

Prüfverfahren zur Frost-Tau-Wechselwiderstandsfähigkeit von Hinterfüllbaustoffen für Erdwärmesonden

TEXT: Dipl.-Ing. Hauke Anbergen, Dr. Jens Frank, Prof. Dr. Lutz Müller, Prof. Dr. Ingo Sass

Die Frost-Tau-Wechselwiderstandsfähigkeit von Hinterfüllbaustoffen wird seit Jahren kritisch diskutiert. Im Rahmen eines Untersuchungsauftrages der Freien und Hansestadt Hamburg wurde ein Prüfverfahren entwickelt, welches zuverlässig das Verhalten solcher Hinterfüllmaterialien unter simulierten In-situ-Bedingungen misst (Anbergen et al., 2011). Dieses Verfahren wurde im Dezember 2012 als Produktspezifikation verpflichtend in Hamburg eingeführt. Die entwickelte Messmethode ist so praxisnah konstruiert, dass sie auch Probennahmen auf der Baustelle ermöglicht und damit als einheitlicher Qualitätsstandard bezüglich der Prüfung der Frost-Tau-Wechselwiderstandsfähigkeit geeignet ist.

Für die Nutzung oberflächennaher Geothermie stellt die Kombination einer Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (EWS) die häufigste Ausführungsvariante dar. Dabei müssen die hergestellten Bohrlöcher mit den eingebauten Sondenrohren nach den geltenden Richtlinien sachgemäß verfüllt werden. Diese Verfüllung des Bohrlochs wird in der Regel durch eine lückenlose Hinterfüllung mit einer Suspension ausgeführt. Das Hinterfüllmaterial hat dabei im Wesentlichen zwei Hauptaufgaben zu erfüllen. Zum einen soll die thermische Anbindung des Sondenrohres an das umgebende Gestein sichergestellt werden, sodass die Erdwärme an das Wärmeträgermedium transportiert wird. Zum anderen muss das Bohrloch abgedichtet werden, um einen unzulässigen hydraulischen Kontakt natürlich getrennter Grundwasserleiter zu verhindern. Diese Abdichtfunktion muss aus hydrogeologischer Sicht unbedingt und dauerhaft erfüllt werden. Beim Betrieb erdgekoppelter Wärmepumpen mit frostschtzhaltigen Wärmeträgerfluiden kann es aus unterschiedlichen Gründen (Abdeckung von Spitzenlasten, Unterdimensionierung, höherer Wärmebedarf z. B. durch zusätzlichen Wohnraum, Fehlfunktionen etc.) zu einem zeitweisen oder periodischen Betrieb mit Fluidtemperaturen im negativen Celsius-Bereich kommen. Dabei kann ein Einfrieren und Wieder-



Hauke Anbergen

ist Ingenieur bei der Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH in Hamburg und Doktorand am Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet für Angewandte Geothermie der Technischen Universität Darmstadt.

Kontakt:

anbergen@geo.tu-darmstadt.de
www.geo.tu-darmstadt.de



▲ Wasserdurchlässigkeitszelle für die Frost-Tau-Versuche

auftauen der Ringraumverfüllung nicht ausgeschlossen werden. Dieser Vorgang wird im Allgemeinen Frost-Tau-Wechsel genannt.

Seit mehreren Jahren werden die möglichen Auswirkungen solcher zyklischen Frost-Tau-Wechsel auf die Abdichtfunktion von EWS diskutiert. Die

Konsequenzen daraus sind, neben einem stark beunruhigten Markt, das Verbot von negativen Soletemperaturen in einigen Bundesländern oder die Forderung nach widerstandsfähigen Hinterfüllbaustoffen gegen Frost-Tau-Wechsel.

Doch was bedeutet »Widerstandsfähig gegenüber Frost-Tau-Wechsel«? Eine klare Definition oder ein normiertes Prüfverfahren gibt es bis heute nicht. Im Zuge dieser Diskussionen wurde an unterschiedlichen Prüfverfahren dieses Sachverhaltes geforscht und Erkenntnisse gewonnen, unter welchen Randbedingungen ein geeignetes Verfahren aufgestellt werden muss (Müller, 2009, Albrecht & Frank, 2010, Anbergen et al., 2011).

