

Erfahrungen mit thermisch verbessertem Verpressmaterial für Erdwärmesonden

Geothermie ■ *Der Beitrag beleuchtet die Eigenschaften von eingesetzten Verpressmaterialien im Rahmen von Geothermiebohrungen, die Verarbeitung auf der Baustelle sowie den Nachweis der Verringerung des thermischen Bohrlochwiderstands durch „Thermal Response“-Tests.*

Die Anzahl erdgekoppelter Wärmepumpen in Deutschland dürfte die Zahl von 50.000 Anlagen längst überschritten haben. Den größten Anteil an Wärmequellen für diese Anlagen haben in den letzten Jahren die Erdwärmesonden eingenommen. Mit steigender Anlagenzahl, mit immer größeren und komplexeren Einzelanlagen, aber auch mit der Suche nach kostenoptimierten Lösungen im Massengeschäft, wird der Weiterentwicklung von Erdwärmesonden sowie deren korrekter Auslegung und Installation vermehrt Aufmerksamkeit zuteil. Anknüpfend an entsprechende Artikel in bbr 03/05 und 05/05 sollen nachfolgend weitere Überlegungen vorgestellt und Erfahrungen mit dem praktischen Einsatz von thermisch verbessertem Verpressmaterial weitergegeben werden.

Wärmetransport zu und von Erdwärmesonden

Bei geschlossenen Wärmetauschern im Untergrund (im Wesentlichen Erdwärmesonden) erfolgt der Transport von Wärme aus dem Gestein in das Wärmeträgerfluid und umgekehrt rein konduktiv, d. h. durch Wärmeleitung (teilweise Ausnahmen sind Konvektion in wassergefüllten Bohrlöchern wie in Skandinavien oder ein konvektiver Anteil am Wärmetransport im Gestein selbst durch natürlichen Grundwasserfluss). Die treibende Kraft für den Wärmetransport ist damit immer ein Temperaturunterschied. Damit Wärme aus dem Gestein durch die Erdwärmesonde in das Fluid übertritt, muss die Temperatur im Fluid niedriger liegen als im umgebenden Gestein.

Bei der gleichen Erdwärmesonde bedeutet dann ein größerer Temperaturunterschied eine höhere thermische Leistung. Bei offenen Systemen (Grundwasserbrunnen), bei denen der Transport des Wärmeträgers Grundwasser durch einen Druckunterschied (Pumpen) erfolgt, ist dieser dagegen von der Temperatur des Wärmeträgers abgekoppelt. Eine Leistungssteigerung bei Grundwasser-Wärmepumpen kann, soweit es der Aquifer zulässt, durch Erhöhen der Pumprate erfolgen; bei Erdwärmesonden ist dies nur durch eine niedrigere Temperatur des Wärmeträgerfluids möglich (bzw. durch eine höhere Temperatur im Fall der Wärmeinleitung in den Untergrund).

Da die minimalen Fluidtemperaturen in der Erdwärmesonde durch die mögliche Verdampfungstemperatur der Wärmepumpe vorgegeben sind, gibt es eine natürliche Grenze für den Temperaturunterschied Gestein/Fluid und damit für die Sondenleistung. Verbesserungen sind dann nur dadurch möglich, dass der Wärmeübergang vom Gestein in das Fluid erleichtert wird. Dabei sind zwei Bereiche zu unterscheiden:

- das umgebende Gestein um die Bohrung, einschließlich der darin enthaltenen Hohlräume (Poren), die mit Luft oder Wasser gefüllt sein können; dieser Bereich wird hauptsächlich durch die Wärmeleitfähigkeit bzw.

