

Abb. 1 – Neues Bohrgerät von Hütte HBR 207 GT mit 225 kW und 40 Tonnen Rückzugskraft



## Einsatz tiefer Erdwärmesonden

Die Nutzung höherer Temperaturen und begrenzte Platzverhältnisse vor allem in Städten führen immer häufiger zur Errichtung tiefer Erdwärmesondenanlagen. Vorgestellt wird ein Projekt im schweizerischen Lausanne, bei dem acht Erdwärmesonden à 500 m Tiefe eingebaut wurden. Beschrieben werden die Rahmenbedingungen des Projekts, die Temperaturmessung bis zur Endteufe, die Bohrtätigkeit, der Einbau der Erdwärmesonden sowie die umgesetzte Qualitätssicherung.

**Tiefe Erdwärmesonden gewinnen** zunehmend an Bedeutung, um Heizenergie nachhaltig und wirtschaftlich zur Verfügung zu stellen. Damit können hohe Jahresarbeitszahlen ( $> 5$ ) beim Betrieb der Wärmepumpenanlage erreicht werden und auch den begrenzten Platzverhältnissen in Agglomerationen kommt man damit entgegen. Solche „mitteltiefen“ Erdwärmesysteme stellen erhöhte Qualitätsanforderungen an die Produkte sowie an den Einbau der Erdwärmesonden. Mehrere tiefe Erdwärmesonden-Systeme wurden bereits erfolgreich in Zürich, Winterthur und Lausanne in verschiedenen Ausführungen realisiert und in Betrieb genommen. Damit werden die Vorteile der mitteltiefen geothermischen Systeme in der Praxis bestätigt.

Die Stadt Lausanne gehört im Bereich der nachhaltigen Entwicklung zu den Vorreitern. In diesem Zusammenhang engagiert sie sich in den Bereichen Energie, Mobilität, Stadtplanung, Bildung und Gesellschaft. Lausanne hat die Charta der Europäischen Städte und Gemeinden auf dem Weg zur Zukunftsbeständigkeit (Aalborg-Charta) unterzeichnet. Das Engagement der Stadt Lausanne und ihre Anstrengungen im Bereich einer nachhaltigen Energiepolitik während der letzten Jahre haben internationale Anerkennung eingebracht. Sie ist die erste europäische Stadt, die mit dem Label European Energy Award Gold ausgezeichnet wurde. Als nächstes Ziel ist die Realisierung vom Öko-Quartier „Plaines-du-Loup“ um den Standard der „2.000-Watt-Gesellschaft“ zu unterstützen. Der Baubeginn ist für 2015 geplant, wobei mit dem Projekt „SIRIUS“ die Machbarkeit geprüft werden soll.

Das Pilot- und Demonstrationsprojekt „SIRIUS“ umfasst acht Erdwärmesonden von je 500 Meter Tiefe und vier Wärmepumpen mit einer gesamten Wärmeleistung von 200 kW. Damit soll gezeigt werden, dass mit tiefen Erdwärmesonden ein besserer Wirkungsgrad erzielt werden kann.

Um einen hohen Standard zu erreichen, spielt der Wärmehaushalt eine Schlüsselrolle. Mit traditionellen Anlagen und Erdwärmesonden von durchschnittlich 150 m Tiefe erreicht man bereits hohe Gesamtwirkungsgrade. Durch eine kleinere Temperaturdifferenz ( $\Delta T$ ) resp. höheren Temperatureaufnahme ( $T_u$ ) kann der Wirkungsgrad jedoch deutlich verbessert werden. Mit einer Temperaturerhebung von ca.  $+5\text{ °C}$  an der Quelle kann die Leistungszahl der Wärmepumpe (COP) um ca. 15 % gesteigert werden.

