



Austritt von artesischem Grundwasser beim Niederbringen einer Erdwärmesonde

Mehr Sicherheit bei der Planung von Erdwärmesonden

Messverfahren ■ Die GEOWATT AG entwickelt neue Messverfahren, mit deren Hilfe die Qualität der Dimensionierung von Erdwärmesonden verbessert wird. Hierzu gehört eine neue Methode zur Durchführung und Auswertung von thermischen Response Tests (TRT) an Erdwärmesonden. Als Ergebnis wird die vertikale Variation thermischer Gesteinseigenschaften und, wenn vorhanden, Grundwasserströmung im Untergrund identifiziert. Bei diesem neuen Verfahren kommt der kabellose Datenlogger NIMO-T zum Einsatz, mit welchem vor und nach dem TRT kontinuierliche Temperatur-Tiefenprofile in der Erdwärmesonde aufgezeichnet werden können.

Die zunehmende Verbreitung von Erdwärmesonden (EWS) und Erdwärmesondenfeldern ist auf den stärker werdenden Umweltschutzgedanken und die größere Wirtschaftlichkeit von EWS gegenüber fossilen Energieträgern für Heizzwecke zurückzuführen. Der finanzielle Anreiz könnte sich durch optimierte Planung, Technologieentwicklung und

Materialverbesserungen der Erdwärmesondensysteme sogar noch steigern lassen. Dazu müssen die Schlüsselparameter in Ausführung und Betrieb dieser Anlagen identifiziert und optimiert werden. Aufgrund des Charakters der Energiequelle dieser Anlagen, die auf einer Nutzung der gespeicherten Energie im Untergrund basiert, sind die thermischen Eigenschaften von

Hinterfüllung und Gestein von besonderer Bedeutung. Insbesondere stellt die Wärmeleitfähigkeit λ einen Schlüsselparameter in der Planung für EWS dar, da ein ausreichender Nachschub von Energie aus dem Umfeld der EWS sichergestellt werden muss.

Bei definiertem Heizenergiebedarf und Jahresarbeitszahl erlauben hohe Wär-

meleitfähigkeitswerte (λ -Werte) des Umgebungsgesteins den Einbau von kürzeren Sonden, geringe λ -Werte benötigen hingegen größere Sondenlängen (Signorelli et al., 2007). Beispielsweise können zu hoch angesetzte λ -Werte in der Planungsphase zu starker Auskühlung und sogar zu Vereisungen um die Sonde während der Heizperiode führen.

Die Bestimmung der λ -Werte durch Labormessungen an Bohrproben sind häufig unzureichend, da sie die tatsächlichen Verhältnisse nicht repräsentativ wiedergeben. Unterschiedliche Gründe verursachen Abweichungen der aus Laboruntersuchungen bestimmten Werte zur effektiven Wärmeleitfähigkeit entlang einer EWS:

- lokale Effekte um ein Bohrloch durch die Bohrmassnahme selbst (z. B. Änderung der Gesteinsporosität),
- Messungen an Gesteinscuttings beinhalten eine relativ große Unsicherheit,
- makroskopische Verteilung der Gesteinseigenschaften (z. B. durch Foliation, Neigung, Heterogenitäten),
- Einfluss von Wasserströmung im Untergrund (z. B. Grundwasserbewegung in einzelnen Schichten).

Von Vorteil sind hier die direkten (in situ) Bohrlochmessungen, welche einen mittleren Wert über die EWS-Länge oder einen tiefenabhängigen λ -Wert bestimmen. Bei EWS ist der sogenannte Thermal Response Test (TRT) die am weitesten verbreitete In-situ-Messung. Während sich bei Einzelsonden eine solche In-situ-Messung nicht lohnt, spielt die Bestimmung der λ -Werte bei EWS-Feldern in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen eine große Rolle. Hier können durch eine Optimierung der EWS-Längen große Kosteneinsparungen erzielt werden.