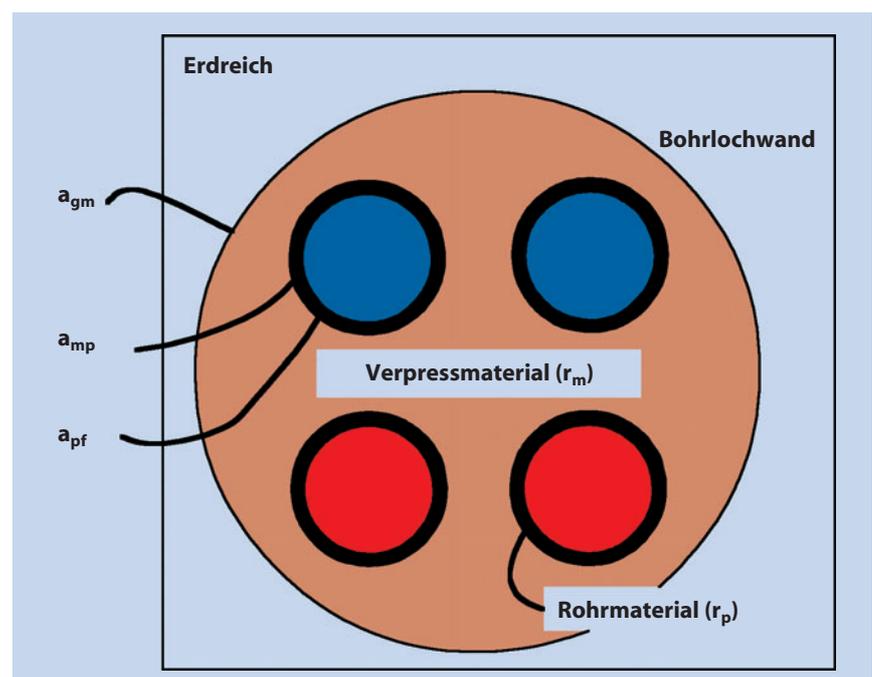


Abb. 1 Einzelne Einflussgrößen auf den thermischen Bohrlochwiderstand; a: Übergangswiderstände, r: Materialwiderstände

thermische Diffusivität (Temperaturleitfähigkeit) beschrieben und kann durch menschliches Eingreifen in der Regel nicht verändert werden.

- der künstliche Einbau innerhalb der Bohrung (**Abb. 1**), der mit dem nachfolgend besprochenen thermischen Bohrlochwiderstand beziffert und durch geeignete Wahl der Materialien optimal gestaltet werden kann.

Im Betrieb einer Erdwärmesondenanlage gibt es zudem auch zwei gut zu unterscheidende Auslegungszustände. Das eine ist die spontane Reaktion der Erdwärmesonde auf den Wärmeentzug (oder die Wärmeinleitung), besonders bei Betriebsbeginn. Bei der üblichen intermittierenden Betriebsweise erdgekoppelter Wärmepumpen kommt dieser Auslegungszustand regelmäßig immer wieder vor. Er wird vor allem durch den thermischen Bohrlochwiderstand und, zu Beginn einer Betriebsphase, durch die spezifische Wärmekapazität von Bohrlochverfüllung und direkt umgebendem Gestein bestimmt.

Der zweite Auslegungszustand ist die langfristige Temperaturänderung im Untergrund durch den Anlagenbetrieb über Jahre hinweg. Hier spielt nach einer gewissen Zeit nur noch die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins eine Rolle (gegebenenfalls als effektive Wärmeleitfähigkeit, d. h. einschließlich untergeordneter konvektiver Anteile am Wärmetransport). Die weitaus meisten erdgekoppelten Wärmepumpen arbeiten nur im Heizbetrieb und entziehen dem Untergrund damit lediglich Wärme. Nur wenn über mehrere Jahre hinweg nicht mehr Wärme aus dem Untergrund entzogen wird, als von allen Seiten durch den natürlichen Wärmetransport (also vor allem Wärmeleitung) nachgeliefert wird, ist hierbei ein langfristiger Anlagenbetrieb gewährleistet. Lediglich bei Anlagen zum Heizen und Kühlen, die einen weitgehend ausgeglichen Wärmeentzug und -eintrag im Verlauf der Jahre haben, spielt der natürliche Wärmetransport im weiter umgebenden Gestein keine Rolle.

