

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

- Inhalt des Vortrags:
- Prinzipielle Unterschiede zw. TRT und EGRT
 - Theorie EGRT
 - Praxis EGRT
 - Vergleich TRT und EGRT in der Praxis
 - EGRT zur Qualitätskontrolle der Verfüllung

Philipp Heidinger¹, Jürgen Dornstädter¹, Dr. Hagen Steger², Dr. Roman Zorn³, Markus Pröll⁴

¹GTC-Kappelmeyer GmbH
Heinrich-Wittmann-Str. 7a, D-76131 Karlsruhe, Germany
Tel.: +49-721-60008 eMail: gtc@gtc-info.de

²Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften
Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, D-76128 Karlsruhe

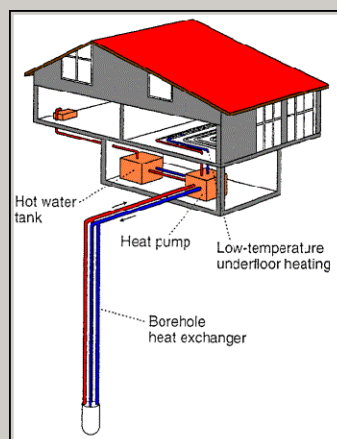
³European Institute for Energy Research (EIFER)
Emmy-Noether-Strasse 11, D-76131 Karlsruhe

⁴Zentrum für Angewandte Energieforschung (ZAE)
Walther-Meißner-Str. 6, D-85748 Garching

G · T · C KAPPELMAYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)



TRT:

Bestimmung der thermischen Parameter (Wärmeleitfähigkeit, Bohrlochwiderstand) des Gesamtsystems

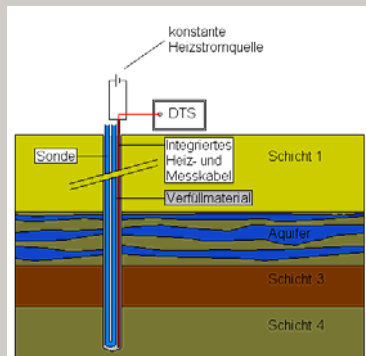
EGRT:

Bestimmung der thermischen Parameter (Wärmeleitfähigkeit, Bohrlochwiderstand) tiefenabhängig

G · T · C KAPPELMAYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)



EGRT:

- Integriertes Mess- und Heizkabel
- Aufheizen mit Konstantstromquelle
- Dauer 3 oder mehr Tage
- Registrierung von T_1, \dots, T_n und
- der Heizleistung

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

EGRT

Bestimmung der thermischen Bodenparameter (Wärmeleitfähigkeit und thermischer Bohrlochwiderstand) für jede Tiefe über die ganze Länge der Sonde:

- In Verbindung mit der Geologie der Bohrung
- Bestimmung dieser Parameter für einzelne Schichten
- Identifizierung von Aquiferen
- Berechnung von Filtergeschwindigkeiten aus effektiven* Wärmeleitfähigkeiten
- Durch Messen der Bodentemperaturen vor Heizbeginn kann überprüft werden, ob die Hydratationswärme abgeklungen ist (ggf. Korrektur der Daten)
- Kontrolle der Ringraumverfüllung

* bei zusätzlichem konvektiven Wärmetransport (Fluidbewegung)

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Theorie

- Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit mit der Näherungslösung der Zylinderquellengleichung
- Bestimmung von Filtergeschwindigkeiten in hydraulisch aktiven Schichten durch die Pécletzahlanalyse
- Berechnung des Bohrlochwiderstandes aus der Wärmeleitfähigkeit des zeitlichen Nahfeldes (-> Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials und der Sonde), Extraktion der Wärmeleitfähigkeit des Verfüllmaterials und Bestimmung des Bohrlochwiderstandes aus der Geometrie der Erdwärmesonde

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit nach dem Zylinderquellenverfahren

Für $\frac{kt}{a^2} \gg 1$ gilt:

$$T_r(t) = A \ln\left(\frac{t}{t_0}\right) + B$$

wobei

$$A = \frac{q_L}{4\pi\lambda}$$

und

$$B = \text{konstant}$$

mit:

λ = Wärmeleitfähigkeit des homogenen Kammes [W/mK]

