

Vorstellung aktueller Messmethoden bei der Überprüfung der Zementationsgüte von Erdwärmesonden

- Qualitätsansprüche an eine EWS
- Messtechnik
 - Temperaturprofile
 - Kurz-TRT in Kombination mit Temperaturprofilen
 - Gamma-Gamma-Dichte Messungen
- Fallbeispiele
- Fazit

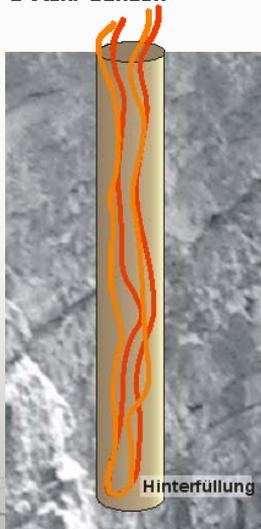
Autoren:
André Voutta, Dr. Heike Voelker

André Voutta (Dipl.-Geol.)
Grundwasserhydraulik



Funktionsansprüche an die Hinterfüllung einer Erdwärmesonde

U-Rohr-Sonden



Erdwärmesonde

- **Vollständig**
- **Quasi wasserundurchlässig** ($k_f < 10^{-9} \text{ m/s}$)
- **Homogene Dichte**
- **Frost/Tau beständige** Materialeigenschaften
- Je nach Geologie **sulfatbeständig**
- **verlustarme Wärmeleitung**

Wie entstehen Fehlstellen und was sind funktionsrelevante Fehlstellen?



Wie können Fehlstellen entstehen ???

- **Verbindung von zwei Grundwasserleitern:**
 - Entstehung einer Grundwasserströmung im Bohrloch und dadurch Abtransport der injizierten Zementsuspension
- **Erbohren einer Kluftzone:**
 - Massenverluste durch die Verlagerung der Zementsuspension in den Hohlraum.
- **Erbohren einer Zone mit starker Grundwasserströmung:**
 - Zementsuspension wird durch die horizontale Grundwasserströmung verdünnt oder gar abgeführt
- **Wie können diese Fehlstellen erkannt werden**



