

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung -

Geltungsbereich: Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

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.....	4
5.	Standörtliche geothermische Situation.....	6
6.	Auslegung exemplarischer geothermischer Anlagen.....	6
6.1.	Privates Wohngebäude (nur Heizen).....	7
6.2.	Öffentliches Gebäude mit Heiz- und Kühlbedarf.....	8
7.	Zusammenfassende Hinweise	9

Anlagen

- 1 Schichtenverzeichnis
- 2 Dokumentation Thermal Response Test

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

1. Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS)

Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS) ist das am nordöstlichen Ortsrand von Niddatal-Assenheim in Planung befindliche Baugebiet „Gollacker“ (Abb. 1).



Abb. 1: Geltungsbereich des Steckbriefes Oberflächennahe Geothermie (EWS) für den Bereich Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim (Luftbild ohne Maßstab; gelbes Kreuz: Lagepunkt Erkundungsbohrung)

2. Wasserwirtschaftliche Situation

Das Baugebiet „Gollacker“ liegt in der quantitativen Schutzzone D des für die Heilquellen von Bad Nauheim mit Verordnung vom 24.10.1984 (StAnz. 48/1984 S. 2352) festgesetzten Heilquellenschutzgebietes. In der Schutzzone D sind Bodeneingriffe von mehr als 100 m verboten, Ausnahmen sind jedoch nach Prüfung des Einzelfalls möglich und im Bereich der Ortslage Assenheim in der Vergangenheit bereits erteilt.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

Aufgrund der Lage innerhalb der Schutzzone D ist das Projektgebiet gemäß den Anforderungen des Gewässerschutzes an Erdwärmesonden 21.03.2014 (StAnz 17/2014 S. 383) als „wasserwirtschaftlich ungünstig“ eingestuft.

3. Bohr- und Ausbauarbeiten; Bohrrisiken

Zur Erkundung der geologischen und geothermischen Situation wurde eine 100 m Tiefe Bohrung zunächst mittels Imlochhammer bis 36 m und anschließend mit Stufenmeißel und Luft-Spülung abgeteuft und mit einer Erdwärmesonde (EWS) in der Ausführung Doppel-U-Sonde 32*2,9 mm ausgebaut. Ein Standrohr wurde bis 2 m mitgeführt. Der Einbau der EWS war nur bis zu einer Tiefe von 79 m möglich, da das Bohrloch unterhalb dieser Tiefenlage verstürzt war.

Lagedaten: Auf dem Gollacker, Gemarkung Assenheim, Flur 11, Flurstück 132/2
TK 5618 – Friedberg, R 34 86 354, H 55 74 460

Das Imlochhammer-Bohrverfahren stellte sich als ungeeignet für die aufgeschlossene Schichtenfolge heraus.

Zur Verfüllung des Bohrlochs wurde der thermisch verbesserte Verfüllbaustoff Füllbinder EWM des Herstellers Schwenk mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \geq 2,0 \text{ W/(m}^*\text{K)}$ verwendet.

Die zur Verfüllung des 100 m tiefen Bohrlochs benötigte Verfüllmenge von rd. 2,5 m³ überstieg das theoretische Verfüllvolumen von rd. 1,45 m³ um mehr als 1,0 m³. Bereits bei der unmittelbar nach Einbau der EWS erfolgten Verfüllung im Kontraktorverfahren mussten 1,9 m³ Suspension eingebracht werden, bevor die Suspension an der Geländeoberfläche aus dem Bohrloch austrat. In den Folgetagen sackte die Verfüllung bis auf ca. 18 m unter ab und es waren weitere 0,6 m³ Suspension zur vollständigen Verfüllung erforderlich.

Aufgrund des Absinkens der Verfüllsuspension bis auf 18 m unter BAP ist davon auszugehen, dass die Suspension unterhalb 18 m unter BAP aus dem Bohrloch austrat.

Es haben sich keine Hinweise auf artesische Druckverhältnisse ergeben.

4. Standörtliche geologische und hydrogeologische Situation

Das Baugebiet Gollacker liegt im hydrogeologischen Großraum „Oberrheingraben mit Mainzer Becken und nordhessischem Tertiär“ und im Teilraum „Wetterau“. In diesem Teilraum stehen Terrassenkiese und -sande mit mittlerer bis mäßiger Durchlässigkeit an. In diese Sedimente können tertiäre basaltische Vulkanite eingeschaltet sein.

Nach der Geologischen Karte 1 : 25.000, Blatt 5618 Friedberg, stehen im Bereich des Baugebiets Gollacker Löss und Lösslehm über Terrassenkiesen der Wetter an. Unterlagert werden diese von pliozänen Sanden. Örtlich können darunter miozäne Basalte anstehen, z. B. südlich des Baugebiets im Bereich der bebauten Ortslage von Assenheim. Diese Abfolge wird von einer Wechsellagerung miozäner Lockergesteine (Tone, Sande, Kiese, Mergel) unterlagert. Vorfluter ist die im Süden und Westen gelegene Nidda. Aufgrund der wechselnden Durchlässigkeiten der erwähnten Lockergesteine kann es lokal zur Ausbildung eines Grundwasserstockwerksbaus kommen.

Die von der 100 m tiefen Erkundungsbohrung erschlossene Schichtenfolge ist in Anlage 1 detailliert beschrieben. Nachfolgend wird diese zusammengefasst umschrieben:

Unterhalb des mehrere Dezimeter mächtigen Oberbodens steht bis 12 m unter Bohransatzpunkt (BAP) Lößlehm an (feinsandige und tonige Schluff) mit einer zwischengelagerten Tonlage bei 3 bis 4 m. Darunter folgt bis 52 m u. BAP eine Schluff-Ton-Wechselfolge mit eingeschalteten Kalkmergelsteinen von 38 m bis 50 m unter BAP. Darunter folgen bis 56 m unter BAP Braunkohle und bis zur Endteufe schluffige und teils tonige Feinsande des Miozäns.

