

Das Forschungsprojekt EWSplus – Untersuchungen zur Qualitätssicherung von Erdwärmesonden

Dipl.-Ing. Mathieu Riegger

Steinbeis-Forschungsinstitut Solites

Nobelstr.15, D-70569 Stuttgart

Tel.: +49-(0)711-673200050, Fax: +49-(0)711-673200099

riegger@solites.de

www.solites.de

1. Abstract

Despite the large amount of built geothermal systems, there are still some unresolved questions concerning the quality and efficiency of borehole heat exchangers.

The main issues are the influences of different factors such as type of backfilling material, use of spacers and position of the pipes inside the borehole on the thermal power as well as the quality and durability of a totally filled borehole.

The research project EWSplus aims at helping to solve these issues for borehole heat exchangers built under real conditions. Therefore the thermal power and the hydraulic sealing quality of different borehole heat exchanger configurations will be examined after non-destructive removal of real-size borehole heat exchangers. Furthermore measurement methods will be tested regarding their significance for controlling the backfilling quality.

2. Ausgangssituation

Dem überaus wichtigen Thema Qualitätsmanagement im Bereich der oberflächennahen Geothermie [1] wurde bislang nicht immer die ihm gebührende Aufmerksamkeit zuteil. Trotz der großen Anzahl an realisierten Geothermie-Anlagen sind einige Fragestellungen hinsichtlich der Qualität und Effizienz von Erdwärmesonden (EWS) bislang ungeklärt.

Dies betrifft zum einen den Einfluss verschiedener Faktoren auf die thermische Leistungsfähigkeit, die für den dauerhaft effizienten und wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage entscheidend ist, sowie zum anderen die Dauerhaftigkeit der Dichtwirkung von Bohrloch-Hinterfüllungen.

Diese Aspekte wurden bisher hauptsächlich im Labormaßstab betrachtet. Einen Auszug aus den wichtigsten Studien zeigen die Literaturstellen [2]-[5].

3. Ziele

Mit dem Forschungsprojekt EWSplus will Solites in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern GTC Kappelmeyer GmbH, Rehau AG & Co, Systherma GmbH und Frau Prof. Dr. Stober (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg) zur Klärung bislang ungelöster Fragestellungen hinsichtlich der Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden beitragen.

Es soll sowohl die thermische Leistungsfähigkeit als auch die hydraulische Abdichtung von Erdwärmesonden in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren bei unter Realbedingungen eingebauten Erdwärmesonden bestimmt werden.

Weiterhin werden verschiedene Messverfahren auf ihre Aussagekraft hinsichtlich der Qualität der Bohrlochhinterfüllung getestet, mit dem Ziel, ein geeignetes Messverfahren herauszuarbeiten. Zu diesem Zweck werden bewusst Fehlstellen in der Hinterfüllung von Erdwärmesonden eingebaut.

Um die Aussagekraft der Messverfahren beurteilen zu können, werden die Erdwärmesonden nach Durchführung der Messungen wieder aus dem Untergrund ausgebaut, so dass der tatsächliche Zustand der Erdwärmesonden, also zum Beispiel die Lage und Größe von Fehlstellen, mit den aus den Messungen gezogenen Rückschlüssen verglichen werden können. Der Ausbau der Erdwärmesonden ermöglicht es neben der Betrachtung der Verfüllqualität auch, den Einfluss von Abstandshaltern und Zentrierhilfen auf die Position der Sondenrohre im Bohrloch zu untersuchen.

4. Umsetzung

Vor Durchführung der Außenlaborversuche wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf die thermische Leistungsfähigkeit (Lage der Sonden im Bohrloch, verschiedene Verfüllmaterialien, u.a.) in Simulationsmodellen abgebildet, um die Sensitivitäten und die maximal zu erwartenden Einflüsse der einzelnen Parameter auf die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden zu erarbeiten [6]. Diese theoretischen Vorbetrachtungen dienen den durchzuführenden Außenlaborversuchen als Grundlage.

Für die Außenlaborversuche werden zwei verschiedene Versuchsaufbauten gewählt, deren Vor- und Nachteile in Abbildung 1 gegenübergestellt sind.

