

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung -

Geltungsbereich: Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

Inhalt

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

Anlagen

- 1 Schichtenverzeichnis
- 2 Geologische Schnitte
- 3 Dokumentation Thermal Response Test

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

1. Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS)

Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS) ist das am südwestlichen Ortsrand von Münster gelegene „Frankenbach-Gelände“ (Abb. 1), das zuletzt als Parkplatz genutzt wurde.



Abb. 1: Geltungsbereich Bebauungsplan „Frankenbach-Gelände“, Münster (Luftbild ohne Maßstab; gelbes Kreuz: Lagepunkt Erkundungsbohrung)

2. Wasserwirtschaftliche Situation

Das Baugebiet „Frankenbach-Gelände“ liegt in der Zone IIIB des im Festsetzungsverfahren befindlichen Wasserschutzgebietes der Brunnen I – XIII des ZVG Dieburg, 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 Erdwärmesonden (EWS) beurteilt ist. Die Entfernung zu den Brunnen der Gewinnungsanlagen beträgt rd. 4 bis 4,5 km.

Darüber hinaus ist der Vorhabenstandort aufgrund des Vorhandenseins eines Grundwasserstockwerkbaus vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) als hydrogeologisch ungünstig eingestuft.

3. Bohr- und Ausbauarbeiten; Bohrrisiken

Zur Erkundung der geologischen und geothermischen Situation wurde eine 100 m tiefe Bohrung mittels Stufenmeißel und Luft-Spülung durch die Firma Handke Bohr- und Umwelttechnik UG, 65529 Waldems, abgeteuft und mit einer Erdwärmesonde (EWS) in der Ausführung Doppel-U-Sonde 32*2,9 mm ausgebaut. Ein Standrohr wurde bis 2 m mitgeführt.

Es haben sich keine Hinweise auf artesische Druckverhältnisse ergeben. Gegenüber dem theoretischen Suspensionsbedarf für die Verfüllung des Bohrlochringraums nach Einbau der EWS ergab sich ein Mehrbedarf von rd. 25%. Ob dieser Mehrbedarf auf die geologische Situation oder das Bohrverfahren zurückzuführen ist, ist unklar. Ein Mehrbedarf bis zu 20% ist nicht ungewöhnlich.

4. Standörtliche geologische und hydrogeologische Situation

Die Gemeinde Münster befindet sich im geologischen Strukturraum bzw. hydrogeologischen Teilraum „Hanau–Seligenstädter Senke“, der zwischen den Kristallin- und Buntsandsteingebieten von Spessart und Odenwald eine tektonische Absenkung im nordöstlichen Randbereich des Oberrheingrabens (Randbucht) entlang des Mains darstellt. Dieser Strukturraum ist durch sedimentäre Lockergesteinsablagerungen (Porengrundwasserleiter) mit überwiegend gut

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.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

durchlässigen quartären Kiesen und Sanden gekennzeichnet, die von eher gering durchlässigen tertiären (pliozänen) Tonen und Sanden unterlagert werden. Die tertiären Sedimente können teilweise Pflanzenreste bzw.- Braunkohle führen. Unterhalb der tertiären Sedimente folgen örtlich tertiäre Basalte und darunter Gesteine des Rotliegenden, die z.B. in der Bohrung 6019/0835 nördlich des Frankenbach-Geländes (siehe Abb. 2) ab einer Tiefe von 104 m erschlossen wurden; siehe Anlage 2.

Nach der geologischen Karte (GK 25, Blatt 6019 Babenhausen) stehen im Planungsraum an der Oberfläche weit verbreitet quartäre Sedimente, hauptsächlich pleistozäne Flugsande, an (Abb. 2).

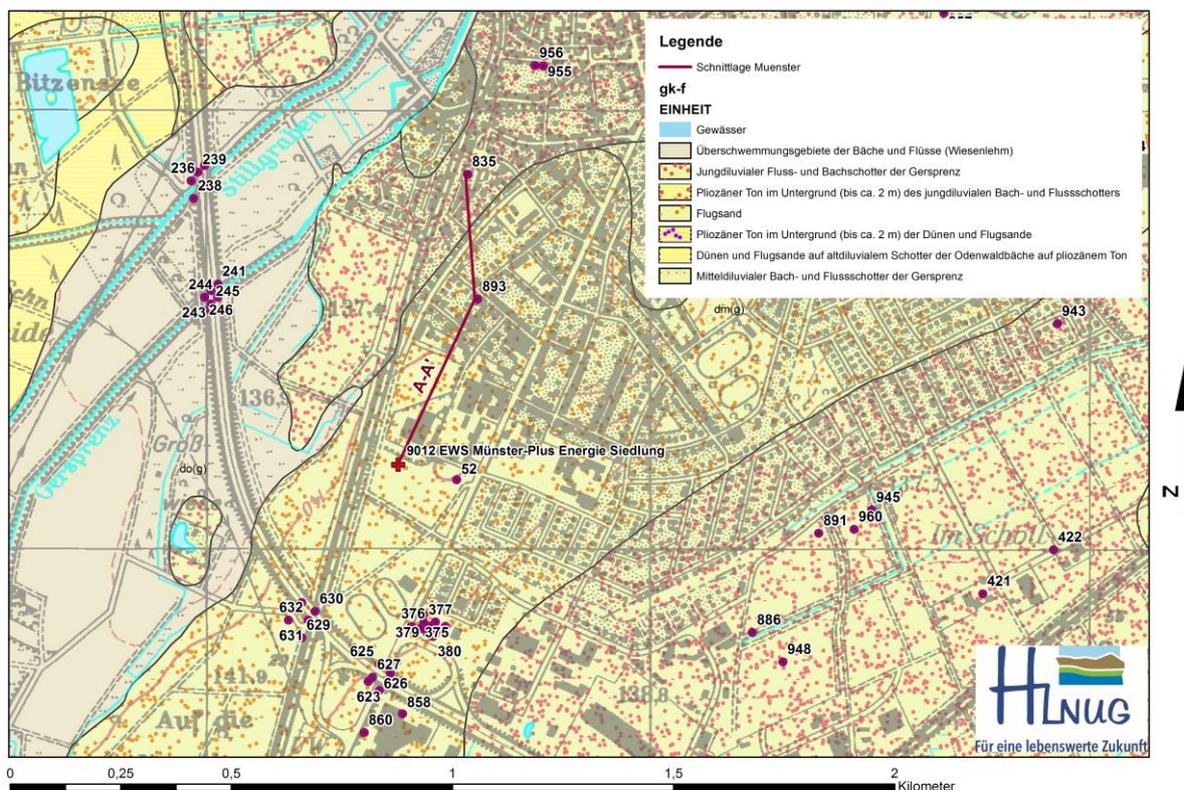


Abb. 2: Ausschnitt aus der digitalen geologischen Karte 1:25.000, Blatt 6019 Babenhausen. Bohrungen im Umfeld: rote Punkte (mit Endtiefen), Bohrung PES-Projekt: rotes Kreuz; Verlauf des Schnittes A-A' durch das Frankenbach-Gelände