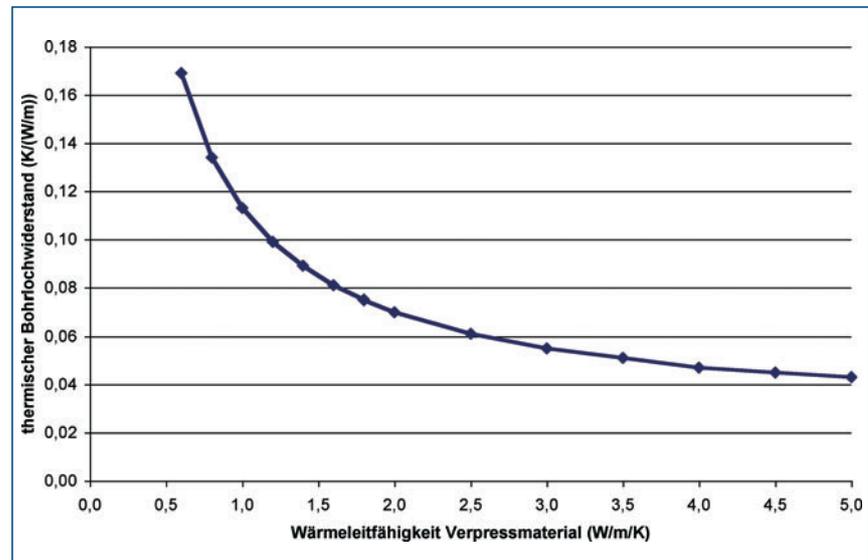
Neben einer reinen Wärmeleistung muss daher in der Regel auch die jährliche thermische Arbeit betrachtet wer-

den, die z. B. in Kilowattstunden pro Sondenmeter pro Jahr (kWh/m/a) ausgedrückt werden kann und zuerst in [1] beschrieben wurde. Richtigerweise nutzt z. B. auch die bekannte CD-ROM zur oberflächennahen Geothermie des Geologischen Dienstes diesen Parameter, hier prägnant als „Geothermische Ergiebigkeit“ bezeichnet.

Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstands

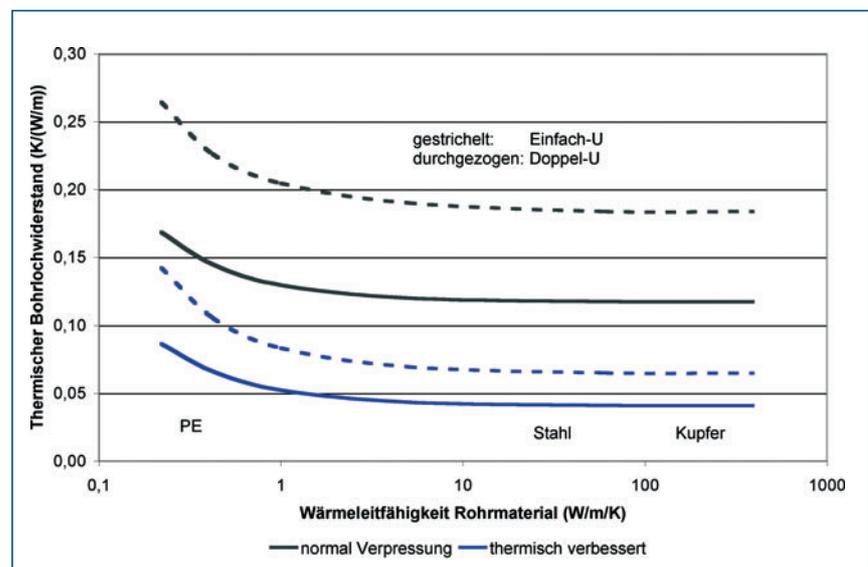
Eine genaue Berechnung des thermischen Bohrlochwiderstands muss nicht unbedingt durch numerische Simula-

tion erfolgen. Er kann auch mit analytischen Lösungen recht einfach berechnet werden. Dabei muss man nicht auf Vereinfachungen zurückgreifen wie bei [2], wo die Sondenrohre nur als ein einzelnes Rohr mit einem „Ersatz-Durchmesser“ repräsentiert sind (s. dazu auch entsprechende Formeln bei [3]), sondern man kann den Wert direkt für eine bestimmten Sondentyp ermitteln. Die relevanten Einflussgrößen sind in **Abbildung 1** zu sehen. Bereits in den frühen 90er-Jahren wurde an der Universität Lund in Schweden ein Programm namens RBORE