Messtechnik

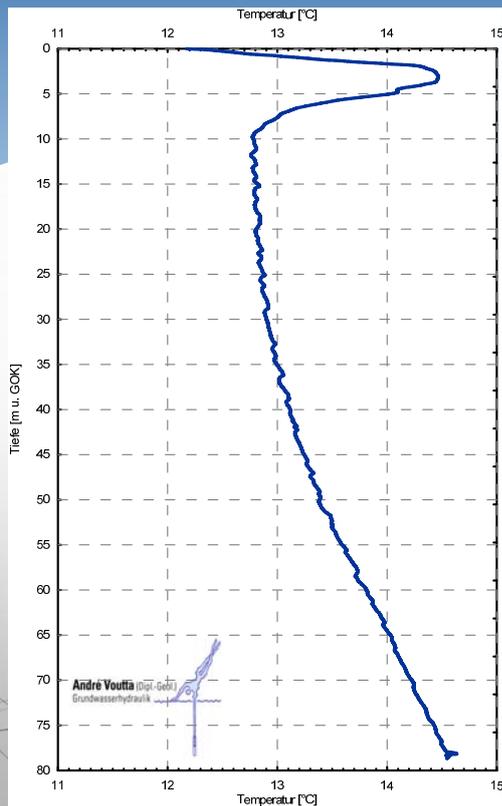
Temperaturmessungen

- Ruhe-Temperaturprofile
- Kurz-TRT- Temperaturprofil

Dichtemessungen



Beispiel für ein ungestörtes Ruhetemperaturprofil



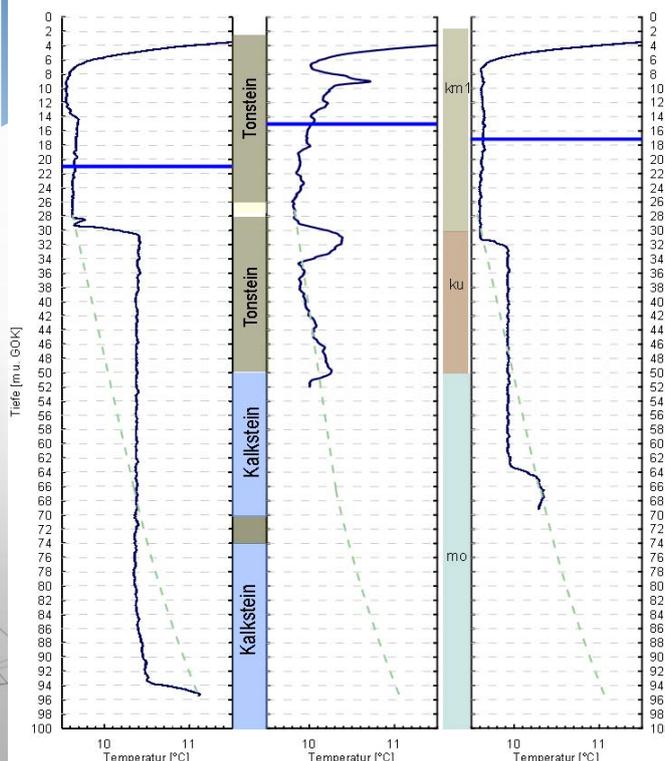
- Zeigt die Temperaturverteilung über die Tiefe an.
- Bis 15 m sind jahreszeitliche Temperaturschwankungen, verursacht durch solaren Energieeintrag, erkennbar.
- Nach einem Übergangsbereich von ca. 10 m dominiert der geothermische Gradient die Untergrundtemperatur.
- Der mittlere geothermische Gradient beträgt $3^{\circ}\text{K} / 100 \text{ m}$.
- **Ein ungestörter Verlauf belegt eine ungestörte Grundwasserhydraulik**

André Voutta (Dipl.-Geol.)
Grundwasserhydraulik

06.10.2011

5

Beispiele für Ruhe-Temperaturprofile mit Temperaturanomalien



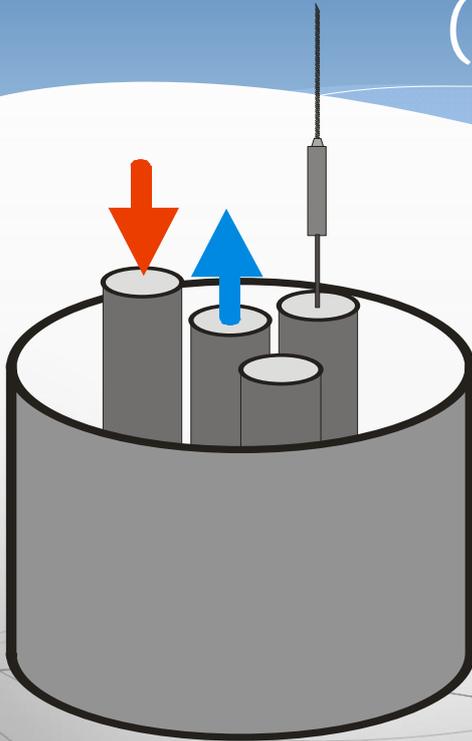
- Sie sind ein erster Erkundungsschritt bei Unstimmigkeiten nach der Errichtung von EWS
- Sie erfordern keine weiteren baulichen Vorkehrungen
- Sie können rasch realisiert und ausgewertet werden

André Voutta (Dipl.-Geol.)
Grundwasserhydraulik

06.10.2011

6

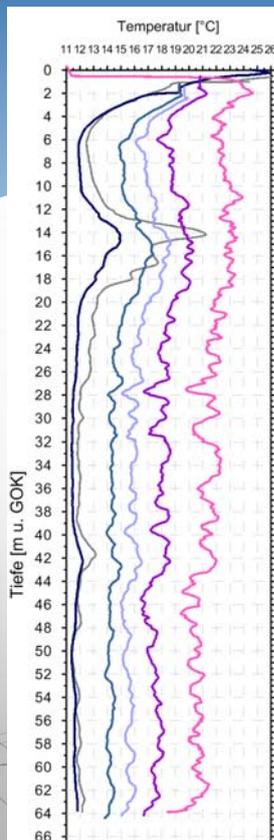
Kurz- Thermal-Response-Test (K-TRT)



- Ein intensiver, aber kurzzeitiger Energieeintrag heizt überwiegend die Hinterfüllung auf.
- Die Messung der Temperaturerholung deckt Anomalien in der Wärmeleitfähigkeit der Hinterfüllung auf.