Die Schichtenverzeichnisse (als Bohrprofile) der in der obigen Abbildung mit der Schnittlinie A-A' verbundenen Bohrungen (Archiv-Nr. 6019/835, 6019/893 und die bisher noch nicht archivierte Erkundungsbohrung des PES-Projekts „9012 EWS-Münster-Plus Energie Siedlung“) sind in Anlage 2 dargestellt.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

Die am südlichen Rand des Frankenbach-Geländes positionierte Erkundungsbohrung hat unterhalb 2 m mächtiger Flugsande bis 18 m unter Ansatzpunkt quartäre Feinkiese bis Grobsande (Abtragungsprodukte des kristallinen Odenwalds) angetroffen, die von 10 bis 12 m sowie 14 bis 16 m von feinsandigen Schlufflagen unterbrochen werden (Schichtenverzeichnis Anlage 1).

Darunter folgt bis 62 m Grobsand bis Feinkies mit wechselnden Anteilen von Schluff und Feinsand, auffällig sind zahlreiche Pflanzenhäcksel. Von 62 bis 90 m fehlen die Pflanzenhäcksel und die Abfolge hat einen geringeren Grobsand-, dafür aber höheren Feinsand- und Schluffanteil. Bis zur Endteufe folgen darunter Feinsande mit bis zu 2 m mächtigen Mittelsandlagen, die reich an organischem Material sind, das unter Sauerstoffmangel einen erhöhten Schwefelwasserstoffgehalt aufweist.

Ähnliche Abfolgen wurden bei den anderen Bohrungen in der Umgebung beobachtet (Anlage 2). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Untergrundverhältnisse im Projektgebiet bis in 100 m Tiefe nur wenig variieren. Somit ist davon auszugehen, dass im Gebiet um Münster zwischen der Überdeckung aus quartären Sedimenten (Sandschluff und Terrassenablagerungen) und den tertiären Sedimenten (Miozän/Pliozän) eine Grundwasserstockwerkstrennung mit verschiedenen Grundwasserdruckpotentialen zumindest lokal ausgebildet ist.

Darüber hinaus können auch innerhalb der tertiären Sedimente bis 100 m Tiefe sowie in größeren Tiefen hydraulisch wirksame Trennhorizonte (Schluff- und Tonlagen) auftreten.

Für die mittels Luft-Spülung niedergebrachte Erkundungsbohrung hat die Bohrfirma keine Angaben zum Antreffen von Grundwasser gemacht.

Aus einem Grundwassergleichenplan vom Oktober 2015 geht hervor, dass der Grundwasserstand in diesem Gebiet bei ca. 135,0 – 137,5 m ü. NN und somit sehr oberflächennah liegt (<https://www.hlnug.de/?id=7308>). Anhand der Grundwassergleichenpläne ist von einer Grundwasserfließrichtung in Richtung Nordosten zum Vorfluter Gersprenz auszugehen.

5. Standörtliche geothermische Situation

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

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

Tab. 1: Ergebnisse TRT und Temperaturmessungen

Parameter		Ergebnisse
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	m	100
Tiefe der saisonalen Zone	m	10
Mittlere Untergrundtemperatur ohne saisonale Zone (gemäß Messung vor TRT)	°C	12,2
Effektive Wärmeleitfähigkeit λ (inkl. Messfehler)	W/(m*K)	2,5 ± 0,1
Therm. Bohrlochwiderstand R_b	K/(W*m)	0,11

Die mittels Thermal Response Tests ermittelten Parameter liegen innerhalb eines für die geologische Situation plausiblen Bereichs. Der thermische Bohrlochwiderstand ist typisch für einen thermisch nicht verbesserten Verfüllbaustoff.

6. Auslegung exemplarischer geothermischer Anlagen

Zur Veranschaulichung, wie viele EWS mit welchen Bohrtiefen bei der für das Baugebiet „Frankenbach-Gelände“ 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.

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.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

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 Frankenbach-Gelände bis 100 m Tiefe gemessene mittlere Untergrundtemperatur 12,2 °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 74 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 12,2 °C und Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs:

Ergebnis Earth Energy Designer: **2 EWS von 73 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 nahezu gleicher 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 (am Beispiel von Planungsdaten einer realen KiTa in Frankfurt)

Heizleistung der Wärmepumpe:	17,5 kW
Jahresarbeitszahl Heizen (JAZ _H):	4,7
Jahresbetriebsdauer Heizen:	2.000 h

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

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 12,2 °C und Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs:

Ergebnis Earth Energy Designer:	3 EWS von 91 m Tiefe (nur Heizen, keine Kühlung)
	3 EWS von 83 m Tiefe (Heizen und Kühlen)

7. Zusammenfassende Hinweise

Die mit der Erkundungsbohrung aufgeschlossene Schichtenfolge stützt den vom HLNUG in der Stellungnahme vom 25.10.2019 (Az. 89-0570-637/19) gegebenen Hinweis auf das mögliche Vorhandensein eines lokal ausgeprägten Grundwasserstockwerkbaus. Die Standortbeurteilung „hydrogeologisch ungünstig“ wird daher beibehalten, bis eine abschließende Klärung, z. B. mittels Grundwasserstands-Daten möglich ist.

Es haben sich keine Hinweise auf Bohrrisiken wie artesische Druckverhältnisse ergeben. Gegenüber dem theoretischen Suspensionsbedarf für die Verfüllung des Bohrlochringraums nach Einbau der EWS ergab sich ein Mehrbedarf von rd. 25%. Ob dieser Mehrbedarf auf die geologische Situation oder das Bohrverfahren zurückzuführen ist, ist unklar. Ein Mehrbedarf bis zu 20% ist jedoch nicht ungewöhnlich.

Zu berücksichtigen ist, dass das Frankenbach-Gelände in der Vergangenheit gewerblich genutzt wurde. Eine möglicherweise im Bereich des Geländes bestehende Boden- oder Grundwasserunreinigung kann mit der abgeteufte geothermischen Erkundungsbohrung nicht ausgeschlossen werden. Im Rahmen der Erschließung sollte daher auch eine Erkundung auf

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

mögliche Boden- oder Grundwasserverunreinigungen sowie Kampfmittelfreiheit durchgeführt werden und die Standortbeurteilung auf Grundlage der Erkundungsergebnisse überprüft werden.

Zwischen den Schichtenfolgen des Tertiärs und des Rotliegenden ist gemäß Stellungnahme des HLNUG vom 25.10.2019 (Az. 89-0570-637/19) ist möglicherweise eine Grundwasserstockwerksgliederung ausgebildet, so dass für die Pilotbohrung eine Begrenzung der Bohrtiefe auf die bei circa 100 m Tiefe liegende Basis der tertiären Schichtenfolge empfohlen wurde.

