

Prüfung der Frostbeständigkeit von Verfüllmassen für Erdwärmesonden

Materialprüfung ■ Grundwasserschutz, allgemeine Betriebssicherheit und der zuverlässige Betrieb über viele Jahre sind entscheidende Faktoren beim Einsatz von Erdwärmesonden. Große Bedeutung bei der Erfüllung dieser Anforderungen kommt den Verfüllbaustoffen zu, mit dem die Sonden im Bohrloch verpresst werden. Seit einigen Jahren widmen Hersteller und Forscher der Frage nach ausreichender Frost-Tau-Beständigkeit dieser Komponenten große Aufmerksamkeit.

Erdwärmesonden oder Teile des Zirkulationssystems können unter bestimmten Betriebsbedingungen in den Frostbereich fallen. Gründe dafür können z. B. sein:

- Unterdimensionierung der Sonde,
- zu große Wärmepumpe → zu hohe Leistungsabforderung,
- schlechter hydraulischen Abgleich,
- veränderte Nutzung → mehr Leistungsabforderung,
- nachlassende Regenerationsfähigkeit des Untergrundes.

So können ausgehend von der Sonde Minusgrade im Verpresskörper und im Untergrund entstehen. Im Zuge dessen wird die Hinterfüllung im Bohrloch sukzessiv mit Frost beaufschlagt. Das freie Wasser im erhärteten Mörtel bzw. im Boden beginnt zu gefrieren.

Tests im Labor und im Feld

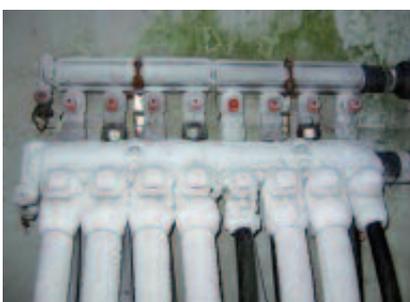
Unter Fachleuten in der Geothermie

wird daher seit längerem darüber diskutiert, ob die praktizierten Prüfungen zur Frostbeständigkeit der Verfüllbaustoffe – meist angelehnt an Normen aus dem Bereich Beton, Naturstein oder Baustoffen für den Hochbau – die Einbausituation in einer verfüllten Erdwärmesonde gut widerspiegeln [1]. Prüfmethode zur Untersuchung der Frost-Tauwechsel-Beständigkeit sind beispielsweise die DIN 52104, DIN EN 1367/1, DIN EN 12371 oder auch DIN CEN/TS 12390-9.

Die Anbieter von (Fertig)-Verfüllmassen legten Daten von externen und eigenen Versuchen im Klimaschrank vor, bei denen die Proben luftumhüllt oder auf wassergesättigten Gewebe gelagert waren, während sie mehrfachen Frost-Tau-Zyklen unterworfen wurden. Das typische Frostregime der Versuche bewegte sich im Temperaturbereich von -5 °C bis -15 °C, bei wenigen Prüfungen auch bis -20 °C. Die von der Industrie

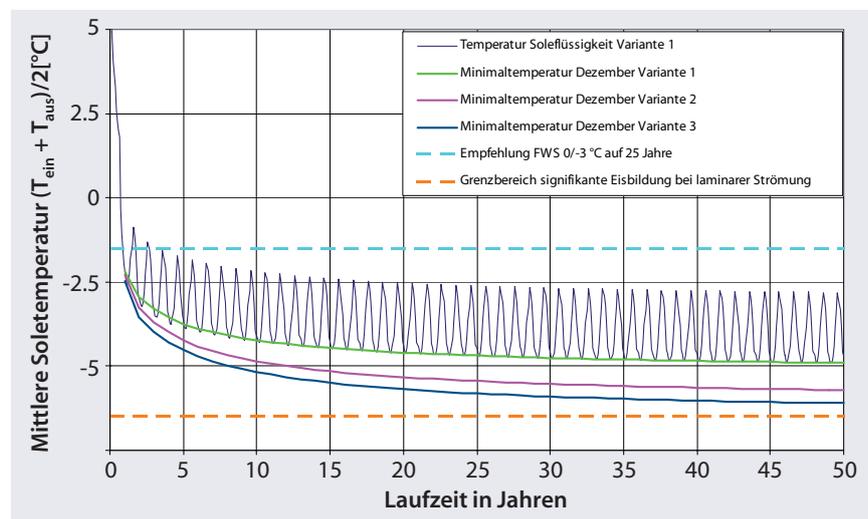
bei anerkannten Baustoffinstituten beauftragten Prüfungen mit Hinterfüllmischungen brachten wichtige Resultate zu Fragen der Frostbeständigkeit. Forschungsarbeiten mit einer Variation von Rezepturen und Materialien zeigten in vergleichenden Versuchsreihen bei einigen Mischungen aber auch teils zerfallene oder rissige Prüfkörper, die rein visuell bereits als nicht ausreichend frostbeständig eingestuft werden mussten [1].

