

## Erfahrungen mit kommerziell durchgeführten Thermal Response Tests in Deutschland

Erich Mands & Burkhard Sanner\*

Seit Sommer 1999 führt die UBeG GbR als eines der ersten Unternehmen in Europa kommerziell die Bestimmung der thermischen Eigenschaften des Untergrundes mithilfe des Thermal Response Test aus (SANNER et al., 1999). An den mittlerweile knapp 20 Meßstandorten konnten viele Erfahrungen gesammelt und das Gerät wie auch die Verfahrensweisen optimiert werden. Die Ergebnisse dienen jeweils zur Planung und Auslegung von größeren Erdwärmesondenanlagen.

### Meßapparatur

Für die mobile Durchführung von Thermal Response Tests wurde durch die UBeG GbR in Wetzlar eine Meßapparatur entwickelt und gebaut, die auf weltweiten Arbeiten im Rahmen der Annex 12 und Annex 13 des Energiespeicherprogramms der Internationalen Energieagentur IEA basiert. Der Grundaufbau ist in Abb. 1 dargestellt.

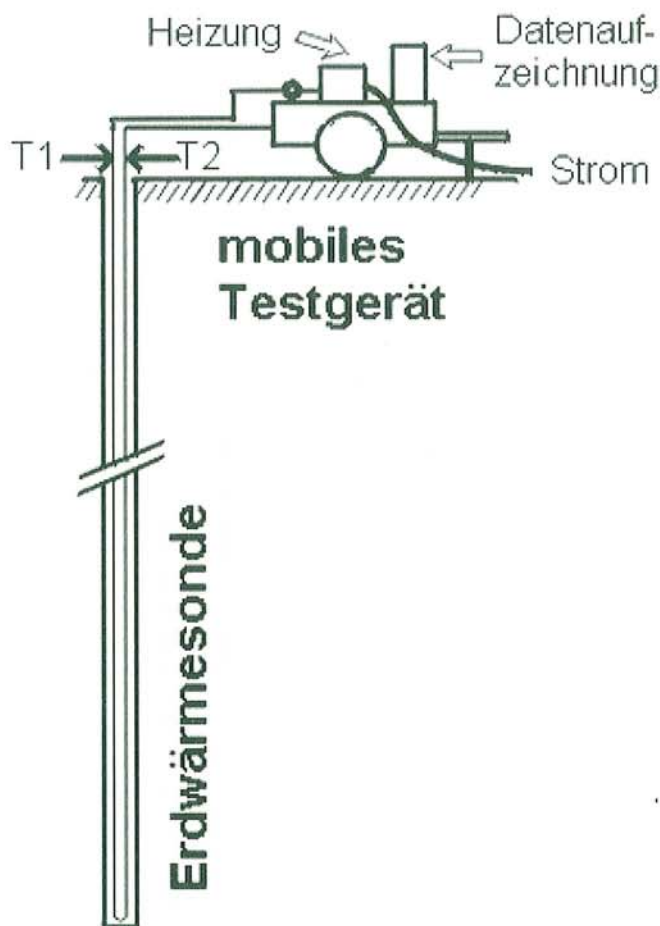


Abb. 1: Schema eines mobilen Aufbaus für den Thermal Response Test (Zeichnung UBeG)

Die Apparatur ist in einem Pkw-Anhänger untergebracht (Abb. 2). Der Anhänger wird möglichst nahe an die zu messende Erdwärmesonde herangebracht und der Heizkreislauf an diese angeschlossen. Als besonders wichtig hat sich dabei eine gute Isolierung der Anschlußschläuche sowie eine sorgfältige Entlüftung des Erdwärmesondenkreislaufs erwiesen. Es hat sich nach den ersten Versuchen gezeigt, daß zur Überwachung eine Fernabfrage der Meßdaten wünschenswert ist. Dadurch lassen sich unnötige, kostspielige Anfahrten eines Spezialisten bei längeren Meßzeiträumen vermeiden.

