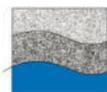


Dokumentation Pilotsonde

Projekt:
BV Neubaugebiet Schluttenbach Lange Straße Nord
76275 Ettlingen-Schluttenbach
Flurstück Nr.: 199



Projekt Nr.: P-211711



Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeine Angaben.....	3
1.1 Ortsangaben.....	3
1.2 Veranlassung	3
2 Projektablauf	3
3 Geologie	4
4 Bohrungen und Verpressarbeiten	4
5 Lage der Sonde.....	4
6 Thermal Response Test	5
7 Zusammenfassung	6

Anlagen

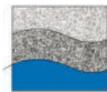
Anlage 1: Übersichtslageplan	M 1:25.000
Anlage 2: Lage der Sonde	M 1:1.000
Anlage 3: Bohrprofil	
Anlage 4: Bohr- und Verpressprotokoll	
Anlage 5: Thermal Response Test	

Tabellen

Tabelle 1: Koordinaten und Ansatzhöhe der EWS	S. 4
Tabelle 2: Erwartete Wärmeleitfähigkeiten	S. 5

Abbildungen

Abbildung 1: Temperaturverlauf über die Zeit während des TRT	S. 6
--	------



1 Allgemeine Angaben

1.1 Ortsangaben

Landkreis:	Karlsruhe
Gemeinde:	76275 Ettlingen
Gemarkung:	3564 Schluttenbach
Flurstücknummer:	199
Bauherrschaft:	Planungsamt Ettlingen, Schillerstraße 7-9, 76275 Ettlingen

1.2 Veranlassung

In Ettlingen-Schluttenbach wird am nördlichen Bebauungsrand das Neubaugebiet „Schluttenbach – Lange Straße Nord“ ausgewiesen. Hier soll die Wärmeversorgung über ein kaltes Nahwärmenetz realisiert werden, als Wärmequelle dienen Erdsonden. Zur Berechnung des Erdsondenfeldes ist unter anderem die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes von maßgeblicher Bedeutung, weshalb eine Pilotbohrung zur Erdwärmesonde ausgebaut und mittels Thermal Response Test (TRT) die Wärmeleitfähigkeit ermittelt wurde.

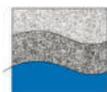
2 Projektablauf

Am 22.10.2020 wurde der Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis zur Erstellung einer Erdwärmesondenbohrung nach §§ 8 Abs. 1, 9 Abs. 1 Nr. 4, 10 Abs. 1, § 49 Abs. 1 WHG („Bohranzeige“) bei der Wasser-, Abfallrechts- und Bodenschutzbehörde des Landratsamtes Karlsruhe sowie beim Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau eingereicht.

Die wasserrechtliche Erlaubnis sowie die Bohrfreigabe wurden nach den Bestimmungen des WHG und des WG Baden-Württemberg durch das Landratsamt Karlsruhe am 07.12.2020 erteilt.

Mit den Bohrarbeiten wurde die Fa. Michalik GmbH, Bühl, beauftragt. Vom 29.03.2021 bis 30.03.2021 wurde die Pilotbohrung abgeteuft und zur Erdwärmesonde ausgebaut. Die Bohrung wurde durch Dipl. Geologe Reinhardt Pfeiffer, Ammerbuch, überwacht und dokumentiert.

Zur Durchführung des TRT muss zunächst das Abklingen der Hydratationswärme des Verpressmaterials abgewartet werden. Der TRT wurde 23.04.2021 bis 26.04.2021 durchgeführt.



3 Geologie

Das Bauvorhaben liegt am nördlichen Bebauungsrand von Schluttenbach, angrenzend an die Lange Straße. Lt. zur Verfügung stehender Unterlagen war folgender, geologischer Aufbau zu erwarten (alle Tiefenangaben in Meter unter Ansatzpunkt):

- geringmächtige bindige Deckschichten (quartäre, lösshaltige Fließerde)
- Sand-/Tonsteine des Buntsandsteins bis zur Endteufe

In zwei Meter-Schritten wurden Bodenproben entnommen, angesprochen und dokumentiert. In den Bohrungen wurde folgender Aufbau angetroffen.

- Löß und Lößlehm bis 4 m
- Sandsteine der Plattensteinformation des oberen Buntsandsteines bis 30 m
- Sand- und Tonsteine der Solingformation des mittleren Buntsandsteines bis 40 m
- Sandsteine der Vogesensandsteinformation des mittleren Buntsandsteines bis Endtiefe

Grundwasser wurde nicht angetroffen.

4 Bohrungen und Verpressarbeiten

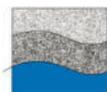
Die Bohrung wurden auf die geplante Teufe niedergebracht und eine Doppel-U-Sonde, Ø 40 mm, tagesgleich auf 150 m eingebaut und mit Zeotherm 1.0 der Fa. Hauri verpresst. Die Verpressarbeiten waren nicht überwachungspflichtig, es wurde das automatische Überwachungssystem MAQ-Michalik eingesetzt. Das Verpressprotokoll wurde dem Gutachter zur Plausibilitätskontrolle vorgelegt und ist dieser Dokumentation angehängt. Aus den Protokollen ergeben sich keine Auffälligkeiten, die Bohrung wurde ordentlich verpresst.

5 Lage der Sonde

Die Lage und Höhe der Pilotsonde ist aus Anlage 2 ersichtlich, die Ansatzhöhe und die UTM-Koordinaten (WGS 84) sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten und Ansatzhöhe der EWS

EWS	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe [m ü. NN]
Pilotsonde	455 863	5.416.459	385,90



6 Thermal Response Test

Maßgebend für die Dimensionierung von Erdsondenfeldern zum Entzug oder Einleitung von Wärme aus oder in den Untergrund sind die thermischen Eigenschaften des Untergrundes. Bei kleinen Anlagen werden diese in aller Regel geschätzt und Literatur- und Erfahrungswerte des lokalen Untergrundes angesetzt. Bei größeren Anlagen hingegen sind die standortspezifischen Parameter des Untergrundes unerlässlich.

Für die Ermittlung der standortspezifischen Parameter wird eine Pilotbohrung zur Erdwärmesonde ausgebaut und an dieser die effektive Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes ermittelt. Hierbei wird eine definierte Wärmeleistung an die Sonde angelegt und die Ein- und Austrittstemperatur aufgezeichnet. Das Ergebnis spiegelt die thermisch-geologischen Untergrundeigenschaften der ausgebauten Sonde über die gesamte Bohrlochlänge und in ihrer richtigen Gewichtung hinsichtlich unterschiedlicher, geologischer Schichten dar. Ein weiterer Vorteil dieses In-Situ-Tests liegt darin, dass der Bohrlochwiderstand gemessen werden kann. Dieser ist ein Maß für die thermischen Wärmeübertragungswiderstand der Sonde und der Hinterfüllung und ist gleichzeitig ein Hinweis auf die Qualität der Verfüllung und natürlich auch über das Sondenmaterial.

Über die zu erwartenden geologischen Verhältnisse konnten aus Literaturwerte folgende Wärmeleitfähigkeiten erwartet werden, hierbei ist die große Bandbreite und die enorme Bedeutung des TRT für eine belastbare Sondenfeldberechnung erkennbar:

Tabelle 2: Erwartete Wärmeleitfähigkeiten

Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	Empfohlener Rechenwert [W/(m·K)]	Erwartete Mächtigkeit [m]
Sandstein	1,9 – 4,6	2,8	100
Tonstein	1,1 – 3,4	2,2	50

Über die gesamte Sondenlänge wäre hieraus eine gewichtete Wärmeleitfähigkeit zwischen 1,63 und 4,20 W/(m·K) zu erwarten gewesen.

Vom 23.04.2021 bis 26.04.2021 wurde der TRT durch die tewag GmbH, Starzach, durchgeführt. Über die Auswertung des Temperaturverlaufes während des TRT kann nun die Wärmeleitfähigkeit λ ermittelt werden.

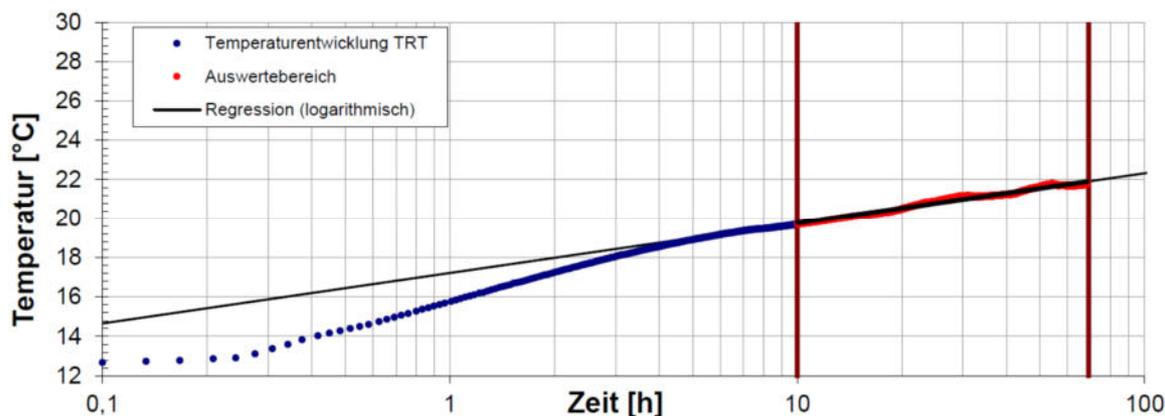
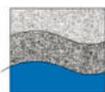


Abb. 1: Temperaturverlauf über die Zeit während des TRT

Die ermittelte Wärmeleitfähigkeit beträgt 4,7 W/mK, der Bohrlochwiderstand 0,079 mK/W.

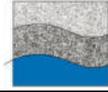
7 Zusammenfassung und Ausblick

In Ettlingen Schluttenbach soll ein Sondenfeld als Wärmequelle für ein kaltes Nahwärmenetz errichtet werden. Zur Erkundung der geologischen und thermischen Untergrundverhältnisse wurde eine Pilotbohrung zur Erdwärmesonde ausgebaut und an ihr ein Thermal Response Test durchgeführt. Bei der Bohrung wurden Sand- und geringmächtig auch Tonsteine bis 150 m unter Ansatzpunkt aufgeschlossen. Die Wärmeleitfähigkeit über die Bohrtiefe wurde mit 4,7 W/mK gemessen. Mit diesen Werten kann nun ein für den geplanten Standort angepasstes Sondenfeld berechnet werden. Für den Bohrlochwiderstand muss bei der Berechnung berücksichtigt werden, dass beim TRT die Sonde nur mit Wasser gefüllt ist, im späteren Betrieb mit einem Wasser-/Glykolgemisch, der Bohrlochwiderstand muss entsprechend angepasst werden. Weitere relevante Eingabeparameter für die Berechnung sind die Gebäudeanforderungen sowie die Lastprofile der Heiz- und Kühlleistungen, sowie die Klimabedingungen am Standort.