Thermal Response Test

Die Thermal Response Tests (TRT) zur Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes werden in betriebsbereiten Erdwärmesonden durchgeführt. Diese Messmethode wurde zuerst von Morgensen (1983) vorgeschlagen und basiert auf einem „Linienquellen-Modell“ mit unend-

licher Ausdehnung. Erste mobile Anlagen wurden in Schweden (Eklöf und Gehlin, 1996) und in den USA (Austin, 1998) erstellt. Die Methode wurde in der Folge fortwährend verbessert und ist nun in vielen Ländern verbreitet (Gehlin, 2002). Eine typische Anlage wird in **Abbildung 1** gezeigt. Die Methode sieht vor, ein mit konstanter Heizleistung erwärmtes Fluid durch eine betriebsbereite EWS zu zirkulieren und die Temperatur des Ein- und Auslasspunktes zu messen. (z. B. Eugster und Laloui, 2002). Die Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit basiert auf einer Interpretation des aufgezeichneten Temperaturverlaufes.

Integraler Response Test

Das Ziel des integralen Response Tests ist die Bestimmung der durchschnittlichen Wärmeleitfähigkeit des Bodens für die gesamte Länge der EWS. Dazu werden die Temperaturen des geförderten (T_1) und des verpressten Fluids (T_2) gemittelt.

$$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Nach der Linienquellen-Theorie (Carslaw und Jaeger, 1959) lässt sich die integrale Wärmeleitfähigkeit λ_{LQ} gemäß folgender Gleichung bestimmen:

$$\lambda_{LQ} = \frac{q}{4\pi} \cdot \frac{\ln(t_2) - \ln(t_1)}{T(t_2) - T(t_1)}$$

mit t_1, t_2 den Zeitpunkten einer Bestimmung von \bar{T}, q der spezifischen TRT-Leistung (Leistung pro Meter EWS Länge). In der Praxis wird λ_{LQ} bestimmt, indem man die Temperatur über den Logarithmus der Zeit t aufträgt.

Grenzen des integralen Response Tests

Die Auswertung eines Response Tests nach der Linienquellen-Theorie setzt eine Reihe von Vereinfachungen voraus. Dies sind:

- homogene thermische Gesteinseigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärmekapazität) im Untergrund,
- zeitlich konstante Zirkulationsrate bzw. TRT-Leistung,

- konstante Bodentemperatur,
- keine Grundwasserströmung.

Die Realität weicht von diesen Vereinfachungen oft stark ab. Im Falle komplexer geologischer Strukturen kann die mit der Linienquellen-Theorie berechnete effektive Wärmeleitfähigkeit λ_{LQ} vom realen Mittelwert der Wärmeleitfähigkeit der geologischen Schichten entlang der EWS-Bohrung um bis zu 20 Prozent abweichen.

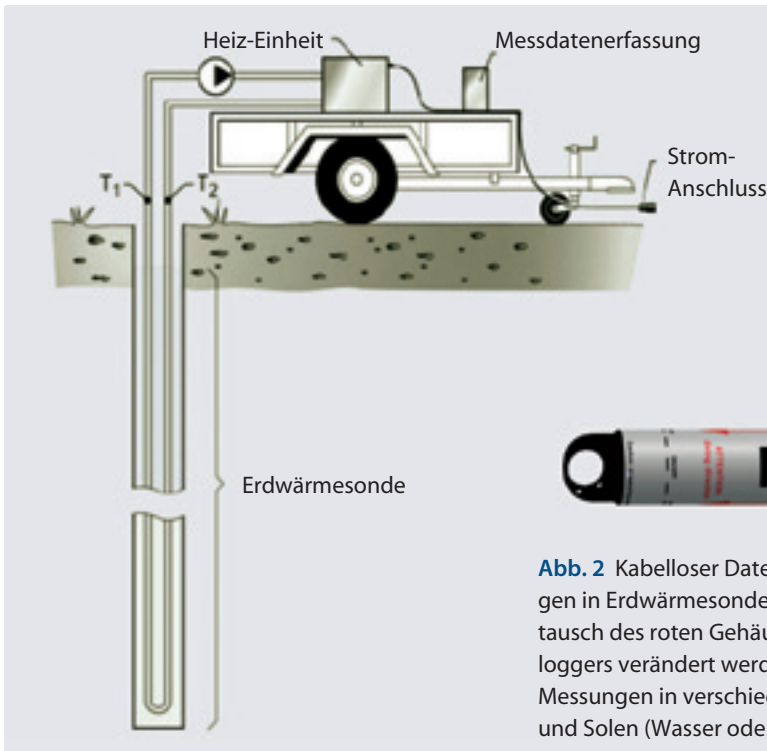
Falls die genannten Annahmen nicht zutreffen, kann die Auswertung von Response Tests zu falschen Ergebnissen und daher im ungünstigsten Fall zu einer nicht ausreichend bemessenen Dimensionierung von EWS-Anlagen führen.

