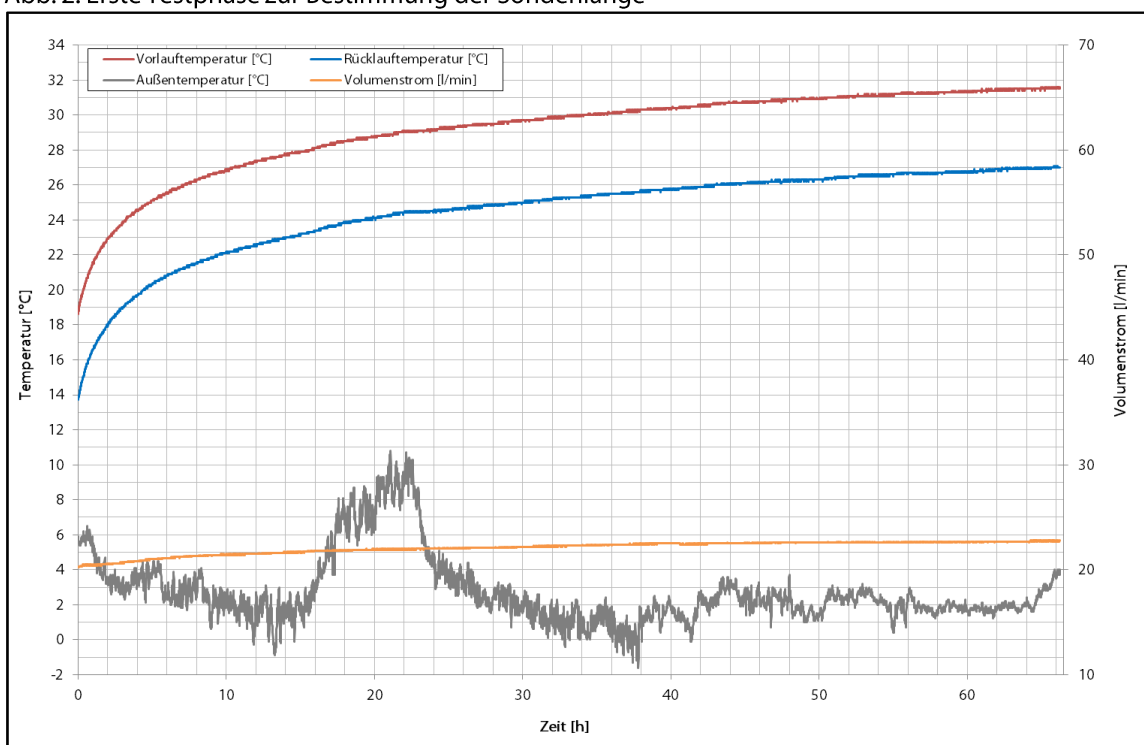
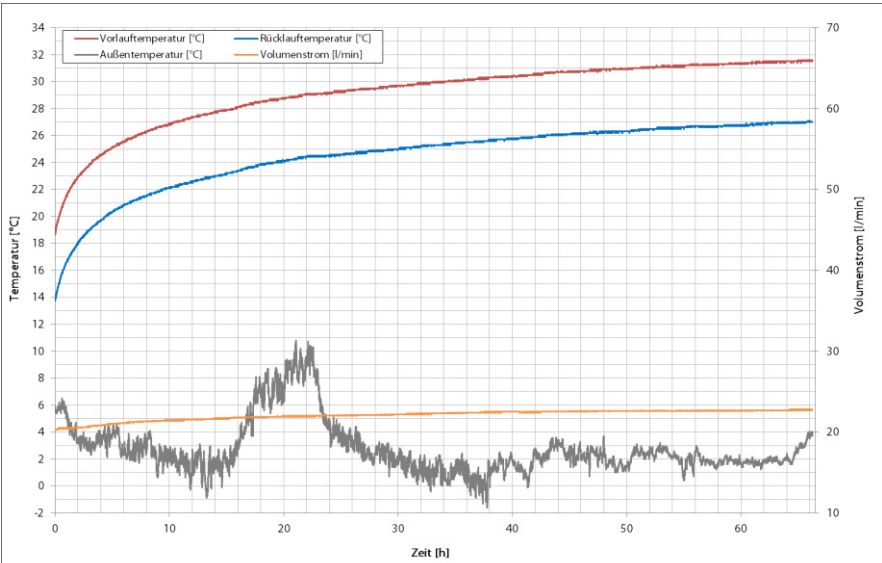