Sofern Bohrungen mit Tiefen von mehr als 100 m angestrebt werden, ist eine weitergehende Erkundung der hydrogeologischen Situation erforderlich.

Bohrungen mit Tiefen von mehr als 100 m 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 § 21 erforderliche Prüfung von Bohrungen mit Tiefen von über 100 m im Rahmen des Genehmigungsverfahrens kostet derzeit 200 Euro.

Hinweise für Planung und Genehmigungsverfahren

Eine Beeinflussung der rd. 4 km bis 4,5 km entfernten Gewinnungsanlagen durch den Bau von bis zu 100 m tiefen EWS-Anlagen im Bereich des Frankenbach-Geländes ist auch im Falle eines Grundwasserstockwerkbaus 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 bzw. eines Grundwasserstockwerkbaus erforderlich.

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

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

Hinweise für die Planung

EWS müssen aufgrund der Lage des Baugebietes innerhalb der Zone IIIB (= „wasserwirtschaftlich ungünstig“) und des vermuteten Grundwasserstockwerkbaus 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. 25% einzuplanen.

Für die Planung von 100 m tiefen EWS sollten eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $2,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und eine mittlere ungestörte Untergrundtemperatur von $12,2^{\circ}\text{C}$ angesetzt werden.

Aufgrund der überwiegend sandigen Schichtenfolge und des Vorhandenseins von Grundwassers kann auch für EWS mit Längen von weniger als 100 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $2,5 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ angesetzt werden. Für EWS geringerer oder größerer Länge (Tiefe) kann die mittlere Untergrundtemperatur im Einzelfall anhand der vorliegenden Temperatur-Tiefenprofile ermittelt bzw. abgeschätzt werden.

Die Planung sollte die thermische Beeinflussung durch mögliche Nachbaranlagen berücksichtigen.

Wiesbaden, 29.04.2020

HLNUG, Dezernat G4

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

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

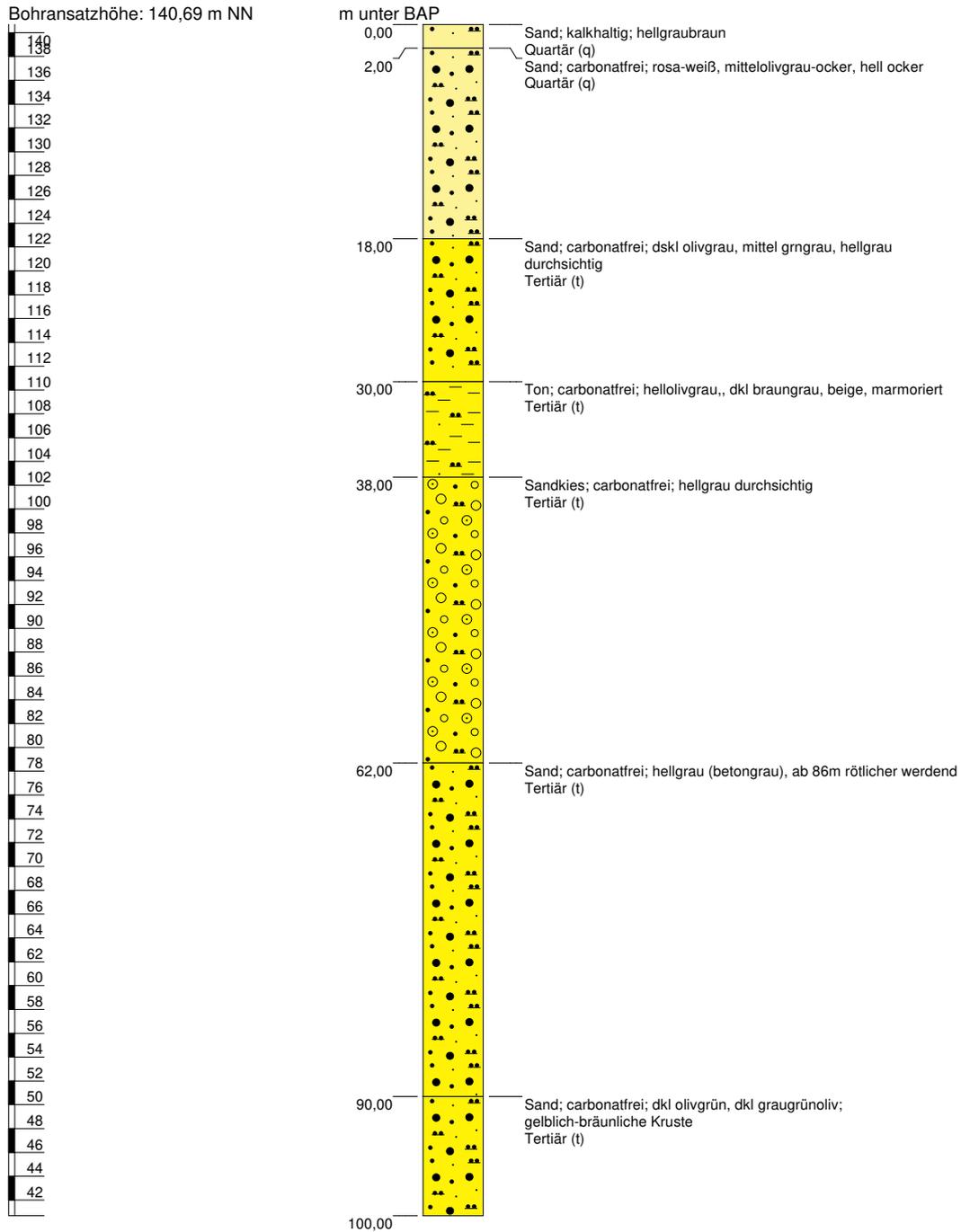
Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

Anlage 1

Schichtenverzeichnis

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
 Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

9012 EWS Münster-Plus Energie Siedlung



Bohrung: 9012 EWS Münster-Plus Energie Siedlung	TK 25:	6019	
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert:	3489438	
Bohrfirma: CMB Bohrtechnik für Erdwärme GmbH	Hochwert:	5531193	
Bearbeiter: Redler, Charlotte, Schweitzer, Silja, Fritsche, Johann-Gerhard	Bohransatzhöhe:	140,69 m NN	
Datum: 09.01.2020	Endteufe:	100,00 m	