Die Einschränkungen der Linienquellen-Theorie lassen sich nur mithilfe numerischer Simulation überwinden, indem die EWS, die Hinterfüllung und der Untergrund in einem realitätsnahen 3D-Modell modelliert werden. Mit solchen Modellen lassen sich auch gerätebedingte Schwankungen der Zirkulationsrate und TRT-Leistung oder Veränderungen der Bodenoberflächentemperatur mit berücksichtigen.

Die numerische 3D-Simulation von Response Tests für eine umfassende Untersuchung der Einschränkungen der Linienquellen-Theorie wurde erstmals von Signorelli (2004) unternommen. In Signorelli (2004) wurde insbesondere das für die Auswertung eines TRT nach der Linienquellen-Theorie geeignete, möglichst kurze Zeitintervall untersucht. Die Wahl des „richtigen“ Zeitintervalls ist Gegenstand einer intensiven Debatte. So gibt es Empfehlungen für eine Dauer von 60 Stunden (Gehlin, 1998), 50 Stunden (Austin et al., 2000) über 30 Stunden (Gehlin und Hellström, 2003) und 12 bis 20 ▶



Humboldtstr. 2/1 · 71272 Renningen
 Tel.: (07031) 466401 · Fax: 467751
 www.gungl-gmbh.de · info@gungl-gmbh.de



◀ **Abb. 1** Schematische Darstellung einer TRT Anlage (nach Gehlin, 2002). Hier kennzeichnet T1 die Temperatur des geförderten Fluids und T2 die Temperatur des verpressten Fluids.

Abb. 2 Kabelloser Datenlogger NIMO-T für Druck- und Temperaturmessungen in Erdwärmesonden (Länge: 219 mm, Durchmesser: 23 mm). Durch Austausch des roten Gehäusekopfes kann das spezifische Gewicht des Datenloggers verändert werden. Damit kann die Sinkgeschwindigkeit für Messungen in verschiedene EWS-Rohrdurchmesser (f = 32 mm, f = 40 mm) und Solen (Wasser oder Wasser/Glykol-Gemisch) angepasst werden.

Stunden (Smith und Perry, 1999). Die numerischen Simulationen von TRT von Signorelli (2004) erweitern diese Debatte um die Frage, ab welchem Zeitpunkt t_0 die Auswertung beginnen sollte. Hierzu wurde ein numerisches Modell mit einer konstanten Wärmeleitfähigkeit herangezogen, das einen TRT simuliert, dessen Ergebnisse dann mit der Linienquellen-Theorie ausgewertet wurde. Grundlage bildete eine thermische Berechnung über 200 Stunden. Im Ergebnis zeigt sich, dass kleine Zeiten t_0 zu einer starken Unterschätzung der mittleren Wärmeleitfähigkeit tendieren, während große t_0 zu Ergebnissen führen, die stark durch Messungenauigkeiten geprägt

sind. Bei einem t_0 von etwa 30 Stunden kann – bei homogenen Bedingungen – ein Fehler von weniger als 10 Prozent erreicht werden.