Abb. 3: Messreihe zur Bestimmung der geothermischen Untergrundeigenschaft

Anlage 3

Kurzprotokoll: Thermal Response Test		
Projektnr. AN	3416-4	geoENERGIE Konzept GmbH
Projektnr. /Bestellnr. AG		Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg
Bauvorhaben	Pilotbohrung II Erzhausen II 61390 Erzhausen	Tel.: +49 3731 79878 19 Fax: +49 3731 79878 30 info@geoenergie-konzept.de
Auftraggeber	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie Rheingau Straße 186 65203 Wiesbaden	Kontaktperson AG Herr Dr. Sven Rumohr
Bohrunternehmen	UniWork DrillTec GmbH Am Galgenbach 3 63628 Bad Soden-Salmünster	
Randbedingungen		
Messzeitraum	03.12.2019 - 06.12.2019	
Bohrtiefe	96 m	
Sondenlänge	96 m	
mittlerer Bohrdurchmesser	160 mm	
Sondentyp	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm	
Verpressmaterial	Fischer GeoSolid 240 HS	
Messreihen TRT		
		
Bemerkungen	Ergebnisse des TRT's	
Testergebnisse		
mittlere Untergrundtemperatur	12,3 °C	
effektive Wärmeleitfähigkeit	2,3 ± 0,1 W/m,K	
thermischer Bohrlochwiderstand	0,08 K/W/m	

Anlage 4

ANLAGE 4 Fotodokumentation

Datum	06.12.2019
Projekt-Nr.	3416-4
Bauvorhaben	Pilotbohrung Erzhausen II
zum Bericht	Geothermische Testarbeiten
Seite	1 von 2



Abb. 1: Erdwärmesonde vor Testarbeiten



Abb. 2: aufgebautes Testgerät am Standort



Abb. 3: Erdwärmesonde nach Ende der Testarbeiten

Anlage 5

ANLAGE 5
Abklingkurven

Datum 06.12.2019
 Projekt-Nr. 3416-4
 Bauvorhaben Pilotbohrung
 Erzhausen II
 zum Bericht Geothermische
 Testarbeiten
 Seite 1 von 1