Für die nähere Umgebung sind keine Ergebnisse anderer Bohrungen im Archiv des HLNUG dokumentiert. Lediglich im Tal der Wetter ca. 900 m westlich des Baugebietes zeigen flache Bohrungen bis 20 m unterhalb ca. 23,5 m mächtigen Auenlehmen und Terrassenkiesen die pliozäne Schluff-Ton-Wechselfolge. Anhaltspunkte für Schichtlagerung im Projektgebiet können den vorhandenen Informationen nicht entnommen werden. Insgesamt ist für das gesamte Projektgebiet mit einer ähnlichen Abfolge wie in der Versuchsbohrung zu rechnen. Lediglich in der südlichen Ecke können unter den pliozänen Schluffen und Tonen Basalte nicht ausgeschlossen werden.

Angaben zum Antreffen von Grundwasser hat die Bohrfirma nicht gemacht. Grundwasserstandsdaten aus Messstellen im Umfeld liegen ebenfalls nicht vor. Wegen der geringen Grundwasserführung wurde das bis 36 m Bohrtiefe verwendete Imlochhammerverfahren auf

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

das Rotary-Spülbohrverfahren bis zur Endteufe umgestellt. Wahrscheinlich ist eine nach Südwesten auf die Wetter zu gerichtete Strömung des Grundwassers mit einer nur geringfügig über dem Pegel der Wetter (ca. 118 m ü. NN) liegenden Grundwasseroberfläche mit flachem Gradienten. Infolge eines vermutlich kleinräumigen petrofaziellen Wechsels in der pliozänen und miozänen Schichtenfolge variiert deren Durchlässigkeit, die insbesondere in der pliozänen Schichtenfolge überwiegend gering ist. An der Bohrstelle ist mit ca. 20 m Grundwasserflurabstand zu rechnen, allerdings mit nur geringer Wasserführung und dies nur in Kiesen und Sanden.

Eindeutige Hinweise auf eine Ursache für das Verstürzen des Bohrlochs unterhalb von 79 m unter Bohransatzpunkt vor Einbau der EWS in die Erkundungsbohrung sind nicht erkennbar. Vermutlich verfügen die unterhalb von 56 m anstehenden miozänen Sande über eine geringere Standfestigkeit.

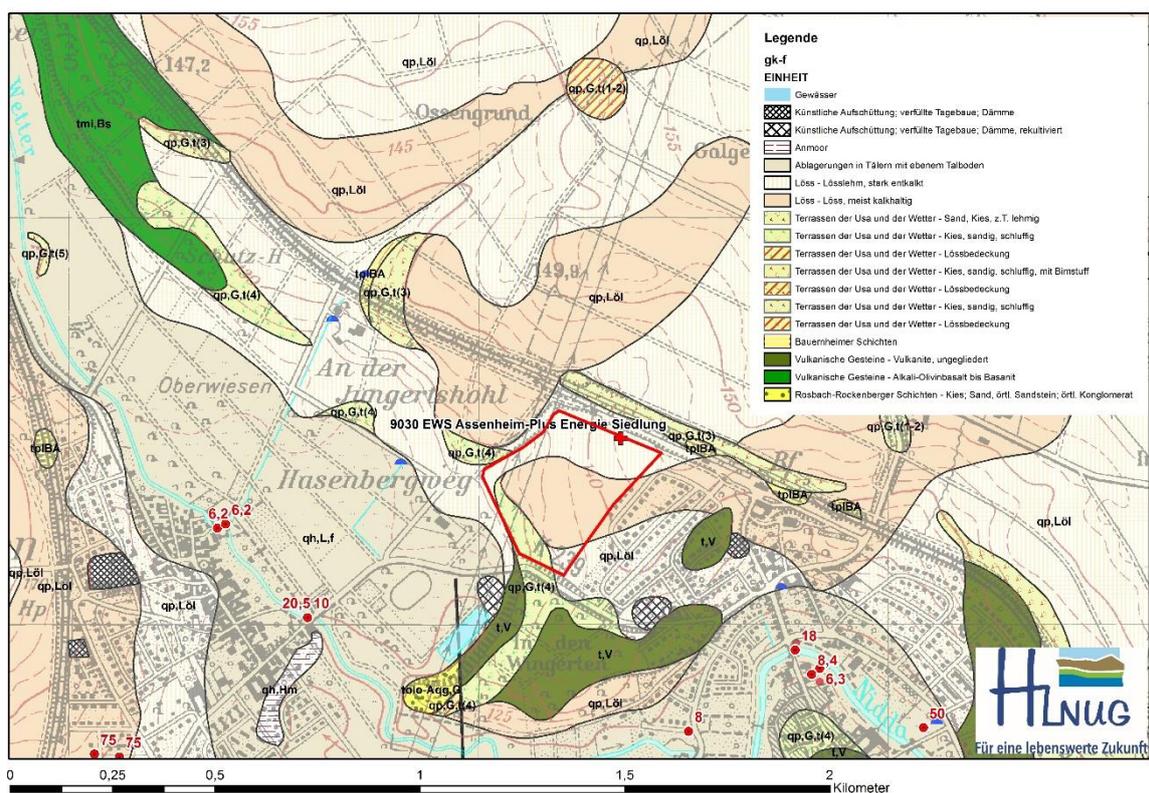


Abb. 2: Ausschnitt aus der digitalen geologischen Karte 1:25.000, Blatt 5618 Friedberg; Bohrungen im Umfeld: rote Punkte (mit Endtiefen), Bohrung PES-Projekt: rotes Kreuz, Projektgebiet: rote Umgrenzung.