# GRUNDAG

## Energie aus dem Erdreich mit Grundag- Duplex-Erdwärmesonden®



**Wir senden Ihnen  
gerne unsere  
Dokumentation!**

**Grundag AG** CH-9014 St.Gallen  
Tiefbohrungen Telefon (+41) 071 274 23 74  
Telefax (+41) 071 274 23 84  
www.grundag.ch  
grundag@stutz-gruppe.ch





Abb. 2: Anhänger mit Gerät für Thermal Response Test im Einsatz

### Versuchsdurchführung

Ein wichtiger Faktor bei der Versuchsdurchführung ist die Versuchsdauer und die angestrebte Versuchstemperatur. Dabei sollte der Meßzeitraum mindestens etwa 48 Stunden betragen, bei stärkeren Schwankungen in der Netzspannung/Wärmeleistung (sichtbar in regelmäßigen Temperaturschwankungen) auch länger. Als Meßtemperatur sollte man versuchen, der im späteren Anlagenbetrieb geplanten Temperaturänderung nahezukommen (bei Wärmepumpen also 10-15 K). Auch ist eine zu starke Abweichung von der späteren Betriebstemperatur nicht erwünscht, da die thermischen Eigenschaften der Gesteine temperaturabhängig sind. Tab. 1 führt grundlegende Daten einiger Responsetests auf. In den meisten Fällen stand für die Versuchsdurchführung die Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz zur Verfügung, jedoch mußte auch schon mit Strom aus einem Diesellaggregat gearbeitet werden.

lfd. Nr.	Versuchsdauer	Untergrundtemperatur	Wärmeeinleitung	Bohrlochtiefe	Bohrlochdurchmesser	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{eff}}$	Therm. Bohrl.-widerstand $r_b$
1	68,6 h	11,6 °C	4,43 kW	91 m	146 mm	2,7 W/m/K	0,10 K/(W/m)
2	88,7 h	11,6 °C	2,63 kW	26 m	160 mm	3,1 W/m/K	0,10 K/(W/m)
3	47,3 h	11,9 °C	6,36 kW	117 m	200 mm	2,0 W/m/K	0,12 K/(W/m)
4	69,3 h	12,6 °C	5,17 kW	100 m	180 mm	2,3 W/m/K	* 0,08 K/(W/m)
5	50,2 h	12,2 °C	4,90 kW	99 m	150 mm	2,8 W/m/K	0,11 K/(W/m)
6	94 h	11,9 °C	3,40 kW	70 m	160 mm	2,3 W/m/K	* 0,08 K/(W/m)
7	70,3 h	11,4 °C	3,50 kW	70 m	150 mm	2,2 W/m/K	* 0,07 K/(W/m)
8	90,5 h	11,2 °C	4,36 kW	92 m	150 mm	2,5 W/m/K	0,12 K/(W/m)
9	71,8 h	12,5 °C	1,80 kW	30,5 m	150 mm	2,5 W/m/K	0,13 K/(W/m)
10	48,8 h	10,5 °C	4,51 kW	59,5 m	200 mm	4,0 W/m/K	* 0,08 K/(W/m)
11	66,3 h	12,4 °C	3,35 kW	75 m	194 mm	1,5 W/m/K	0,11 K/(W/m)
12	90,5 h	13,7 °C	4,95 kW	99,3 m	324/180 mm	3,4 W/m/K	* 0,06 K/(W/m)

\* Verfüllung mit thermisch verbessertem Verpressmaterial „Stüwatherm

Tab. 1: Versuchsdauer; weitere Daten und Ergebnisse einiger ausgewählter Thermal Response Tests von UBeG GbR

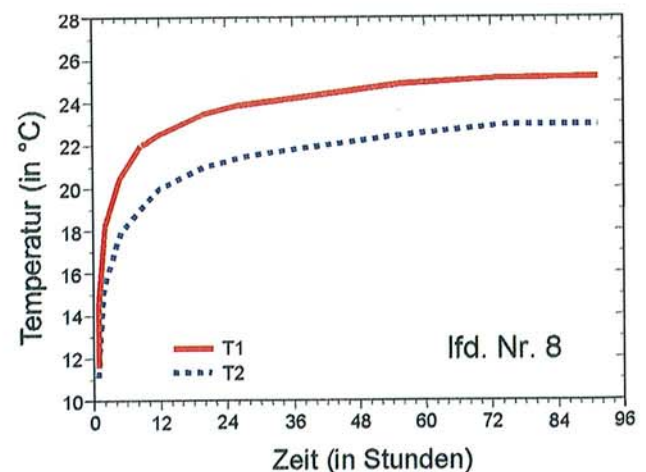
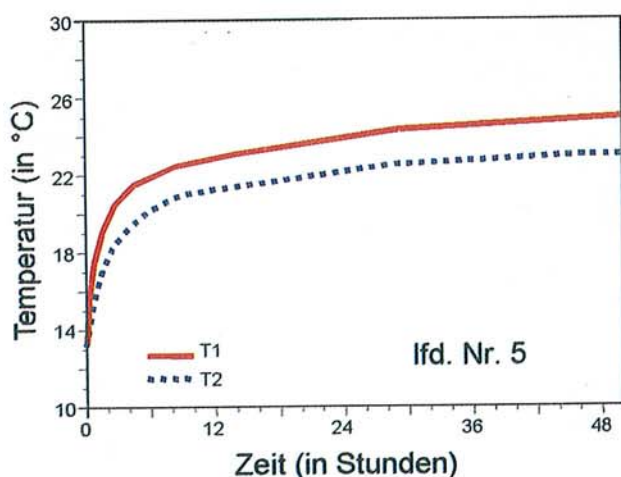