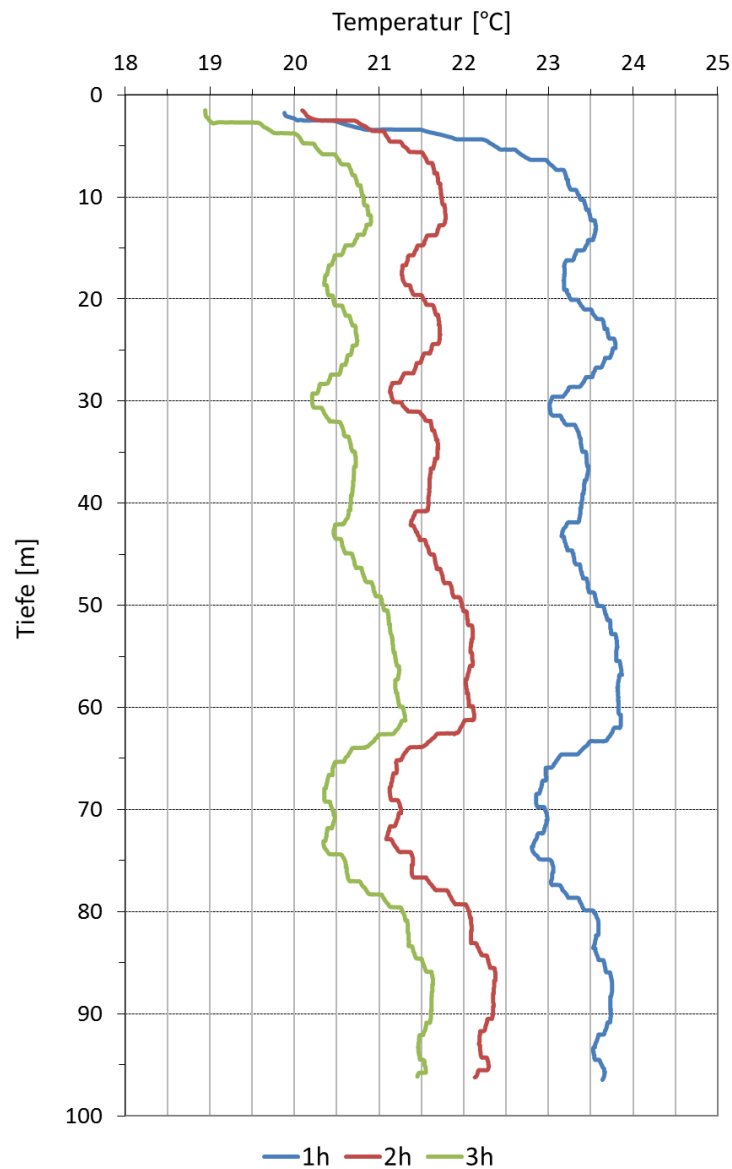
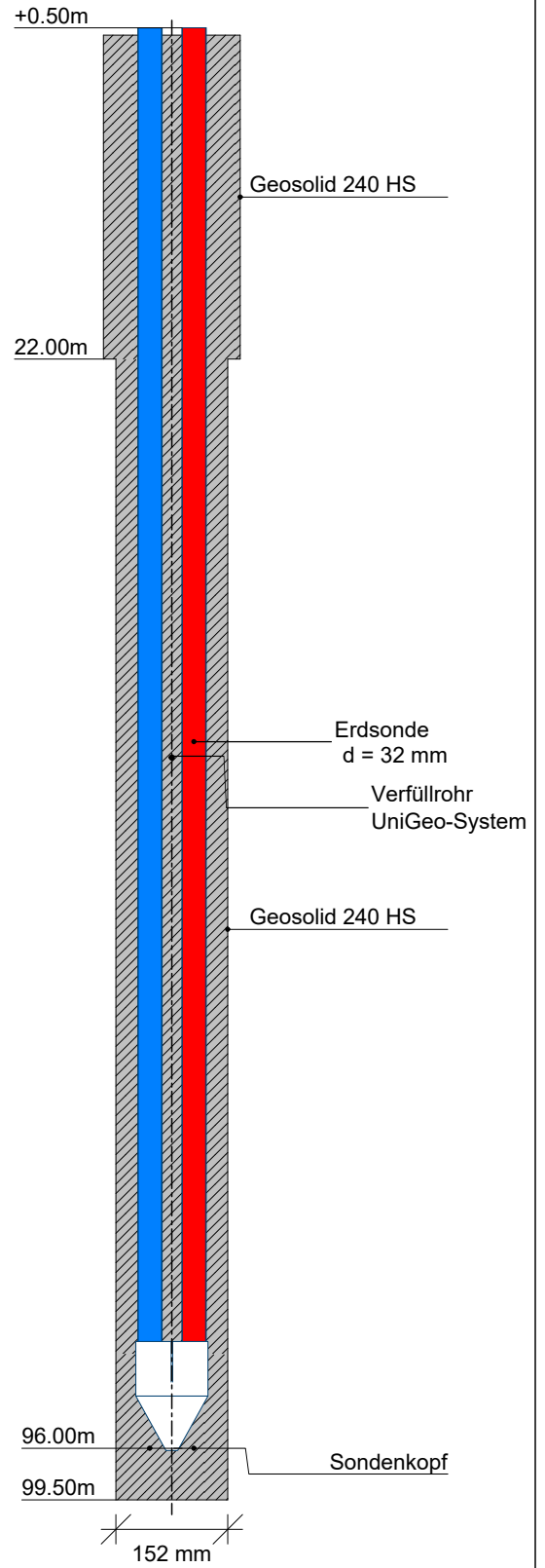
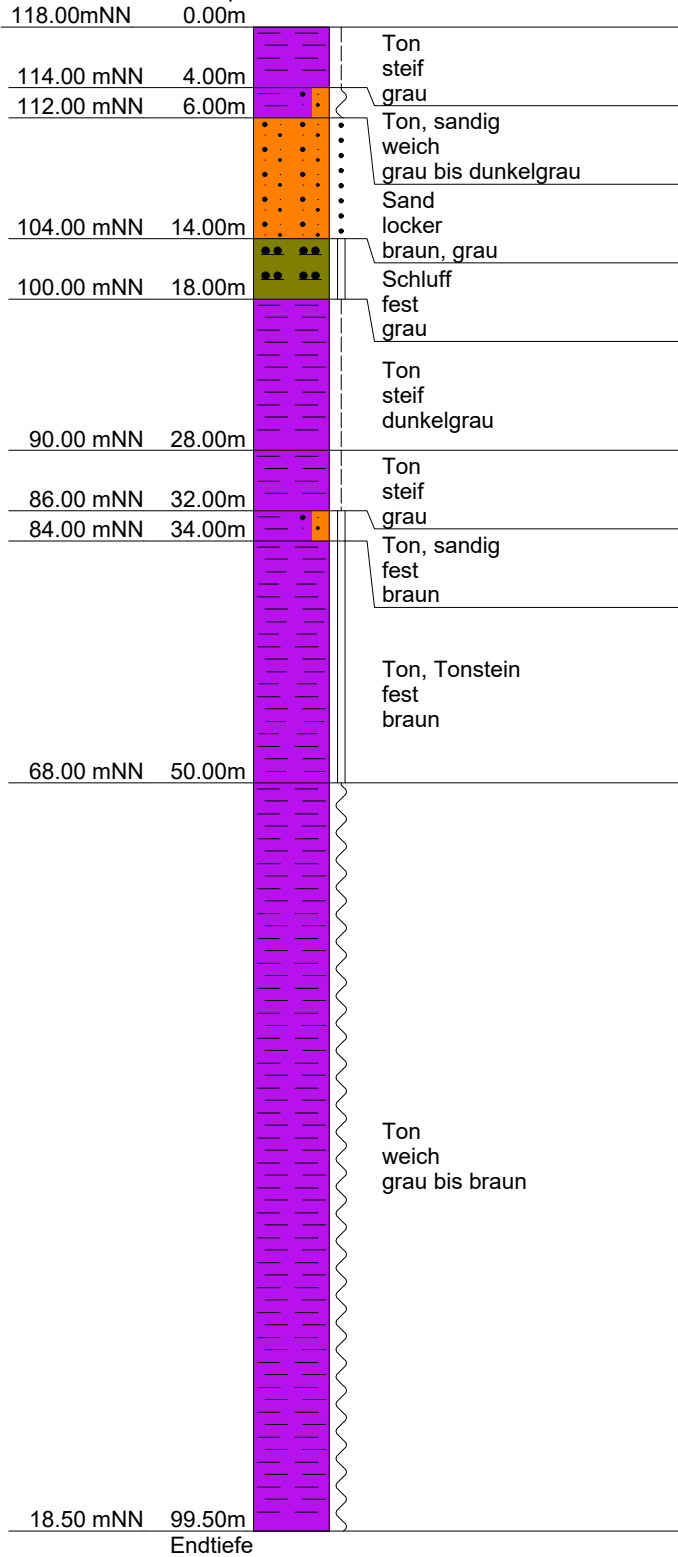