5. Standörtliche geothermische Situation

Für die von der 79 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:

Tab. 1: Ergebnisse TRT und Temperaturmessungen

Parameter		Ergebnisse
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	m	79
Tiefe der saisonalen Zone	m	14
Mittlere Untergrundtemperatur ohne saisonale Zone (gemäß Messung vor TRT)	°C	11,7
Effektive Wärmeleitfähigkeit λ (inkl. Messfehler)	W/(m*K)	2,1 ± 0,1
Therm. Bohrlochwiderstand R_b	K/(W*m)	0,08

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

6. Auslegung exemplarischer geothermischer Anlagen

Zur Veranschaulichung, wie viele EWS mit welchen Bohrtiefen bei der für das Baugebiet „Gollacker“ erkundeten geothermischen Situation erforderlich sind, werden nachfolgend die Ergebnisse der Auslegungen zweier exemplarischer EWS-Anlagen 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 Auslegungen ergaben erforderliche Bohrtiefen bzw. EWS-Tiefen, die teilweise über die Tiefe der 79 m tiefen Pilot-EWS hinausgehen. Hierbei ist davon auszugehen, dass dies im Falle der Auslegung von 81 und 84 m tiefen EWS vernachlässigbar ist. Im Falle der alternativen Auslegung mit 3 EWS á 97 m statt 4 EWS a 73 m kann die Tiefe der 3 EWS auf 100 m erhöht werden, um eine mögliche Unschärfe durch die Übertragung der Messergebnisse einer 79 m tiefen Pilot-EWS auf eine deutlich größere Bohrtiefe zu kompensieren.

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

Die 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 Gollacker bis 79 m Tiefe gemessene Untergrundtemperatur 11,7 °C beträgt.

Aufgrund der geologischen Situation kann davon ausgegangen werden, dass die für den Tiefenbereich bis 79 m ermittelte Wärmeleitfähigkeit auch für den Tiefenbereich bis 100 m anwendbar ist. Die Annahme, dass die bis 79 m Tiefe ermittelten Temperatur derjenigen bis 100 m entspricht, ist hierbei für den Fall des Wärmeentzugs als konservativ anzusehen.

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 81 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 11,7 °C und Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs:

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

Ergebnis Earth Energy Designer: **2 EWS von 84 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 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 11,7 °C und Einsatz eines thermisch verbesserten Verfüllbaustoffs:

Ergebnis Earth Energy Designer: **4 EWS von 81 m Tiefe**
(nur Heizen, keine Kühlung)

4 EWS von 73 m Tiefe
(Heizen und Kühlen)

alternativ

3 EWS von 97 m Tiefe
(Heizen und Kühlen)

7. Zusammenfassende Hinweise

Das Bohrloch erwies sich bei bzw. ab 79 m unter Gelände als nicht standfest, so dass es ver-
stürzte und der Einbau der Pilot-EWS nur bis zu dieser Tiefe möglich war. Werden größere
Bohrtiefen angestrebt, sollten Bohrungen bis zur Endteufe verrohrt ausgeführt werden.

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 fast 70%. Ob dieser Mehrbedarf auf die geologische Si-
tuation oder das Bohrverfahren zurückzuführen ist (hier das irrtümlich zunächst eingesetzte
Imlochhammerverfahren), ist unklar. Ein Mehrbedarf bis zu 20% ist nicht ungewöhnlich.

Bohrungen mit Tiefen von mehr als 100 m sind bei Berücksichtigung des ggf. nicht standfes-
ter Bohrlöcher möglich und sie können durchaus sinnvoll sein, z. B. bei der Planung größerer
Anlagen. Zu berücksichtigen ist, dass Bodeneingriffe aufgrund der Lage des Geltungsbereichs
in der Zone D des Heilquellenschutzgebietes von Bad Nauheim von mehr als 100 m verboten
und Ausnahmen nur nach Prüfung des Einzelfalls möglich sind. Im Bereich der bebauten
Ortslage Assenheim wurden bereits Bohrungen mit Bohrtiefen über 100 m genehmigt.

Bohrungen mit Tiefen von mehr als 100 m unterliegen jedoch den Regelungen des *Bundes-
berggesetzes* (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.

Hinweise für Planung und Genehmigungsverfahren

Eine Beeinflussung der mindestens 6 km entfernten Heilquellen durch den Bau von bis zu
100 m tiefen EWS-Anlagen im Bereich des Baugebietes Gollacker ist 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

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

- Heizleistung max. 20 kW; Kühlbedarf (kWh) max. 20% des Heizwärmebedarfs
- Max. Bohrtiefe 100 m
- Einzelfallprüfung allein aufgrund der Lage des Vorhabens in der Zone D des Heilquellenschutzgebietes von Bad Nauheim.

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

Hinweise für die Planung

EWS müssen aufgrund der Lage des Geltungsbereichs innerhalb der Zone D des Heilquellenschutzgebietes von Bad Nauheim (= „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. Das zunächst eingesetzte Imlochhammer-Bohrverfahren ist an dem Standort ungeeignet. Es ist ein Mehrbedarf der Suspension für die Verfüllung des Bohrlochringraums nach Einbau der EWS von bis zu 70 % einzuplanen.

Für die Planung von 80 m tiefen EWS sollten eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $2,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und eine mittlere ungestörte Untergrundtemperatur von $11,7^{\circ}\text{C}$ angesetzt werden.

Aufgrund der überwiegend sandigen Schichtenfolge und des Vorhandenseins von Grundwassers kann auch für EWS mit Längen von weniger als 79 m eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $2,1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 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, 04.05.2020