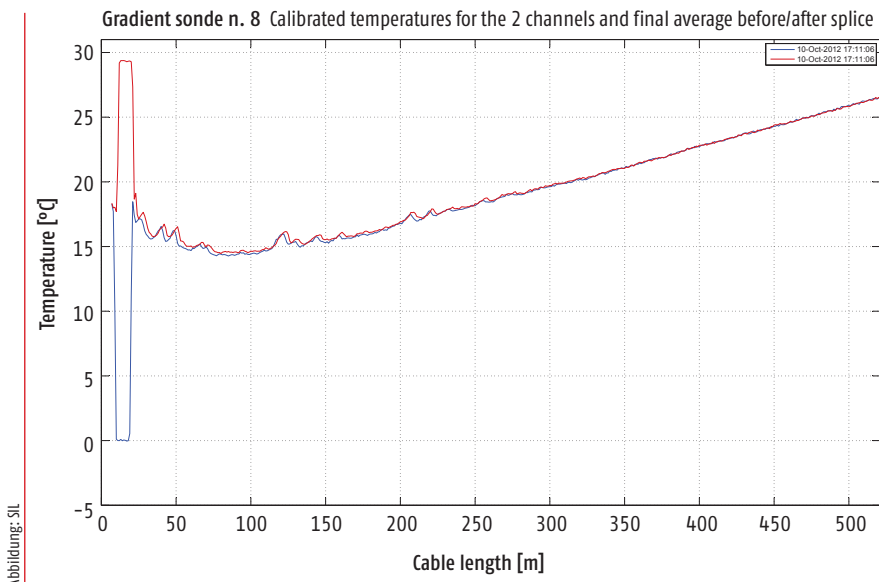


Abb. 2 – Temperaturverlauf bis 500 m Tiefe

Mit längeren Erdwärmesonden bis in eine Tiefe von ca. 500 m kann eine deutliche Temperatursteigerung erzielt werden. Die Optimierung vom System für die ganze Überbauung ist wichtig für den Fortschritt und kann mit diesem Pilotprojekt erreicht werden. Die Erkenntnisse aus diesem Pilotprojekt können zweifellos auch sehr nützlich für Renovierungen oder Neubauten sein.

SIL (Service Industriels Lausanne) hat über 80 geothermische Anlagen unterschiedlicher Tiefe und Leistung in mehreren Ländern analysiert. Diese verglei-

Beim Projekt „SIRIUS“ wurden bereits einige wichtige Schritte realisiert. Es wurden bereits drei Bohrungen à 500 m abgeteuf und die Erdwärmesonden mit Temperatursensoren eingebaut. Das Datenerfassungssystem mit der Validierung von Modellen und Parametern wurde in Betrieb genommen und damit konnte die Bodentemperatur ermittelt werden. In 500 m Tiefe konnte eine Temperatur von 27 °C gemessen werden (Abb. 2).

Ein Datenerfassungssystem wurde entwickelt, um die Leistung vom System zu bewerten und insbesondere die thermi-

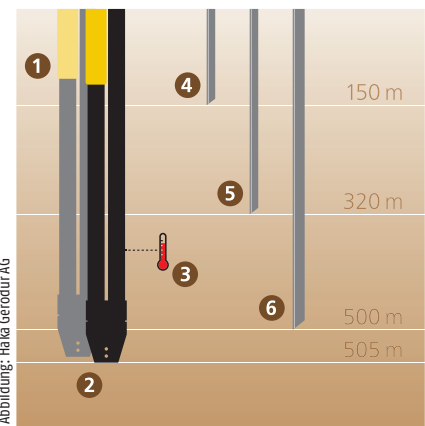


Abb. 3 – Schematische Darstellung der Erdwärmesonde

- Legende:
- 1) Thermische Isolation Rücklauf 120 m/2,5 mm
  - 2) Doppel-U-Erdwärmesonde Ø 50 mm/505 m
  - 3) Temperaturmessung mit Lichtwellenleiter in einem Kreis
  - 4) Injektionsrohr Ø 25 mm/150 m
  - 5) Injektionsrohr Ø 25 mm/320 m
  - 6) Injektionsrohr Ø 32 mm/500 m

schiedenen Tiefen der Bohrungen zu berechnen und dann die Wirksamkeit der Sonde als eine Einheit zu ermitteln. Diese Ergebnisse können letztlich verwendet werden, um die definitive Länge der Erdwärmesonden zu berechnen.

Um ein Maximum an Wissen auf dem Gebiet der Geothermie und der Wärmepumpenleistung zu erhalten sowie auch die langfristige thermische Entwicklung im Boden im Bereich der tiefen Sonden zu gewinnen, erwartet man eine längerfristige Messkampagne, bis mindestens zehn Jahre.

Bei der Wahl der optimalen Erdwärmesonden sowie der entsprechenden Bohrungen wurde eine ausgewogene Lösung zwischen technischen und wirtschaftlichen Anforderungen gewählt.

Technische Anforderungen:

- kleiner Bohrlochwiderstand (Geologie, Verpressung),
- lange Sonden (Material/Druckstufe),
- tiefer hydraulischer Druckabfall (Doppel-U, Rohrdurchmesser) und
- lange Lebensdauer (Qualität).