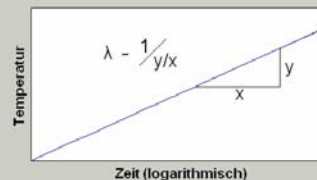
q_L = Heizleistung pro Meter der Zylinderquelle [W/m]

κ = Temperaturleitfähigkeit des homogenen Kammes [m²/s]

t = Zeit seit Beginn des Heat-Pulses [s]

t_0 = 1 Zeiteinheit (1 sec.)

a = Radius der Zylinderquelle [m]



Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Pécletzahlanalyse

$$P_i = \frac{q_a}{q_c} = \frac{\rho c_f v_f \Delta T}{\lambda \left(\frac{\Delta T}{l} \right)}$$

$$v_f = \frac{P_i \lambda}{l \rho c_f}$$

$$v_f = \frac{\lambda_{konst. sump} - \lambda_{konst.}}{l \rho c_f}$$

mit:

q_a = konvektiver (advektiver) Wärmestrom [W m⁻²]

q_c = konduktiver Wärmestrom [W m⁻²]

ρ = Dichte des Fluids [kg m⁻³]

c_f = spezifische Wärmekapazität des Fluids bei konstantem Druck [J kg⁻¹ K]

v_f = Filtergeschwindigkeit des Fluids [m s⁻¹]

ΔT = Temperaturdifferenz [K]

$\lambda = \lambda_{konst.}$ = Wärmeleitfähigkeit des Bodens [W m K]

l = charakteristische Länge [m]

G · T · C KAPPELMEYER GMBH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Symposium Göttingen 16.9.2009

7

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Einbau
Erdwärmesonde
und
Hybridglasfaser-
kabel



G · T · C KAPPELMEYER GMBH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Symposium Göttingen 16.9.2009

8

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Praxis

- 57m tiefe Grundwassermessstelle
- Schichtung:- Niederterrassenschotter
 - Kohleflöz
 - Glimmersandschicht
- 2 GWL: oberhalb, sowie unterhalb des Flöz
- die Filtergeschwindigkeit des oberen GWL beträgt 0,25m/Tag
- effektive Heizleistung von 24,5 W/m

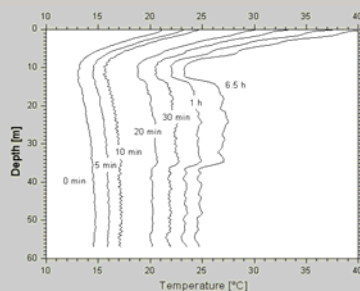


G · T · C KAPPELMEYER GmbH

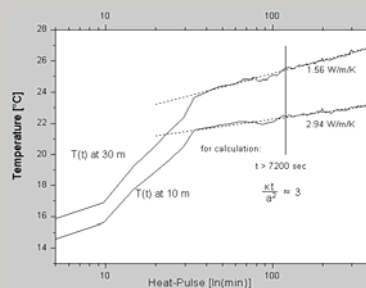
GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Auswertung



Temperatur-Tiefenprofile zu ausgewählten Zeiten



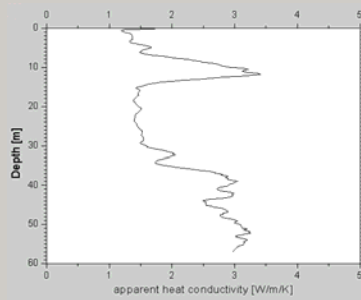
Logarithmische Darstellung der Aufheizkurve für zwei ausgewählte Tiefen

G · T · C KAPPELMEYER GmbH

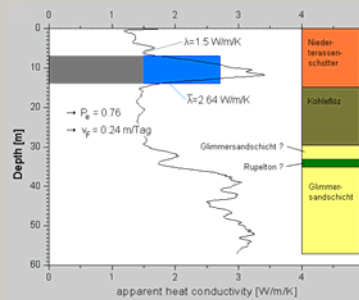
GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Wärmeleitfähigkeit



Effektive Wärmeleitfähigkeit über die Tiefe
 $\bar{\lambda} = 2,24 \text{ W/m/K}$



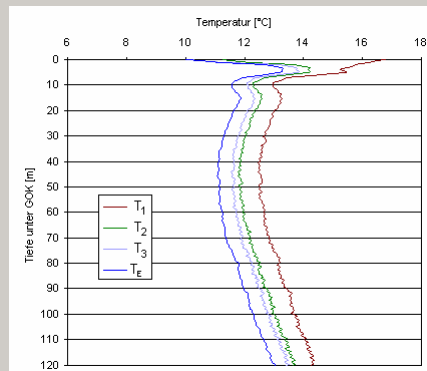
Weitergehende Auswertung in Verbindung mit der Geologie