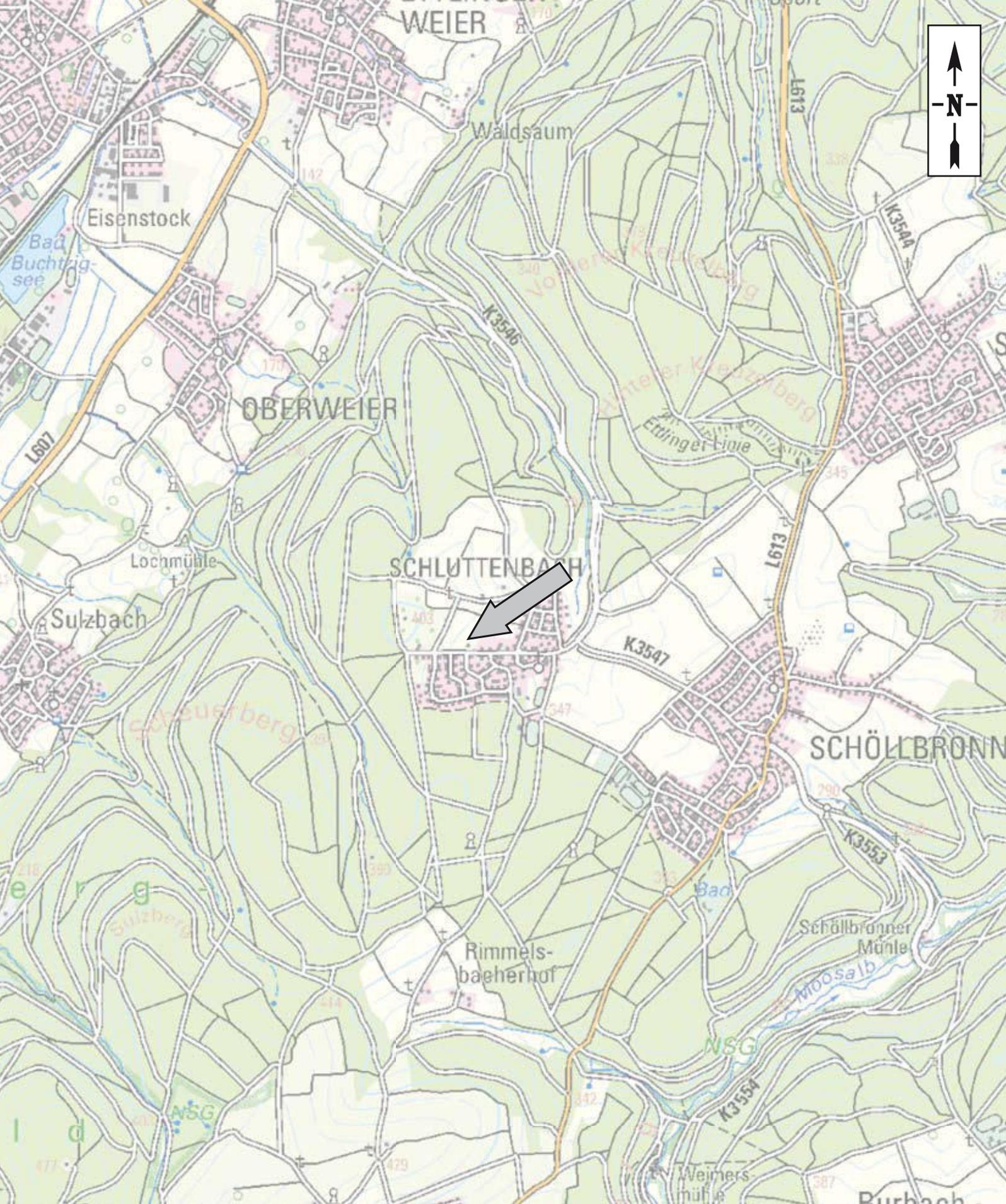
Nach Auswertung des TRT werden für die Kälteentzugsleistung von 206 kW (Vorgaben TGA) hier insgesamt 18 EWS à 150 m benötigt. Die Pilotsonde kann mit verwendet werden, sie muss lediglich gespült, mit einem Glykol-Wassergemisch befüllt und angeschlossen werden. Es müssen also 17 weitere Sonden erstellt werden. Die Kosten hierfür und für die Anbindung können mit 250.000,- € abgeschätzt werden. Das Honorar nach AHO 26 für die Leistungsphasen 5-8 beträgt 15.500,- €.

Waldkirch, den 05.07.2021

Christian Frey

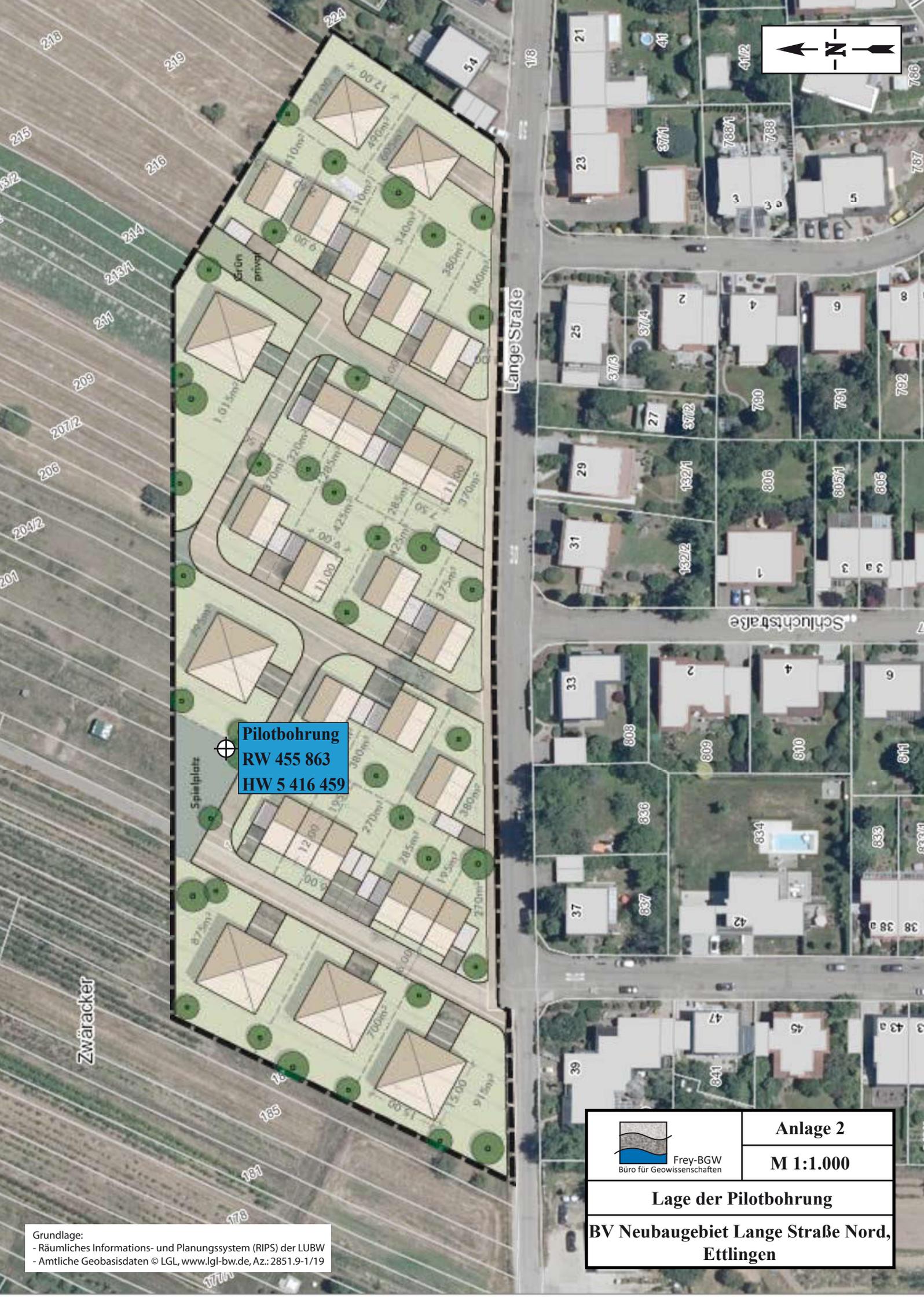


Anlagen



 Frey-BGW Büro für Geowissenschaften	Anlage 1
	M 1:25.000
Übersichtslageplan	
BV Neubaugebiet Lange Straße Nord, Ettlingen	

Grundlage:
 - Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
 - Amtliche Geobasisdaten © LGL, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19



Pilotbohrung
RW 455 863
HW 5 416 459



Anlage 2

M 1:1.000

Lage der Pilotbohrung

**BV Neubaubereich Lange Straße Nord,
Ettlingen**

Grundlage:
- Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
- Amtliche Geobasisdaten © LGL, www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19

GeoBüro Pfeiffer
 Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer
 Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch
 Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545

Kopfbblatt nach DIN 4022 zum Schichtenverzeichnis
 für Bohrungen
 Baugrundbohrung

Archiv-Nr:
 Aktenzeichen:

Anlage:
 Bericht:

**1 Objekt Planungsamt Ettlingen,
 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Anzahl der Seiten des Schichtenverzeichnisses: **9**
 Anzahl der Testberichte und ähnliches:

2 Bohrung Nr. Pilotbohrung B1 Zweck: **Erdwärmegewinnung**
 Ort: **Lange Straße, 76275 Ettlingen, Gemarkung Schluttenbach, Flurstück Nr. 216**
 Lage (Topographische Karte M = 1 : 25000): **Karlsruhe-Süd und Malsch**
 Rechts: **455861** Hoch: **5416459** Lotrecht
 Höhe des a) zu NN **386.50** m
 Ansatzpunktes b) zu m [m] unter Gelände

Nr: **7016 + 7116**

Richtung:

3 Lageskizze (Maßstab M 1: 500)

Bemerkung:

4 Auftraggeber: Planungsamt Ettlingen, Schillerstraße 7-9, 76275 Ettlingen

Fachaufsicht: **GeoBüro Pfeiffer, Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer, Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch**

5 Bohrunternehmen: Edward Michalik GmbH, Kirchstraße 31, 77815 Bühl

gebohrt von: **29.03.2021** bis: **29.03.2021** Tagesbericht-Nr: Projekt-Nr: ---

Geräteleiter: **Arpad Udvari und Vasyi Pryimak** Qualifikation: **Brunnenbauer**

Geräteleiter: Qualifikation:

Geräteleiter: Qualifikation:

6 Bohrergerät Typ: Klemm KR 707-1W, Hersteller Klemm Bohrtechnik GmbH

Baujahr: **08/2010**

Bohrergerät Typ:

Baujahr:

7 Messungen und Tests im Bohrloch: Grundwasser, Ruhewasser, Überwachung Zementation mit MAQ von Michalik GmbH

8 Probenübersicht:	Art - Behälter	Anzahl	Aufbewahrungsort
Bohrproben	Naturfaser-Mehrwegbecher	75	Edward Michalik GmbH in 77815 Bühl
Bohrproben			
Bohrproben			
Sonderproben			
Wasserproben			



Anlage 3

Schichtenverzeichnis und Bohrprofil
BV Neubaugebiet Lange Straße Nord,
Ettlingen

9 Bohrtechnik

9.1 9.1 Kurzzeichen

9.1.1 Bohrverfahren

9.1.1.1 Art:

BK = Bohrung mit durchgehender Gewinnung gekernter Proben
 ... =

BP = Bohrung mit durchgehender Gewinnung nichtgekernter Proben
 BuP = Bohrung mit Gewinnung unvollständiger Proben
 BS = Sondierbohrungen
 ... =

BKR= BK mit richtungsorientierter Kernentnahme
 BKB= BK mit beweglicher Kernumhüllung
 BKF= BK mit fester Kernumhüllung
 ... =

9.1.1.2 Lösen:

rot = drehend

ram = rammend
 druck = drückend

schlag = schlagend
 greif = greifend

9.1.2 Bohrwerkzeug

9.1.2.1 Art:

EK = Einfachkernrohr
 DK = Doppelkernrohr
 TK = Dreifachkernrohr
 S = Seilkernrohr

HK = Hohlkrone
 VK = Vollkrone
 H = Hartmetallkrone
 D = Diamantkrone
 Gr = Greifer
 Schap = Schappe

Schn = Schnecke ... =
 Spi = Spirale ... =
 Kis = Kiespumpe ... =
 Ven = Ventilbohrer
 Mei = Meißel
 SN = Sonde

9.1.2.2 Antrieb:

G = Gestänge
 SE = Seil

HA = Hand
 F = Freifall
 V = Vibro

DR = Druckluft
 HY = Hydraulik

9.1.2.3 Spülhilfe:

WS= Wasser
 LS = Luft

SS = Sole
 DS = Dickspülung
 Sch = Schaum

d = direkt
 id = indirekt

9.2 Bohrtechnische Tabellen

Tiefe in m Bohrlänge in m von bis		Bohrverfahren Art Lösen		Bohrwerkzeug Art ø mm Antrieb Spülhilfe				Verrohrung Außen ø mm Innen ø mm Tiefe m			Bemerkungen
0.00	150.00	BuP	rotschlag	Mei	130	HY+DR	LS+WS	152		32.00	Imlochhammer

9.3 Bohrkronen

9.4 Geräteführer-Wechsel

Nr	Nr:	ø Außen/Innen:	/	Nr	Datum Tag/Monat Jahr	Uhrzeit	Tiefe	Name Geräteführer für Ersatz	Grund
1	Nr:	ø Außen/Innen:	/	1					
2	Nr:	ø Außen/Innen:	/	2					
3	Nr:	ø Außen/Innen:	/	3					
4	Nr:	ø Außen/Innen:	/	4					
5	Nr:	ø Außen/Innen:	/						
6	Nr:	ø Außen/Innen:	/						

10 Angaben über Grundwasser, Verfüllung und Ausbau

Wasser erstmals angetroffen bei _____ m unter Ansatzpunkt
 Höchster gemessener Wasserstand _____ m über Ansatzpunkt bei _____ m Bohrtiefe
 Verfüllung: _____ m bis _____ m Art: _____ von: _____ m bis: _____ m Art: _____

Nr	Filterrohr			Filterschüttung				Sperrschicht			OK Peilrohr m über/unter Ansatzpunkt
	von m	bis m	ø mm	Art	von m	bis m	Körnung mm	von m	bis m	Art	
								0.00	32.00	ZeoTherm 1.0	
								32.00	150.00	ZeoTherm 1.0	

11 Sonstige Angaben Kein Grundwasserzutritt, kein Ruhewasser, Ausblasversuch bei 150.00 m mit 0.20 l/s (Bohrspülwasser), Einbau einer Erdwärmesonde mit Dimension DA 40 x 3.7 mm / PE100RC

Datum: 20.04.2021

Reinhard Pfeiffer



GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 3

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

1	2				3	4	5	6		
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben				
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang						e) Farbe	
	f) Übliche Benennung		g) Geologische Benennung						h) Gruppe	
2.00	a) Löß, Lößlehm, schwach steinig, schwach humos				Temporäre Hilfsverrohrung DA 152 mm bis 32.00 m Imlochhammer DA 130 mm bis Endtiefe	Natur- faser- becher	1 - 75	alle 2 m bis Endtiefe		
	b) Steine mit Korngröße bis 1.5 cm									
	c) locker bis schwach bindig		d) leicht zu bohren						e) gelbbraun bis gelbrotbraun	
	f) Deckschicht		g) Quartär, q						h) i)	
4.00	a) Lößlehm, sandig, schwach steinig									
	b) Steine mit Korngröße bis 1.0 cm									
	c) schwach bindig bis bindig		d) leicht zu bohren						e) gelbbraun bis gelbrotbraun	
	f)		g) Quartär, q						h) i)	
6.00	a) Sandstein, stark tonig									
	b) wenig Cuttings bis 0.5 cm, stark verwittert, Verwitterungshorizont VH									
	c) plastisch bis halbfest		d) leicht zu bohren						e) rotgrau bis rotgraubraun	
	f) Plattensandstein-Formation		g) Ob. Buntsandstein, soPL						h) i)	
8.00	a) Sandstein, tonig									
	b) Cuttings bis 1.5 cm, Verwitterungshorizont VH									
	c) halbfest		d) normal zu bohren						e) rotbraun bis dunkelrotbraun	
	f) Plattensandstein-Formation		g) Ob. Buntsandstein, soPL						h) i)	
10.00	a) Sandstein									
	b) Cuttings bis 1.5 cm									
	c) hart		d) normal zu bohren						e) helles rotgrau bis rotgrau	
	f) Plattensandstein-Formation		g) Ob. Buntsandstein, soPL						h) i)	

GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 4

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

1	2			3	4	5	6
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt			
12.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 4.0 cm mit kavernöser Erosion						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau bis rotbraun				
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)			
14.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 1.5 cm						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) helles rotgrau				
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)			
16.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 4.0 cm mit kavernöser Erosion						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau bis rotbraun				
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)			
18.00	a) Sandstein und schwach Tonstein						
	b) Cuttings bis 2.0 cm, Verwitterungshorizont VH						
	c) hart und halbfest	d) normal zu bohren	e) rotbraun bis violettrotbraun				
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)			
20.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 1.5 cm						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau, rotgrau, hellgrau				
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)			

GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 5

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

1	2	3	4	5	6	
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen		Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen			Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe			
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt		
22.00	a) Sandstein					
	b) Cuttings bis 4.0 mit kavernoöser Erosion					
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau			
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)		
24.00	a) Sandstein und schwach Tonstein					
	b) Cuttings bis 2.0 cm, Verwitterungshorizont VH, Tonstein violettrotbraun					
	c) hart und halbfest	d) normal zu bohren	e) rotgrau und violettrotbarun			
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)		
28.00	a) Sandstein					
	b) Cuttings bis 3.0 cm mit kavernoöser Erosion					
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau bis rotgrau			
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)		
30.00	a) Sandstein und Tonstein					
	b) Cuttings bis 2.5 cm, Verwitterungshorizont VH, Tonstein violettrotbraun					
	c) hart und halbfest	d) normal zu bohren	e) rotgrau und violettrotbraun			
	f) Plattensandstein- Formation	g) Ob. Buntsandstein, soPL	h)	i)		
34.00	a) Sandstein					
	b) Kristallsandstein, Cuttings bis 1.5 cm					
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau bis dunkelrotgrau			
	f) Solling-Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, smS	h)	i)		

GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 6

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

1	2			3	4	5	6
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt			
36.00	a) Sandstein						
	b) Kristallsandstein, Cuttings bis 5.0 cm mit kavernoöser Erosion						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau bis dunkelrotgrau				
	f) Solling-Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, smS	h)	i)			
40.00	a) Sandstein und Tonstein						
	b) Kristallsandstein, Cuttings bis 2.5 cm, Sandstein dunkelrotgrau, Tonstein dunkelrotbraun						
	c) hart und halbfest	d) normal zu bohren	e) dunkelrotgrau u. dunkelrotbraun				
	f) Solling-Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, smS	h)	i)			
42.00	a) Sandstein und Tonstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm, Sandstein dunkelrotgrau, Tonstein dunkelrotbraun						
	c) hart und halbfest	d) normal zu bohren	e) dunkelrotgrau u. dunkelrotbraun				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			
52.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau bis rotgrau				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			
56.00	a) Sandstein und schwach Tonstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm, Sandstein hellrotgrau, Tonstein dunkelrotbraun						
	c) hart und halbfest	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau und dunkelrotbraun				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			

GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 7

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

1	2			3	4	5	6
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt			
64.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau bis rotgrau				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			
80.00	a) Sandstein und sehr schwach Tonstein						
	b) Geröllsandstein, Cuttings bis 1.0 cm, weiße Quarzbruchstücke, Sandstein hellrotgrau, Tonstein rotbraun						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau, rotbraun, weiß				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			
82.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau u. hellgelbbraun				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			
88.00	a) Sandstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau bis rotgrau				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			
92.00	a) Sandstein und sehr schwach Tonstein						
	b) Cuttings bis 1.0 cm, Sandstein rotgrau, Tonstein dunkelrotbraun						
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau und dunkelrotbraun				
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)			

GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 8

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

1	2				3	4	5	6
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
106.00	a) Sandstein							
	b) Cuttings bis 1.0 cm							
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau bis rotgrau					
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)				
108.00	a) Sandstein und sehr schwach Tonstein							
	b) Cuttings bis 1.0 cm, Sandstein rotgrau, Tonstein dunkelrotbraun							
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau und dunkelrotbraun					
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)				
120.00	a) Sandstein							
	b) Cuttings bis 1.0 cm							
	c) hart	d) normal zu bohren	e) hellrotgrau bis rotgrau					
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)				
122.00	a) Sandstein und sehr schwach Tonstein							
	b) Cuttings bis 1.0 cm, Sandstein rotgrau, Tonstein dunkelrotbraun							
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau und dunkelrotbraun					
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)				
140.00	a) Sandstein							
	b) Cuttings bis 1.0 cm							
	c) hart	d) normal zu bohren	e) rotgrau bis dunkelrotgrau					
	f) Vogesensandstein- Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV	h)	i)				

GeoBüro Pfeiffer Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Anlage Bericht: Az.:
---	------------------------------------

Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Bauvorhaben: **Planungsamt Ettlingen, 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bohrung Nr. Pilotbohrung B1

Blatt 9

Datum:
29.03.2021-
29.03.2021

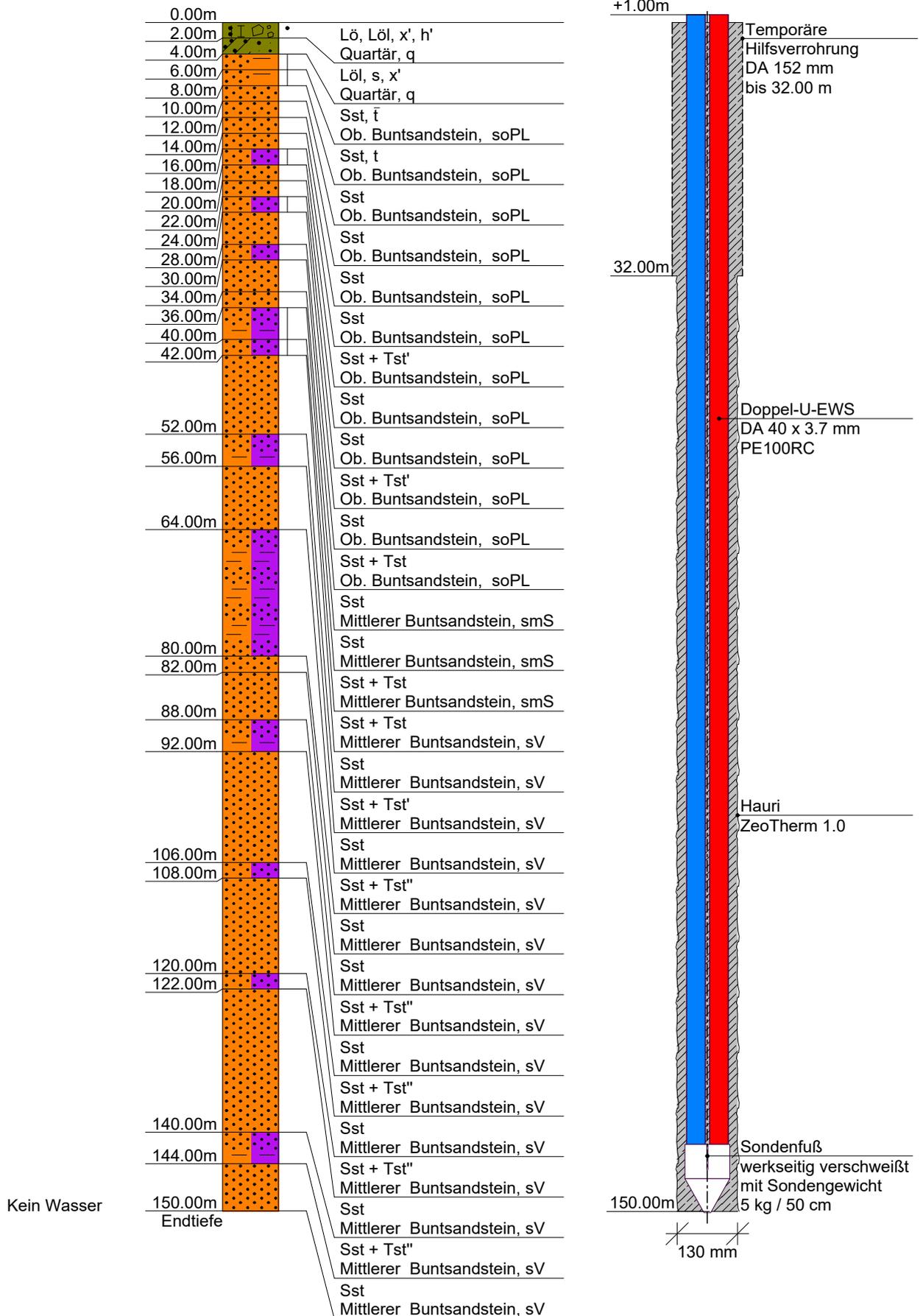
1	2	3	4	5	6			
Bis m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen		Bemerkungen Sonderproben Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben				
	b) Ergänzende Bemerkungen			Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)		
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang					e) Farbe	
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung					h) Gruppe	i) Kalk- gehalt
144.00	a) Sandstein und sehr schwach Tonstein							
	b) Cuttings bis 1.0 cm, Sandstein dunkelrotgrau, Tonstein dunkelrotbraun							
	c) hart	d) normal zu bohren				e) dunkelrotgrau u. dunkelrotbraun		
	f) Vogesensandstein-Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV				h)	i)	
150.00 Endtiefe	a) Sandstein		kein Grundwasser kein Ruhewasser Ausblasversuch mit 0.20 l/s (Bohrspülwasser)					
	b) Cuttings bis 1.0 cm, wenig weiße Quarzbruchstücke							
	c) hart	d) normal zu bohren				e) rotgrau bis dunkelrotgrau		
	f) Vogesensandstein-Formation	g) Mittlerer Buntsandstein, sV				h)	i)	

GeoBüro Pfeiffer	Projekt : Planungsamt Ettlingen, Lange Straße, Schluttenbach
Dipl.-Geol. Reinhard Pfeiffer	Projektnr.:
Sandgrabenstraße 20, 72119 Ammerbuch	Anlage :
Tel.: 07073 - 91 79 540 / Fax: - 91 79 545	Maßstab : 1: 700 / 1: 12

Pilotbohrung B1

Ansatzpunkt: 386.50 mNN

EWS1



Herstellungsprotokoll - Erdwärmesonde:



Nr.: **EWS 1** Blatt: **1**

Bauvorhaben: **Pilotbohrung**

Bauort: **76275 Ettlingen-Schluttenbach, Lange Straße Nord**

Edward Michalik GmbH Kirchstr.
31 77815 Bühl

Flst. Nr.: **199**

1.0 Bohrdaten

Datum: **29.03.2021** Uhrzeit: **11.00**
Bohrbeginn: **29.03.2021** Uhrzeit: **11.00**
Bohrende: **30.03.2021** Uhrzeit: **17.45**
Boransatzpunkt: **s. Plan**
Bohrgerät: **Klemm 707-1W** Geräte-Nr.: **20016**
Bohrverfahren: **Rotationsbohrung mit Doppelkopfanlage**
Bohrrohre: **152,4 mm**
Bohrwerkzeug: **Imlochhammer** Größe: **130**
Fachkraft: **E. Michalik**
Bohrerätführer: **V. Pryimak**

Bohrvorgang:

Datum:	Bohrtiefe		Schutz-Verrohrung (m)	Kronengröße (mm)	Bohrspülung	Spülungs-Zusätze
	von	bis				
29.03.2021	0,0	32,0	32,0	156	Luft	
29.03.2021	32,0	150,0		130	Luft	

Besonderheiten:

Keine

2.0 Bohrproben

Art: **Bohrklein**
Aufnahme: Anzahl: **75** St

Aufbewahrung:

3.0 Grundwasser

Schicht	Anbohrtiefe (m)	Menge (l/s), geschätzt	Anstieg (m)
1			

Vor Einbau der EWS: m

Besonderheiten: **keine Wasserzutritte**



Anlage 4

Datum:

Für die Richtigkeit **20.04.2021**


Dipl.-Ing. Edward Michalik

Herstellungs- und Verpressprotokolle
BV Neubaugebiet Lange Straße Nord,
Ettlingen

Herstellungsprotokoll - Erdwärmesonde:

Nr.: **EWS 1** Blatt: **2**
Bauvorhaben: **Pilotbohrung**
Bauort: **76275 Ettlingen-Schluttenbach, Lange Straße Nord**
Flst. Nr.: **199**



Edward Michalik GmbH Kirchstr.
31 77815 Bühl

4.0 EWS-Daten	Hersteller: STÜWA GeoHeat	Einbau
	Material: PE 100 RC	Datum
	Typ: Duplex 40 mm	30.03.2021
	Einbauhilfe: keine	Uhrzeit
	Einbautiefe: 150,0 m	10.00
	Druckprüfung: vor- und nach Einbau	

5.0 Bohrlochabdichtung

Bohrlochvolumen:	von	bis	Menge (l)
	0,0	32,0	643,2
	32,0	150,0	1565,9
		Summe	2209,1 l
	Abzüglich EWS-Volumen		-750,0 l
	theoretische Menge des Verfüllstoffes		1459,1 l

Verfüllstoff:

Füllbinder Hauri Zeo-Therm 1.0 (Sackware, 25,0 kg/Sack) W= 1,1 W/K*m

Füllbinder (kg)	Wasser (l)	W/F-Wert	Dichte (kg/l)	Ergiebigkeit (l/100kg)
100	70	0,75	1,6	ca. 100

Injektionsrohr: **AD 32 mm** Einbautiefe: **149,0** m

Mischanlage / Verpresspumpe: **Gerteck SI 38**

Eingebaute Menge (Anzahl der Säcke): **134** **St** **3350** **kg**

Eingebaute Menge lt. Protokolle -MAQ

Vorgang	Bezeichnung	Menge (l)	
		Filterkies	Füllbinder
1	Vor Rückbau		1494,0
2	Nach Rückbau der S-Rohre bis 24 m		1109,0
3	Nach Rückbau der S-Rohre bis 20 m		391,0
4	nach Rückbau der Schutzrohre bis 14 m		126,0
5	nach Rückbau der Schutzrohre	130,0	200,0
	Gesamt	130,0	3320,0