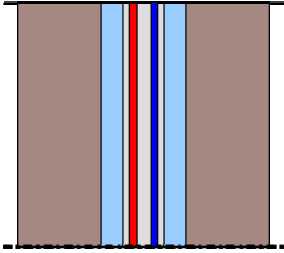
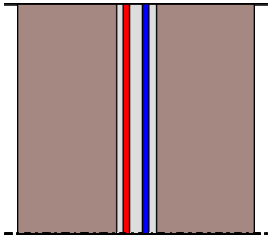
	Vorteile	Nachteile
Methode 1: Rohr-in-Rohr-Methode 	<ul style="list-style-type: none"> - Rückbau möglich - realistische Tiefe ist möglich - Ein Bohrloch für mehrere Erdwärmesondeninstallationen 	<ul style="list-style-type: none"> - die Anbindung des Verfüllmaterials an die Bohrlochwand ist nicht realistisch
Methode 2: Direkt eingebaute EWS 	<ul style="list-style-type: none"> - die Anbindung des Verfüllmaterials an die Bohrlochwand ist realistisch 	<ul style="list-style-type: none"> - Rückbau schwierig: <ul style="list-style-type: none"> - Überbohren - Freigraben - daher: Sondentiefe ist eingeschränkt (ca. 10m)

Abbildung 1: Vor- und Nachteile der Versuchsaufbauten

Aufgrund der Vorteile, die die Rohr-in-Rohr-Methode durch die Möglichkeit des einfachen Rückbaus bietet, wird diese für die Untersuchung des tatsächlichen Ist-Zustandes im Bohrloch bei zahlreichen verschiedenen EWS-Konfigurationen, die

sich beispielsweise durch die Art des Verfüllmaterials oder den Einsatz von Abstandshaltern unterscheiden, eingesetzt.

Bei der Rohr-in-Rohr-Methode wird zunächst eine Bohrung mit Standverrohrung erstellt, die einen Innendurchmesser von ca. 250 mm aufweist. In diese verrohrte Bohrung wird die innere Standverrohrung eingestellt, in die die EWS eingebaut und verfüllt werden (siehe Abbildung 2). Die innere Standverrohrung hat einen Innendurchmesser von Standard-Erdwärmesondenbohrungen (ca. 130-150 mm).

Ein vergleichbarer Versuchsaufbau wurde so auch in dem Forschungsprojekt Newfill [4] realisiert.