Erweiterter Response Test

Basierend auf der numerischen Simulation von Response Tests hat die GEOWATT AG ein neues Verfahren für die Durchführung und Auswertung von Response Tests entwickelt. Das neue Verfahren (GEOWATT EU Pat. 08033510.2-1266) kombiniert die numerische Simulation von Response Tests mittels realitätsnahen 3D-Modellen der EWS mit Messungen des vertikalen Temperaturprofils in der Erdwärmesonde. Am einfachsten wird das

Temperaturprofil in einer EWS mit dem kabellosen Datenlogger NIMO-T (GEOWATT EU Pat. 010 2004 026 381) gemessen. Die grundlegende Idee hierbei ist, dass durch Auswertung der mit NIMO-T gemessenen Temperatur-Tiefenprofile vor und nach einem Energieeintrag durch den TRT die vertikale Variation des radialen Wärmestroms analysiert werden kann. Daraus können temperaturrelevante Parameter (vorwiegend Wärmeleitfähigkeit und Massentransport, d. h. Grundwasserströmung) und ihre vertikale Veränderung berechnet werden. Aufgrund der Einbeziehung von Temperaturprofilmessungen in die Auswertung wird dieser Test „erweiterter TRT“, oder „eTRT“ genannt.

Das Banner zeigt das Logo 'TYFO' in einem blauen Rahmen. Darunter steht 'Sole für Erdwärmesysteme' in großen blauen Buchstaben. Unter dem Titel sind die Eigenschaften 'umweltverträglich – leicht biologisch abbaubar', die Basis ('- Basis Ethylenglykol', '- Basis Propylenglykol') und 'und glykolfreie Spezialsole' aufgelistet. Die Lieferform 'Konzentrat oder gebrauchsfertiges Gemisch' ist ebenfalls angegeben. Am unteren Rand sind die Kontaktdaten von TYFOROP CHEMIE GmbH in Hamburg angegeben.

Der kabellose Datenlogger NIMO-T (Abb. 2) ist eine spezielle Messsonde für Druck- und Temperaturmessungen in Erdwärmesonden. Der Einsatz von gewöhnlichen Messsonden, welche mit einem Datenkabel in Bohrungen eingelassen werden, ist in längeren EWS-Rohren nur unter Schwierigkeiten möglich. Da EWS meist um ihre Vertikalachse verdrillt sind, wird die Reibung des Datenkabels ab einer bestimmten Tiefe so groß, dass der Kabelfühler nicht mehr hochgezogen werden kann. Zudem verursacht die

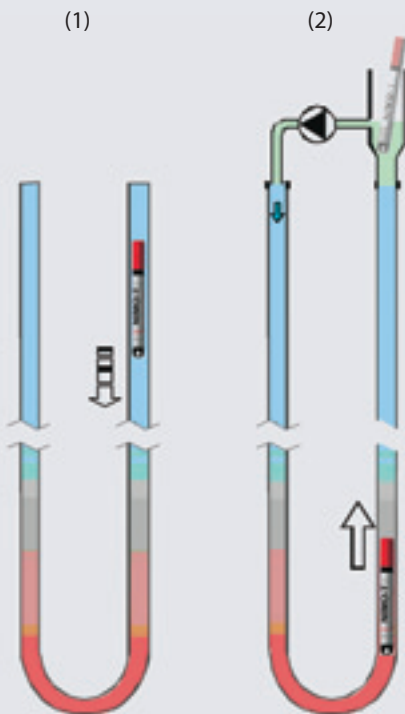


Abb. 3 Funktionsprinzip einer NIMO-T Messung in einer Erdwärmesonde: (1) Einföhren von NIMO-T in einen EWS-Kreislauf. NIMO-T sinkt mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,1 m/s zum tiefsten Punkt der Sonde. (2) Nachdem NIMO-T am tiefsten Punkt des U-Rohrs angekommen ist, wird er durch Einpumpen in das zweite Ende des U-Rohrs wieder an die Oberfläche gespült.