In Zusammenarbeit mit der Ingenieurgesellschaft Enders & Dührkop hat die TU Hamburg Harburg [2] 2009 eine Versuchsreihe zu FT-Beständigkeit gestartet, bei der die Proben der Hinterfüllmasse von einem Stahlrohr umhüllt sind und daher die seitliche Ausdehnung (= in radialer Richtung) als auch in gewissem Umfang die längs des Rohres (= axial) komplett oder nahezu unterbunden wird. Bei den Tests zeigt sich eine deutlich verbesserte Bestän-



△ **Abb. 1** Eingefrorener Erdwärmesondenverteiler (aus [6])

▷ **Abb. 2** Simulierter Temperaturverlauf (Mittel der Sole aus Vor- und Rücklauf) des Ist-Zustandes für die EWS im EFH über einen Zeitraum von 25 Jahren, Rote Linie = Grenzwert für Eisbildung (aus [6])



digkeit der Massen, vor allem bei Proben mit ausreichender Aushärtezeit [3]. Die Arbeiten laufen mit Unterstützung des Senats der Freien und Hansestadt Hamburg weiter. Die TU HH will bei der Fortführung der Arbeiten eine Prüf-anordnung wählen, bei der das Gefrieren der Hinterfüllmasse analog einer EWS über ein Rohr in der Mitte der Probe erfolgt [3].

Ähnliche Ansätze gibt es bei einem neuen Forschungsvorhaben an der ZAE Bayern in Garching [4]. Dort baute das Forscherteam einen eigens konzipierten, knapp drei Meter hohen Versuchstand mit sehr umfangreicher Messtechnik auf. Versuche auf der Prüfapparatur an Verfüllmassen laufen seit Jahresbeginn 2010. Die Anlage misst während der Frost-Tau-Beaufschlagung kontinuierlich den $k(f)$ -Wert der Masse. Ein Versuch läuft typischerweise über zwei bis drei Monate. Erste Ergebnisse zeigen, dass in der eingebauten Hinterfüllmasse bei einer radialen und axialen Behinderung der Ausdehnung nur eine geringe Änderungen der Durchlässigkeit auftritt.

Das SOLITES Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme Stuttgart hat in einem großen Versuchsfeld bei Crailsheim insgesamt vier, rückbaubare EWS mit rund 30 m tiefe Bohrungen installieren lassen [5]. Das Ziehen der Rohre erfolgte nach Aushärtung der Massen. Die Rohre mit Hinterfüllmasse wurden in Meterstücke zersägt. In der Testphase lief die Anlage im Frost-Tau-Betrieb. Die Masse war sowohl in Querschnitt als auch in Längsrichtung in der Ausdehnung behindert.

Ziel aller Arbeiten war und ist es, möglichst realitätsnahe Tests zur Frostbeständigkeit von Verfüllmassen durchzuführen und die In-situ-Situation gut abzubilden. Es sollen dabei mehr Daten über das Verhalten und die Dauerbeständigkeit der Masse in der EWS gewonnen werden und die Ergebnisse Eingang in die Richtlinienarbeit finden.

Beispiele für Frostentstehung bei einer EWS

Die in **Abbildung 1** gezeigte Vereisung wird auf starke Überlastung der EWS zu-

rückgeführt [6]. Die EWS-Anlage war nach Installation einer größeren Wärmepumpe zu klein geworden, da neben der Nutzung zur Gebäudeheizung zusätzlich das Wasser in einem Schwimmbad temperiert werden sollte. Die Regenerationszeit des Untergrundes verkürzte sich infolgedessen und beschleunigte den Temperaturrückgang im Boden.