Ist-Soll Vergleich:

theoretische Menge des Verfüllstoffes	1459,1 l
Menge lt. Protokolle	3450,0 l
Mehrverbrauch	1860,9 l

Besonderheiten:

Vor der Abdichtung der Bohrung, wurde das Bohrloch bis ca. 30 m unter GOK mit Wasser gefüllt.
Mehrverbrauch an Verfüllstoff bei Rückbau der Schutzverrohrung

Datum:

20.04.2021

Unterschrift:

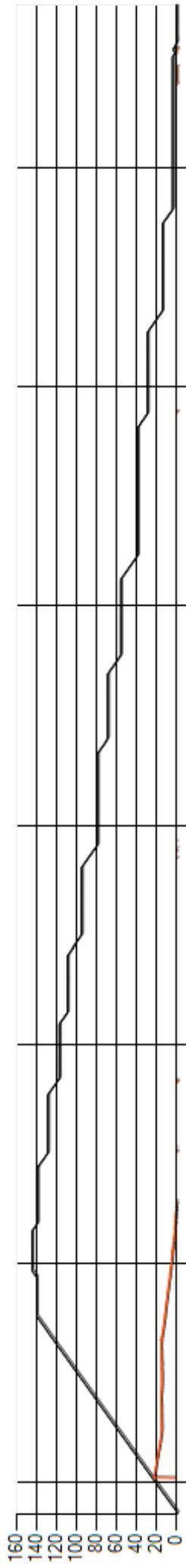
Dipl.-Ing. Edward Michalik

Für die Richtigkeit

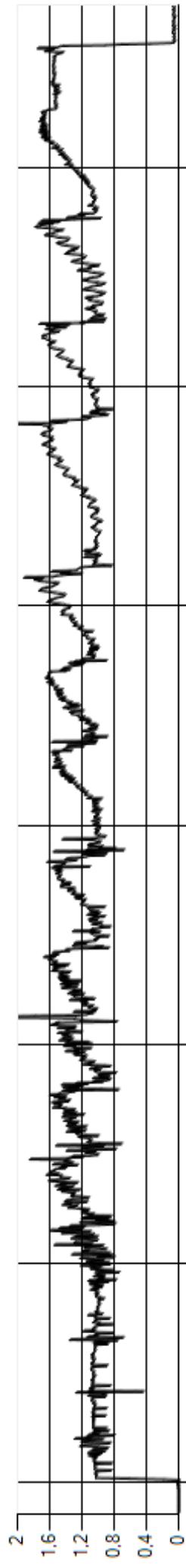
Abdichtung vor Rückbau der Schutzverrohrung

Ort:	Ettlingen	BV:	30.03.2021	10:39	11:13	Pilotbohrung	Fist-Nr.:	199	BL Nr.:	1
Ausführung	30.03.2021	10:39	11:13	Berechnet	1494,54	Eingebaut	1494,54			

— Tiefe Messsonde(m)
 — Wasserstand im Bohrloch (m)



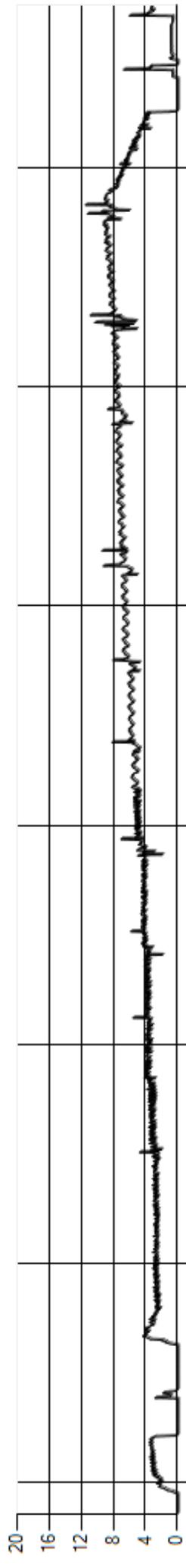
— Dichte im Bohrloch lt. Messsonde(kg/l)



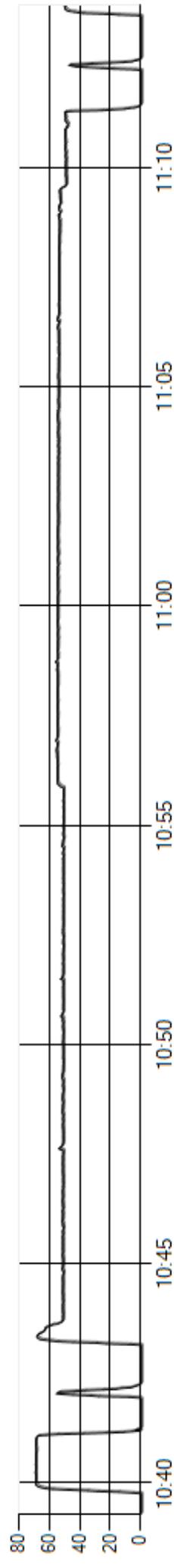
— Dichte vor Einbau (kg/dm³)



— Verpressdruck (bar)



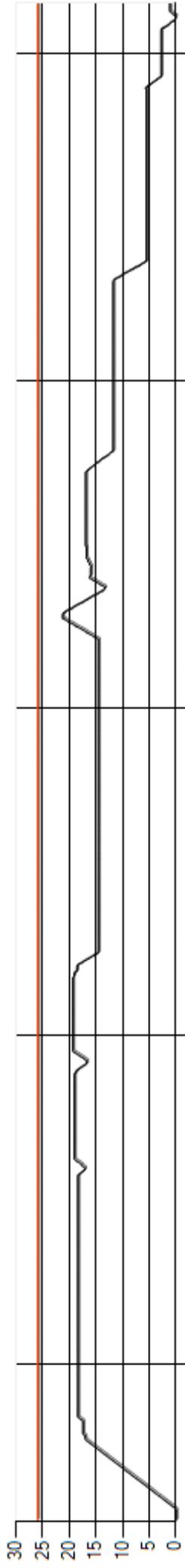
— Durchfluß (Liter / Min)



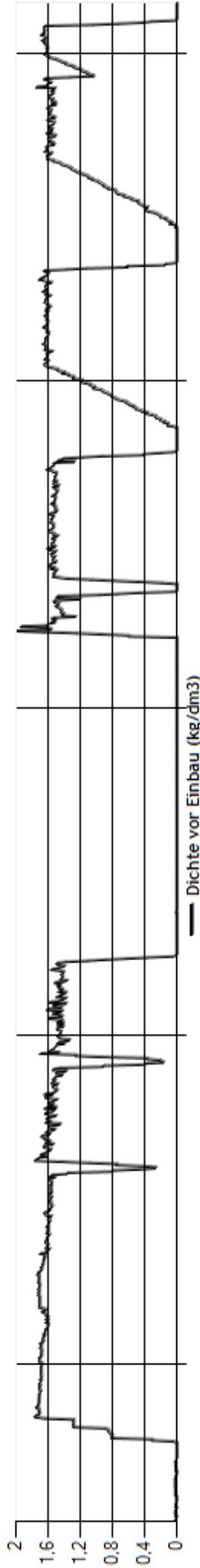
Abdichtung im Zuge des Rückbaus der Schutzverrohrung

Ort:	Ettlingen	BV:	Pilotbohrung	Fist-Nr.:	199	BL Nr.:	1
Ausführung	30.03.2021	11:32	11:55	Verfüllstoffmenge (l)	Berechnet	1108,96	Eingebaut

— Tiefe Messsonde(m)
 — Schutzverrohrung(m)



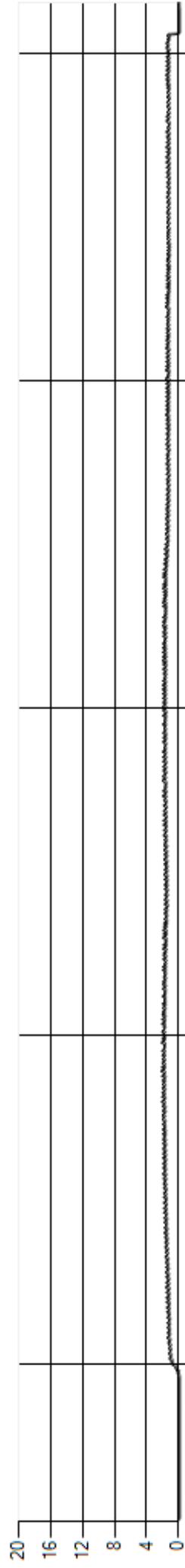
— Dichte im Bohrloch lt. Messsonde(kg/l)



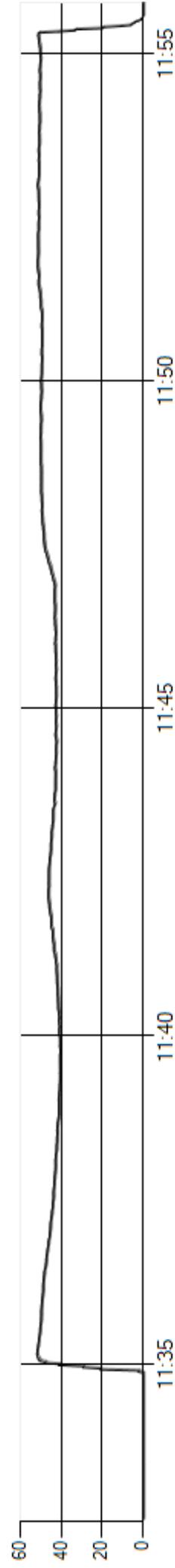
— Dichte vor Einbau (kg/dm³)



— Verpressdruck (bar)



— Durchfluß (Liter / Min)