Wirtschaftliche Anforderungen:

- günstige Verpressung (thermische Leitfähigkeit),
- kurze Bohrungen (Kosten),
- Sondenrohre mit kleinem Durchmesser,
- gutes Preis/Leistungsverhältnis und
- einfacher Transport und Einbau.

Die Wahl fiel auf eine Doppel-U-Sonde aus PE 100-RC mit dem Rohrdurchmesser 50 mm SDR 11 mit einer Druckstufe von PN 16. Zusätzliche Funktionen mit einge-

## Tiefe Erdwärmesonden können die « Effizienz von Erdwärmeanlagen erhöhen.

chende Studie zeigt, dass ab einer Länge von 300 m, der Performance-Gewinn einer Wärmepumpe gering ist, wenn die Standard-Technologien verwendet werden [1]. Mit einer Länge von 500 m können diese Technologien optimiert werden, um einen besseren Temperaturverlauf der Wärmeträgerflüssigkeit zu erzielen.

Für europäische Länder ist die durchschnittliche installierte Länge von Erdwärmesonden unterschiedlich. In Deutschland liegt sie bei unter 100 m, während in der Schweiz mehr als 170 m erreicht werden. Die entscheidenden Faktoren sind die vorhandene Bohrtechnik und die Erfahrung mit dem Material und der Installation sowie die angewandten Vorschriften.

schen Wechselwirkungen zwischen dem Boden und den Erdwärmesonden dauernd zu erfassen. Um die Wärmebilanz auf der ganzen Länge in der Sonde zu kennen, ist es wichtig, die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit (Wasser) in Abhängigkeit von der Tiefe und Strömungsgeschwindigkeit zu kennen. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurde das System DTS (Distributed Temperature Sensing) mit Lichtwellenleiter gewählt. Dieses System hat den Vorteil, dass über ein einziges Kabel die Temperaturen pro Meter in einer Auflösung von bis zu einem hundertstel Grad gemessen werden können.

Mit dieser Temperaturmessung zusammen mit einem Volumenstrom-Messgerät ist es möglich, Energiebilanzen auf ver-

## Eine um 5 °C höhere Temperatur an der Quelle kann die Leistungszahl einer Wärmepumpe (COP) um 15 % steigern. ‹‹

bauter Temperaturmessung mit Lichtwellenleiter sowie einer moderaten Isolation bei den beiden Rückläufen war mit dieser Lösung möglich (Abb. 3).

### Herstellung der Erdwärmesonden

Die Herstellung der Erdwärmesonde mit den spezifizierten Eigenschaften stellte sehr hohe Anforderungen an die Produktion. Der erste Schritt war die Extrusion der Rohre Ø 50 mm direkt auf Haspel mit einer Länge von 505 m. Für eine Sonde benötigt man vier Rohre, wobei bei zwei Rohren noch zusätzlich eine Isolierschicht von 2,5 mm über die letzten 120 m im Koextrusionsverfahren aufgebracht wurde.

Je zwei Rohre wurden anschließend mit dem oberen Teil vom Sondenfuß zusammengeschweißt.

Für das Einschießen des Lichtwellenleiters wurde eine Einfach-U-Sonde auf dem Feld ausgelegt. Bei der Einbringung des Lichtwellenleiters musste darauf geachtet werden, dass der minimale Biegeradius nicht unterschritten wurde. Anschließend wurde der untere Teil des Sondenfußes verschweißt. Diese spezielle Konstruktion wurde bereits vorher gemäß HR 3.26 geprüft und erfüllt somit alle Qualitätsanforderungen. Mit dieser Konstruktion war es möglich, auch die Anforderungen bezüglich einer schlanken Ausführung zu erfüllen.

### Bohrungen in Lausanne

Die Bohrungen begannen im Juli 2012 und hatten zum Ziel, die Geologie bis 500 m zu ergründen und den fachgerechten Einbau der Erdwärmesonden zu praktizieren. Dies ist Pionierarbeit, die von der Stadt Lausanne und von der Bohrfirma in enger Zusammenarbeit durchgeführt wurde. Das Projekt „SIRIUS“ dient der Forschung und Entwicklung im Bereich der Geothermie. Es umfasst auch die Überprüfung der Energieeffizienz der acht Erdwärmesonden sowie die Überprüfung der Machbarkeit und die Kosten für Erdwärmesonden mit einer Tiefe von 500 m.