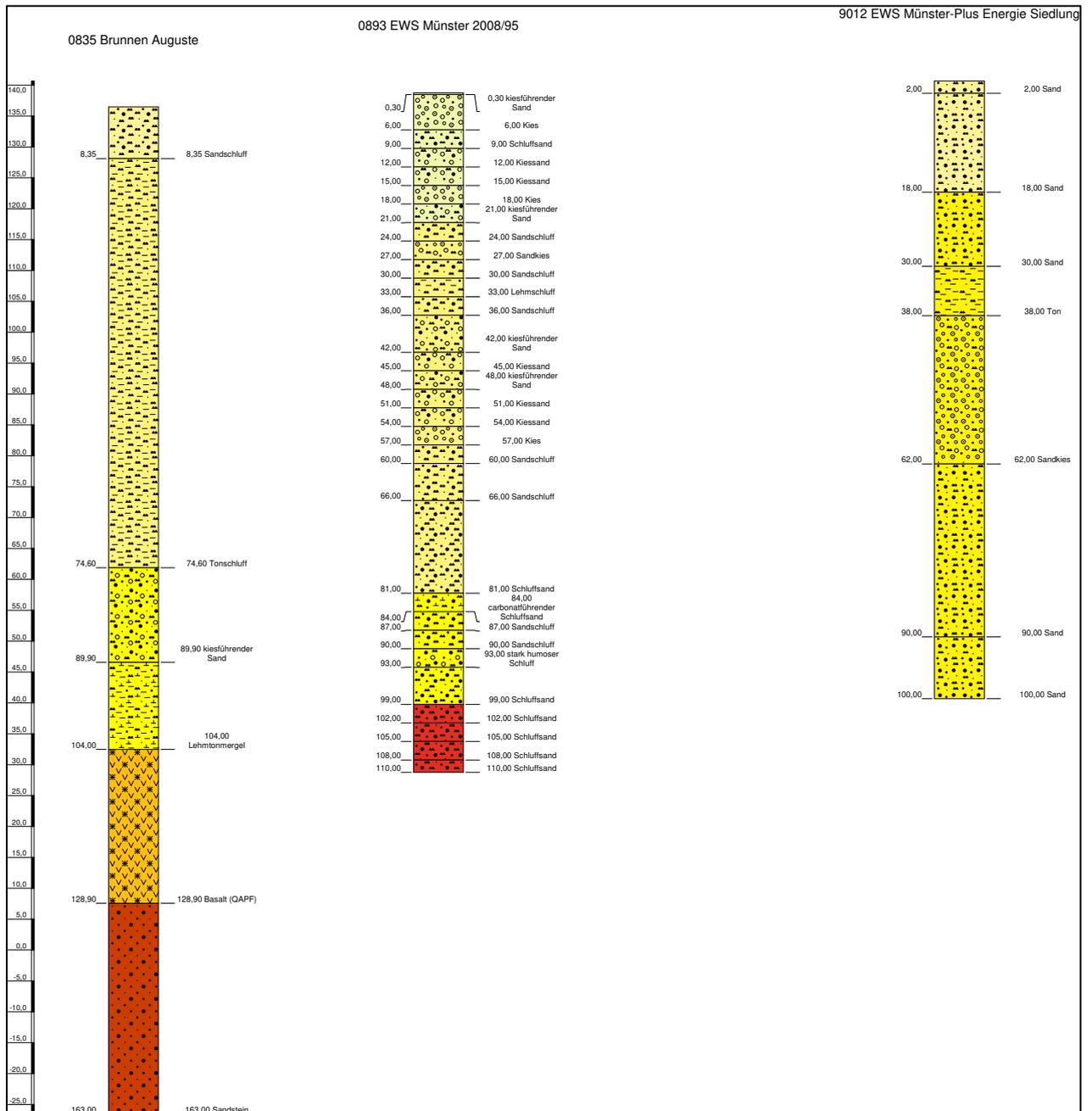
Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster

Anlage 2

Geologischer Schnitt A – A‘

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Frankenbach-Gelände“, Münster



Anlage 3

Dokumentation Thermal Response Test

Geothermische Testarbeiten

Pilotbohrung
64839 Münster-Hessen

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 30.11.2019
Auftragsnummer 3416-2
Bearbeiter Dipl.-Ing. Christian Lumm
Dipl.-Hydrol. Steve Thiel
E-Mail thiel@geoenergie-konzept.de
Seiten 9
Anlagen 5

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
- 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 Erdwärmesonde in Münster-Hessen 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 Erdwärmennutzung.

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. 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	27.11.2019 - 30.11.2019
Messdauer	70,33 h
Außentemperatur	4,5 - 13,8 °C
mittlere Heizleistung	7048,1 W
Wärmeträgermedium	Wasser
Durchsatz	23,7 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	$T_{\text{T-Log}}$	12,2 °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^*	$2,5 \pm 0,1 \text{ W/m,K}$
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 1,5 % 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.

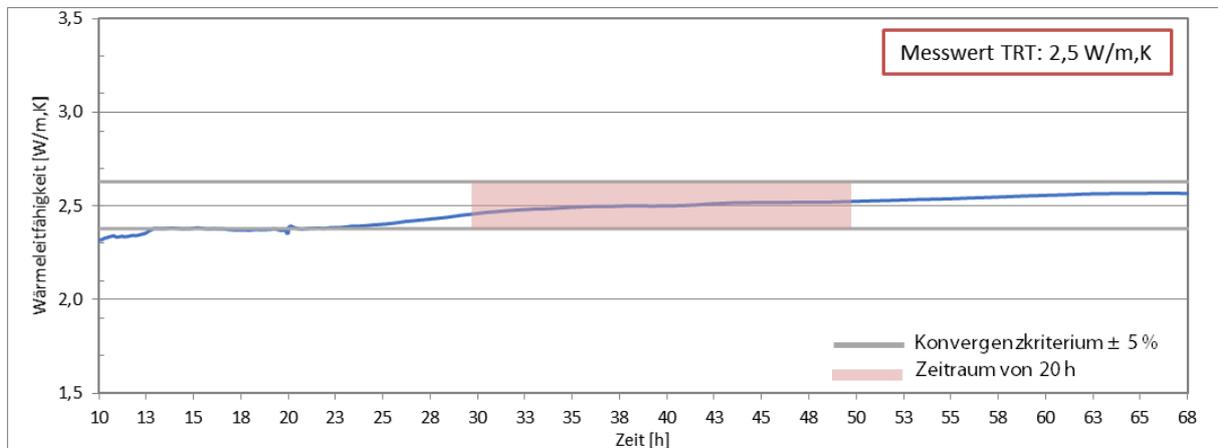


Abb. 2: Graduelle Auswertung der Wärmeleitfähigkeit inkl. Darstellung Konvergenzkriterium

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 Münster ergeben sich aus den geothermischen Testarbeiten folgende Untergrundeigenschaften:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit: 2,5 W/m,K
- Thermischer Bohrlochwiderstand: 0,11 K/W/m
- Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur: 12,2 °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.