Abb. 1: Tiefenprofile der Untergrundtemperatur für 1h, 2h und 3h nach Ende der Testarbeiten (Abklingkurven)

Anlage 6

Testsonde 2

Ansatzpunkt: 118.00 mNN



Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Die vier Morgen“, Erzhausen

Anlage 4

Beispielhafte Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Erdwärmesondenfeldes am Standort Erzhausen,

Beitrag Fa. UBeG Dr. E. Mands & Dipl.-Geol. M. Sauer GbR

Beispielhafte Bestimmung der
Leistungsfähigkeit eines Erdwärmesondenfeldes
am Standort Erzhausen

erstellt von:

Dr. Erich Mands
ÖbuVS für Geothermie



UBeG Dr. E. Mands & Dipl.-Geol. M. Sauer GbR
Reinbergstraße 2 35580 Wetzlar – Nauborn
Tel.: 06441/212910 Fax: 06441/212911
Email: UBeG@UBeG.de www.UBeG.de

Datum: 20.3.2020

INHALTSVERZEICHNIS

1.	VORGANG UND WICHTIGE HINWEISE	3
2.	GRUNDLAGEN DER BERECHNUNG	3
3.	THERMISCHE UNTERGRUNDPARAMETER.....	3
4.	GEBÄUDE- / WÄRMEPUMPENDATEN	5
5.	AUSLEGUNGSBERECHNUNG.....	5
5.1	Konvergenzkriterien	6
5.1.1	Konvergenzkriterien für den Heizfall	6
5.2	Berechnung der Erdwärmesondenanlage	7
6.	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG.....	8

1. Vorgang und wichtige Hinweise

Die nachfolgenden Berechnungen ersetzen **nicht** eine ordnungsgemäße Planung der erdgekoppelten Erdwärmesondenanlage. Für die Richtigkeit der Berechnungen wird durch die UBeG GbR Dr. Mands & M. Sauer keinerlei Garantie gegeben. Die Berechnungen dienen lediglich als Orientierungshilfe für eine grundsätzliche Entscheidungsfindung ob eine Nutzung der Geothermie für das Neubaugebiet ökonomisch sinnvoll ist. Die Planung bedarf einer Weiterführung und Validierung mit ortseigenen Kennzahlen, Verbrauchsdaten und festzulegender Betriebsstrategie.

2. Grundlagen der Berechnung

Als Grundlage der Berechnungen dienen die Ergebnisse der Thermal Response Tests (TRT), die durch die Fa. Geoenergie, im Jahr 2019 ausgeführt wurden. Die Berichte datieren mit 3.12.2019 und 6.12.2019. Die Untersuchungen der thermischen Untergrundeigenschaften beschränken sich auf den Tiefenbereich bis 100m unter Geländeoberfläche. Wir gehen davon aus, dass der Wärmeleitfähigkeitsbetrag bis in eine Tiefe von 200m in einer ähnlichen Größenordnung vorliegen wird.

Die ungestörten Untergrundtemperaturen wurden von uns auf die Tiefe von 200m extrapoliert. Sollte eine Anlage mit Erdwärmesondentiefen von 200m umgesetzt werden, so sind weitere TRT zur Verifizierung der Annahmen einzukalkulieren.