Quelle: Dr. Sanner

Abb. 2 Thermischer Bohrlochwiderstand gegen die Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials aufgetragen, berechnet mit EED, Bohrdurchmesser 150 Millimeter, Doppel-U-Sonde Rohrdurchmesser 32 Millimeter, Rohrmittenabstand 70 Millimeter



Quelle: Dr. Sanner

Abb. 3 Thermischer Bohrlochwiderstand gegen die Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials aufgetragen, berechnet mit EED, Bohrdurchmesser 150 Millimeter, Rohrdurchmesser 32 Millimeter, Rohrmittenabstand 70 Millimeter

Bauart der Erdwärmesonde	Wärmeleitfähigkeit Verpressmaterial λ	Thermischer Bohrlochwiderstand r_b nach [2] berechn. m. RBORE	
Einfach-U, PE 40 x 3,7 mm Bohrlochdurchmesser 140 mm	0,8 W/m/K 2,0 W/m/K	0,192 K/(W*m) 0,109 K/(W*m)	0,184 K/(W*m) 0,101 K/(W*m)
Einfach-U, PE 40 x 3,7 mm Bohrlochdurchmesser 120 mm	0,8 W/m/K 2,0 W/m/K	0,161 K/(W*m) 0,097 K/(W*m)	0,151 K/(W*m) 0,088 K/(W*m)
Doppel-U, PE 32 x 3,2 mm mittig 25 mm Verpressrohr	0,8 W/m/K 2,0 W/m/K	0,141 K/(W*m) 0,074 K/(W*m)	0,132 K/(W*m) 0,070 K/(W*m)
Doppel-U, PE 32 x 3,2 mm Abstandshalter 85 mm*	0,8 W/m/K 2,0 W/m/K	0,102 K/(W*m) 0,057 K/(W*m)	0,093 K/(W*m) 0,053 K/(W*m)

* Mittenabstand gegenüberliegender Rohre

Tabelle 1 Werte für r_b für verschiedene Erdwärmesonden-Konfigurationen nach [2] und nach Berechnung mit RBORE

entwickelt, mit dem diese Berechnung sehr einfach vonstatten geht. Der Algorithmus von RBORE ist heute als Modul für den thermischen Bohrlochwiderstand im Programm EED implementiert. In **Tabelle 1** sind die Ergebnisse der vereinfachten Berechnungen in [2] denen von genaueren Berechnungen mit RBORE gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die vereinfachte Berechnung bei [2] die Verhältnisse für die Praxis ausreichend genau wiedergeben kann.

Ähnliche Berechnungen wurden bereits im Jahr 2003 veröffentlicht [4] und sind hier in **Tabelle 2** aufgeführt. Man kann für die in **Tabelle 2** benutzte Sondenkonfiguration eine Kurve des thermischen Bohrlochwiderstands in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials ermitteln (**Abb. 2**). Daraus ist ersichtlich, dass bei steigenden Wärmeleitfähigkeiten deutlich über 2 W/m/K die Verbesserung des thermischen Bohrlochwiderstandes nur noch geringfügig ist. Ein sinnvolles Optimum zwischen dem Aufwand zur Erreichung einer hohen Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials und der Absenkung des thermi-

schen Bohrlochwiderstandes dürfte etwa bei 1,8 bis 2,0 W/m/K für das Material liegen.

Häufig wird die Frage nach dem Einfluss des Rohrmaterials gestellt. Müssten Sondenrohre aus Metall nicht effizienter sein? In **Abbildung 3** wird der thermische Bohrlochwiderstand gegen die Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials gezeigt. Es wird deutlich, dass eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials über einen Wert von etwa 1 bis 2 W/m/K hinaus nur noch wenig Veränderung bringt. Dies ist durch den relativ geringen Anteil des Rohrmaterials am gesamten thermischen Bohrlochwiderstand bedingt (**Abb. 1**). Ideal wäre also ein korrosionsfreier, gut zu verarbeitender Kunststoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von etwas über 1 W/m/K. Das heute hauptsächlich eingesetzte Polyethylen liegt knapp unter 0,5 W/m/K. Metalle wie Stahl oder Kupfer sind auf jeden Fall zu viel des Guten.