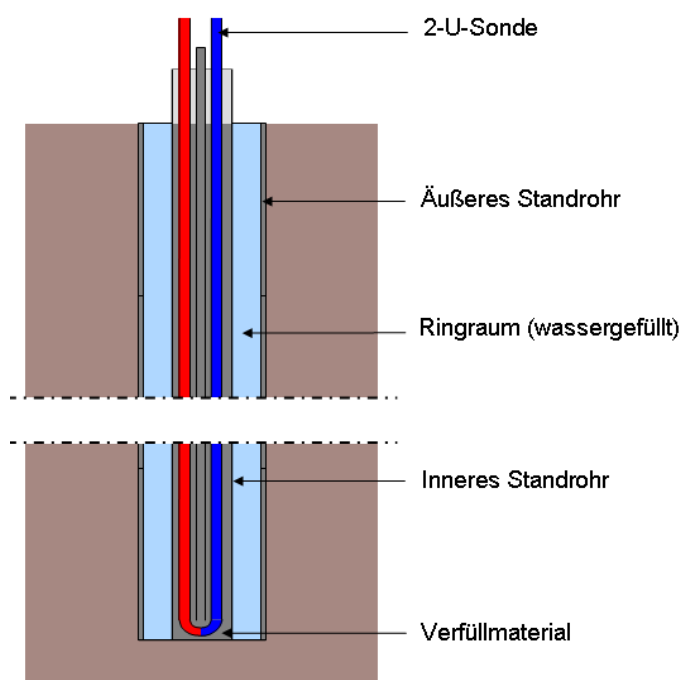


Abbildung 2: Versuchsaufbau bei der Rohr-in-Rohr-Methode

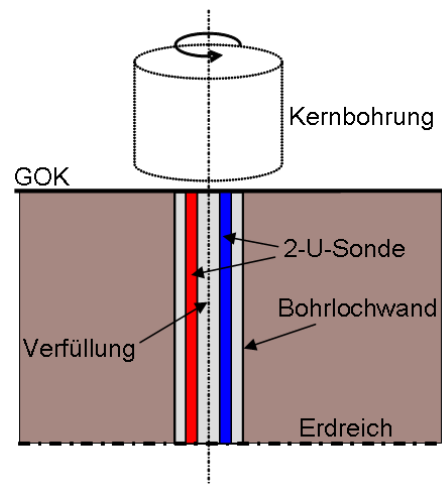


Abbildung 3: Überbohren einer direkt im Untergrund eingebauten EWS

Mit dem gewählten Versuchsaufbau ist durch das Ziehen der inneren, zweiten Standverrohrung der abschnittsweise Ausbau von Erdwärmesonden mit Tiefen, die so auch in der Praxis zum Einsatz kommen, möglich.

Das abschnittsweise Ziehen der EWS erfolgt mit Hilfe einer Seilwinde, deren Zugkraft über eine Rohrabfangschelle auf das innere Standrohr übertragen wird. Anschließend wird das gezogene Sondenstück abgesägt, während der noch im

Bohrloch verbliebene Abschnitt der EWS mit einer zweiten Rohrabfangschelle, die sich am Bohrlochmund abstützt, gehalten wird.

Für das Versuchsprogramm im Rahmen des Projektes EWSplus ist eine Sondentiefe von 40-50 m geplant, wobei 4-5 derartige Bohrlöcher in einer Reihe erstellt werden. Während einer Charge wird in diese 4-5 standverrohrten Bohrungen je eine EWS-Konfiguration eingebaut.

Mit den geplanten 4-5 Chargen lassen sich damit zwischen 16 und 25 verschiedene EWS-Konfigurationen realisieren.

Zur Untersuchung der Anbindung des Verfüllmaterials an das Gestein sollen direkt in den Untergrund eingebaute Erdwärmesonden freigelegt werden. Die hieraus gewonnen Erkenntnisse sind von der Geologie beeinflusst und damit nicht auf beliebige Standorte übertragbar.

Der Standort in Crailsheim eignet sich aufgrund der zahlreichen Schichtenwechsel auf den oberen Metern unter Geländeoberkante (siehe Abbildung 4) gut, um Informationen zur Kontaktfläche Verfüllmaterial-Gestein bei verschiedenen geologischen Verhältnissen zu gewinnen. So werden von einer 10 m tiefen Erdwärmesonde mit der Deckschicht und dem Grenzdolomit zwei Schichtenwasser führende Schichten sowie die Mergel- und Tonsteinschichten des Lettenkeupers durchteuft.

Für den zerstörungsfreien Rückbau der direkt in den Untergrund eingebauten EWS stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen können die EWS mit einer Ringbohrkrone überbohrt werden (siehe Abbildung 3). Dabei muss die komplette EWS an einem Stück überbohrt und gezogen werden, da andernfalls beim Ziehen des Bohrkerns dieser durch die Zugbelastung auf die eingegossenen Sondenrohre unbrauchbar für Untersuchungen der Anbindung der EWS an das Verfüllmaterial wird. Ein großer Durchmesser der Ringbohrkrone und kurze Erdwärmesonden sollen dazu dienen, das Beschädigungsrisiko der verfüllten EWS durch Krafteinwirkungen beim Überbohren - auch bei eventuell exzentrischen Bohrungen - zu minimieren. Bedingt durch die großen Bohrdurchmesser und das Überbohren an einem Stück wird der gewonnene Bohrkern sehr schwer, wodurch die mit dieser Technik realisierbare Tiefe ebenfalls eingeschränkt wird. Problematisch ist zudem ein

eventuelles Herausrutschen des Bohrkerns aus der Ringbohrkrone beim Ziehen. Falls dies nicht passiert, stellt sich die Frage, wie der Bohrkern aus der Ringbohrkrone zerstörungsfrei entnommen werden kann.