3. Thermische Untergrundparameter

Die thermischen Untergrundparameter sind nachfolgend zusammengefasst.

Wärmeleitfähigkeit [λ] des Untergrundes

Als Mittelwert aus den beiden am Standort durchgeführten Thermal Response Tests (TRT)

TRT 1	λ	=	2,1	W/mK
TRT 2	λ	=	2,3	W/mK
ergibt sich	<u>$\lambda_{(mittl)}$</u>	=	2,2	W/mK.

Mit diesem Betrag werden die weiteren Berechnungen ausgeführt.

Aus den Temperaturprofilen des thermisch ungestörten Untergrundes bis 100m Tiefe unter Geländeoberfläche, die durch die Fa. Geoenergie ausgeführt wurden, lassen sich die mittleren Temperaturen des Untergrundes bis in eine Tiefe von 200m unter Geländeoberfläche abschätzen.

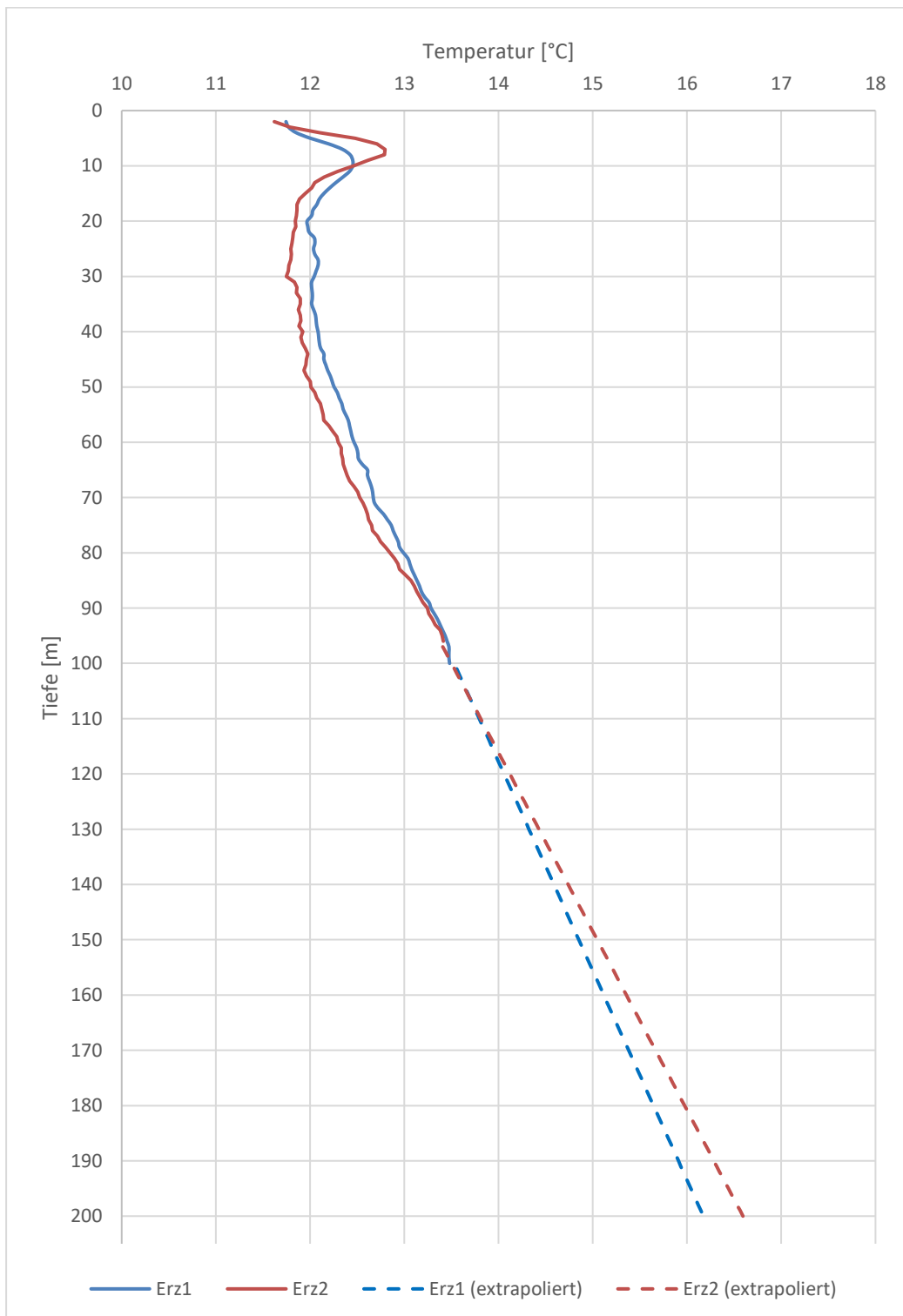


Abb. 1: Extrapolierte Untergrundtemperaturen

Damit ergibt sich eine mittlere Untergrundtemperatur des Tiefenbereiches von 20-200m mit 13,85° C. Dieser Betrag wird für die Berechnungen angenommen.