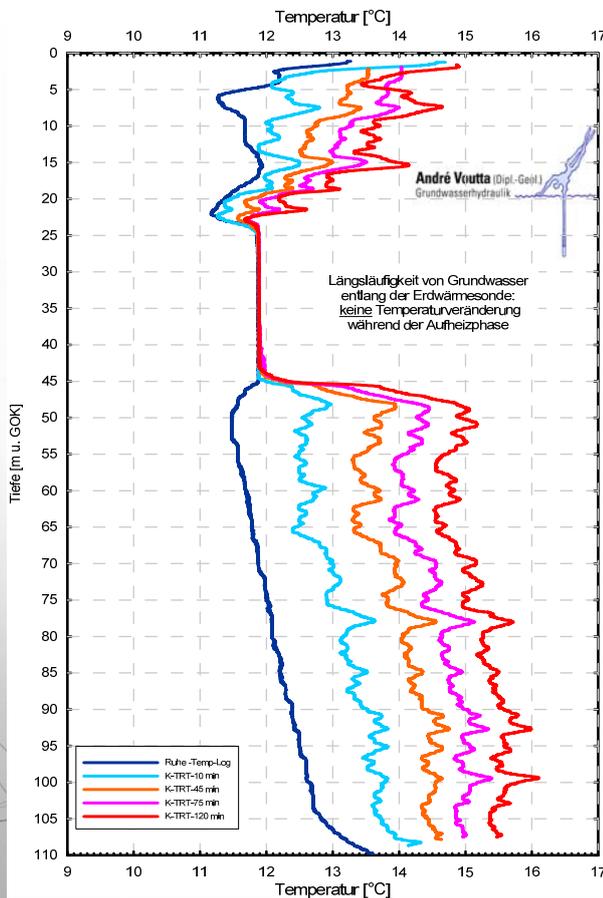
Kurz-TRT bei intakter Hinterfüllung



- Graues Ruheprofil zeigt vermehrte Hydratationswärme zwischen 12 – 18 m u. GOK an: Wegen Hohlräumen und Grundwassereinfluss sind hier erhöhte Zementationsmassen erforderlich.
- Blaues Ruhe-Temperaturprofil nach 8 Tagen Abkühlung: verbliebene Hydratationswärme
- K-TRT-Temperaturprofile zeigen eine gleichmäßige Abkühlung über die Tiefe an: Hinterfüllung ist vollständig
- Es ist kein Grundwassereinfluss erkennbar.



K-TRT bei Grundwassereinfluß



Flache Geothermie – Perspektiven - Risiken

- Bis 15 m typisches Ruhe Temp-Log
- Abschnitt mit konstanter Temperatur zwischen 25 – 45 m – auch in der Aufheizphase keine Temperaturerhöhung
- Unterhalb 50 m gewöhnlicher geothermischer Gradient mit zu erwartender Temperaturreaktion auf Aufheizung
- Interpretation:
 - Fehlende Zementation und dadurch fließendes Grundwasser zwischen 25 – 45 m

André Voutta (Dipl.-Geol.)
Grundwasserhydraulik

06.10.2011

9

Die γ Gamma-Gamma γ -Sonde



- Verkleinerte und angepasste Gamma-Gamma-Sonde, wie sie dem Prinzip nach aus dem Anwendungsbereich der Bohrlochgeophysik bekannt ist.
- Komponenten
 - Quelle: Cs 137 mit einer Aktivität von 370 MBq
 - Detektor: Geiger-Müller-Zähler
- Abmessung
 - Länge: 80 cm
 - Durchmesser: 15 mm
 - Abstand Quelle-Detektor: 75 mm

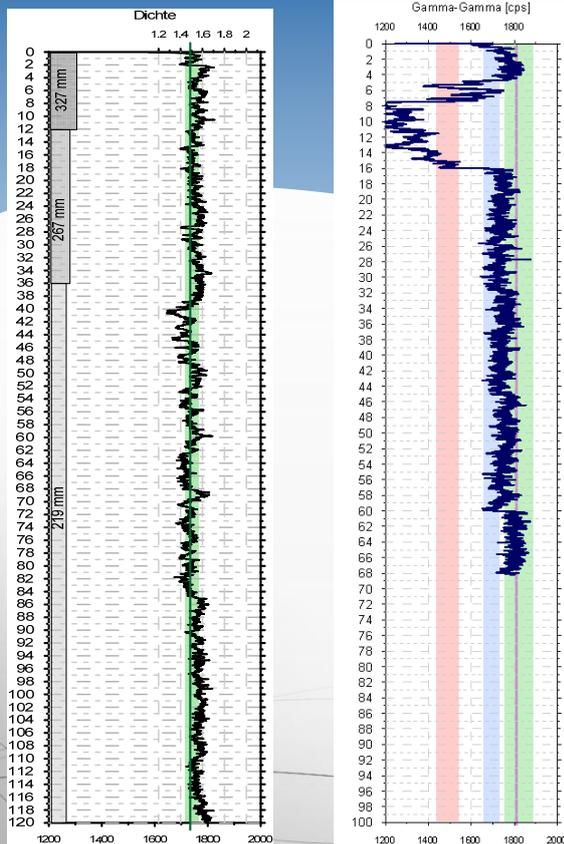
Flache Geothermie – Perspektiven - Risiken