HLNUG, Dezernat G4

Bearbeiter: Dr. Sven Rumohr

sven.rumohr@hlnug.hessen.de

Dr. Johann-Gerhard Fritsche

johann-gerhard.fritsche@hlnug.hessen.de

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

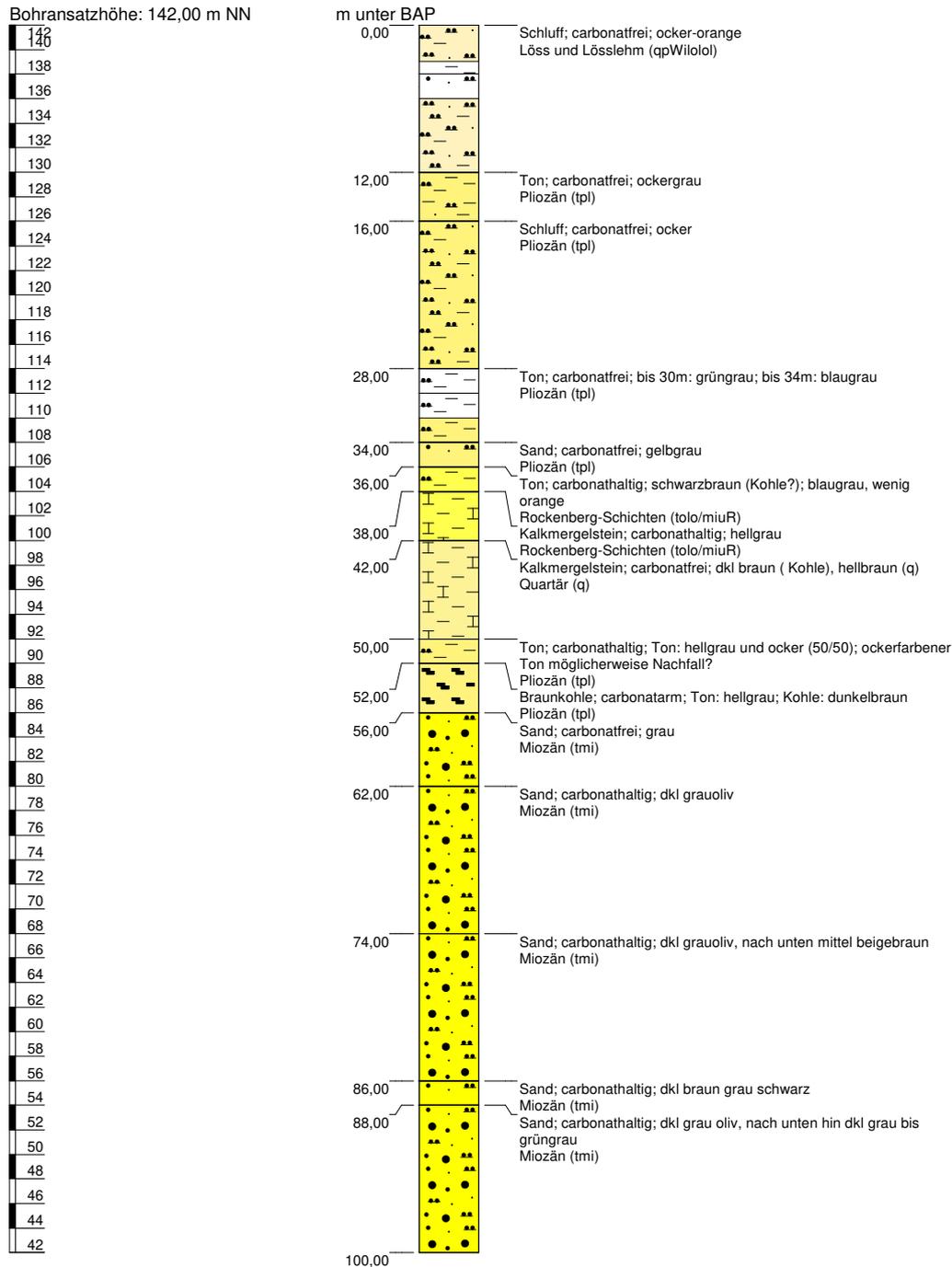
Anlage 1

Schichtenverzeichnis

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung

Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

9030 EWS Assenheim-Plus Energie Siedlung



Bohrung: 9030 EWS Assenheim-Plus Energie Siedlung	TK 25:	5618	 Für eine lebenswerte Zukunft
Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	Rechtswert:	3486354	
Bohrfirma: CMB Bohrtechnik für Erdwärme GmbH	Hochwert:	5574460	
Bearbeiter: Fritsche, Johann-Gerhard	Bohransatzhöhe:	142,00 m NN	
Datum: 14.11.2019	Endteufe:	100,00 m	

Steckbrief Oberflächennahe Geothermie (EWS) - Kurzfassung
Baugebiet „Gollacker“, Niddatal-Assenheim

Anlage 2

Dokumentation Thermal Response Test

Geothermische Testarbeiten

Pilotbohrung
61194 Niddatal-Assenheim

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 28.11.2019
Auftragsnummer 3416-1
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
EthikBankeG 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.....	8

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

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 Niddatal-Assenheim beauftragt. In der nachfolgenden Abbildung ist der ungefähre Standort der untersuchten Bohrung dargestellt.