4. Gebäude- / Wärmepumpendaten

Es wird vorausgesetzt, dass alle Häuser den gleichen Standard z. Bsp. ENEC KfW 55 bzw. KfW 40 oder 40 Plus aufweisen werden. Letztlich bedeutet dies, dass wir voraussetzen, dass ein Gebäude mit ca. 120m² Wohnfläche als 4 Personenhaushalt mit einer 6-8 kW Wärmepumpe das Gebäude sicher beheizen und auch das Warmwasser aufbereiten werden kann. Die Gesamtjahresheizarbeit inkl. Warmwasser beträgt dann 12,5MWh bzw. 16,8MWh. Vermutlich werden diese Beträge sogar unterschritten. Die weiteren Berechnungen werden mit den Mittelwerten ausgeführt.

Es ist davon auszugehen, dass nicht die gesamte Heizleistung gleichzeitig benötigt wird. Selbst an sehr kalten Tagen werden sich die Laufzeiten der Wärmepumpen so verteilen, dass lediglich ca. 70% aller Wärmepumpen zur gleichen Zeit betrieben werden müssen. Ein Wärmegewinn aus dem Verteilsystem der kalten Nahwärme wird nicht in die Berechnung einbezogen.

Als Arbeitszahl für alle Gebäude wird angenommen, dass ein Betrag von 4,2 im Mittel erreicht wird.

Es wird weiterhin angenommen, dass die passive Kühlung der Gebäude zukünftig ansteigen wird, so dass mittel- bis langfristig wieder Wärme in den Untergrund eingespeist werden wird. Die Größenordnung der Rückspeisung an Wärme ist nicht bekannt. Diese lässt sich über ein Monitoring der Gesamtanlage jedoch in den nächsten Jahren ermitteln. Daher wird die Nachhaltigkeit der Anlage auf 10 Betriebsjahre berechnet, um dann eine evtl. benötigte Ertüchtigung der Anlage mit den bis dahin bekannten Rückspeisungen an Wärme infolge der Kühlung der Gebäude und gegebenenfalls Wärmegewinnen aus dem Verteilnetz durchzuführen. So lässt sich eine ökonomisch und ökologische Energiebewirtschaftung langfristig optimiert betreiben.

Die Berechnung wird für 50 Gebäude ausgeführt.

5. Auslegungsberechnung

Für die Dimensionierung des Erdwärmesondenfeldes wurden Berechnungen mit der Software Earth Energy Designer (EED, Version 4.2) durchgeführt.

Bei den in den nachfolgenden Abschnitten dargestellten Graphiken der Temperaturverläufe ist folgendes zu beachten: Die dargestellten Temperaturen beziehen sich auf die Mitteltemperatur des Wärmeträgerfluids (Mittel zw. VL und RL), d.h. bei einer Spreizung von 4 K sind die Eintrittstemperaturen in die Wärmepumpe im Heizfall ca. 2,0°C höher

als in den Graphiken abzulesen. Im Kühlbetrieb sind die Eintrittstemperaturen ca. 2,0°C niedriger.

5.1 Konvergenzkriterien

5.1.1 Konvergenzkriterien für den Heizfall

Bei der Betrachtung der Temperaturen im Sondenkreislauf ist zu unterscheiden zwischen:

Basislast der Fluidtemperatur, die sich infolge des Wärmeentzugs *rechnerisch* im Monatsmittel einstellt.

und

Spitzenlast der Fluidtemperatur, die sich an dem kältesten Tag eines Monats infolge eines z.B. 10stündigen Dauerbetriebes der Wärmepumpe unter Volllast einstellt.

Die ungestörte Erdreichtemperatur am Standort liegt voraussichtlich bei etwa 13,85° C (bei einer EWS-Tiefe von 200m). Diese Temperatur wird anfänglich beim ersten Anschalten der Wärmepumpe als Vorlauftemperatur aus dem Erdreich zu erwarten sein. Infolge des Temperaturentzugs im Heizfall wird es im Erdreich zu einer Abkühlung kommen, so dass es zu einem stetigen Abfall der Temperaturen bis zu den genannten Temperaturkriterien kommen wird. Mit abnehmender Anforderung (Frühlingsanfang – geringere Heizarbeit) steigt die Temperatur langsam wieder an.