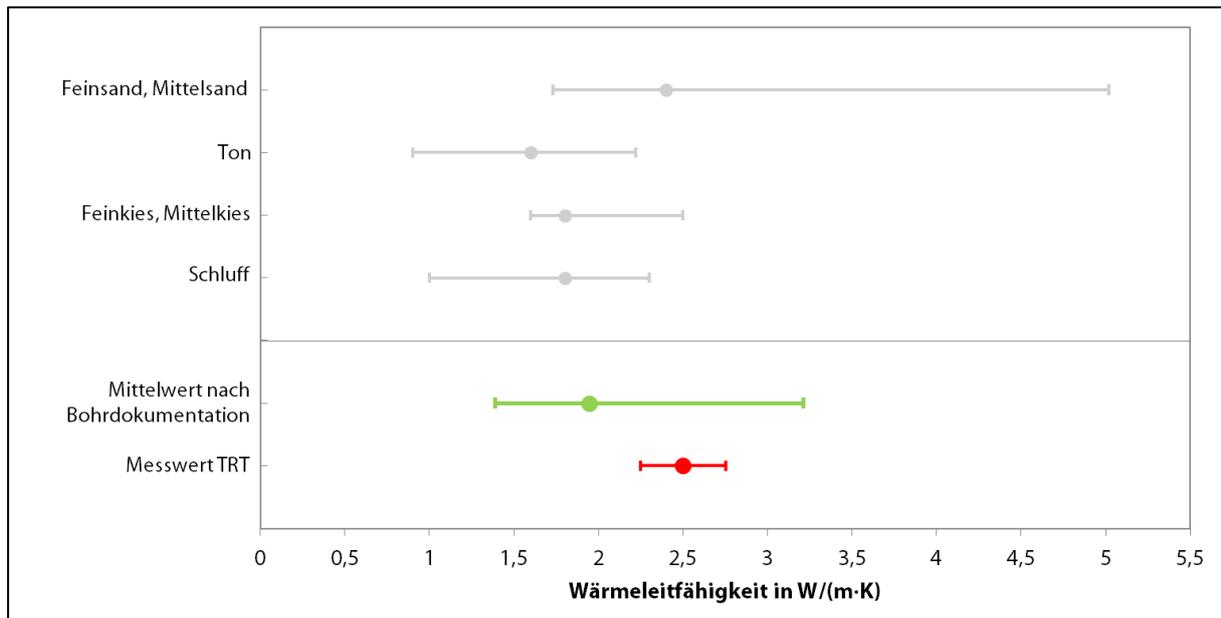


Abb. 3: Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten

5 Zusammenfassung

Im Auftrag des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurden an einer Pilotbohrung am Standort Münster-Hessen geothermische Testarbeiten durchgeführt. Der Thermal Response Test wurde im Zeitraum vom 27.11.2019 – 30.11.2019 durchgeführt.

Im Ergebnis der Testarbeiten konnte über die Sondenlänge von 100 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von 2,5 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 12,2 °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, 30.11.2019

Steve Thiel

Dipl.-Hydrol. Steve Thiel



Anlage 1

ANLAGE 1 Funktionsprinzip TRT

Datum	30.11.2019
Projekt-Nr.	3416-2
Bauvorhaben	Pilotbohrung Münster-Hessen
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.

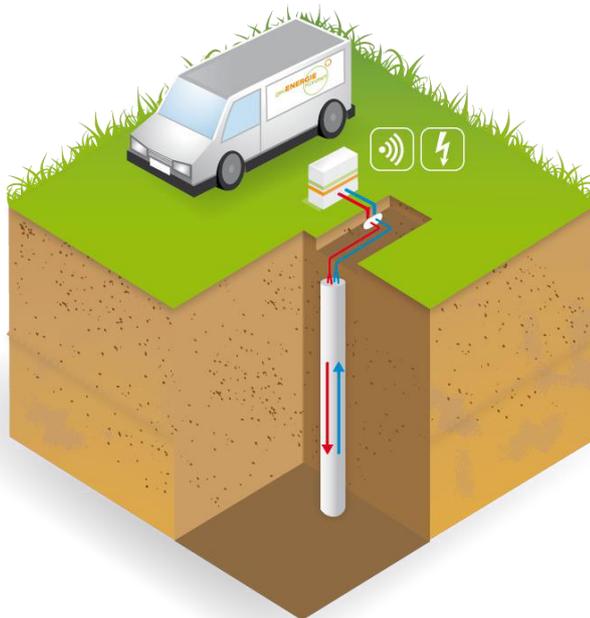


Abb. 1: Prinzip eines Thermal Response Test

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.

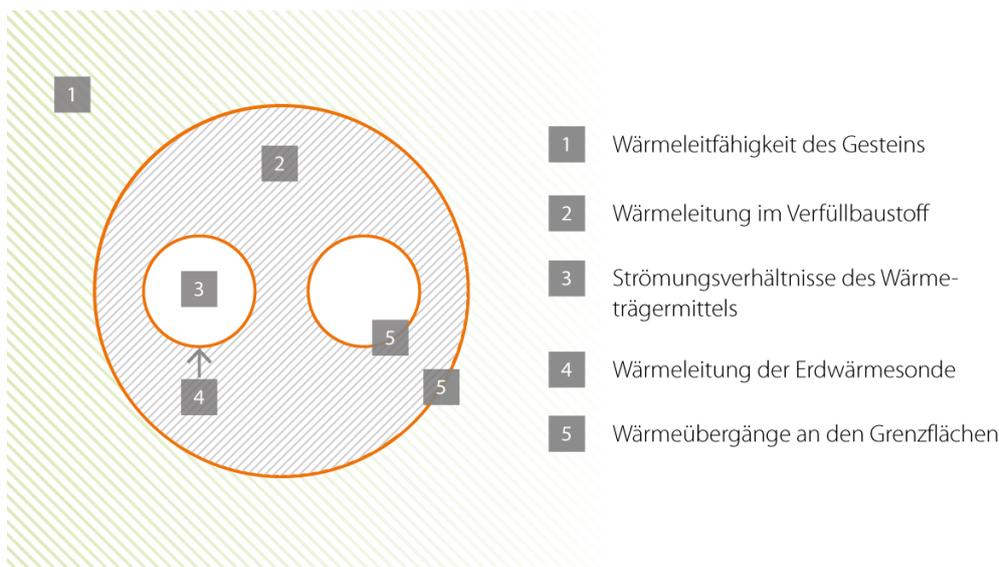


Abb. 2: Einflussfaktoren auf den thermischen Bohrlochwiderstand

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:

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

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 30.11.2019
Projekt-Nr. 3416-2
Bauvorhaben Pilotbohrung
 Münster-Hessen
zum Bericht Geothermische
 Testarbeiten
Seite 1 von 2