Abb. 3: Temperaturkurven für Eintritts- (T1) und Austrittstemperaturen (T2) an der Erdwärmesonde für zwei typische Response Tests (die Messung mit der lfd. Nr. 5, bezogen auf Tab. 1, ist der erste in der Praxis ausgeführte Test von Sommer 1999)



**Versuchsauswertung**

Für die Auswertung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Wegen seiner Einfachheit eignet sich das von EKLÖF & GEHLIN (1996) beschriebene, aus der KELVIN'schen Linienquellentheorie abgeleitete Verfahren besonders für den kommerziellen Einsatz. Durch ausreichende Meßdauer und die sich damit ergebende statistische Eliminierung von Meßungenauigkeiten, Leistungsschwankungen etc. lassen sich auch mit dieser einfachen Methode genaue und reproduzierbare Ergebnisse erhalten. In Tab. 1 sind die Ergebnisse ausgewählter Tests zu sehen.

**Beispiel Flugsicherung Langen**

Einige erläuternde Worte zu den Tests mit der laufenden Nr. 5 - 7 in Tab. 1 und dem zugehörigen Projekt sind nötig (ein weiterer Test wurde zu Vergleichszwecken durch Aetna GmbH / Wildau an diesem Standort durchgeführt, erbrachte aber wegen eines unbefugten Eingriffs von außen keine zweifelsfrei auswertbaren Daten). Bei Nr. 5 handelt es sich um den ersten praktischen Test im Gelände mit dem UBeG-Gerät im Sommer 1999. Er fand an einer Erdwärmesonde in einer knapp 100 m tiefen Probebohrung statt, die mit einer herkömmlichen Bentonit-Zement-Suspension verfüllt war, und diente der Planung einer großen Erdwärmesondenanlage zur Heizung und Kühlung für die neue Hauptverwaltung der Deutschen Flugsicherung (DFS) in Langen bei Frankfurt (Abb. 4 und Tab. 2; s.a. SEIDINGER et al., 2000)



Abb. 4: Neues Gebäude DFS Langen im Bau, während der Besichtigung durch eine Delegation des chinesischen Geothermiezentrums in Tianjin am 30.9.2001



Tab. 2: Gebäudedaten und Erdwärmesondenanlage DFS Langen

Gebäudevolumen gesamt	230'000 m <sup>3</sup>
Gesamtgebäudefläche	57'800 m <sup>2</sup>
gesamte zu heizende und kühlende Fläche	44'500 m <sup>2</sup>
Heizleistung aus Erdwärmesonden	340 kW
Kühlleistung aus Erdwärmesonden	330 kW
Anzahl Erdwärmesonden	154
Tiefe Erdwärmesonden	70 m

Nach der Anlagenplanung wurde die Bohrtiefe auf 70 m reduziert und eine Verfüllung mit einem thermisch verbesserten Verpressmaterial eingesetzt. Die Versuche lfd. Nr. 6 und 7 fanden an zwei dieser Erdwärmesonden statt. Dabei zeigte sich eine geringere Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, die vermutlich auf mehr schluffige und weniger sandige Anteile im Bohrprofil zurückgeht, aber auch ein deutlich verringerter thermischer Bohrlochwiderstand durch die andere Verfüllung (s. Tab. 1; dadurch wird auch die Wirksamkeit solcher verbesserter Verfüllmaterialien bestätigt).