Aufgrund dieser Unwägbarkeiten, ist selbst die erfolgreiche Bergung von lediglich ca. 7-10 m langen Erdwärmesonden nicht gesichert möglich. Daher wird in dem Projekt EWSplus die mit deutlich höherer Wahrscheinlichkeit erfolgreich durchführbare Variante des Freigrabens zur Bergung von direkt im Untergrund eingebauten Erdwärmesonden gewählt. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist der geringere Mehraufwand für das Freilegen mehrerer Erdwärmesonden als beim Überbohren.

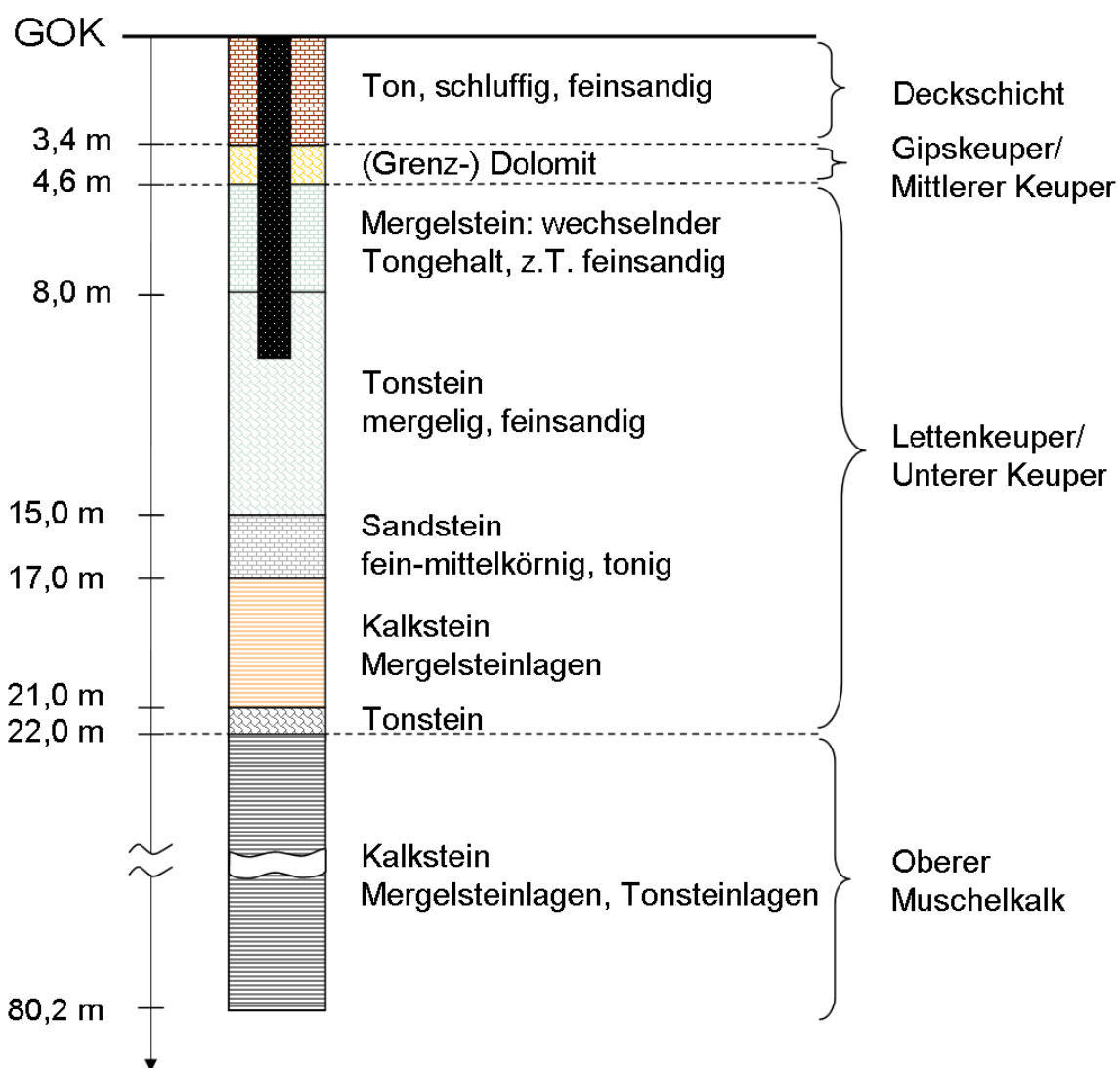


Abbildung 4: Schichtenprofil des Versuchsgeländes in Crailsheim mit einer 10 m tiefen EWS