Es wurde ein Frost-Tau-Wechsel-Prüfverfahren entwickelt, das die maßgeblichen Randbedingungen einer eingebauten EWS im Labor simuliert. Dies ist das Einfrieren des Probenkörpers von innen nach außen, die Möglichkeit, die Probe über den gesamten Versuchsablauf eingespannt zu belassen und sie dabei mehreren Frost-Tau-Wechseln zu unterziehen. Auf diese Weise können Einflüsse auf den Kf-Wert (Durchlässigkeitsbeiwert) als entscheidendes Qualitätskriterium bestimmt werden. Zum Untersuchungsauftrag gehörte weiterhin die Aufgabe, ein Messverfahren zu entwickeln, das sich durch praxisnahe Anwendbarkeit auszeichnet und ohne größeren Aufwand methodisch von bestehenden Erdbaulaboren umgesetzt werden kann.

Bei der Untersuchung werden Prüfkörper verwendet, die einen modellhaften Abschnitt einer hinterfüllten Erdwärmesonde darstellen. Die Prüfkörper bestehen aus einem axialen Sondenrohr und dem umgebenden Hinterfüllmaterial. Die hydraulische Durchlässigkeit wird in Anlehnung an die DIN 18130-1 bestimmt. Diese wird in einer modifizierten Wasserdurchlässigkeitsmesszelle ermittelt. Die Wasserdurchlässigkeit wird von Stirnfläche zu Stirnfläche des Prüfkörpers gemessen. Zur Simulation der zyklischen Frost-Tau-Wechsel wird das Sondenrohr des Prüfkörpers mit einer Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt und es kann mit dieser jede beliebige Temperatur simuliert werden. So findet der Durchfrostungsprozess von innen nach außen statt und folgt der in situ stattfindenden Richtung der Durchfrostung. Aufgrund der Messungen der hydraulischen Durchlässigkeit vor und nach jedem Frost-Tau-Wechsel, kann so eine klare Aussage zur Veränderung der Abdichtfunktion aufgrund zyklischer Frost-Tau-Belastungen getroffen werden. Über einen frei einstellbaren Seitendruck ($\sigma_2 = \sigma_3$) können tiefenabhängige Versuche simuliert werden, sodass während des

gesamten Prüfablaufs definierte, seitliche Spannungsrandbedingungen herrschen. Die Prüfkörper verbleiben während der gesamten Prüfung in der Messzelle.

Mit diesem Prüfverfahren wurden zwischenzeitlich mehr als 10 handelsübliche Hinterfüllbaustoffe mehrerer Hersteller geprüft. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich diese z.T. signifikant in ihrem Frost-Tau-Verhalten voneinander unterscheiden. So gibt es Materialien, bei denen die Prüfkörper einen Anstieg der Wasserdurchlässigkeit in einer Größenordnung von drei Zehnerpotenzen nach wenigen Tau-Gefrier-Wechselbeanspruchungen aufweisen. Bei anderen Materialien steigt die Durchlässigkeit bis zu einer Zehnerpotenz. Dabei erfolgt der Anstieg der Durchlässigkeit bereits bei den ersten drei bis fünf Frost-Tau-Wechseln. Dies konnte durch über 500 Versuche und Langzeituntersuchungen mit mehr als 50 Frost-Tau-Wechseln bestätigt werden. Das Prüfverfahren liefert zuverlässig reproduzierbare Ergebnisse und kann ohne größeren Aufwand in jedes Erdbaulabor, das Wasserdurchlässigkeitsversuche durchführt, implementiert werden. Die Abmessungen sind mit handelsüblichen Triaxialzellen vergleichbar. Damit sind die neu entwickelten Messzellen gut handhabbar.

Derzeit werden Ringversuche im Erdbaulabor der Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH in Hamburg, der Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachgebiet Geotechnik und Geothermie sowie der Technischen Universität Darmstadt am Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet für Angewandte Geothermie durchgeführt. ♦

Literatur:

Albrecht, I. und Frank, J. (2010), Vorversuche an Verpressmaterialien für Erdwärmesonden zum mechanisch-hydraulischen Verhalten bei Frost/Tau-Wechseln, bbr-Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 05/2010, 28-33
Anbergen, H., Frank, J., Albrecht, I. und Dittrich, H. (2011), Prüfzelle zur Bestimmung des Frost-Tau-Wechselwiderstandes von Verpressmaterialien für EWS, bbr-Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 10/2011, 38-43
Müller, L. (2009), Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von Hinterfüllbaustoffen, bbr-Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 07-08/2009, 30-36



▲ Prüfkörper eines handelsüblichen Hinterfüllmaterials nach sechs Frost-Tau-Wechseln