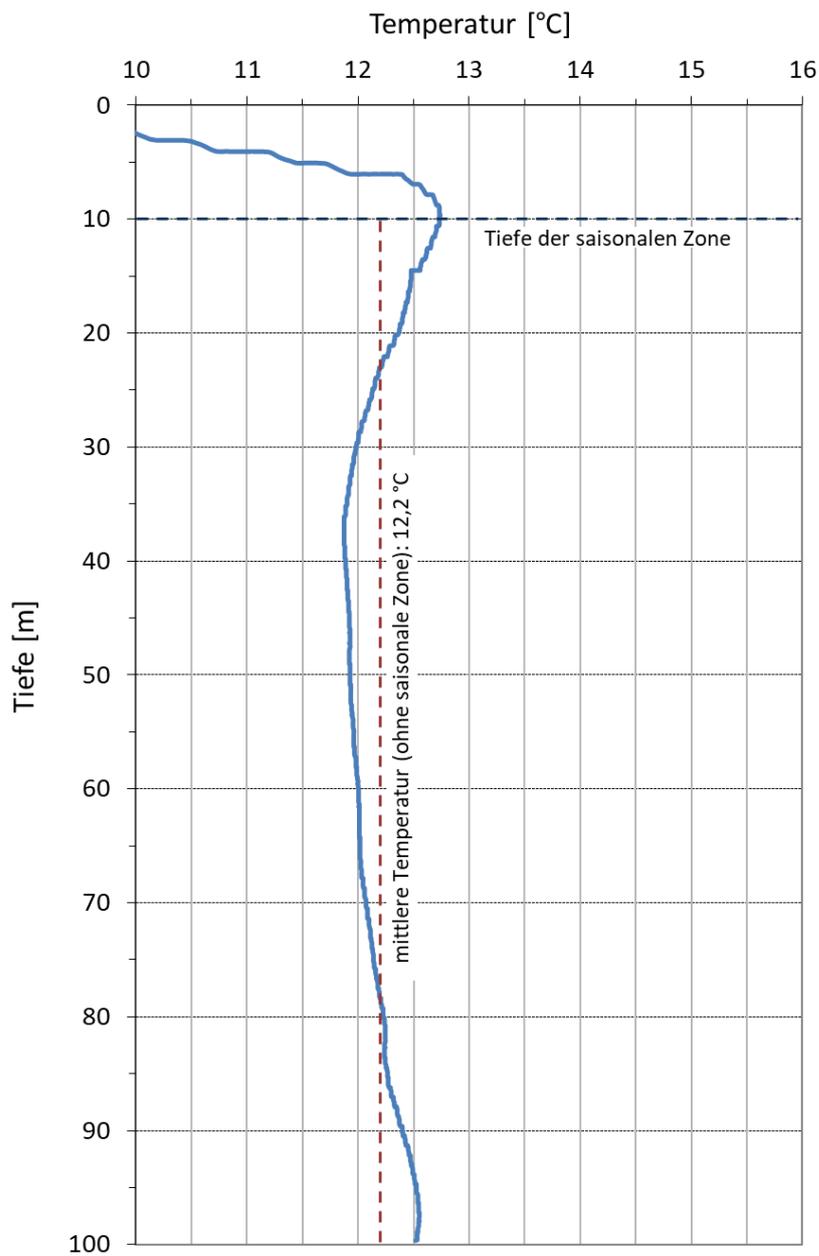


Abb. 1: Tiefenprofil der ungestörten Untergrundtemperatur

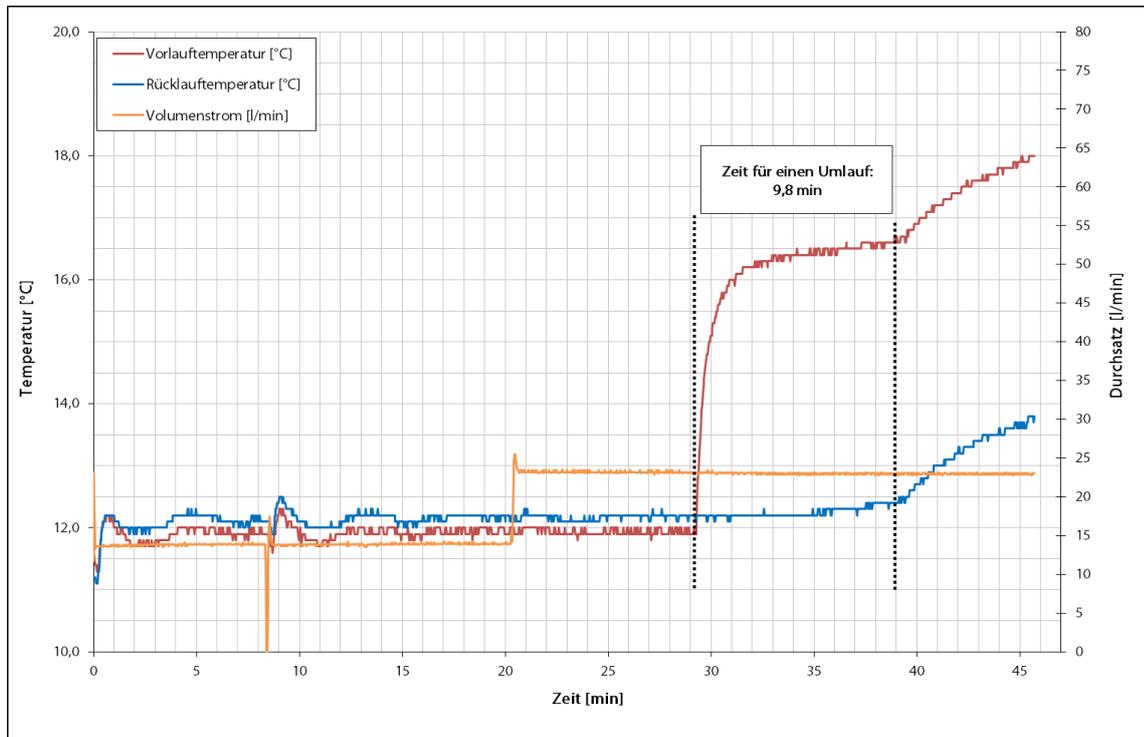


Abb. 2: Erste Testphase zur Bestimmung der Sondenlänge

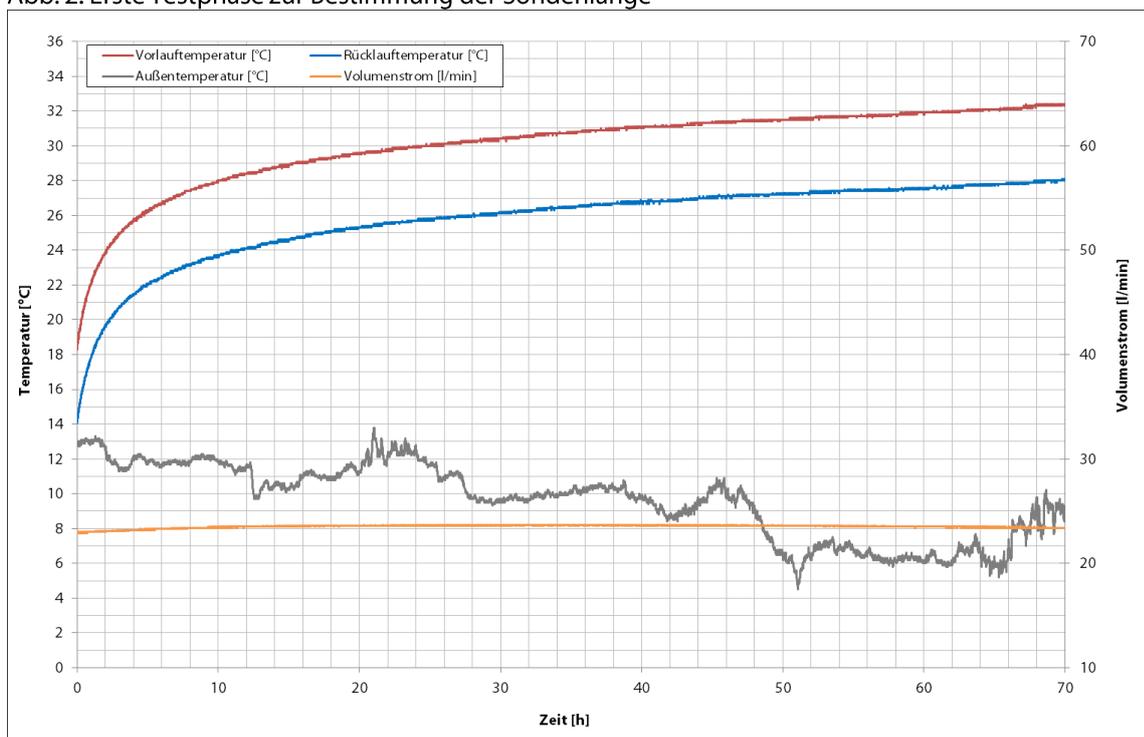


Abb. 3: Messreihe zur Bestimmung der geothermischen Untergrundeigenschaft

Anlage 3

Kurzprotokoll: Thermal Response Test

Projektnr. AN	3416	geoENERGIE Konzept GmbH Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg Tel.: +49 3731 79878 19 Fax: +49 3731 79878 30 info@geoenergie-konzept.de
Projektnr. /Bestellnr. AG		
Bauvorhaben	Pilotbohrung Münster 64839 Münster	

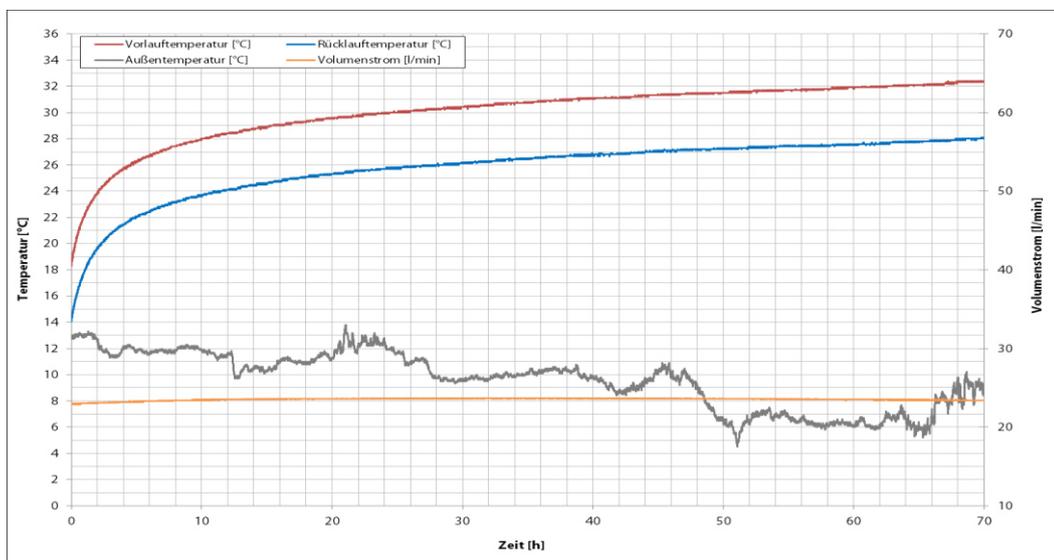
Auftraggeber	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie Rheingau Straße 186 65203 Wiesbaden	Kontaktperson AG Herr Dr. Sven Rumohr
---------------------	---	--

Bohrunternehmen	Handke Bohr- und Umwelttechnik UG Gartenstr. 17 65529 Waldems
------------------------	---

Randbedingungen