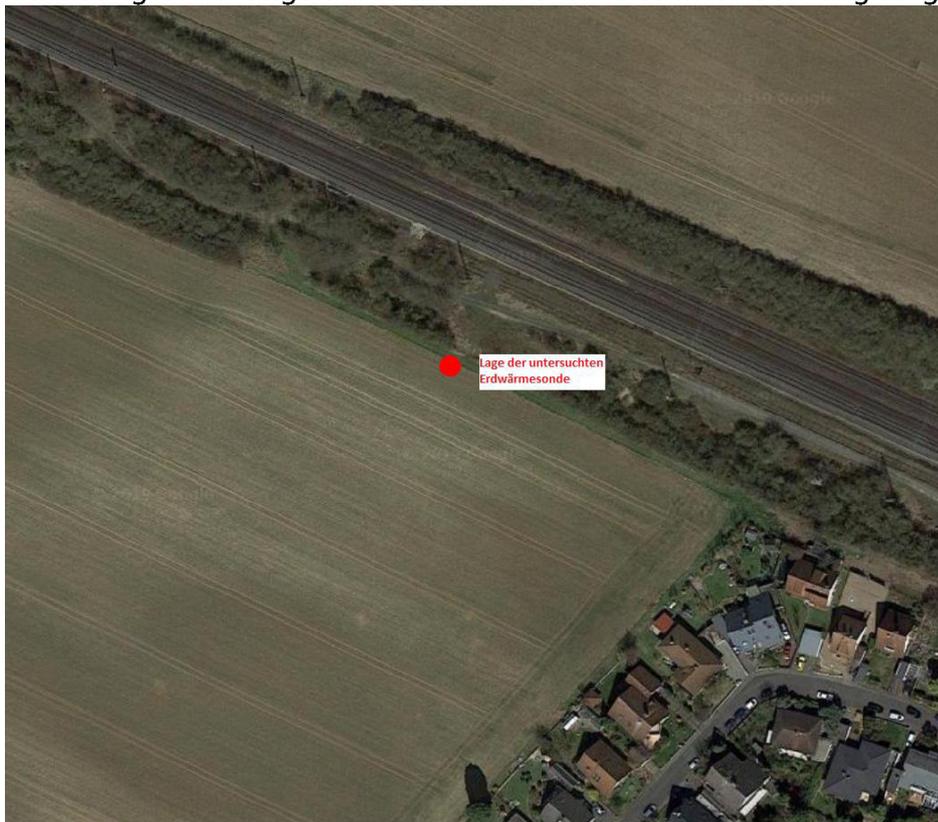


Abb. 1: Lage der untersuchten Erdwärmesonde (Quelle: www.google.de)

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 & 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		79 m
Tiefe Verrohrung		4 m
Bohrdurchmesser verrohrt		178 mm
Bohrdurchmesser unverrohrt		152 mm
mittlerer Bohrdurchmesser		153 mm
Sondenlänge		79 m
Sondentyp	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm	
Verpressmaterial	Schwenk Füllbinder EWM	
Wärmeleitfähigkeit gemäß Datenblatt		≥ 2,0 W/m,K

Die Bohrung wurde bis in einer Tiefe von 100 m abgeteuft. Beim Einbau der Sonde wurde jedoch festgestellt, dass das Bohrloch im unteren Bereich zusammengefallen ist, sodass die Sonde nur bis in einer Tiefe von 79 m eingebaut werden konnte.

3.2 TRT

Nachfolgende Tabelle zeigt die wesentlichen Randbedingungen der Messung.

Tab. 2: Randbedingungen des TRTs

Randbedingungen TRT	
Messzeitraum	22.11.2019 - 26.11.2019
Messdauer	90,53 h
Außentemperatur	2,1 - 23,1 °C
mittlere Heizleistung	6394,7 W
Wärmeträgermedium	Wasser
Durchsatz	23,6 l/min
Temperaturspreizung	3,9 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}	14 m
mittlere Untergrundtemperatur ohne saisonale Zone	$T_{\text{T-Log}}$	11,7 °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	0,08 K/W/m
Sondenlänge (berechnet aus TRT)	l_{TRT}	79 m

Für die bestimmte Wärmeleitfähigkeit lässt sich gemäß Gauß'schen Fehlerfortpflanzungsgesetz ein Messfehler von 2,1 % 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.

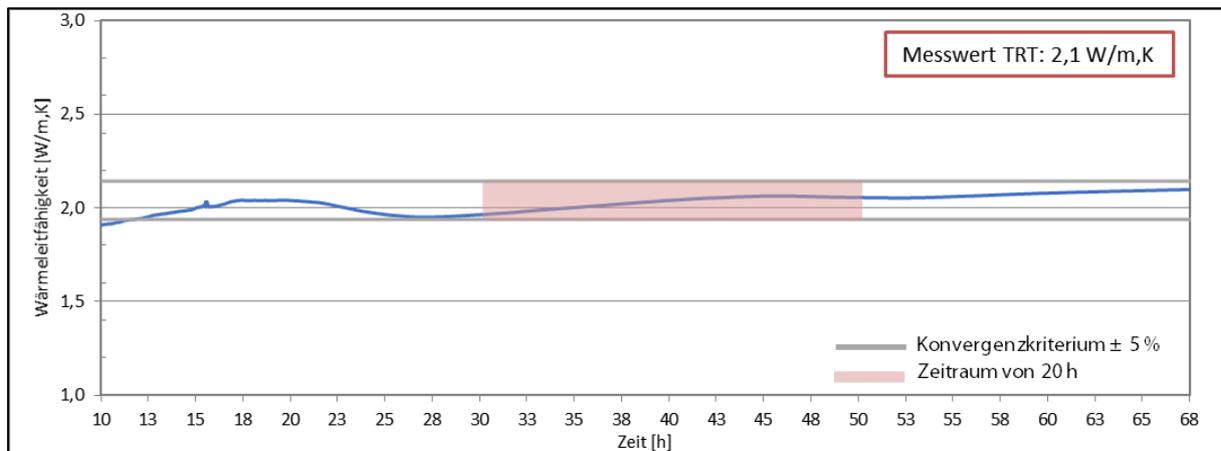


Abb. 2: Graduelle Auswertung der Wärmeleitfähigkeit inkl. Darstellung Konvergenzkriterium

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 Niddatal-Assenheim ergeben sich aus den geothermischen Testarbeiten folgende Untergrundeigenschaften:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit: 2,1 W/m,K
- Thermischer Bohrlochwiderstand: 0,08 K/W/m
- Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur: 11,7 °C

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

5 Zusammenfassung

Im Auftrag des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie wurden an einer Pilotbohrung am Standort Niddatal-Assenheim geothermische Testarbeiten durchgeführt. Der Thermal Response Test wurde im Zeitraum vom 22.11.2019 – 26.11.2019 durchgeführt.

Im Ergebnis der Testarbeiten konnte über die Sondenlänge von 79 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 0,08 K/W/m ermittelt.

Die vor Testbeginn erfasste mittlere ungestörte Untergrundtemperatur beträgt am Standort 11,7 °C. Diese wurde über eine Tiefe von 79 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, 28.11.2019

Steve Thiel

Dipl.-Hydrol. Steve Thiel



Anlage 1

ANLAGE 1 Funktionsprinzip TRT

Datum	28.11.2019
Projekt-Nr.	3416-1
Bauvorhaben	Pilotbohrung Niddatal-Assenheim
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.

