

## **Versuchsaufbau zur Messung der hydraulischen Systemdichtheit von Erdwärmesonden**

**Alexander Kirschbaum, Jens M. Kuckelkorn, Kilian Hagel, Lukas Pendzich**

ZAE Bayern - Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.

**Keywords:** Erdwärmesonde, Qualitätssicherung, Abdichtung, Systemdichtheit

### **Zusammenfassung**

Beim Bau einer Erdwärmesonde spielt die Qualität der Verfüllung eine entscheidende Rolle. Sie gewährleistet zum einen die thermische Anbindung an das Gebirge und zum anderen die hydraulische Integrität des Untergrundes. Der Grundwasserschutz ist hierbei in jedem Fall als oberstes Ziel zu gewährleisten.

Die experimentelle Bestimmung der vertikalen hydraulischen Leitfähigkeit von Erdwärmesondensystemen sowie die Bestimmung der Widerstandsfähigkeit des Verfüllmaterials gegenüber Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchungen sind nach wie vor nicht zufriedenstellend gelöst. In den letzten Jahren wurden diverse Messverfahren entwickelt, mit denen beide Aspekte untersucht werden können. Jedoch hat jedes der Verfahren auch seine spezifischen Nachteile.

Im Rahmen des durch das BMWi geförderten Verbundvorhabens „QEWS II – Qualitätssicherung bei Erdwärmesonden II“ (FKZ: 03ET1386A) wurde am ZAE Bayern ein Versuchsstand aufgebaut, der die Vorteile der bekannten Verfahren vereint.

### **Beschreibung des Versuchsaufbaus**

Ziel war es, die hydraulischen Randbedingungen einer In-situ-Erdwärmesonde möglichst realitätsnah abbilden zu können und gleichzeitig den Versuchsaufbau möglichst variabel zu gestalten. Damit soll der Einfluss der Probenlänge, der Probenquerschnittsgeometrie, der Druckverhältnisse etc. auf die hydraulische Systemdichtheit experimentell bestimmt werden können.

Die entwickelte Systemtriaxialzelle (vgl. Abbildung 1) ist dem Versuchsaufbau nach DIN 18130-1 nachempfunden. Zur Vermeidung von Randumläufigkeiten um den Systemprobekörper kommt eine Latexmembran zum Einsatz. Die Messzelle ist auf einen maximalen Druck von 16 bar und einen maximalen Sättigungsdruck von 9 bar ausgelegt.

Durch stapelbare Ringe des Zellenmantels (Druckbehälter) können Systemprobekörper verschiedener Längen bis 1,00 m vermessen werden. Eine Verlängerung des Druckbehälters wäre dabei optional möglich. Durch austauschbare Probenstempel, welche die Sondenrohre aufnehmen und abdichten, sind Systemprobekörper mit beliebigem Durchmesser bis maximal 150 mm möglich. Die Anordnung der Sondenrohre – ein zentrales, eine Einfach-U- oder eine Doppel-U-Sonde mit marktüblichen Durchmessern – kann dabei ebenfalls frei gewählt werden.

Für die erste Konfiguration wurden ein Außendurchmesser für die Systemprobekörper von 150 mm und der Einbau von vier Sondenrohren mit 32 mm Durchmesser gewählt. Die Probe wird bei der Herstellung mit Abstandshaltern bestückt und im Kontraktorverfahren mit Hilfe eines Verfüllschlauches, eines Chargenkolloidalmischers und einer Schneckenpumpe von unten nach oben verfüllt.



Abb. 1: Systemtriaxialzelle zur Bestimmung der hydraulischen Systemdichtheit von Erdwärmesonden. Links: isometrische Darstellung. Mitte: Schnittdarstellung mit Verfüllmaterial (1), Sondenrohren (2), Latexmembran (3), Druckbehälterwand (4) bestehend aus abwechselnd gestapelten transparenten und opaken Ringen, Fluidkreiseintritt (5), Fluidkreisaustritt (6) am oberen Probenstempel und unterem Probenstempel (7). Rechts: Systemtriaxialzelle im aufgebauten Zustand.

In der Messzelle wird die Systemprobe bei triaxial anliegendem Zellendruck und isothermen Bedingungen mit einem definierten Differenzdruck beaufschlagt. Über zwei getrennte Wasseranschlüsse (Oberwasser und Unterwasser) wird dabei der vertikal durch die Probe strömende Volumenstrom gravimetrisch gemessen. Daraus lässt sich der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  für Wasser nach dem Darcy-Gesetz berechnen.

Mittels eines kombinierten Heiz- und Kühlaggregates, welches an einem druckgeregelten Temperierkreislauf an den Sondenrohren angeschlossen ist, kann zum einen der Systemprobekörper während der Messung des  $k_f$ -Wertes isotherm temperiert und zum anderen eine definierte radialsymmetrische Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung von innen nach außen durchgeführt werden.

Alexander Kirschbaum, Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching  
 alexander.kirschbaum@zae-bayern.de