G · T · C KAPPELMEYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Beispiel Hydratationswärme

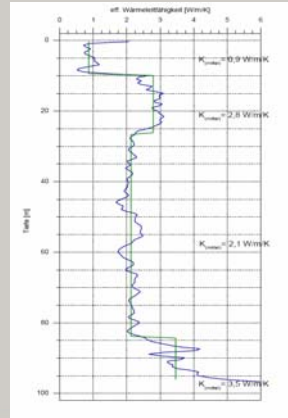
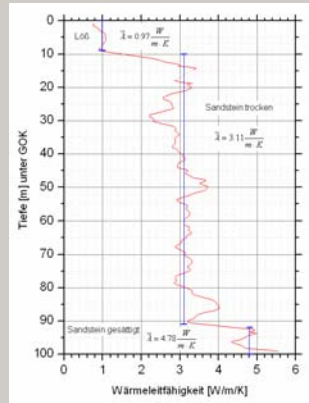


G · T · C KAPPELMEYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Beispiele: Wärmeleitfähigkeit

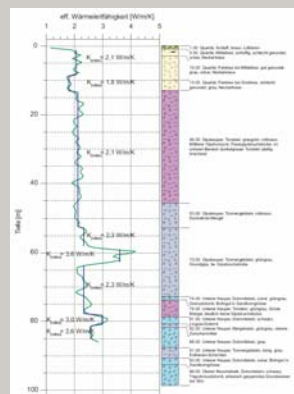
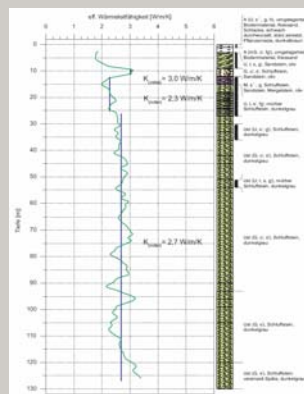


G · T · C KAPPELMAYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Beispiele: Wärmeleitfähigkeit



G · T · C KAPPELMAYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

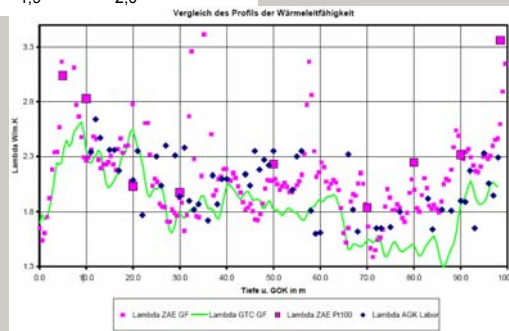
Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Durchführung eines TRT und EGRT in der gleichen Erdwärmesonde. Fall 1:

Gesamtsystem:	TRT	EGRT	Labor (Proben)
λ [W/m/K]	2,3	1,9	2,0

tiefenverteilt:

Geologie sehr heterogen, grob vereinfacht:
 bis ~ 20 m: Sande und Kiese
 (jeweils Fein-, Mittel-, Grob-)
 bis ~ 67 m: Feinsande
 bis ~ 87 m: Tone
 ab ~ 87 m: Tone, Feinsande, Schluff



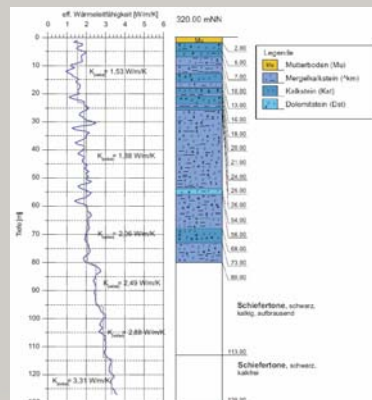
G · T · C KAPPELMAYER GmbH GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Durchführung eines TRT und EGRT in der gleichen Erdwärmesonde. Fall 2:

Gesamtsystem:	λ [W/m/K]
TRT	-
EGRT	2,2

tiefenverteilt:



G · T · C KAPPELMAYER GmbH GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Durchführung eines TRT und EGRT in der gleichen Erdwärmesonde. Fall 3:

Beim Ziehen des Bohrerätes sind die Klemmbacken in die Bohrung gefallen und haben das Glasfaserkabel und die Pt100 zerstört. Bohrung wurde aber beprobt und die Wärmeleitfähigkeit wird im Labor bestimmt.