Abb. 4 TRT-Gerät der GEOWATT AG (0,83 m x 0,64 m x 0,61 m, 63 kg). Die Leistung kann stufenlos von 0 kW bis 10 kW eingestellt werden. Heizleistung und Zirkulation können unabhängig voneinander reguliert werden. Die Genauigkeit der elektrischen und hydraulischen Leistungsmessung beträgt 1 bzw. 1,5 Prozent.

Wasserverdrängung des Kabels eine Verschiebung der Wassersäule in der EWS und damit einen relevanten Messfehler. Daher wurde NIMO-T so konstruiert, dass die Messung autark ohne Verbindung zur Erdoberfläche durchgeführt werden kann. NIMO-T ist geringfügig schwerer als Wasser und sinkt daher mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von ca. 0,1 m/s zum Boden der Sonde hinab. Auf dem Weg zum tiefsten Punkt der EWS werden Druck und Temperatur in definierbaren Zeitintervallen von 2, 4, 6 oder 8 Sekunden gemessen. Die Messdaten werden intern gesichert. Nachdem NIMO-T am tiefsten Punkt des U-Rohrs angekommen ist, wird er durch Einpumpen in das

zweite Ende des U-Rohrs wieder an die Oberfläche gespült. Dabei kann eine Fangvorrichtung verwendet werden. In **Abbildung 3** ist der Ablauf solch einer Temperaturmessung in dem U-Kreislauf einer EWS skizziert. Wegen des kurzen Messzeitintervalls liefert NIMO-T ein praktisch kontinuierliches Temperatur-Tiefenprofil.

Bei der Ausführung des eTRT wird zuerst das ungestörte Temperaturprofil $T_1(z)$ als Funktion der Sondentiefe z mit NIMO-T gemessen. Mithilfe dieser Temperaturdaten werden u. a. die Anfangsbedingungen eines numerischen 3D-Modells für die später folgende Simulation des TRT definiert. Nach der

Messung von $T_1(z)$ wird mit einem TRT-Gerät Wärme in den Untergrund nach der klassischen TRT-Methode injiziert. Dabei kann die Versuchszeit auf weniger als 100 Stunden begrenzt werden. Nach Abschalten des TRT erfolgen während der Regeneration der Bodentemperatur nach 24 bzw. 48 Stunden zwei weitere Temperaturprofilmessungen $T_2(z)$ bzw. $T_3(z)$

Bei der Auswertung des TRT werden die mit einem numerischen 3D-Modell simulierten vertikalen Temperaturprofile $T_2(z)$ und $T_3(z)$ mit den gemessenen Temperaturprofilen zur Deckung gebracht. Die Optimierungsparameter sind die thermischen Gesteinsei- ▶



pro KÜHLSOLE GmbH
Maurerstraße 46
D-52477 Alsdorf

www.glykol.info

GLYKOSOL N

...die Sole für Erdsonden, Wärmepumpen, Heizungs-, Kälte- und Klimasysteme

GLYKOSOL N

Damit Sie flüßig bleiben!



Wie tief Sie auch bohren, GLYKOSOL N geht mit!