10

André Voutta (Dipl.-Geol.)
Grundwasserhydraulik

06.10.2011

Dichte-Homogenität in der Hinterfüllung

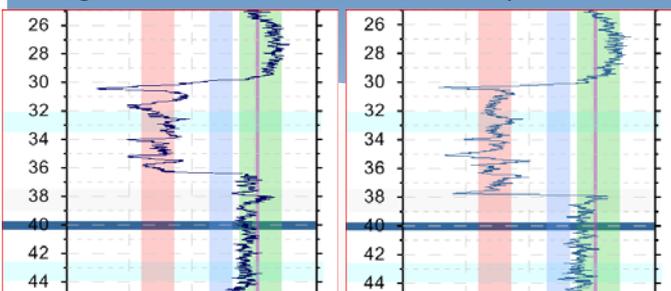


- Dichteschwankungen innerhalb der Zementation
 - einer intakten EWS
 - einer EWS mit deutlichen Dichteanomalien



Reproduzierbarkeit: Entstehung eines Hohlraumes

3. Tag nach Zementation 2:45 h später

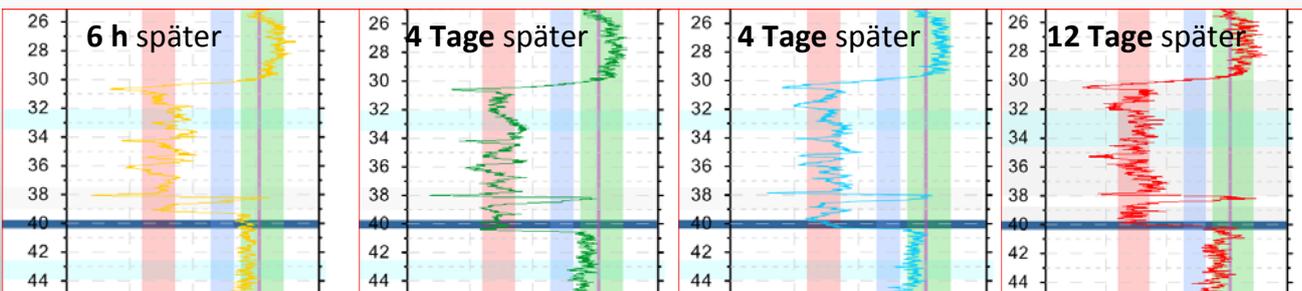


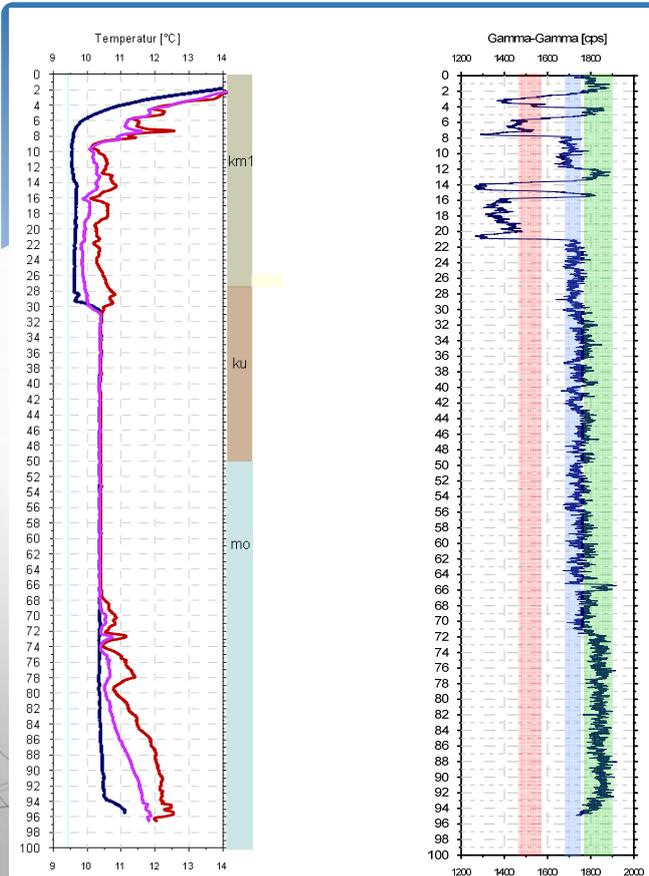
6 h später

4 Tage später

4 Tage später

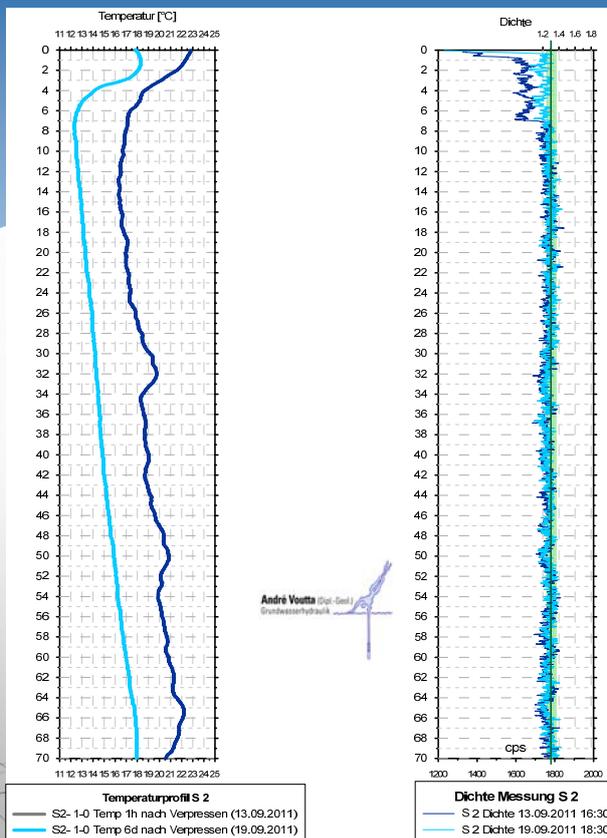
12 Tage später





Die EWS-Güteprüfung Kombination von K-TRT-Temp-Logs und Gamma-Gamma-Log

- Detektion von Anomalien in der Hinterfüllung über zwei eigenständige Messmethoden:
 - Temperaturreaktionen
 - Dichte
- Qualitätsmängel zeigen sich in der Temperaturreaktion auf den K-TRT und einer verminderten Dichte:
 - fehlende Hinterfüllung in der ungesättigten Zone zwischen 2 -4m, 6 – 12m sowie von 14 – 21 m u. GOK
 - Fehlende bzw. unvollständige und damit wasserwegsame Hinterfüllung zwischen 31 – 67 m u. GOK:
- Eine intakte Hinterfüllung besteht unterhalb 72 m u. GOK.
- **Einen Qualitätsmangel stellen Wasserwegsamkeiten innerhalb der Hinterfüllung dar.**



Temperaturprofil S 2
 — S2-1-0 Temp 1h nach Verpressen (13.09.2011)
 — S2-1-0 Temp 6d nach Verpressen (19.09.2011)

Dichte Messung S 2
 — S 2 Dichte 13.09.2011 16:30