<i>Messzeitraum</i>	27.11.2019 - 30.11.2019
<i>Bohrtiefe</i>	100 m
<i>Sondenlänge</i>	100 m
<i>mittlerer Bohrdurchmesser</i>	153 mm
<i>Sondentyp</i>	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm
<i>Verpressmaterial</i>	Schwenk Füllbinder L

Messreihen TRT



Bemerkungen Ergebnisse des TRT's

Testergebnisse	
<i>mittlere Untergrundtemperatur</i>	12,2 °C
<i>effektive Wärmeleitfähigkeit</i>	2,5 ± 0,1 W/m,K
<i>thermischer Bohrlochwiderstand</i>	0,11 K/W/m

Anlage 4

ANLAGE 4 Fotodokumentation

Datum 30.11.2019
Projekt-Nr. 3416-2
Bauvorhaben Pilotbohrung
Münster-Hessen
zum Bericht Geothermische
Testarbeiten
Seite 1 von 2



Abb. 1: Standort vor Beginn der Testarbeiten

Datum 30.11.2019
Projekt-Nr. 3416-2
Seite 2 von 2



Abb. 2: aufgebautes Testgerät am Standort



Abb. 3: Erdwärmesonde nach Ende der Testarbeiten

Anlage 5

ANLAGE 5 Abklingkurven

Datum 30.11.2019
Projekt-Nr. 3416-2
Bauvorhaben Pilotbohrung
Münster-Hessen
zum Bericht Geothermische
Testarbeiten
Seite 1 von 1