Man erwartete ca. 15 m Lockergestein gefolgt von einer stabilen Molasse bis 500 m Tiefe. Es wurde daher eine Verrohrung von 15 m, Ø 225 mm mit einer Hammerbohrung bis 500 m Tiefe geplant.

Die Geologie war jedoch nicht so wie erwartet. Sie bestand aus abwechselnden Schichten von Sandstein und Mergel, die jeweils 10 bis 20 m mächtig waren. Diese Schichten wurden in einer Tiefe von 120 bis etwa 380 m angetroffen. Das Bohren ging problemlos, aber der Mergel bröckelte ins Bohrloch und das sichere Abteufen der Erdwärmesonde war nicht einfach. Das Risiko bestand, dass die Erdwärmesonde beim Abteufen steckenbleiben konnte. Deshalb wurde mit einer provisorischen Verrohrung von 0 bis 374 m gebohrt. Um das Festsetzen der Verrohrung zu verhindern, musste schnell gearbeitet werden, sonst hätte man den Verlust der Verrohrung im Bohrloch riskiert.

Sobald die erste Bohrung vollständig war, wurde die Sonde mit zwei hydraulisch angetriebenen Haspeln (Abb. 4) abgeteuft. Diese Phase war kritisch, da die Druckverhältnisse ausgeglichen werden mussten. Wenn der hydrostatische Druckunterschied nicht berücksichtigt wird, riskiert man ein Platzen oder ein Quetschen der Sonde.

Die erste Sonde konnte bis in eine Tiefe von 495 m eingebaut werden. Der Ringraum wurde in drei Schritten von unten nach oben injiziert. Damit die Sondenrohre beim Injiziervorgang nicht zusammengedrückt wurden, musste das Abbinden der Injektionsmasse zwischen den einzelnen Schritten abgewartet werden. Die Bohrungen 2 und 3 wurden in gleicher Weise durchgeführt.

**Tabelle 1** – Vergleich der Eigenschaften PN 16 gegenüber PN 20

Kriterien	PN 16	PN 20
Innendruckbeständigkeit	16 bar (Fuss 20 bar)	20 bar
Beuldruckverhalten bei 20 °C und 24 h	14,1 bar	27.2 bar
Durchflussquerschnitt	834 mm <sup>2</sup>	754 mm <sup>2</sup>
Dimensionen Fuß/Diagonaldurchmesser für Doppel-U 40er-Erdwärmesonden	112 mm	112 mm
Rollenabmessungen/Verpackung	identisch	identisch
Kompatibel mit GEROtherm-System (Hosenstücke, Elektroschweißmuffen, GEROtherm-Push etc.)	ja	ja
Werkzeugnis nach EN 10204-2.2 für den Werkstoff PE 100-RC	gelbe Etikette	hellblaue Etikette

**Tabelle 2** – Vergleich der Leistungsfähigkeit PN 16 gegenüber PN 20

Parameter: Sondeneinbautiefe: 195 m, Ø 40 mm spez. Entzugsleistung: 43 W/m Solevolumenstrom: 2.5 m <sup>3</sup> /h Wärmeträgermedium: 25 % Ethylenglykol-Wasser	PN 16	PN 20
Thermischer Bohrlochwiderstand bei optimaler Lager der Sondenrohre Hinweis: Rohre gebündelt wesentlich schlechter Rohre an der Bohrwand entlang wesentlich besser	0.105 (mK/W)	0.110 (mK/W)
Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf bei einer Entzugsleistung von 43 W/m	4.3K	4.0K
COP der Wärmepumpe	4.6	4.5
Druckverlust für eine Sonde	473 mbar	601 mbar
Die mittlere Jahresarbeitszahl reduziert sich unter Berücksichtigung des etwas höheren Stromverbrauch der Umwälzpumpe.	4.5	4.46



Abb. 4 – Einbau der Sonden mit zwei Haspeln



Abbildungen: Augsburg Forages SA

Abb. 5 – Verschrauben eines schlanken Sondenfußes

Nach Abschluss der ersten drei Bohrlöcher hatte man bereits einige wichtige Erkenntnisse gewonnen. Es ist offensichtlich, dass einige Probleme aufgetaucht sind, denen man für die nächsten Bohrungen entgegenwirken kann. Das Wichtigste ist eine neue und stärkere Bohranlage für diese Geologie und Tiefe. Eine Bohranlage mit den entsprechend verbesserten Leistungen wurde bei Casagrande in Italien entwickelt und steht seit August 2013 zur Verfügung (Abb. 1). Die Ausführung der verbleibenden fünf Bohrlöcher wird sicher einfacher sein und man kann damit auch der Nachfrage des Marktes gerecht werden.