Info-Ruf: +49 2404 / 67 65-0

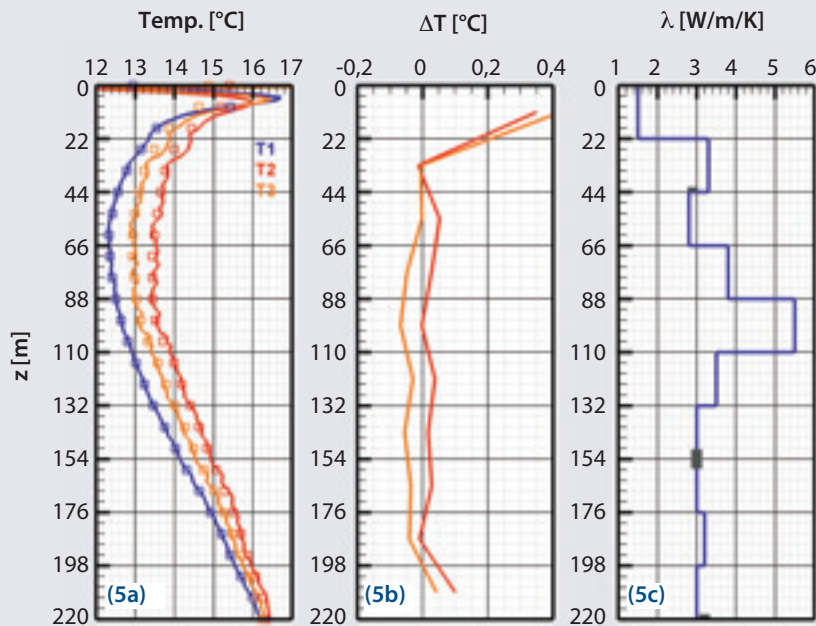


Abb. 5 (a) Temperatur-Tiefenprofile, gemessen vor Start des TRT (T1), einen Tag (T2) bzw. drei Tage (T3) nach Abschalten des Response Tests. Die Symbole stellen die simulierten Temperaturen dar. (b) Differenz zwischen simulierten und gemessenen Temperaturen. (c) Wärmeleitfähigkeitsmodell, mit dem die beste Übereinstimmung zwischen Temperaturmessung und Simulation erzielt wurde. Die Symbole kennzeichnen Messwerte.

genschaften und die Grundwasserströmung in verschiedenen Schichten des Modells. Aus den Berechnungen folgt somit eine vertikale Auflösung thermischer Gesteinseigenschaften.

Beispiel für eine eTRT-Auswertung

Die GEOWATT AG hat für die Durchführung von erweiterten Response Tests ein eigenes TRT-Gerät entwickelt (Abb. 4). Dieses Gerät ist sehr kompakt (0,83 x 0,64 x 0,61 m, 63 kg) und kann daher auch auf schwer zugänglichen Baustellen installiert werden. Die Datenaufzeichnung erfolgt vollautomatisch. Der TRT ist mit einem Mobiltelefonnetz-Modem ausgerüstet. Die Steuerung des TRT, die Kontrolle aller Parameter und die Sicherung der Daten kann jederzeit durch Einloggen in den Computer des TRT über die Internetseite des Mobilfunk-Providers und von jedem beliebigen externen PC aus erfolgen.

In **Abbildung 5** ist ein Beispiel für eine eTRT-Messung und deren Auswertung gezeigt. Der Test wurde im Oktober 2007 im Raum Zürich an einer 220 Meter tiefen EWS durchgeführt. Die mittlere Leistung des TRT betrug 4.600 W bei einer EWS-Temperaturdifferenz

von 2,0 K. Der Test dauerte 92 Stunden. Nach Ablauf des TRT wurde die Regeneration der Bodentemperatur mit NIMO-T gemessen. In **Abbildung 5a** sind die drei im Zusammenhang mit der eTRT-Methode gemessenen Temperatur-Tiefenprofile dargestellt: T1(z) wurde unmittelbar vor Beginn des TRT gemessen und stellt die ungestörte Bodentemperatur dar. Die Temperaturprofile T2(z) und T3(z) wurden 24 Stunden bzw. 70 Stunden nach Abschalten des TRT gemessen.

Die Symbole in **Abbildung 5a** kennzeichnen die mit einem 3D-FE-Modell simulierten Temperaturen. Die simulierten Temperaturprofile fallen praktisch exakt mit den gemessenen Daten zusammen. Nur in den obersten Schichten des Modells bis in etwa 30 Meter Tiefe fallen Abweichungen zwischen simulierten und gemessenen Werten auf. Der Unterschied ist in **Abbildung 5b** verdeutlicht, wo die absoluten Differenzen dargestellt sind. Diese Unterschiede entstehen, da das FE-Modell aufgrund seines Gitterabstandes den durch die Jahreszeiten verursachten Temperaturverlauf bis in etwa 15 Meter Tiefe nicht präzise genug darstellen kann.