 — S 2 Dichte 19.09.2011 18:30

EWS-Güteprüfung Beispiel 2

- Dichte- und Temperatursignatur einer frisch verpressten EWS
- Erste Messung zeigt den abgesunkenen Suspensionsspiegel bei 7 m
- Zweite Messung nach 6 Tagen zeigt die vollständig verfüllte EWS mit homogenem thermischen Gradienten



Aktueller Stand der Messtechnik

- Aktuelle Messreihen im Feld haben gezeigt, dass die Kombination von
 - Dichte- Messung und
 - K-TRT –Temperaturprofilendie größte Aussagekraft hat:
 - Nachweis einer intakten Hinterfüllung
 - Überprüfung auf Wasserwegsamkeiten in der Hinterfüllung und eventuellem Grundwasserfließen
- Dichte-Messung
 - Ihre ausgezeichnete Reproduzierbarkeit erlaubt es, Veränderungen in der Hinterfüllung auch zu einem späteren Zeitpunkt zu überprüfen.
 - Sie kann zeitnah ohne weitere bauliche Maßnahmen bei Unstimmigkeiten unmittelbar nach der Errichtung einer EWS durchgeführt werden.
- Ruhe-Temperaturprofil
 - Messungen innerhalb einer Woche nach der Zementation zeigen Bereiche mit erhöhtem Zementationsmassebedarf auf.
 - Bei späteren Messungen gibt ein fehlender thermischer Gradient Hinweise auf Grundwassereinfluss im Bereich der EWS
 - Ein intakter geothermischer Gradient ist ein starkes Argument für eine vollständige Hinterfüllung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Weiterführende Informationen auf: www.avoutta.de