Der Einbau wird aber erneuert und TRT und EGRT werden durchgeführt.

Zwei weitere Erdwärmesonden mit TRT und EGRT sind geplant, mit insgesamt folgenden prinzipiellen Unterschieden:

Fall1: heterogene Schichtung von Sedimenten, komplett im GW-Leiter, Franksonde, Thermocem (normal)

Fall2: karbonathaltiges, klüftiges Gestein, GW ab 60 m Tiefe, Tonpellets

Fall3: Molasse, kiesig, sandig, Pexsonde, Thermocem (frostsicher)

Fall4: Kiese, komplett im GW-Leiter mit Pumpmöglichkeiten in angrenzenden Brunnen (erzwungene Konvektion)

Fall5: kristallines Festgestein (höhere konduktive Wärmeleitfähigkeit), homogener Untergrund, gute Proben

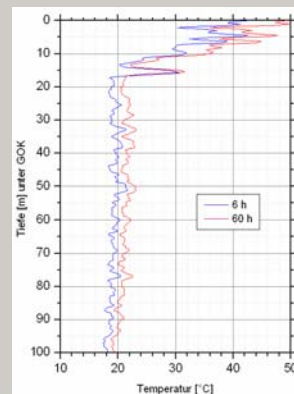
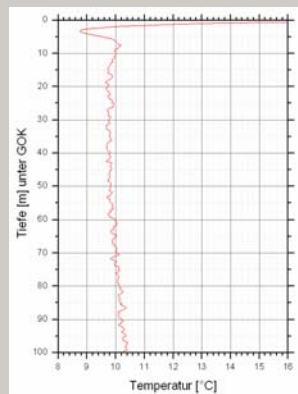
Mitarbeit im EWSplus-Projekt des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg (Siehe Poster Hr. Riegger, Solites)

G · T · C KAPPELMEYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Qualitätskontrolle: Beispiel mangelhafte Ringraumverfüllung in 15 m Tiefe

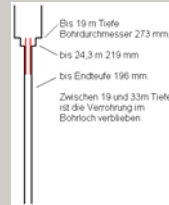
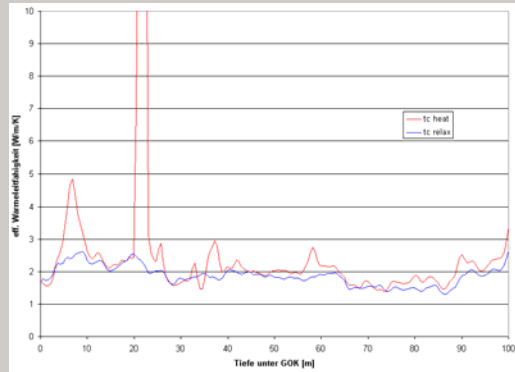


G · T · C KAPPELMEYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Qualitätskontrolle: Vergleich der Ergebnisse aus Auswertung der Aufheizkurve und der Abkühlkurve



=> Konvektionszellen, die nicht durch Grundwasserströmungen erklärt werden können, sind Hinweise auf mangelhafte Verfüllung

G · T · C KAPPELMAYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Zusammenfassung

- Die thermischen Bodenparameter (Wärmeleitfähigkeit, Bohrlochwiderstand) werden tiefenabhängig bestimmt
 - Hydraulisch aktive Aquifere sind identifizierbar
 - Aussagen über die Filtergeschwindigkeit sind möglich
 - Korrektur von Störeffekten auf die Bodentemperaturen (Hydratationswärme)
 - Qualitätsüberprüfung der Ringraumverfüllung
 - Weitere Messungen sind jederzeit möglich
- Erdwärmesondenanlagen können optimaler geplant und überwacht werden

G · T · C KAPPELMAYER GmbH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE

Enhanced Geothermal Response Test (EGRT): Erfahrungen aus der Praxis
und Vergleiche mit dem „klassischen“ Thermal Response Test (TRT)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

G · T · C KAPPELMAYER GMBH

GEOTECHNIK · GEOTHERMIE · HYDROGEOLOGIE · UMWELTECHNOLOGIE