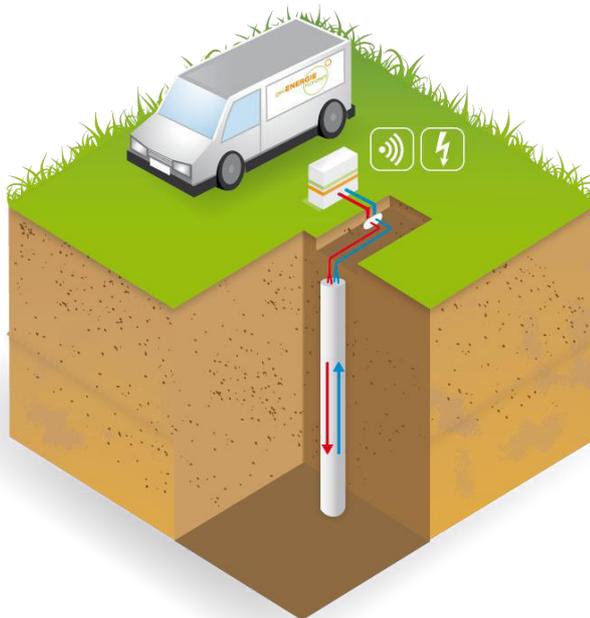


Abb. 1: Prinzip eines Thermal Response Test

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 Erdwärmepumpe 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.

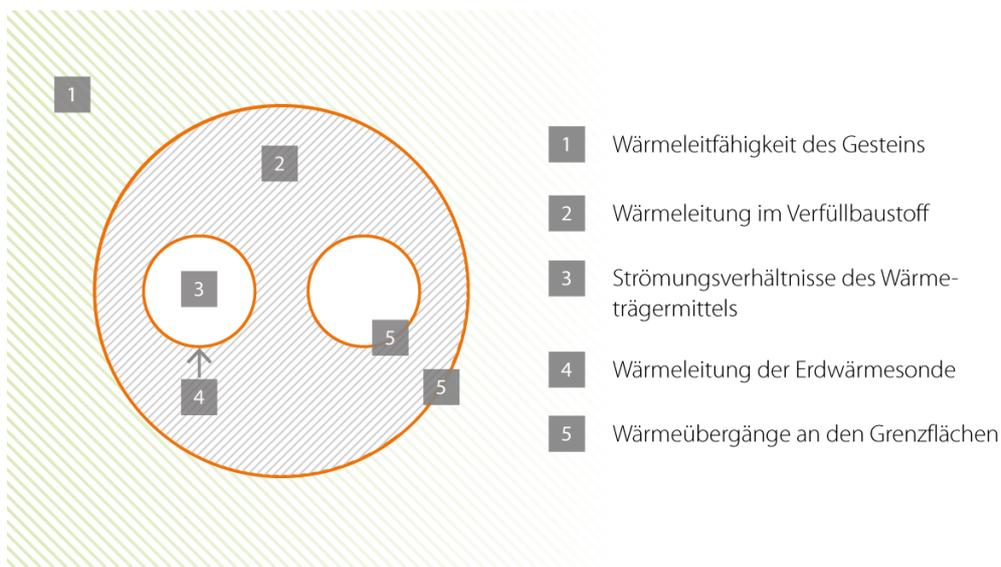


Abb. 2: Einflussfaktoren auf den thermischen Bohrlochwiderstand

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 28.11.2019
Projekt-Nr. 3416-1
Bauvorhaben Pilotbohrung
Niddatal-Assenheim
zum Bericht Geothermische
Testarbeiten
Seite 1 von 2