Messungen mit dem „Thermal Response“-Test

Die Methode des mobilen „Thermal Response“-Tests zur Messung der Wär-

meleitfähigkeit des Untergrunds wurde seit 1995 entwickelt, zuerst in Schweden und in den USA. Im Sommer 1999 gingen etwa zeitgleich die ersten Geräte in Deutschland in Betrieb (Fa. UBeG, Wetzlar und Landtechnik Weihenstephan, Freising; letzteres jetzt bei ZAE Bayern, Garching). Die erste Messung in Deutschland konnte für die Planung des Neubaus der Deutschen Flugsicherung in Langen am 20. August 1999 abgeschlossen werden. Eine Beschreibung der Entwicklung des „Thermal Response“-Tests findet sich bei [5], ein Überblick über den weltweiten Stand der Anwendung bei [6]; dort ist auch der Entwurf einer Richtlinie abgedruckt, die in einem Projekt der Internationalen Energie-Agentur IEA entwickelt wurde und die die Mindestanforderungen an derartige Messungen formuliert. Heute befinden sich mehrere Geräte in Deutschland im Einsatz, wobei Testdurchführung und -auswertung nach Kenntnis der Autoren nicht immer den Anforderungen des IEA-Vorschlags gerecht werden. In der laufenden Revision der relevanten Richtlinie VDI 4640 müssen daher auch Vorgaben zum „Thermal Response“-Test aufgenommen werden.

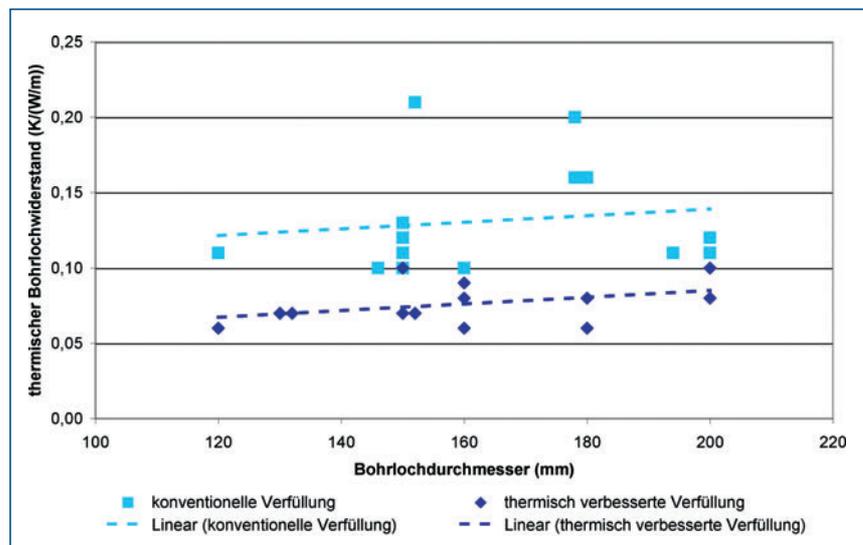
Seit Sommer 1999 wurden mit dem Gerät der Firma UBeG mehr als 50 Messungen an Erdwärmesonden in allen Regionen Deutschlands durchgeführt. Ein Teil dieser Erdwärmesonden war mit herkömmlichem Verpressmaterial verfüllt (i.d.R. Dämmen), ein mit der Zeit zunehmender Anteil mit thermisch verbessertem Material verschiedener Provenienz. Bei einigen Bohrungen war keine korrekte Verpressung

Bauart der Erdwärmesonde	Wärmeleitfähigkeit Verpressmaterial λ	Thermischer Bohrlochwiderstand r_b
Einfach-U, PE	0,8 W/m/K 1,8 W/m/K 2,0 W/m/K	0,196 K/(W*m) 0,112 K/(W*m) 0,105 K/(W*m)
Doppel-U, PE	0,8 W/m/K 1,8 W/m/K 2,0 W/m/K	0,134 K/(W*m) 0,075 K/(W*m) 0,070 K/(W*m)

Tabelle 2 Werte für r_b für unterschiedliche Verpressmaterialien (berechnet bei einem Bohrlochdurchmesser von 150 mm, Mittenabstand der Schenkel der U-Sondenrohre-70 mm, Rohrdurchmesser 32 mm), nach [4], ergänzt um die Werte für $\lambda = 2,0$ W/m/K

durchgeführt worden, in einzelnen Fällen konnte dies auch erst durch die Testergebnisse aufgedeckt werden. Bei insgesamt 31 Messungen bis zum Frühjahr 2005 war die Verpressung genau bekannt und auch offensichtlich sorgfältig durchgeführt worden.