Bei der Auswertung des eTRT wird versucht, die Temperaturdifferenzen in **Abbildung 5b** durch Variation der thermischen Gesteinseigenschaften in verschiedenen Tiefen zu minimieren. **Abbildung 5c** zeigt das Wärmeleitfähigkeitsmodell, mit dem die beste Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung erzielt wurde. Die durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit beträgt $3,3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Auffällig im Ergebnis ist eine hohe Wärmeleitfähigkeit von über $5 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ in einer Schicht von 88 Meter bis 110 Meter. Dieser hohe Wert wird durch die Grundwasserströmung in diesem Abschnitt verursacht, welche bereits bei der EWS-Bohrung qualitativ festgestellt wurde.

Dieses Ergebnis stellt anschaulich dar, wie das Ergebnis einer TRT-Messung durch die Strömung von Grundwasser beeinflusst wird. Bei Großbaustellen, wo im Untergrund ein Grundwasserströmung durch Grundwasserhaltung verursacht wird, kann der eTRT die dadurch betroffenen Schichten identifizieren. Diese weisen eine viel zu hohe scheinbare Wärmeleitfähigkeit auf, die in der Auslegung des EWS-Feldes nicht berücksichtigt werden darf. Damit erhöht ein eTRT die Planungssicherheit unter solchen erschwerten Bedingungen.

Weitere Einsatzgebiete für NIMO-T

Der Einsatz von NIMO-T kann auch ohne die Durchführung eines TRT wertvolle Parameter für die Dimensionierung von EWS-Anlagen liefern. Mithilfe der NIMO-T Messung können wichtige Eingangsparameter für Planungstools wie beispielsweise EED (BLOCON Sweden; www.building-physics.com/earth1.htm) oder EWS (Huber Energietechnik, AG; www.he-tag.ch/) gewonnen werden. Diese Tools verlangen z. B. die Angabe einer mittleren Bodentemperatur, die durch Integration der NIMO-T Messung leicht berechnet werden kann. Die genaue Kenntnis der ungestörten Bodentemperatur bzw. des Mittelwertes der Bodentemperatur ist insbesondere für die Dimensionierung von EWS-Anlagen für direktes Kühlen von großer Bedeutung.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Qualitätskontrolle bei der Installation von EWS. Die Messung der Sondentemperatur während des Aushärtens der Zementsuspension kann wichtige Hinweise auf partiell fehlende Hinterfüllung liefern. Hierfür sind mehrere Messungen mit NIMO-T in Abständen von etwa 24 Stunden unmittelbar nach der Installation der EWS nötig. Bei Arteseraustritt kann der Eintritt von Grundwasser in den Ringraum bestimmt werden und damit die Sanierung wesentlich sicherer und effizienter gestaltet werden

Zusammenfassung

Das neue eTRT-Verfahren der GEOWATT AG stellt eine wesentliche Erweiterung von Thermal Response Tests mit der Möglichkeit zur Bestimmung der vertikalen Variation von thermischen Gesteinseigenschaften dar. Als wesentlicher Bestandteil der Methode kommt der kabellose Datenlogger NIMO-T zum Einsatz. Durch Auswertung der mit NIMO-T gemessenen Temperatur-Tiefenprofile in der EWS vor und nach einem Energieeintrag durch den TRT ist es möglich, den radialen Wärmestroms zu analysieren und temperaturrelevante Parameter (Wärmeleitfähigkeit und Grundwasserströmung) und ihre vertikale Veränderung zu berechnen.