5. Eingesetzte Messverfahren bei der Rohr-in-Rohr-Methode

In den ersten 28 Tagen nach Einbau der EWS nach der Rohr-in-Rohr-Methode werden keine Versuche durchgeführt, so dass die Verfüllmaterialien während dieser Abbindezeit aushärten können.

Es sollen quantitative Aussagen über die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden unter verschiedenen Einflussparametern getroffen werden. Hierzu wurde ein an den gewöhnlichen Thermal Response Test (TRT) angelehntes Messverfahren entwickelt, mit dem lediglich der thermische Bohrlochwiderstand der betreffenden Sondenkonfiguration ohne die in unserem Versuchsprogramm nicht relevante Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes bestimmt werden kann. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der Erwartung deutlich kürzerer Versuchszeiten als die bei TRTs üblichen drei Tage. Darüber hinaus wäre ein konventioneller TRT aufgrund des vorhandenen Wasserringraums zwischen innerem und äußerem Standrohr nicht ohne Weiteres einsetzbar.

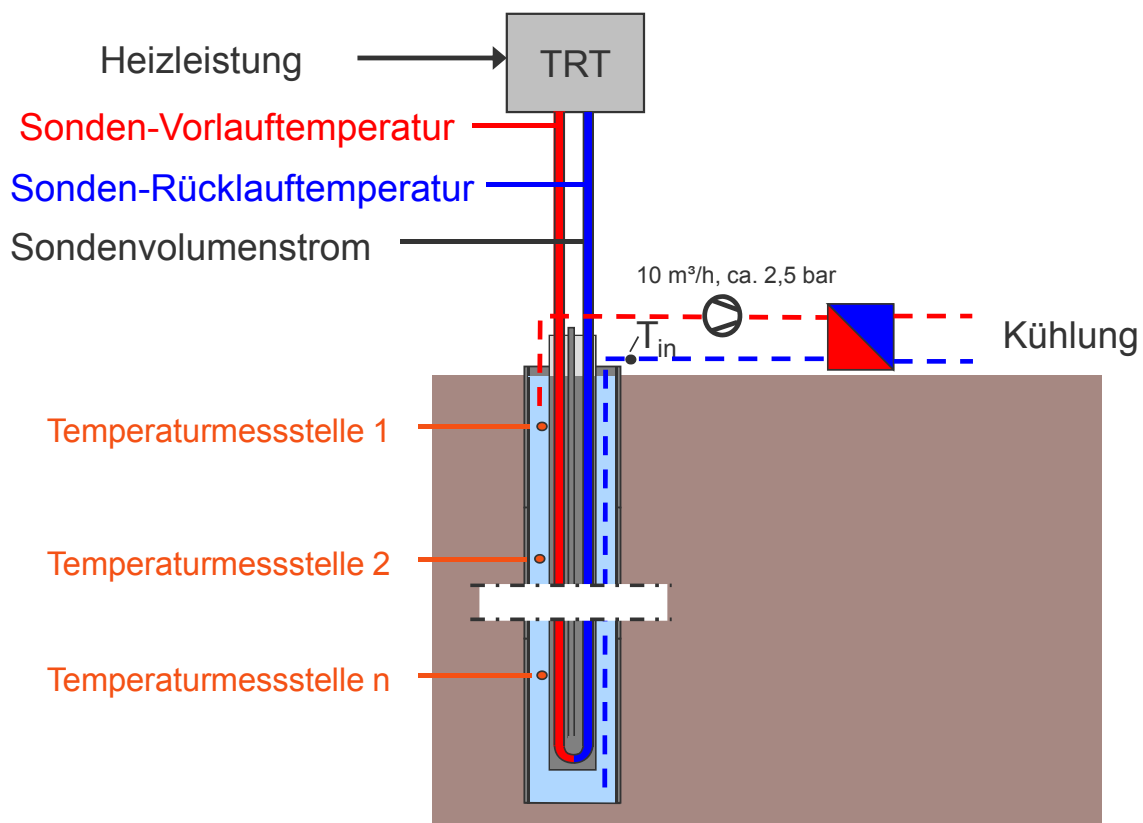


Abbildung 5: Versuchsaufbau zur Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstands

Entsprechend des in Abbildung 5 dargestellten Versuchsaufbaus werden die Sondenvor- und rücklauftemperatur, der Sondenvolumenstrom und die Heizleistung der TRT-Einheit sowie die Temperatur des Wassers im Ringraum auf verschiedenen Höhen gemessen. Das Wasser im Ringraum wird so umgewälzt, dass sich ein turbulenter Wärmeübergang an der Außenseite des inneren Standrohrs einstellt, der die Vernachlässigung des zugehörigen Wärmeübergangswiderstands erlaubt. Die mit der Umwälzung erreichte einheitliche Temperatur im Wasserringraum wird durch eine Frischwasserbeimischung konstant gehalten, um ein schnelles Erreichen des stationären Zustandes und damit kurze Versuchszeiten zu erreichen.

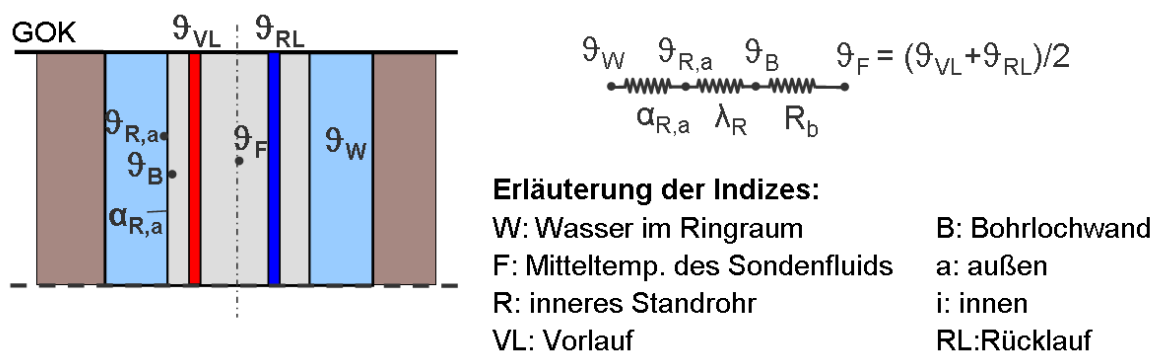


Abbildung 6: Schaubild der thermischen Widerstände als Grundlage der Bestimmung des thermischen Bohrlochwiderstands R_b

Mit Hilfe des Widerstandsschaubilds aus Abbildung 6 lässt sich die folgende Wärmetransportgleichung für eine EWS der Tiefe L

$$\dot{Q} = \left[R_b + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda_R} \cdot \ln \left(\frac{r_{R,a}}{r_{R,i}} \right) + \frac{1}{\alpha_{R,a} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{R,a} \cdot L} \right]^{-1} \cdot (\vartheta_F - \vartheta_W)$$

herleiten, aus der der thermische Bohrlochwiderstand R_b einfach bestimmt werden kann.

Die vorgestellte Mess- und Auswertemethode dient dazu, an verschiedenen Varianten den Einfluss des Einsatzes und des Abstands von Abstandshaltern und Zentrierhilfen auf die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden zu bestimmen, so dass Aussagen zum optimalen Abstand getroffen werden können.

Daneben wird auch der Einfluss verschiedener Verfüllmaterialien auf die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden untersucht.