Diese 31 Testergebnisse wurden nun daraufhin ausgewertet, ob sich auch in der Praxis ein signifikanter Unterschied im thermischen Bohrlochwiderstand r_b zwischen herkömmlichem und thermisch verbessertem Material nachweisen lässt. Da neben der Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials vor allem auch der Bohrlochdurchmesser einen erheblichen Einfluss auf den thermischen Bohrlochwiderstand hat, wurde in **Abbildung 4** der thermische Bohrlochwiderstand gegen den Bohrlochdurchmesser aufgetragen. Deutlich ist zu sehen, dass der thermische Bohrlochwiderstand bei beiden Typen von Verpressmaterial mit dem steigenden Bohrlochdurchmesser leicht



Quelle: Dr. Sanner

Abb. 4 Thermischer Bohrlochwiderstand aus „Thermal Response“-Tests für verschiedene Bohrlochdurchmesser: In den Jahren 2000 bis 2005 wurden 14 Mess-tests an Erdwärmesonden mit herkömmlicher Verpressung und 17 Tests an thermisch verbessertem Verpressmaterial durchgeführt. Unterschiedliche geologische Verhältnisse wurden dabei berücksichtigt.

ansteigt. Die Schwankungsbreite der Werte für r_b lässt sich durch weitere, nicht berücksichtigte Faktoren er-

klären wie Lage der Rohre im Bohrloch, Qualität der Verfüllung, Rohrdurchmesser und -material etc. ▶

UBeG
Umwelt Baugrund Geothermie Geotechnik

Heizung Datenaufzeichnung
Strom

mobiles Testgerät

Erfahrung und Kompetenz in Erdwärme

- Geologische Beratung
- Geothermische Machbarkeitsstudien
- Geothermal-Response-Test
- Temperaturmessungen
- Auslegungsberechnungen und Anlagenplanung
- Geothermische Simulationen
- Wasser- und bergrechtliche Beantragungen
- Bauüberwachung
- Monitoring

UBeG Dr. Mands & Dipl.-Geol. Sauer GbR
Umwelt - Baugrund - Geothermie - Geotechnik

Zum Boden 6 35580 Wetzlar
Tel.: 06441/2129-10 Fax: -11
Email: UBeG@UBeG.de www: UBeG.de

Erdwärmesonde

- **GEROTHERM®**
Erdwärmesonden / Verteiler in Norm- und Sonderausführungen
- **STÜWATHERM®**
hoch-wärmeleitfähiges Sondenverpressmaterial
- **STÜWAMIX®**
Bohrspülmittel
- **TIEFENGEOthermie**
Filter- und Steigleitungssysteme
- **Beratung zur Auslegung und Vermietung von Verpresspumpen, Sondenhaspeln, etc.**

STÜWA
BRUNNENFILTER
BOHRBEDARF

STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH
Hemmersweg 80 • D-33397 Rietberg (Varensell)
Tel.: 05244 / 407-0 • Fax: 05244 / 1670
Internet: www.stuewa.de
E-Mail: info@stuewa.de

Ausbaumaterial für GEOTHERMIE Profis



Abb. 5 Verpressung mit aus Deutschland geliefertem Verpressmaterial für die Erdwärmesonden-Versuchsanlage in Daejon, Südkorea



Abb. 6 Messung der Suspensionsdichte mittels Hydrometer



Abb. 7 Verpressung mittels Zwangsmischer und Exzentrerschneckenpumpe

Trotz der Schwankungsbreite lässt sich deutlich erkennen, dass Erdwärmesonden mit thermisch verbessertem Verpressmaterial auch in der Praxis einen erheblich geringeren thermischen Bohrlochwiderstand r_b aufweisen. Die meisten Messungen mit thermisch verbessertem Material ergeben Werte von $r_b = 0,06$ bis $0,08$ K/(W*m), mit zwei Ausreißern von $0,10$ K/(W*m); bei herkömmlichem Material liegt der Mittelwert je nach Bohrlochdurchmesser bei $0,12$ - $0,14$ K/(W*m), mit Maximalwerten von über $0,2$ K/(W*m). Dies passt sehr gut zu den Berechnungen aus **Tabellen 1 und 2**.