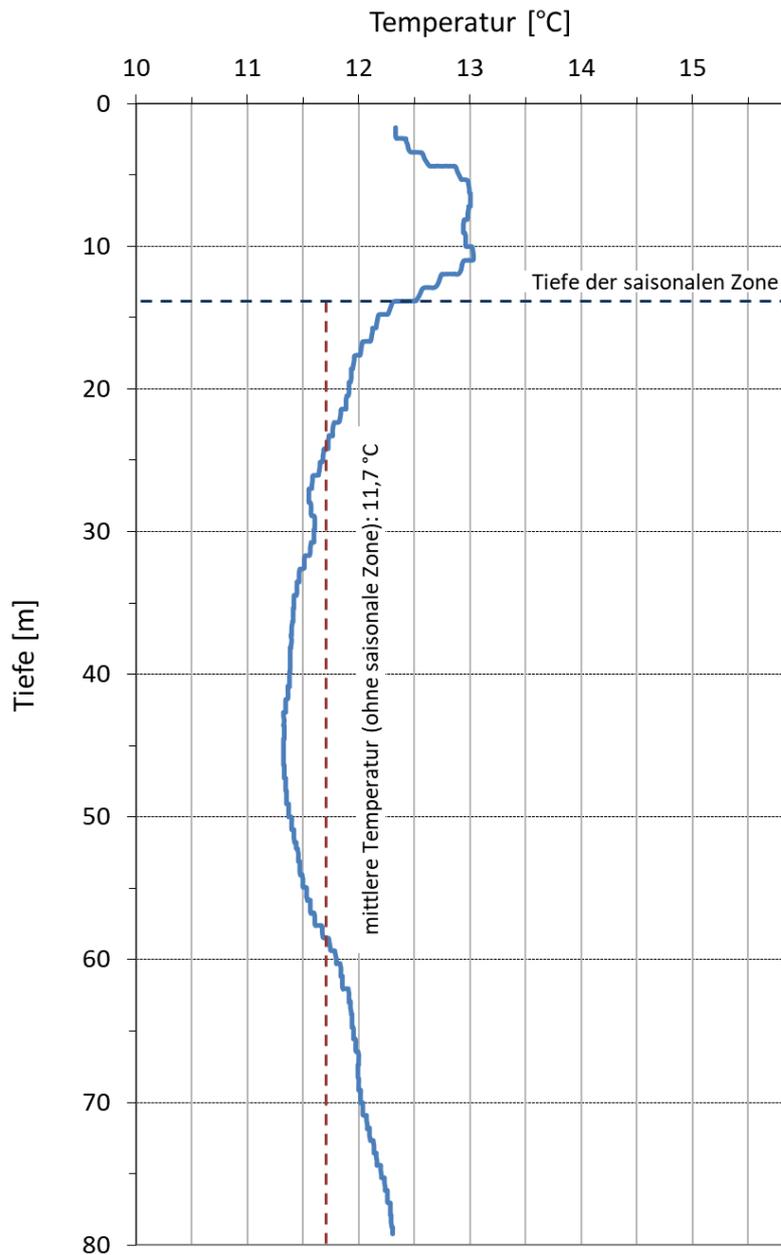


Abb. 1: Tiefenprofil der ungestörten Untergrundtemperatur

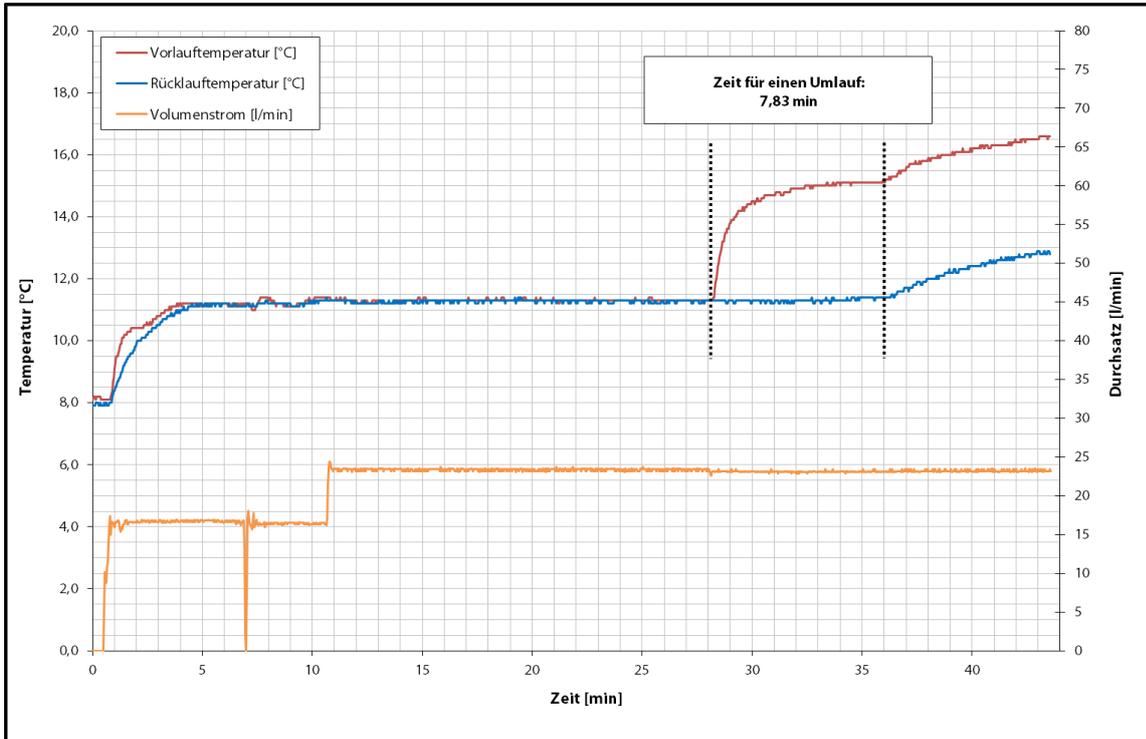


Abb. 2: Erste Testphase zur Bestimmung der Sondenlänge

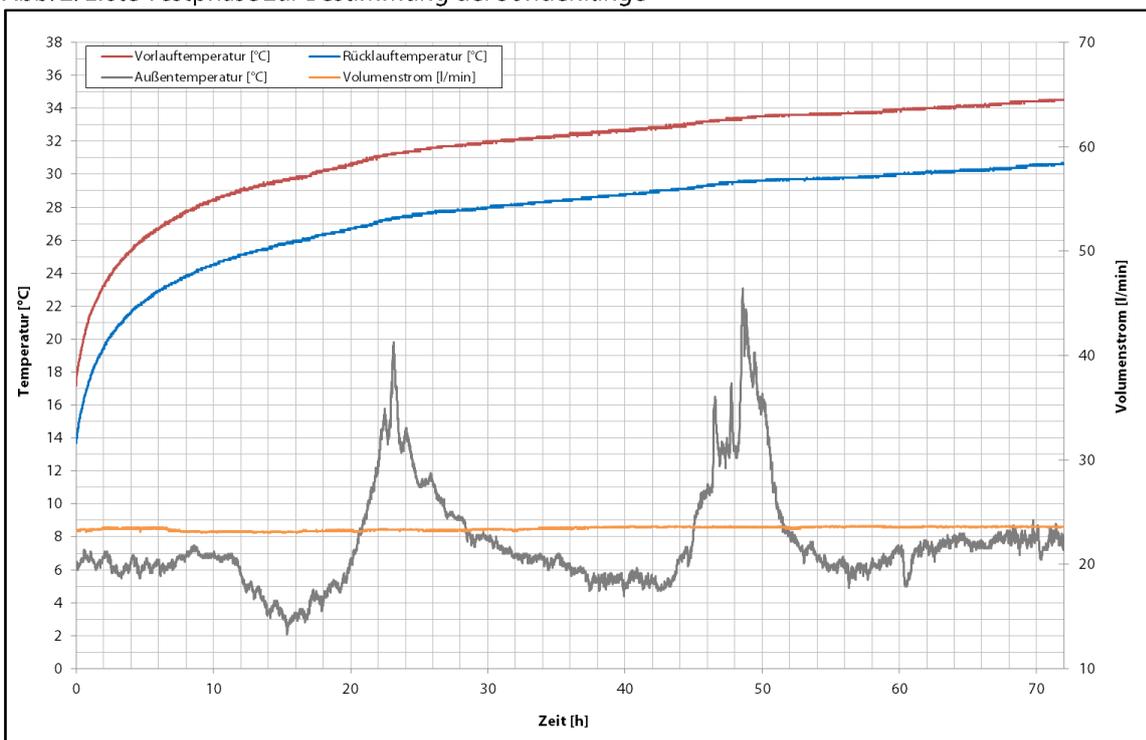


Abb. 3: Messreihe zur Bestimmung der geothermischen Untergrundeigenschaft

Abb.