Abbildung 2 zeigt ein Ist-Simulationsdiagramm für eine Geothermieanlage [6]. Die ca. 120 m tiefe EWS wurde für die Beheizung eines Einfamilienhauses genutzt. Der Besitzer beobachtete über Jahre hinweg das Absinken der Rücklauftemperatur. An den Vor- und Rücklaufleitungen bildete sich allmählich eine dicke Eisschicht. Die Schadensanalyse ergab schließlich eine überdimensionierte Wärmepumpe mit einer zu klein ausgelegten EWS.

Modifizierte Prüfung der Frostbeständigkeit

Zur weitergehenden Prüfung eines Verfüllmörtels baute die HDG Umwelttechnik in Kisslegg einen eigenen Ver-



Abb. 3 Einfach-U-Sonde DA 40 x 3,7 mit Injektionsrohr



Abb. 4 Fluidbehälter in der Frostbox mit MEG



Abb. 5 Auftrennen des Probekörpers mit Diamantsäge



Abb. 6 Prüfkörperhälfte mit eingebetteter Einfach-U-Sonde



Abb. 7 Verbund des Hinterfüllmörtels am Sondenfuß im Detail



Abb. 8 Frostbox mit eingebautem Rohrbündel 4 x 32 mm

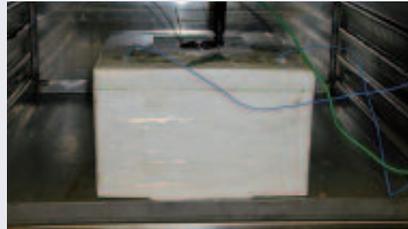


Abb. 9 Mess- und Prüfanordnung im automatischen Klimaschrank

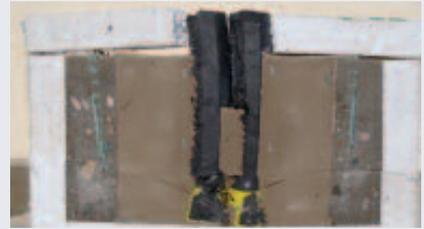


Abb. 10 Schnitt quer durch die Mitte, Bewehrungsgitter im äußeren Verguss sichtbar

suchsstand auf, bei dem die Frosteinwirkung in die Verfüllmasse über ein 1:1 Sondensystem DA 40 mm x 3,7 mm erfolgt (**Abb. 3, 4**). Grundüberlegung und Leitgedanke bei den Arbeiten war es, die Einbaubedingungen im Untergrund und den Frostpfad möglichst realitätsnah abzubilden. Die Herstellung des Probekörpers fand am 29. Juni 2010 mit einem W/F von 0,44 statt. Das Verfüllen erfolgte über ein Injektionsrohr von unten nach oben. Die Unterseite bestand aus einem geschlossenen System mit Deckel auf dem PVC-Rohr Dm. 150 mm. Drei Sensoren haben den Temperaturverlauf gemessen: Einer im MEG-Fluidbehälter in der Frostbox, einer im Vorlauf unmittelbar vor der Umwälzpumpe und einer in der erhärteten Verfüllmasse HDG THERMO HS in ca. 1,5 cm Distanz (Sensor in Bohrung) vom PE-Sondenrohr Durchmesser 40 mm. Als Fluid kam Monoethylenglykol (**Abk. MEG**), im Verhältnis 2:1 eingestellt auf mind. -16 °C, zum Einsatz.

Die Temperatur im Probekörper lag im Verlauf der Frost-Tau-Wechsel im Bereich zwischen +12 °C und -11,8 °C, wobei die niedrigsten gemessenen Temperaturen in der Sonde bei -9,4 °C, -9,8 °C und -11,8 °C lagen. Die Befrostung endete nach insgesamt acht Frost-

zyklen am 01.10.2010; unmittelbar danach wurde der Probekörper ausgebaut. Zum Zeitpunkt des Ausschalens am 1. Oktober 2010 war der Prüfkörper im Zentrum noch gefroren. Die Verfüllmasse wies äußerlich als unzersägter Prüfkörper keine Risse und Abplatzungen auf. Nach dem Auftrennen mit der Diamantsäge waren an der Schnittfläche keine Eislinsen oder durch Frost verursachte Risse bzw. Gefügeänderungen erkennbar (**Abb. 5, 6, 7**). Im Ergebnis ist der erhärtete Mörtel als vollständig intakt, formschlüssig an der Sonde anliegend und im direkten Verbund mit den PE-Rohren zu beschreiben.