11:35

11:40

11:45

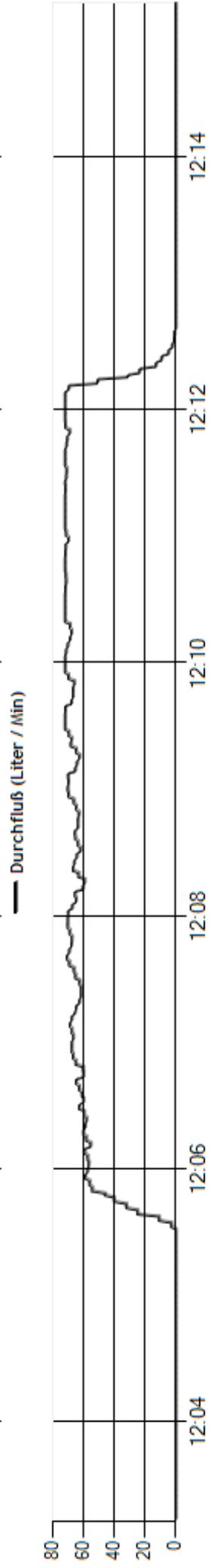
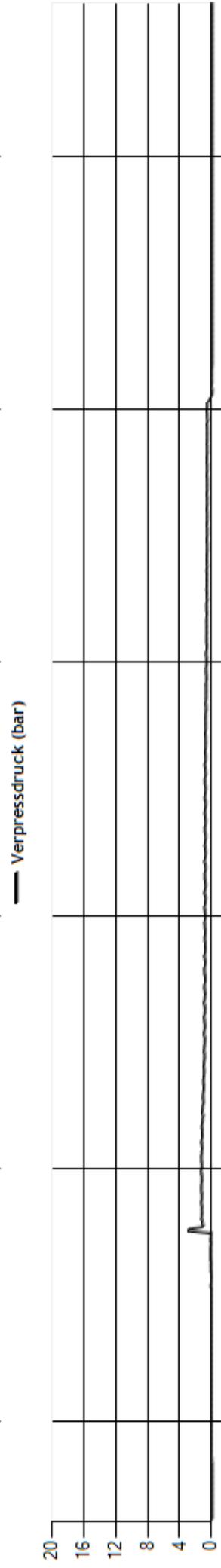
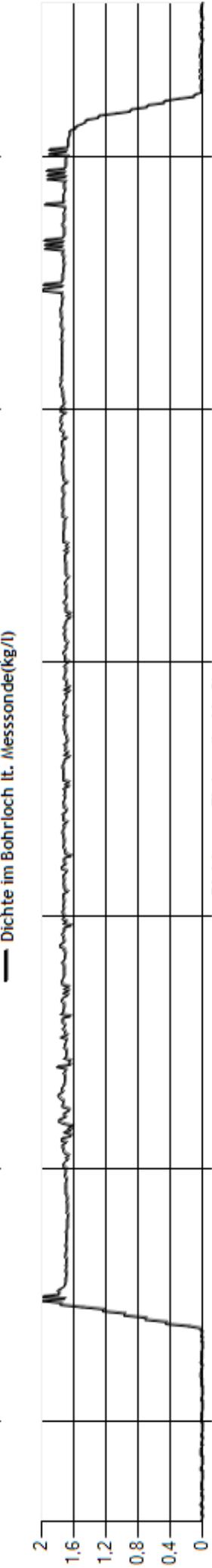
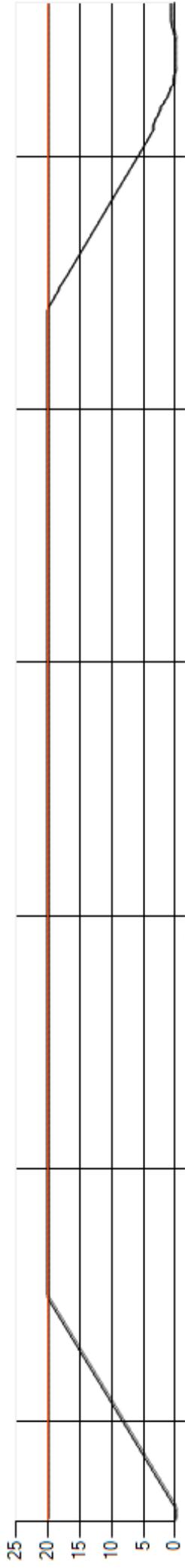
11:50

11:55

Abdichtung im Zuge des Rückbaus der Schutzverrohrung

Ort:	Ettlingen	BV:	12:03	12:15	12:03	Pilotbohrung	Flst-Nr.:	199	BL Nr.:	1
Ausführung	30.03.2021	12:03	12:15	12:03	Berechnet	Verfüllstoffmenge (l)	—	Eingebaut	390,74	

— Tiefe Messsonde(m)
 — Schutzverrohrung(m)





**Bericht zur Durchführung und Auswertung
eines Thermal Response Tests
an einer Erdwärmesonde**

**Bauvorhaben
Lange Straße Nord
in 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

**Durchführung eines Thermal Response Tests an einer
Erdwärmesonde in 76275 Ettlingen-Schluttenbach**

Bauvorhaben: Lange Straße Nord
76275 Ettlingen-Schluttenbach

Bauherr: Stadt Ettlingen
Marktplatz 2
76275 Ettlingen

Auftraggeber und Bohrfirma: Edward Michalik GmbH
Kirchstr. 31
77815 Bühl

Tel.: 07223 959635
E-Mail: info@michalik-brunnenbau.de

Planer der Erdwärmesondenanlage: Frey BGW
August-Jeanmaire-Straße 27a
79183 Waldkirch

Thermal Response Test: tewag
Technologie – Erdwärmeanlagen - Umweltschutz GmbH
Ansprechpartner: Kathrin Singer
Am Haag 12
72181 Starzach-Feildorf
Tel.: 07483 26908-0
Fax: 07483 26908-25
E-Mail: kathrin.singer@tewag.de

Proj.-Nr.: 12734

Bearbeiter: Kathrin Singer

Datum: 26. April 2021

Tel.: +49 7163 26908-0
Fax: +49 7483 26908-25
www.tewag.de
info@tewag.de

Registernummer:
HRB 10883
US:HN, DE:248181943

Geschäftsführer:
Kathrin Singer
Dr. Markus Kübert
Prof. Dr. Simone Walker-Herfom

Bank für den Thermal Response Test:
IBAN: DE44 7534 0002 0006 0865 100
BIC: COBADE33XXX

tewag
Technologie-
Erdwärmeanlagen-
Umweltschutz GmbH

Modellierung
Starzach
Am Haag 12
72181 Starzach

Tel.: +49 7163 26908-0
Fax: +49 7483 26908-25
www.tewag.de
info@tewag.de

Registernummer:
HRB 10883
US:HN, DE:248181943

Geschäftsführer:
Kathrin Singer
Dr. Markus Kübert
Prof. Dr. Simone Walker-Herfom

Bank für den Thermal Response Test:
IBAN: DE44 7534 0002 0006 0865 100
BIC: COBADE33XXX



Frey-BGW
Büro für Geowissenschaften

Anlage 5

Thermal Response Test

**BV Neubaugebiet Lange Straße Nord,
Ettlingen**



Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	4
2 Theoretische Grundlagen	5
3 Versuchsaufbau / a - priori Informationen	6
3.1 Angaben zur Testsonde	6
3.2 Beschreibung der Messeinrichtung	7
3.3 Angaben zum Untergrund / Erwartungswert	8
4 Versuchsdurchführung und Auswertung	9
4.1 Betriebsparameter / Messdaten	9
4.2 Ermittlung der ungestörten Untergrundtemperatur	11
4.3 Ermittlung der effektiven Wärmeleitfähigkeit und des Bohrlochwiderstandes	12
5 Zusammenfassung	13

Anhang 1: Bohrprofil der Testsonde

Anhang 2: Fotodokumentation der Messarbeiten

Verwendete Unterlagen:

- Ghelin, S. (1998): Thermal Response Tests – In-Situ measurements of thermal properties in hard rock. Lic. Thesis 1998:37, Lulea University of Technology, Lulea.
- Verein Deutscher Ingenieure (2010): Thermische Nutzung des Untergrundes - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, VDI 4640, Blatt 1.
- Verein Deutscher Ingenieure (2001): Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, VDI 4640, Blatt 2.



1 Einführung

Maßgebend für die Dimensionierung von Erdwärmesonden zur Einleitung bzw. zum Entzug von Wärme aus dem Untergrund ist die Kenntnis der thermischen Eigenschaften des Untergrundes. Bei kleinen Anlagen werden diese Parameter häufig anhand von Literatur- bzw. Erfahrungswerten unter Berücksichtigung gewisser Sicherheiten abgeschätzt. Bei größeren Anlagen ist dahingegen für eine Dimensionierung eine standortspezifische Kenntnis der geothermischen Parameter notwendig.

Um standortspezifische Kennwerte zu erhalten, ist die Errichtung einer Probebohrung notwendig, die in der Regel später ein Teil der Gesamtanlage werden kann. Mittels einer solchen Probebohrung kann die Wärmeleitfähigkeit als maßgebender Untergrundparameter aus ungestörten Proben in Form von Bohrkernen ermittelt werden. Der hieraus ermittelte Wert ist allerdings mit einem sehr hohen Aufwand verbunden und nicht in jedem Fall als zielführend anzusehen.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung einer effektiven Wärmeleitfähigkeit, die repräsentativ für die gesamte Länge der Sonde ist, stellt der Thermal Response Test (TRT) dar. Die Durchführung eines TRT erfolgt an einer fertig ausgebauten Sonde in Form eines In-Situ Tests. Bei einem TRT wird eine genau definierte Wärmeleistung an die Erdwärmesonde angelegt und der sich daraus ergebende Verlauf der Ein- und Austrittstemperatur aufgezeichnet. Das Ergebnis des TRT spiegelt die thermischen Eigenschaften der geologischen Verhältnisse am Standort in ihrer richtigen Gewichtung über die gesamte Bohrlöchlänge und bei typischen Betriebsbedingungen wieder. Ein weiterer Vorteil ist durch die Möglichkeit zur Ermittlung des so genannten Bohrlochwiderstandes gegeben. Der Bohrlochwiderstand stellt den Wärmeübergangswiderstand vom Wärmeträgermedium an den Untergrund dar. Er ist ein Maß für die Güte der Sondenkonstruktion und der Bohrvollfüllung und ist ebenfalls eine wichtige Auslegungsgröße. Dieser Wert kann lediglich an einer fertig ausgebauten Sonde über einen TRT ermittelt werden.

Mit dem Thermal Response Test steht ein Instrument zur Verfügung, welches bei sorgfältiger Ausführung und entsprechender Messgenauigkeit eine sichere Bestimmung der Auslegungsgrößen ermöglicht.