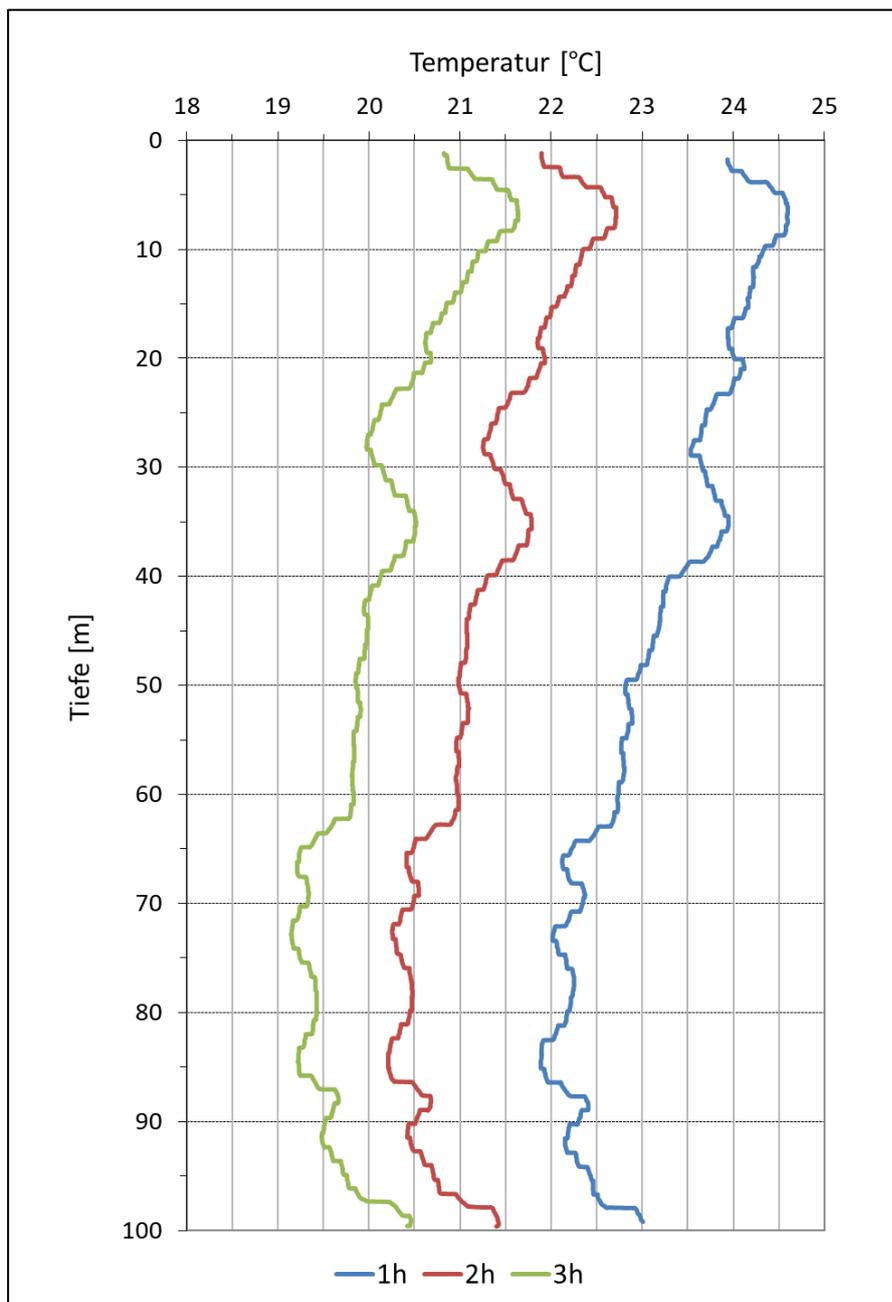
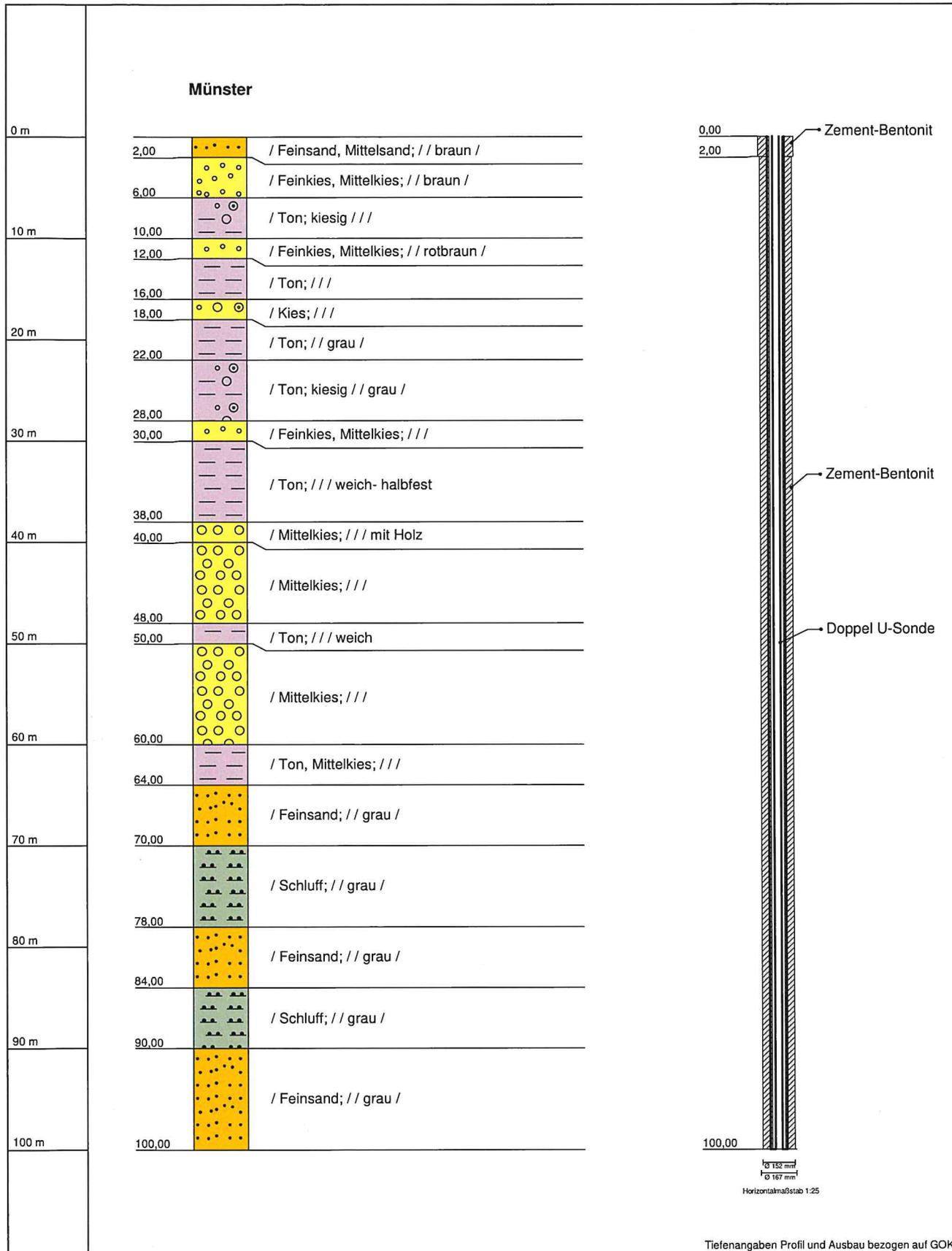


Abb. 1: Tiefenprofile der Untergrundtemperatur für 1h, 2h und 3h nach Ende der Testarbeiten (Abklingkurven)

Anlage 6



Projekt	Pilotbohrung in Münster / HLNUG	NF: Handke Bohrtechnik
Ort	Münster 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)