Frostkastenversuche mit HDG THERMO HS

Hierfür gossen die Techniker in einem eigens konzipierten kubischen Prüfkasten zuerst eine äußere Schale aus zementiertem Kies-Sand-Gemisch. Diese ist versehen mit einem Kunststoffgewebe zur Verstärkung und vier Bohrungen für die spätere Aufnahme der Temperatursensoren. Nach Aushärtung der äußeren Masse wurde in den ausgesparten Kern ein Viererbündel PE-Rohr 32 mm eingestellt und der Ringraum mit HDG THERMO HS vergossen (**Abb. 8**). Die Verfüllmasse konnte wegen der geringen Bauhöhe von 16 cm ohne Injektionsrohr eingebracht werden.

Nach > 28 Tagen liefen die Frost-Tau-Wechselversuche an. Die Umgebungstemperatur im Klimaschrank wurde bis auf -16 °C abgesenkt, wobei das Fluid in den PE-Rohren nur auf -6 °C heruntergekühlt werden konnte. Der Frostpfad ging primär vom Fluid über die Sonde in die Masse. Die Temperatursensoren in der Verfüllmasse verzeichneten Tiefstwerte von knapp -5 °C (**Abb. 9**). Nach den Frost-Tau-Zyklen über eine Zeit von mehr als neun Tagen wurde der kubische Prüfkörper mit einer Steinsäge quer mittig und im äußeren Drittel durchgetrennt. Wie auf der Schnittfläche in **Abbildung 10** erkennbar ist, war der abgebundene Mörtel HDG THERMO HS intakt, rissfrei und hatte einen guten Verbund zum PE-Rohr.

Zusammenfassung

Die Versuchsaufbauten mit Dehnungsbehinderung im Rohr Ø 150 mm und in der Frostbox sind modifizierte, auf die Einbausituation von EWS ausgerichtete Verfahren, um die Frost-Tau-Beständigkeit von Hinterfüllmassen zu prüfen und zu beurteilen. Die Frostausbreitung läuft in beiden Fällen von der Sole über das PE-Rohr in die Masse. Die beiden Versuchsvarianten brachten im Ergebnis bei visueller Prüfung eine gute Beständigkeit der Hinterfüllmasse gegen Frosteinwirkung.

Literatur

[1] Müller, L. (2010): Qualitätsanforderungen an Hinterfüllbaustoffe für Erdwärmesonden. Beitrag zum Kongress GEOTHERM 2010 in Offenburg/Baden

[2] Albrecht, I. & Frank, J. (2010): Vorversuche an Verpressmaterialien für Erdwärmesonden zum mechanisch-hydraulischen Verhalten bei Frost/Tau-Wechseln, *bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau* 05/10 S. 28-33

[3] Frank, J. (2010): Vorversuche an Verpressmaterialien für Erdwärmesonden zum mechanisch-hydraulischen Verhalten bei Frost-Tauwechsel, *Enders & Dührkop Ingenieurgesellschaft mbH, Beitrag zum Geothermiekongress 2010 in Karlsruhe*

[4] Kuckelkorn, J. M. & Reuß, M. (2010): Untersuchung der hydraulischen Durchlässigkeit von Erdwärmesondensystemen, *ZAE Bayern - Bayerisches Zentrum für Angewandte Energie-*

forschung e.V., Beitrag zum Geothermiekongress 2010 in Karlsruhe

[5] Riegger, M. (2010): *EWSpplus (Untersuchungen zur Qualitätssicherung von Erdwärmesonden) – Erste Ergebnisse, Solites – Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, Beitrag zum Geothermiekongress 2010 in Karlsruhe*

[6] Bassetti, S. et. al. (2006): *Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden, Geothermie CH & Energie Schweiz, Zürich*

Abbildungen: Abb. 1, 2: Bassetti, S. et. al. (2006): *Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden, Geothermie CH & Energie Schweiz, Zürich, Abb. 3-10: HDG Umwelttechnik GmbH*

Autoren:

Tobias Müller
Kurt Schnell
Geschäftsführer
HDG Umwelttechnik GmbH
Stolzenseeweg 1
88353 Kisslegg
Tel.: 07563 912478-0
Fax: 07563 912478-20
E-Mail: info@hdg-gmbh.com
Internet: www.hdg-gmbh.com



Impressum:

wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft
Gas und Wasser mbH
Josef-Wirmer-Str. 3
53123 Bonn
E-Mail: info@wvgw.de
Internet: www.wvgw.de