Die vorgenannten Ergebnisse werden auch aus dem Ausland bestätigt. So wurde mit deutscher Hilfe durch die koreanische Firma HP System Tech auf dem Gelände des Korean Electric Power Research Institute eine Erdwärmesonden-Versuchsanlage mit drei Bohrungen aufgebaut [7]. Die Verpressung von zwei Bohrungen mit aus Deutschland gelieferten Erdwärmesonden wurde mit einem deutschen Verpressmaterial auf Quarzbasis durchgeführt (**Abb. 5**). Die dritte Bohrung wurde mit einer koreanischen Erdwärmesonde und koreanischem Verpressmaterial ausgestattet, beides den deutschen Vorbildern in Korea nachempfunden. An allen drei Erdwärmesonden wurden Thermal Response Tests mit einem nach dem Vorbild von UBeG gebauten Gerät durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 3** aufgelistet, sie

Art der Erdwärmesonde	Thermischer Bohrlochwiderstand
BHE1 (deutsch, Doppel-U)	$r_b = 0,07$ K/(W*m)
BHE2 (deutsch, Einfach-U)	$r_b = 0,11$ K/(W*m)
BHE3 (koreanisch, Doppel-U)	$r_b = 0,08$ K/(W*m)

Tabelle 3 Ergebnisse der Thermal Response Tests an Erdwärmesonden in der Versuchsanlage in Daejon, Südkorea (nach [7])

passen sehr gut zu den Erfahrungen in Deutschland gemäß **Abbildung 4** und zu den Berechnungen der **Tabellen 1 und 2**.

Eigenschaften und Verarbeitung von thermisch verbessertem Verpressmaterial

Derzeit werden mehrere Verpressmaterialien angeboten, welche hinsichtlich ihrer Eigenschaften für den Bau von Erdwärmesondenanlagen optimiert wurden. Der wichtigste Aspekt ist dabei die Wärmeleitfähigkeit, welche nach den obigen Ergebnissen (**Abb. 2**) in der Regel 1,8 bis 2,0 W/m/K betragen sollte. Mit diesem Wert werden die meisten Bodenarten abgedeckt, da die Wärmeleitfähigkeit des Verpressmaterials auch nicht signifikant höher sein muss als die des umgebenden Gebirges. Die Hersteller bedienen sich entweder spezieller Zusätze (z. B. Graphit), um die Wärmeleitfähigkeit zu erhöhen, oder sie verwenden abgestufte Quarzsandgemische.

Auch zwischen Porenvolumen und Wärmeleitfähigkeit besteht ein Zusammenhang. So erreichen Proben mit einem geringen Porenvolumen eine höhere Wärmeleitfähigkeit. Das Porenvolumen kann durch eine abgestufte Kornverteilung reduziert werden.

Bei der Auswahl der Materialkomponenten ist besonders der Umweltaspekt zu berücksichtigen. Verwendete Ton- und Quarzsandgemische enthalten natürliche Inhaltsstoffe, die in der Regel grundwasserneutral sind. Für die verwendeten Zemente sollte die Unbedenklichkeit nachgewiesen werden. Es ist weiterhin sehr wichtig, dass das Verpressmaterial im ausgehärteten Zustand eine ausreichende Druckfestigkeit (mind. 1,0 N/mm²) erreicht, damit

ein stabiler Bauuntergrund entsteht und Setzungen vermieden werden.