Die Temperaturgrenzen bzw. Auslegekriterien für den Standort (Wasserschutzgebiet 3b) wurden wie folgt angesetzt:

minimale Fluidtemperatur in der Sonde im Monatsdurchschnitt	nicht unter 0,0°C
minimale Fluidtemperatur in der Sonde	-3,0°C

Bei einer Temperaturspreizung von ca. 4 K im Erdwärmesondenkreislauf darf daher die Mitteltemperatur (zw. VL und RL) auch unter Spitzenlastbedingungen nicht unter -1°C fallen.

Werden andere Grenztemperaturen gewünscht oder verlangt, wirkt sich dies i. d. R. signifikant auf die erforderliche Sondenfeldkonfiguration bzw. die Leistungsfähigkeit des Erdwärmesondenfeldes aus.

5.2 Berechnung der Erdwärmesondenanlage

Folgende Parameter liegen der Berechnung zu Grunde:

Erdwärmesondenlänge:	ca. 200 m
Anzahl der Erdwärmesonden:	36 St. (7.200 m Gesamtsondenlänge)
Sondentyp:	Doppel-U-Sonde (4 x 40 mm x 3,7 mm)
Bohrlochdurchmesser:	ca. 180 mm
Bohrabstand	8m

Verfüllung:	thermisch verbessert mit $\lambda \geq 2,0 \text{ W/(m,K)}$
Sondenfüllung:	Wasser-Glykol-Gemisch (25%)

Therm. Untergrundeigenschaften:

Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = 2,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Mittlere Erdoberflächentemperatur	$T_0 = 13,85^\circ\text{C}$
Heizleistung bei 50 Gebäuden :	350 kW
Jahresheizarbeit:	732,5 MWh/a
JAZ:	4,2

Die Abbildung 1 zeigt die voraussichtliche Entwicklung der Fluidtemperaturen über 10 Betriebsjahre.