**Ungewöhnliche Versuchsergebnisse**

Bei zwei Responsetests ergaben sich ungewöhnliche Verläufe der Meßkurven (Abb. 5). Nach einem kurzen, steilen Anstieg blieb die Temperatur über den Meßzeitraum hinweg weitgehend stabil. Bei der Messung zeigte sich nach einer Erhöhung der Wärmeleistung nochmals der gleiche Verlauf, nun auf höherem Niveau.

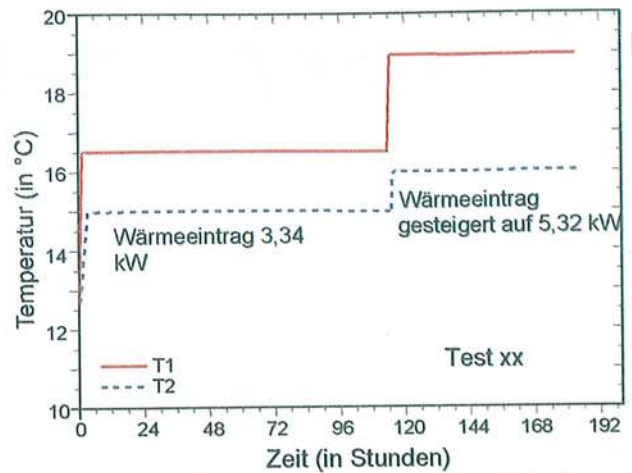


Abb. 5 Responsetest-Meßkurve mit ungewöhnlichem Verlauf

Als Erklärung konnte für den Test xx festgestellt werden, daß im Bohrprotokoll bei ca. 80 m Tiefe ein starker, artesischer Grundwasserzutritt verzeichnet war, das Bohrloch aber dennoch nur mit Sand/Kies verfüllt und lediglich in den obersten 20 m mit Ton abgedichtet wurde. Dieser Sondenausbau erfüllt allerdings nicht die Vorgaben von VDI 4640, Bl. 2. Dadurch ergibt sich vermutlich ein Grundwasserstrom, der von unten nach oben durch den Ringraum um die Erdwärmesonde herum strömt und unterhalb der Abdichtung in oberflächennahe Schichten abfließt. Ein solcher Grundwasserstrom hätte auf jeden Fall auf lange Strecke Kontakt mit den Sondenrohren und würde erhebliche Wärmemengen abführen können; wasserwirtschaftlich ist eine solche Situation natürlich nicht zu verantworten. Für den zweiten Standort mit untypischem Meßergebnis läßt sich aus den geologischen Gegebenheiten eine analoge Erklärung ableiten.

**Schlußfolgerungen**

Die kommerzielle Durchführung von Thermal Response Tests als Planungsinstrument für Erdwärmesondenanlagen hat sich bewährt. Durch die genaue Kenntnis der thermischen Untergrundeigenschaften lassen sich die Anlagen ohne unnötige Sicherheiten, aber dennoch zuverlässig auslegen. Wirtschaftlich sinnvoll ist ein Responsetest für die Planung etwa ab 10 Erdwärmesonden von je 100 m Tiefe. Durch weitere Optimierung der Meßtechnik und verstärkte routinemäßige Durchführung und Auswertung dürften auch die Kosten für den Test noch sinken.

**Literatur**

- EKLÖF, C. & GEHLIN, S. (1996): TED - a mobile equipment for thermal response test. - 62 p., Master's thesis 1996:198E, Luleå University of Technology
- SANNER, B., REUSS, M. & MANDS, E. (1999): Thermal Response Test - eine Methode zur in-situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden. - Geothermische Energie 24/25, Geeste
- SEIDINGER, W., MORNHINWEG, H., MANDS, E. & SANNER, B. (2000): Deutsche Flugsicherung (DFS) baut Low Energy Office mit größter Erdwärmesondenanlage Deutschlands. - Geothermische Energie 28/29, Geeste

\*Dr. Erich Mands, UBeG GbR  
 Industriestr. 3, D-35580 Wetzlar  
<http://www.ubeg.de>

Dr. Burkhard Sanner  
 Institut für Angewandte Geowissenschaften  
 der Justus-Liebig-Universität  
 Diezstraße 15, D-35390 Gießen  
<http://www.uni-giessen.de/~gg1068/>