Anlage 3

Kurzprotokoll: Thermal Response Test	
Projektnr. AN	3269
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 Niddatal-Assenheim 61130 Niddatal-Assenheim
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	
<i>Messzeitraum</i>	22.11.2019 - 26.11.2019
<i>Bohrtiefe</i>	79 m
<i>Sondenlänge</i>	79 m
<i>mittlerer Bohrdurchmesser</i>	153 mm
<i>Sondentyp</i>	Doppel-U PE100-RC32 x 2,9 mm
<i>Verpressmaterial</i>	Schwenk Füllbinder EWM
Messreihen TRT	
Bemerkungen	Ergebnisse des TRT's
Testergebnisse	
<i>mittlere Untergrundtemperatur</i>	11,7 °C
<i>effektive Wärmeleitfähigkeit</i>	2,1 ± 0,1 W/m,K
<i>thermischer Bohrlochwiderstand</i>	0,08 K/W/m

Anlage 4

ANLAGE 4 Fotodokumentation

Datum 28.11.2019
Projekt-Nr. 3416-1
Bauvorhaben Pilotbohrung
Niddatal-Assenheim
zum Bericht Geothermische
Testarbeiten
Seite 1 von 2



Abb. 1: aufgebautes Testgerät am Standort



Abb. 2: Erdwärmesonde nach Ende der Testarbeiten

Anlage 5

ANLAGE 5 Abklingkurven

Datum 28.11.2019
 Projekt-Nr. 3416-1
 Bauvorhaben Pilotbohrung
 Niddatal-Assenheim
 zum Bericht Geothermische
 Testarbeiten
 Seite 1 von 1

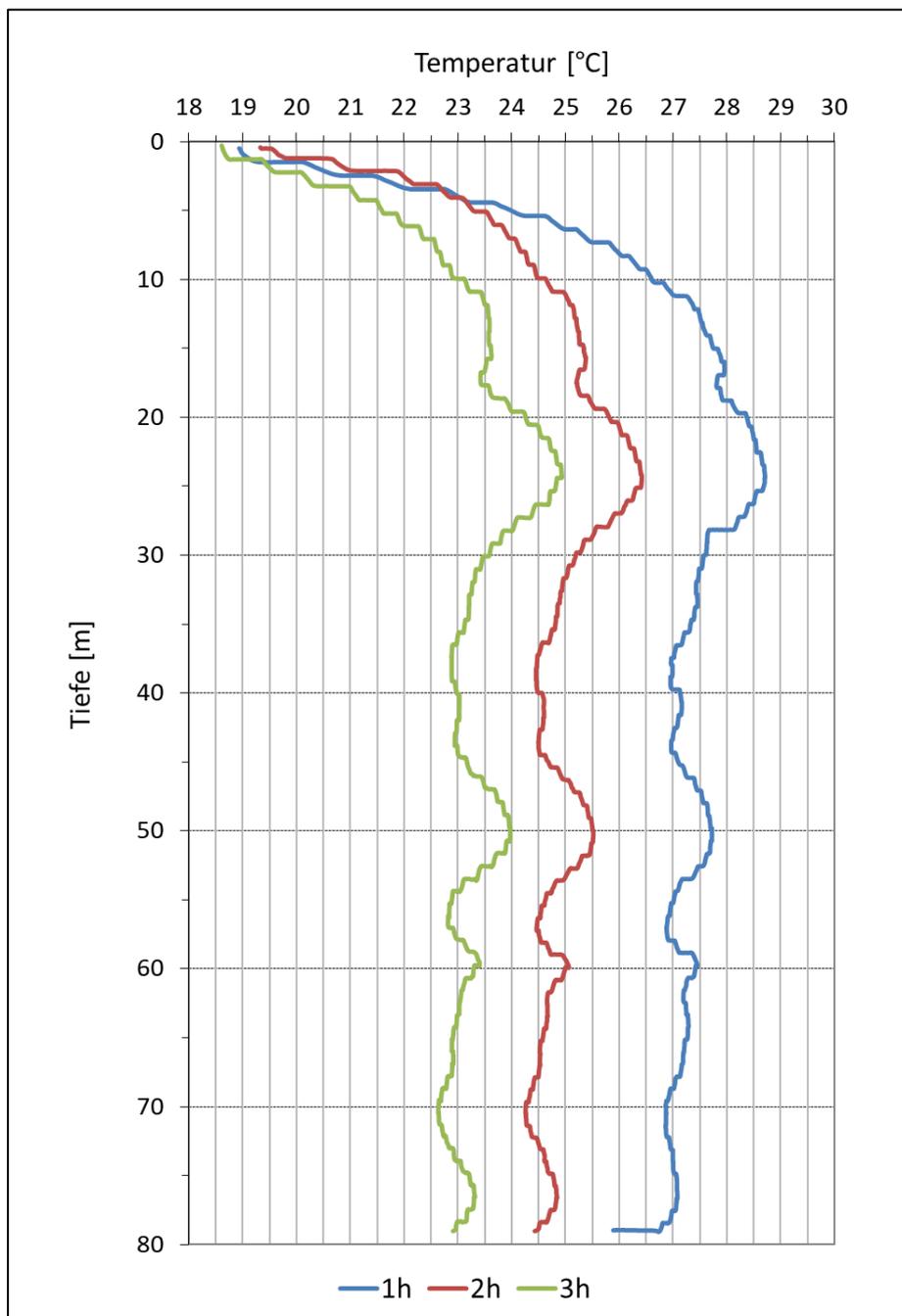


Abb. 1: Tiefenprofile der Untergrundtemperatur für 1h, 2h und 3h nach Ende der Testarbeiten (Abklingkurven)