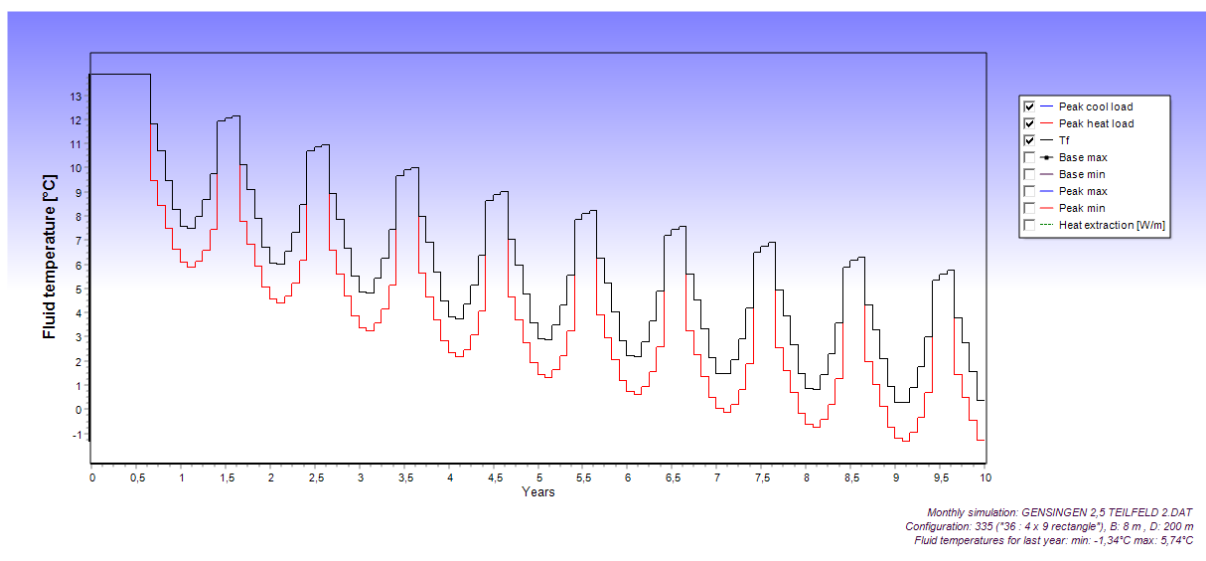


Abbildung 1: Entwicklung der Fluidtemperaturen über 10. Betriebsjahre

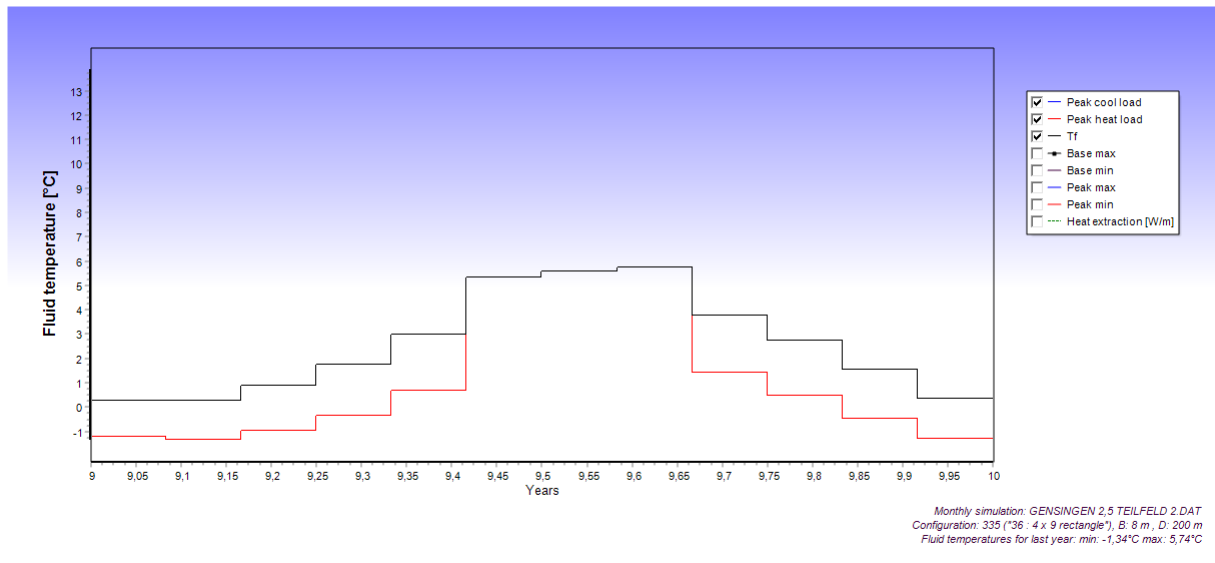


Abbildung 2: Entwicklung der Temperaturen im 25ten Betriebsjahr

Die Berechnung zeigt, dass zur Darstellung einer Heizleistung von 350 kW = 50 Gebäuden und einer anzusetzenden Heizarbeit 732,5 MWh/a die Errichtung von 36 Erdwärmesonden Erdwärmesonden mit einer Tiefe von 200m ausreichend sind für einen Betriebszeitraum von 10 Jahren. Damit können 50 Gebäude mit jeweils einer Wärmepumpenleistung von 7 kW und einer Wärmearbeit von 14,65 kWh/m²/a betrieben werden.

Werden in das System 220MWh pro Jahr eingebracht (z. Bsp. über die Kühlung, der Gebäude, Solarthermie, Nutzung von Abwasserwärme, etc) kann das System dauerhaft über den Simulationszeitraum von 10 Jahren hinaus ökologisch und ökonomisch betrieben werden.

6. Zusammenfassung und Empfehlung

Für den nachhaltigen Betrieb eines kalten Nahwärmenetzes am Standort Erzhausen sind 36 Erdwärmesonden mit einer Länge von 200m ausreichend, um 50 Gebäude mit einem durchschnittlichen Heizleistung von 7 kW (14,65 kWh/m²/a) 10 Jahre lang mit Wärme zu versorgen.

Die Gesteungskosten für die Erdwärmesondenanlage inkl. Sammler kann mit 470.000€ (zuzüglich MwSt.) abgeschätzt werden.

Können aus anderen Quellen 250MWh/a an Wärme in das System eingespeist werden, so ist die Anlagengröße auch langfristig ausreichend dimensioniert.

Wir empfehlen die Erdwärmesondenanlage für einen Zeitraum von 10, evtl. auch 15 Jahren auszulegen und über diesen Zeitraum ein Monitoring zu fahren. Damit können Einflussgrößen ermittelt werden, die im Vorfeld auf Grund der Unsicherheiten zur Überdimensionierung der Anlage führen könnten.

Zu nennen wären:

- Wärmeeintrag aus der Kühlung der Gebäude (Nutzerverhalten)
- der Wärmeeintrag aus dem kalten Nahwärmenetz
- Abminderung der Heizleistung durch geringe Gleichzeitigkeiten
- Geringerer Wärmebedarf durch Klimaerwärmung

Am Ende des Monitoringzeitraums liegen dann verlässliche Daten vor auf deren Basis die Anlage ertüchtigt werden kann (Zusätzliche Erdwärmesonden oder Rückspeisung von Wärme in das System).

Diese Berechnungen und Empfehlung sind nur als Überblick zur Entscheidungsfindung gedacht und ersetzen nicht eine ordnungsgemäße Planung.

Wetzlar, den 20.03.2020

UBeG GbR



Dr. Erich Mands
Diplom Geologe