2 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen für den TRT wurden im Laufe mehrerer Jahrzehnte durch verschiedene Arbeiten geschaffen. Wie bereits in Abschnitt 1 erläutert, wird beim TRT über eine fertig ausgebaute Erdwärmesonde dem Untergrund eine konstante Leistung zugeführt oder entzogen, wobei die zeitliche Entwicklung der Temperatur im Wärmeträgermedium aufgezeichnet wird. Die Auswertung eines TRT basiert auf der Kelvin'schen Linienquellentheorie. Demnach ergibt sich für die zeitliche Entwicklung der mittleren Temperatur im Wärmeträgermedium der in Gl. (1) dargestellte Zusammenhang.

$$T_f = \frac{\dot{Q}}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot H} \cdot \ln(t) + \frac{\dot{Q}}{H} \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln \left[\frac{4 \cdot \alpha}{r_0^2} \right] - \gamma + R_b + T_s \right) \quad \text{Gl. (1)}$$

T_f mittlere Fluidtemperatur [°C]

\dot{Q} Heizleistung [W]

λ Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes [W/(m K)]

H Tiefe der Erdwärmesonde [m]

t Zeit [s]

α Temperaturleitfähigkeit [m²/s] ($\alpha = \lambda / c_p$; c_p = Wärmekapazität des Untergrundes)

r_0 Bohrradius [m]

γ Euler'sche Zahl (0.5772)

R_b thermischer Bohrwiderstand [(K m) / W]

T_s Temperatur des ungestörten Untergrundes [°C]

Trägt man die mittlere Fluidtemperatur gegen den natürlichen Logarithmus der Zeit auf, so lässt sich aus der Steigung die effektive Wärmeleitfähigkeit λ ermitteln. Mit Hilfe des Achsenabstandes kann der Bohrwiderstand R_b errechnet werden.

Gl. (1) ist nur gültig, wenn nachfolgendes Zeitkriterium erfüllt ist:

$$t > \frac{5r_0^2}{\alpha} \quad \text{Gl. (2)}$$

Hierbei ist t die Startzeit des zur Auswertung (Regression) herangezogenen Zeitfensters.



3 Versuchsaufbau / a - priori Informationen

3.1 Angaben zur Testsonde

Im Hinblick auf den Beginn des TRT ist darauf zu achten, dass die zementhaltige Suspensions zur Verfüllung des Ringraums ausgehärtet ist. Angaben zum Material und zur Geometrie der Sonde, aber auch zum Ausführungszeitpunkt und den genauen Ausbau der Bohrung, die als Hintergrundinformation für die Auswertung sehr wertvoll sind, liegen vor (vgl. Bohrprofil in Anhang 1). Die wichtigsten Angaben und Parameter, die in der Auswertung verwendet wurden, sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Angaben zur Bohrung	
Start/Ende der Bohrarbeiten	[-] 29.03.2021
Einbau der Sonde	[-] 30.03.2021
Hinterfüllung der Sonde	[-] 30.03.2021
Tiefe der Bohrung	[m] 150
Einbautiefe der Verrohrung	[m] 32
Durchmesser der Verrohrung	[mm] 156
Durchmesser des Bohrlochs	[mm] 130
Angaben zur Sonde	
Sondentyp	[-] Doppel-U-Sonde
Sondenmaterial	[-] PE100-RC
Sondenlänge (vom Sondenfuß bis GOK)	[m] 150
Außendurchmesser	[mm] 40
Wandstärke	[mm] 3,7
Abstandshalter vorhanden?	[-] nein
Angaben zur Bohrlochverfüllung	
Verfüllmaterial der Bohrung	[-] Hauri ZeoTherm 1.0
Verfüllte Menge	[l] 3450
Dichte der Suspension	[kg/l] k.A.
Wärmeleitfähigkeit	[W/(m K)] 1,2

Tabelle 1: Angaben zur Bohrung, Sonde und Bohrlochverfüllung



3.2 Beschreibung der Messeinrichtung

Die Messeinrichtung (siehe Abbildung 1) besteht aus einer Umwälzpumpe, einer elektrischen Heizung, zwei Durchflussmessgeräten und mehreren Temperaturfühlern, die in ein kompaktes Messgehäuse montiert sind. Bei der gesamten Messung wird auf sorgfältigen Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung geachtet. Durch den Einbau extrem kleiner Temperatursensoren direkt in den Fluidstrom ohne Tauchhülsen wird eine wichtige Fehlerquelle ausgeschaltet. Es sind zwei Fühler im Vorlauf und zwei Fühler im Rücklauf eingebaut. Der Volumenstrom wird während der gesamten Messung auf einen vorgegebenen Wert geregelt und mit zwei Durchflussmessgeräten protokolliert. Die Messwertfassung erfolgt durch eine rechnergesteuerte, fernabgefragte Messanlage.

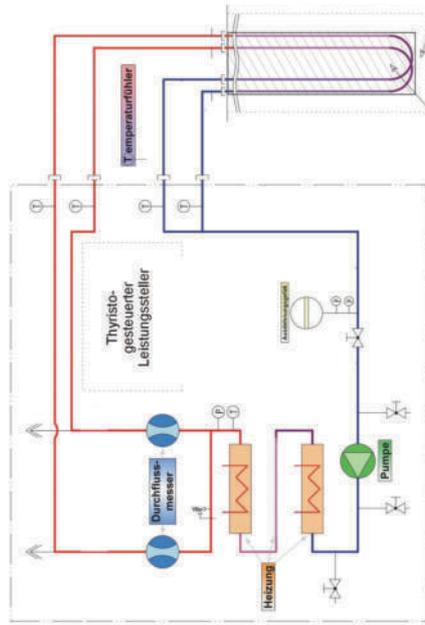


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messaufbaus

Die dem Untergrund zugeführte Heizleistung muss während der gesamten Messung konstant gehalten werden. Dies erfolgt durch eine präzise Regelung der elektrischen Heizleistung auf einen vorgegebenen Wert.

Neben den Temperaturen werden die Volumendurchflussrate und die elektrische Heizleistung kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet. Besonders wichtige Temperaturen werden redundant gemessen. Während der Messung wird die Anlage mit Wasser betrieben. Aus der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Erdwärmesonde, gemessen in der Verbindungsleitung zur Sonde, und dem Massendurchsatz wird die tatsächlich eingespeiste thermische Leistung errechnet.



3.3 Angaben zum Untergrund / Erwartungswert

Anhand der zur Verfügung stehenden Informationen können die Hauptkomponenten des Untergrundes wie in Tabelle 2 dargestellt zusammengefasst werden. Anhand von Tabellenwerten zu typischen Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit aus der VDI 4640, Blatt 1 können die thermischen Eigenschaften des Untergrundes in einer ersten Einschätzung darauf basierend abgeleitet werden:

Beschreibung	Klassifikation	Mächtigkeit [m]	Wärmeleitfähigkeit typischer Rechenwert	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]	Mittelwert Wärmeleitfähigkeit	
Quartär	Ton, Schluff trocken	4	0,4	0,4 - 0,9	1,6	
Oberer/mittlerer Buntsandstein	Sandstein	124	2,3	1,28 - 5,1	2	
Oberer/mittlerer Tonstein	Tonstein	22	2,2	1,05 - 3,02	2,3	
SUMME / MITTEL			150 m	2,23	1,2 - 4,7	2,03

Tabelle 2: Angaben zur Geologie / Erwartungswert Wärmeleitfähigkeit
(diese Angaben entsprechen nicht dem Bohrprofil, sondern fassen dessen Bestandteile lediglich nicht-teufengerecht zusammen!)

Demnach ist eine thermische Leitfähigkeit des Untergrundes im Bereich 1,2 - 4,7 W/(m·K) zu erwarten. Die Wärmekapazität der anstehenden Gesteine kann im Mittel bei 2,0 MJ/(m³·K) angesetzt werden



4 Versuchsdurchführung und Auswertung

4.1 Betriebsparameter / Messdaten

Der zeitliche Ablauf der Messung kann Tabelle 3 entnommen werden. Während des Testzeitraumes gab es keine Auffälligkeiten wie z.B. Stromausfälle, welche die Genauigkeit des Messergebnisses negativ beeinflussen.

Aufbau der Messeinrichtung	[-]	23.04.2021
Start der Fluidzirkulation	[-]	23.04.2021, 9:52
Inbetriebnahme der Heizung	[-]	23.04.2021, 10:57
Abbau der Messeinrichtung	[-]	26.04.2021

Tabelle 3: Angaben zur Versuchsdurchführung des Thermal Response Tests

Um die Temperatur des ungestörten Untergrundes zu ermitteln, wurde die Anlage zunächst ohne Heizung betrieben. Die Temperatur des ungestörten Untergrundes ergab sich als Mittelwert der Austrittstemperaturen über den Zeitraum, den ein Volumenelement zum Durchströmen des Sondenrohrs braucht. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 4.2 zusammengefasst.

In Abbildung 2 sind die jeweiligen Eingangs- und Ausgangstemperaturen über die Zeitskala aufgetragen. Die Heizleistung sowie die Durchflussrate ist in Abbildung 3 dargestellt. Ein Einfluss der Umgebung auf die Messungen ist nicht festzustellen.

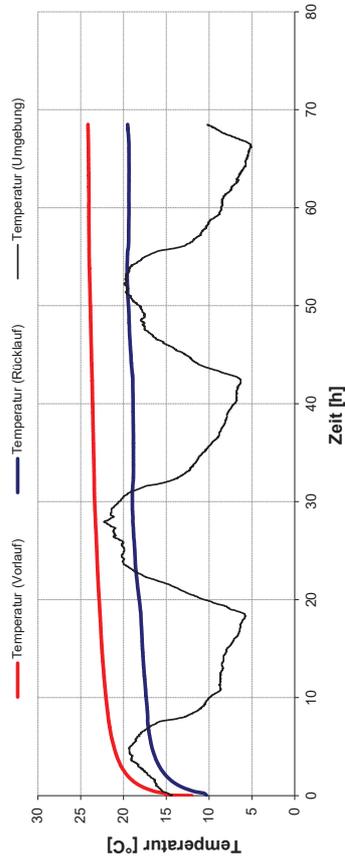


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie der Innentemperatur in der Messapparatur

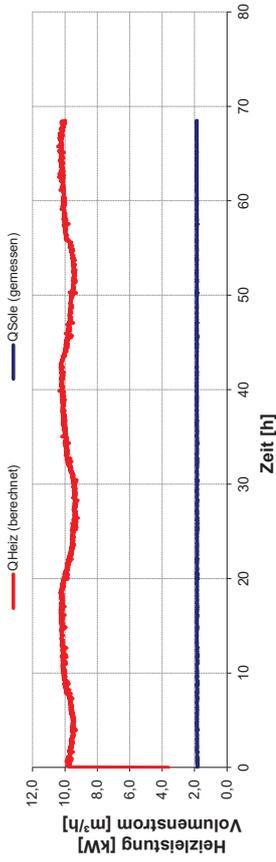
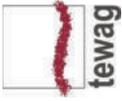


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Gesamt-Volumenstroms (blaue Kurve) und der Heizleistung (rote Kurve) während der Versuchsdurchführung

Die Mittelwerte der Betriebsdaten während des Messzeitraumes sowie die thermische Leistung, der Volumendurchsatz und die Temperaturerhöhung zwischen Sonderein- und -austritt sind in Tabelle 4 eingetragen.