Literatur

- Austin, W. A., 1998. Development of an in situ system for measuring ground thermal properties. MS Thesis, Oklahoma State University, Stillwater, OK, USA, 177 pp.
- Austin, W. A., Yavuzturk, C., Spittler, J. D., 2000. Development of an in situ system for measuring ground thermal properties. ASHRAE Trans. 106, 356 – 379.
- Carslaw, H. S., Jaeger, J. C., 1959. Conduction of Heat in Solids. Second ed., Oxford University Press, Oxford, Great Britain, 510 pp.
- Eklöf, C., Gehlin, S., 1996. TED – A mobile equipment for thermal response tests. Master of Science Thesis 1996:198E, Lulea University of Technology, Sweden, 63 pp.
- Eugster, W. J., Laloui, L., 2002. Workshop: Geothermische Response Tests – Tests de Réponse Géothermique. Proceedings of the workshop, W. J. Eugster, L. Laloui (Eds). Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, Switzerland, Oct. 2001, 132 pp. ISBN 3-932570-43-X.
- Gehlin, S., 1998. Thermal Response Tests – In-Situ Measurements of Thermal Properties in Hard Rocks. Licentiate Thesis 1998: 37, Lulea University of Technology, Sweden. 73 pp.
- Gehlin, S., 2002. Thermal response test – Method development and evaluation. Doctoral Thesis 2002:39, Lulea University of Technology, Sweden, 191 pp.
- Kohl, T., Hopkirk, R. J., 1995. „FRACTure“ - a simulation code for forced fluid flow and transport in fractured porous rock. Geothermics 24, 345-359.

- Gehlin, S., Hellström, G., 2003. Comparison of four models for thermal response test evaluation. ASHRAE Trans. 109, 1 – 12.
- Signorelli, S., 2004. Geoscientific investigations for the use of shallow low-enthalpy systems. PhD thesis ETH No. 15519, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, p. 159. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=diss&nr=15519>
- Signorelli, S., Bassetti S., Pahud D., Kohl T., 2007, Numerical evaluation of thermal response tests, Geothermics 36, 141–166
- Smith, M., Perry, R. 1999. In situ testing and thermal conductivity testing. Proc. of The 1999 GeoExchange technical Conference and Expo, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, May 16-19.

Alle Abbildungen: GEOWATT AG, außer Abbildung 1: Gehlin 2002

Autoren:

Silkanny Forrer
 Dr. Thomas Mégel
 Ernst Rohner
 Dr. Roland Wagner
 GEOWATT AG
 Dohlenweg 28
 CH-8050 Zürich
 Tel.: 0041 (0)44 242-1454
 Fax: 0041 (0)44 242-1458

E-Mail: wagner@geowatt.ch
 Internet: www.geowatt.ch



Finden statt suchen:
www.bbr-online.de

ROTOMAX XL-GTC
erstklassig für Geothermie & Brunnen
 innovative Bohranlagen bis 200 m Bohrtiefe
 CAD konstruiert funktionell kompakt stark

Geotec
 Bohrtechnik GmbH
www.geotec-bohrtechnik.de 02596 97000

ERDWÄRMESONDEN

- Sonden DN 32 (PE 100 SDR 11 PN 16) mit 2 Kreisläufen und 4 Sonderrohren fertig verschweißt
- Das Verschweißen der Muffen mit Rohren und Sondenkopf wird werkseitig druckgeprüft und protokolliert
- Zusätzlich werden die Sonden fremdüberwacht und geprüft



50 m / Euro 237,-
 60 m / Euro 259,-
 70 m / Euro 281,-
 80 m / Euro 303,-
 90 m / Euro 325,-
 100 m / Euro 347,-
 110 m / Euro 369,-
 120 m / Euro 391,-
 130 m / Euro 413,-
 140 m / Euro 435,-
 Y-Stück 32/32/40
 Euro 11,-

Alle Preise ab Werk, zzgl. MwSt.



Tel.: 07024/929242
 Fax: 07024/929244
 Neuffenstraße 78
 D 73240 Wendlingen

COLSHORN
 Brunnenbauzubehör und Gußzeugnisse