Ein Hauptziel des Projektes EWSplus ist es, verschiedene Messverfahren auf ihre Eignung zu untersuchen, Aussagen über die Verfüllqualität einer eingebauten EWS treffen zu können. Hierzu werden bewusst Fehlstellen (Wasser-/Luft einschlüsse) in der Verfüllung erzeugt, um deren Detektierbarkeit zu überprüfen. Neben den Messverfahren unserer Projektpartner werden hierzu auch weitere Messverfahren eingesetzt:

- Faseroptische Temperaturmessungen mit Glasfaserkabeln (GTC Kappelmeyer GmbH) [7]
- drahtgebundenes Ultraschallmessverfahren (Systherma GmbH)
- drahtlose teufenorientierte Temperaturmessungen mit einem Minidatenlogger [8]
- Gamma-Ray-Log mit einer miniaturisierten Sonde, die zur Befahrung von Erdwärmesonden geeignet ist [9]
- je nach Verfügbarkeit: Suszeptibilitätssonde zur Bestimmung der Magnetisierbarkeit [10]

Der Rückbau der Erdwärmesonden erfolgt nach Durchführung der oben genannten Messmethoden. Die abschnittsweise gezogenen EWS werden aufgesägt und es erfolgt eine visuelle Kontrolle auf Fehlstellen, um den tatsächlichen Zustand der EWS mit den aus den Messverfahren rekonstruierten Zuständen vergleichen zu können. Daneben bietet die visuelle Untersuchung der gezogenen EWS die Möglichkeit, die hydraulische Abdichtung in Abhängigkeit der Sondenkonfiguration (mit/ohne Abstandshalter/Zentrierhilfen, Art des Verfüllmaterials, von Herstellerangabe abweichende Verfülldrücke und Konsistenzen) beurteilen zu können.

Aufgrund der Durchführung der Versuche in mehreren Chargen können die Messverfahren gegebenenfalls im Laufe des Projektes weiterentwickelt werden.

6. Ausblick

Der Versuchszeitraum für die Außenlaborversuche am Standort Crailsheim beginnt im Sommer 2009 und wird auch noch im Jahr 2010 andauern.

Neben den geschilderten Untersuchungen bietet das Projekt die Möglichkeit, neue Produkte wie zum Beispiel spezielle Sondenrohre, Verfüllmaterialien oder Abstandshalter erstmals einzusetzen und zu testen.

Das Projekt EWSplus wird durch das Wirtschaftsministerium des Landes Baden-Württemberg gefördert. Der Autor dankt für diese Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Berichtes liegt beim Autor.

7. Literatur

[1] Lorinser, B. - Qualitätsmanagement bei der Nutzung oberflächennaher Erdwärme; Fachbeitrag zur Messe Geotherm 2008; Offenburg

[2] Baumann, K. et al. - Untersuchungen zur Abdichtung von Qualitätskriterien für Abdichtungsmaterialien im Brunnenbau; Abschlussbericht 2003; Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.; Bonn

[3] Niederbrucker, R.; Steinbacher, N. - Eignungsuntersuchung von Verpressmaterialien für Erdwärmesonden; Technischer Endbericht; Amt der Oberösterreichischen Landesregierung; 2007

[4] Steger, H. et al. - Hinterfüllkonzepte unter Berücksichtigung der geologischen Rahmenbedingungen; Fachbeitrag zur Messe Geotherm 2008; Offenburg

[5] Müller, L. - Qualitätsanforderungen an die Hinterfüllbaustoffe von Erdwärmesonden; Tagungsband Geothermiekongress 2008; Karlsruhe

[6] Clausen, H. - Durchführung von Simulationsrechnungen zum Einfluss verschiedener Randbedingungen auf die thermische Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden; Tagungsband Otti Anwenderforum Oberflächennahe Geothermie 2008; Kloster Banz

[7] Dornstädter, J. et al. - Erfahrungen aus der Praxis mit dem Enhanced Geothermal Response Test (EGRT); Tagungsband Geothermiekongress 2008; Karlsruhe

[8] Rybach, L. et al. - Projekt Drahtloser Minidatenlogger für Temperaturmessungen in Erdwärmesonden; Schlussbericht; Bundesamt für Energieforschung (Schweiz); 2003

[9] Baumann, K. et al. - Qualitätssicherung und Qualitätsüberwachung von Erdwärmesondenanlagen durch geophysikalische Bohrlochmessungen; Tagungsband Geothermiekongress 2008; Karlsruhe

[10] Rüter, H. et al. - Qualitätssicherung von Erdwärmesonden: Entwicklung von Methoden zur Überprüfung bestehender Anlagen; Tagungsband Geothermiekongress 2007; Bochum