Doppel-U Sonden eignen sich gut für den Einbau. Allerdings besteht ein erhebliches Risiko, dass die Erdwärmesonde bei diesen Tiefen entweder platzt oder zusammengedrückt wird. Mit einer stärkeren Sonde könnte auf die aufwendige schrittweise Verpressung verzichtet werden.

#### Entwicklung von Sonden PN 20

Für kritische geologische Verhältnisse wurde deshalb eine stärkere Erdwärmesonde mit der Druckstufe PN 20 entwickelt und bereits bei einigen Projekten eingesetzt (Abb. 5).

#### Vergleich PN 16 mit PN 20

Erdwärmesonden mit der Druckstufe PN 20 bieten zusätzliche Sicherheit für Planer und Bauherren. Besonders die Außen-druckbeständigkeit ist deutlich höher und damit ist auch die Verfüllung mit schwererem Verpressmaterial einfacher (Tab. 1). Die Leistungsfähigkeit von stärkeren Erdwärmesonden PN 20 wurde durchgerechnet mit dem Ergebnis, dass die relevanten Werte praktisch denen von PN 16-Sonden entsprechen (Tab. 2)

#### Qualitätsanforderungen

Um die erforderliche Ausführungsqualität sicherzustellen, bestehen hohe Anforderungen an Planung, Technik und Material:

- Mitteltiefe Erdwärmesonden erfordern hohe Standards für die Bohr-, Montage- und Materialanforderungen.
- Die Sonden sind während der Installation und später während des Betriebs hohen Belastungen ausgesetzt.
- Hohe Qualität der Erdwärmesonden rechnet sich.
- 100 %-Kontrolle vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt.
- Kontinuierliche Prüfung/Zertifizierung aller Teile (Rohre, Fuß, Schweißen etc.), Druck- und Durchflussprüfung mit entsprechender Protokollierung/Zertifizierung.
- Dokumentation für Kunden/Behörden, u. a. Produkt-Zertifikat, Installations-Zertifikat.

#### Fazit und Ausblick

Die Kosten für Primärenergie steigen und damit werden Systeme mit hohem Wirkungsgrad immer interessanter. Geothermische Systeme mit Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen weisen beste Effizienzwerte auf und eignen sich daher für die Zukunft. Der Schlüssel ist die System-Optimierung unter Berücksichtigung aller Anlagenteile (z. B. Wärmepumpen, Erdwärmesonden etc.). Mit tieferen Erdwärmesonden kann die Effizienz erhöht und damit ein substanzieller Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden. Mit verbesserten Bohrverfahren und druckstabilen Erdwärmesonden kann in Zukunft auch der tiefere urbane Raum erschlossen werden. Eine Zertifizierung in Bezug auf die allgemeine Effizienz (z. B. Energie-Label A, B etc.) würde dazu beitragen, die Anwendung der Geothermie zu unterstützen. Zahlreiche geothermische Systeme sind bereits heute in Betrieb und bestätigen die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen.

#### Literatur

[1] En accord avec l'étude de M. Matthey et D. Pahud: Recherche des paramètres permettant d'élever la température moyenne des fluides circulants dans des sondes en terre verticales et destinées à l'alimentation de pompes à chaleur. Rapport final OFEN 194398, Bern, 1996.

#### Autoren

Dipl.-Ing. Francesco Barone  
SIL Service Industriels Lausanne  
Place Chauderon 27  
CH-1002 Lausanne  
Tel.: +41 21 31592-18  
francesco.barone@lausanne.ch  
www.lausanne.ch

Dipl.- Ing. Marco Neva  
Bachelor of Science HES-50  
Augsburger Forages SA  
Rte d'Yvonand 2  
CH-1522 Lucens  
Tel.: +41 21 906-1717  
info@af-sa.ch  
www.af-sa.ch

Dipl.-Ing. Alfons Ebnöther  
Wirtschaftsingenieur STV  
HakaGerodur AG  
Giessenstr. 3  
CH-8717 Benken SG  
Tel.: +41 55 293 2529  
a.ebnoether@hakagerodur.ch  
www.hakagerodur.ch



### Mischer und Pumpen für den Geothermiebereich



Kolloidalgut GERTEC

**GERTEC**

Maschinen- und Anlagenbau GmbH

Tel.: +49(0)8303-929-509-0  
www.gertec-gmbh.de