Mittlere thermische Leistung	[W]	9897
Mittlerer Volumenstrom der Sonde	[m ³ /h]	1.86
Mittlere Temperaturerhöhung	[K]	4.59

Tabelle 4: Betriebsdaten für den Auswertzeitraum

Hinweis: Die während des TRT an die Sonde angelegte thermische Leistung dient der messtechnischen Erfassung der thermischen Eigenschaften des Untergrundes. Diese Leistung ist NICHT zu verwechseln mit der späteren spezifischen Entzugleistung der Sondenanlage und ist kein Anhaltspunkt für das thermische Potential des Untergrundes.

4.2 Ermittlung der ungestörten Untergrundtemperatur

Zur Ermittlung der ungestörten Untergrundtemperatur wurde die Anlage zunächst ohne Heizung betrieben und die Temperatur in vor- und Rücklauf beobachtet. Abbildung 4 zeigt die Temperaturmessdaten zu Beginn des Versuches:

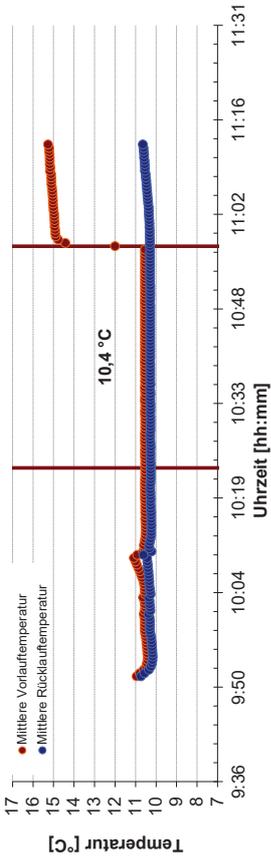


Abbildung 4: Temperaturentwicklung zu Beginn der Messung (Zirkulationsperiode und erster beheizter Umlauf)

Tabelle 5 zeigt die zur Auswertung herangezogenen Zeitintervalle sowie die sich daraus ableitenden Werte:

Zeitintervall ungestörte Temperatur	[Uhrzeit]	10:23 - 10:57
Anzahl Messwerte	[-]	68
Gemittelte Temperatur	[°C]	10,4

Tabelle 5: Ermittlung der ungestörten Untergrundtemperatur

4.3 Ermittlung der effektiven Wärmeleitfähigkeit und des Bohrwiderstandes

Zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit λ und des Bohrwiderstandes R_b wurde der in Abbildung 5 dargestellte Messbereich ausgewählt. Mittels der Regressionsgerade und Gl. (1) ergeben sich die in Tabelle 6 dargestellten Werte.

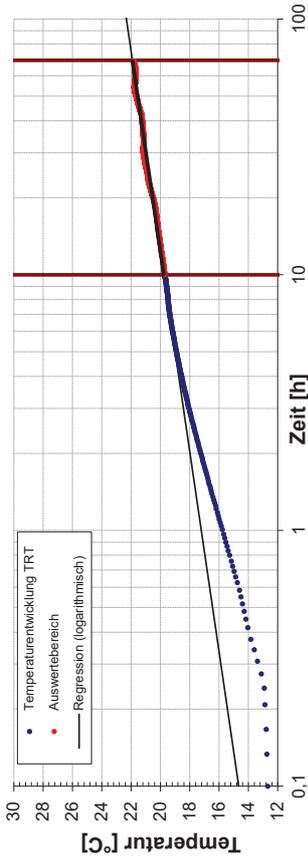


Abbildung 5: Auswertung der $T(\ln(t))$ -Kurve zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit und des Bohrwiderstandes

Effektive Wärmeleitfähigkeit	[W/(m K)]	4,7
Thermischer Bohrwiderstand	[(m K)/W]	0,079
Mittlere ungestörte Untergrundtemperatur	[°C]	10,4

Tabelle 6: Ergebnisse des Thermal Response Tests

Wie in Abschnitt 2 dargelegt, muss zur Auswertung der $T(\ln(t))$ -Kurve mittels Gl. (1) das Zeitkriterium nach Gl. (2) eingehalten werden. Das Zeitkriterium ist für die ermittelte Wärmeleitfähigkeit zusammen mit dem Zeitraum der Auswertung in Tabelle 7 dargestellt. Demnach wird für den gewählten Auswertezentrum das Zeitkriterium eingehalten.

Gewichteter Bohrwiderstand	[mm]	136
Geschätzte Wärmekapazität	[MJ/(m³ K)]	2,03
Zeitkriterium	[h]	02:44
Zeitraum der Auswertung	von [h] bis [h]	10:00 69:00

Tabelle 7: Ermittlung des Zeitkriteriums



5 Zusammenfassung

Beim Bauvorhaben Lange Straße Nord in 76275 Ettlingen-Schluttenbach wurde an einer Erdwärmesonde vom 23.04.2021 bis 26.04.2021 ein Thermal Response Test durchgeführt. Bei gewissenhaftem Versuchsaufbau und einer sorgfältigen Durchführung stellt der TRT eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der standortspezifischen Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes und des thermischen Bohrlochwiderstandes dar.

Für die effektive Wärmeleitfähigkeit wurde ein Wert von 4,7 W/(m K) ermittelt. Dieser Wert liegt im oberen Bereich der Erwartungen zur Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes (vgl. Abschnitt 3.2) und ist grundsätzlich als sehr hoch einzustufen. Sofern nicht bei allen anderen Bohrungen ähnliche geologische und geothermische Verhältnisse sichergestellt werden können, empfehlen wir für die weiteren Planungen einen konservativen Wert für die Wärmeleitfähigkeit zu verwenden. Abbildung 6 zeigt sowohl die gemessene, als auch die aus Informationen zum Untergrund erwartete Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Literaturwerten weit verbreiteter Gesteinsformationen.

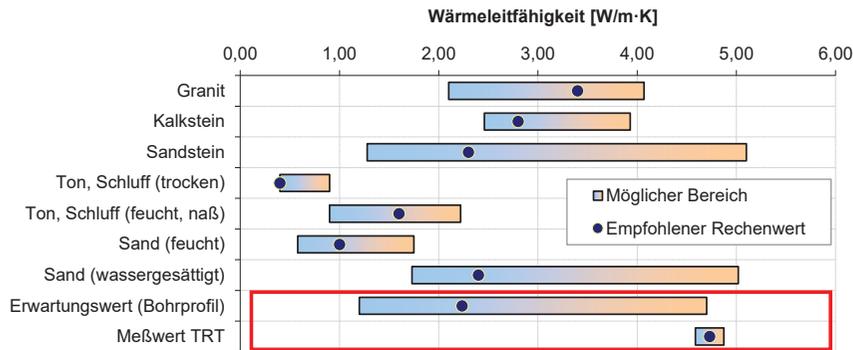


Abbildung 6: Vergleich der Messergebnisse mit Literaturwerten und deren Reichweite

Für den thermischen Bohrlochwiderstand der Sonde wurde ein Wert von 0,079 (m K)/W gemessen. Der thermische Bohrlochwiderstand beschreibt den Wärmeübergang zwischen dem Wärmeträgermedium und dem Gebirge. Je höher dieser Wert ist, desto schlechter ist der Wärmeübergang und umso höher der Temperaturverlust im Bohrloch. Der gemessene thermische Bohrlochwiderstand zeigt einen guten Wärmeübergang zwischen dem Gebirge und dem Wärmeträgermedium.

Hinweis: der thermische Bohrlochwiderstand wurde im Betrieb der Sonde mit reinem Wasser gemessen. Bei einem späteren Betrieb der Anlage mit Sole (z.B. Wasser-Glykol) kann der tatsächliche Bohrlochwiderstand größer sein als hier gemessen aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften des Wärmeträgermediums.

Die mittlere Temperatur des ungestörten Untergrundes kann bei 10,4 °C angesetzt werden.



Zur Auslegung eines Erdwärmesondenfeldes werden die Temperaturverläufe in Abhängigkeit der Zeit im Wärmeträgermedium mittels einer thermischen Simulation im Anlagenbetrieb berechnet. Die dargestellten Messwerte zur effektiven Wärmeleitfähigkeit sowie zur ungestörten Untergrundtemperatur stellen die maßgeblichen geothermischen Parameter zur Dimensionierung der Erdwärmesondenanlage nach den Vorgaben der VDI 4640, Blatt 2 dar. Weitere relevante Eingabeparameter hierfür sind neben den geologischen Gegebenheiten und thermischen Eigenschaften des Untergrundes i.W. die Gebäudeanforderungen (Jahresheiz- und -kühlenergie, Heiz- und Kühlleistungen) sowie deren Verteilung über das Jahr (Lastprofile). Insgesamt gehen in die Simulation jedoch vielfältige Parameter ein wie z.B. die Anordnung der Sonden, die Bohrlochgeometrie sowie die Klimabedingungen am Standort, welche in Abbildung 7 zusammenfassend veranschaulicht werden:

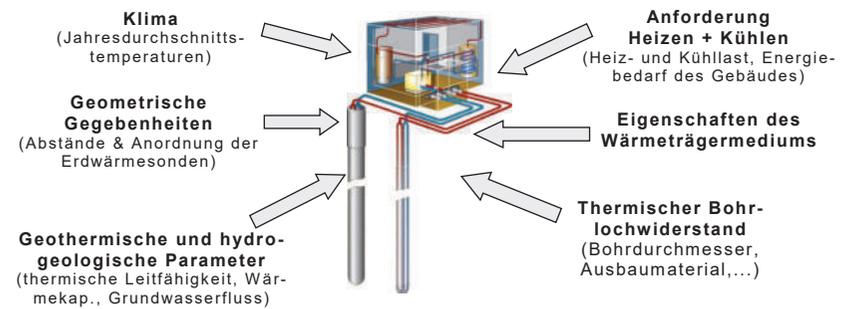


Abbildung 7: Einflussfaktoren auf die Auslegung eines Erdwärmesondenfeldes

Felldorf, 26. April 2021

Kathrin Singer

Kathrin Singer
 M. Sc. Applied & Environmental Geoscience