Für das Bohrunternehmen ist es unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten von Bedeutung, dass der Verpressvorgang an einem Tag abgeschlossen werden kann. Suspensionen mit geringer Verpressdichte (z. B. 1,2 kg/dm³) besitzen ein relativ großes Wasser-Absetzmaß, welches unter Umständen dazu führen kann, dass am nächsten Tag nochmals nachverpresst werden muss. Weiterhin ist die Verpressdichte für die Pumpdrücke verantwortlich (**Abb. 6**). Deshalb ist es erforderlich, dass bei tiefen Bohrungen mehrstufig verpresst wird bzw. das Verpressrohr kontinuierlich gezogen wird.

Für die Verarbeitbarkeit auf der Baustelle ist es von Vorteil, wenn das Verpressmaterial schon als Fertigprodukt in „big bags“ oder als Sackware angeliefert wird. Dadurch werden Mischfehler unterbunden und die Mischzeit reduziert. Dies sollte für den Normalfall gelten. Bei großen Erdwärmesondenfeldern kann es unter Umständen kostengünstiger sein, wenn der Zement bauseits zugemischt wird. Die Verarbeitung auf der Baustelle geschieht z. B. mittels Zwangsmischer und Exzenter-schneckenpumpe (**Abb. 7**).

Zusammenfassung

Ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Leistung von Erdwärmesonden kann durch die Verminderung des thermischen Bohrlochwiderstands erreicht werden. Durch die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit der Bohrlochverfüllung sind hier deutliche Erfolge zu erzielen, die nicht nur durch theoretische Berechnungen, sondern auch durch Messungen in der Praxis bestätigt werden.

Eine Verringerung des thermischen Bohrlochwiderstands bedeutet nicht automatisch eine Verringerung der nötigen Erdwärmesondenanzahl und -länge in gleichem Maße. Hier kommen andere Faktoren wie u. a. Anlagengröße, Sondenanordnung, Betriebssystem (z. B. Jahresvollbenutzungsstunden) zum Tragen. Generell kann beim Einsatz von thermisch verbessertem Verpressmaterial eine Verringerung der Gesamtsondenlänge um 10 bis 20 Prozent, in manchen Fällen auch darüber, möglich werden. Ein späterer Artikel wird sich mit diesem Thema befassen.

Literatur

- [1] Sanner, B. (1992): Erdgekoppelte Wärmepumpen, IZW-Bericht 1/92, FIZ Karlsruhe.
- [2] Richter, K. (2005): Erdwärmesonden – Hinweise für die Planung und Ausführung (Teil 1), In: bbr 3/05: 36-40.
- [3] Bose, J. E., Parker, J. D. & F. C. McQuiston (1985): Design/Data Manual for closed-loop ground-coupled heat pump systems, ASHRAE, Atlanta.
- [4] Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinou, D. & L. Rybach (2003): Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe, In: Geothermics, 32, S. 579-588.
- [5] Sanner, B. (2001): Entwicklung und Stand des mobilen Thermal Response Test, In: Eugster, W. & L. Laloui: Proc. Workshop Geothermische Response Tests Lausanne, S. 11-20.
- [6] Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J. & S. Gehlin (2005): Thermal Response Test – current status and world-wide application, Proc. WGC 2005, paper No. 1436, CD-ROM, IGA, Reykjavik.
- [7] Sanner, B. & B.-Y. Choi (2005): Ground Source Heat Pump Research in South Korea, Proc. WGC 2005, paper No. 1435, CD-ROM, IGA, Reykjavik.

Autoren:

Dr. Burkhard Sanner
UBeG Dr. Erich Mands & Marc Sauer GbR
Nauborner Str. 184
35580 Wetzlar
Tel.: 06441 2129-10
Fax: 06441 2129-11

E-Mail: UBeG@UBeG.de
Internet: www.ubeg.de

Dr. Erich Mands
UBeG Dr. Erich Mands & Marc Sauer GbR
Nauborner Str. 184
35580 Wetzlar
Tel.: 06441 2129-10
Fax: 06441 2129-11

E-Mail: UBeG@UBeG.de
Internet: www.ubeg.de

Carsten Gieß
STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH
Hemmersweg 80
33397 Rietberg-Varensell
Tel.: 05244 407-0
Fax: 05244 167-0

E-Mail: info@stuewa.de
Internet: www.stuewa.de

