



Universität Stuttgart
**Institut für Wasser- und
Umweltsystemmodellierung**

Wissenschaftlicher Leiter VEGAS
Jürgen Braun, PhD Tel.: 685-67018
Technischer Leiter VEGAS
Dr.-Ing. H.-P. Koschitzky Tel.: 685-64716

Pfaffenwaldring 61
D - 70569 Stuttgart

www.vegas.uni-stuttgart.de

Einfluss des Betriebs von Wärmepumpen
auf potentielle Durchfrostung
einer Erdwärmesonde
- EWS-Frost -
(L75 14 011)

Forschungsberichtsblatt

Projektleiter: Jürgen Braun

Laufzeit: 01.11.2014 - 31.12.2015

1 Kurzbeschreibung der Forschungsergebnisse

Parallele Temperatur- und TDR-Messungen (Time Domain Reflectometry) an einem Betonprobekörper zeigen eine direkte Korrelation des Beginns der Eisbildung (Keimbildung) mit einem lokalen, kurzzeitigen Temperaturanstieg. Somit konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen eine Methode entwickelt werden, mit Hilfe derer erstmals die Eisbildung innerhalb einer Erdwärmesonde (EWS) für verschiedene Szenarien experimentell nachgewiesen werden kann. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Keimbildung im Zentrum der Sonde (zwischen den Sondenrohren) stattfindet.

Ein VEGAS Großbehälter mit einem Schichtaquifer unterschiedlicher Durchlässigkeiten wurde mit einer extern hergestellten EWS sowie einem dichten Netz von PT100 Temperaturfühler in deren Nahfeld ausgestattet. Die EWS wurde dann mit unterschiedlichen Zulaufsznarien betrieben (Leistung der Kühlanlage, Zulauftemperatur und Strömungsverhältnisse im Sondenrohr, Kühlbetrieb) und deren Einfluss auf den Nahbereich der Sonde sowie auf das Verfüllmaterial der Sonde betrachtet. Die Ergebnisse sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

1. Bei Zulauftemperaturen zwischen 0°C und -2 °C (S1, S2, S3, S4) konnte, unabhängig von den weiteren Randbedingungen, im Verfüllmaterial keine Frostbildung nachgewiesen werden.
2. Bei Zulauftemperaturen von -3 °C und *transienten* Strömungsbedingungen in der Sonde wurde bei unterschiedlicher Kühlleistung des Thermostats (0,6 kW, 2kW) eine Frostbildung erst nach 100 (94) Stunden Dauerbetriebs nachgewiesen (S5, S9). Dieser Lastfall kommt in der Praxis wohl äußerst selten vor.
3. Bei Zulauftemperaturen von -3 °C, und *turbulenten* Strömungsbedingungen in der Sonde, bei stagnierendem Grundwasser und maximaler Kühlleistung wurde eine Frostbildung nach 21/13 Stunden Dauerbetrieb (S8/S11) nachgewiesen.
4. Wenn bei den in 3) beschriebenen Bedingungen eine Grundwasserströmung angelegt wurde, stellte sich im Verfüllmaterial bereits nach 4 Stunden Dauerbetrieb (S10) Frost ein.
5. Wenn die EWS bei den in 3) beschriebenen Bedingungen intermittierend betrieben wurde, dann gefriert die Hinterfüllung ähnlich wie bei Dauerbetrieb. Bei kurzen Relaxationszeiten (S12a) bleibt die Hinterfüllung gefroren. Bei längeren Relaxationszeiten (S12b) stellt sich in der Hinterfüllung ein Frost-Tau-Wechsel ein. Eine weitere Verlängerung der Relaxationszeit (S12c) resultiert in einer Situation, in der nur noch teilweise Frostbildung nachgewiesen werden kann. Bei einer leichten Zunahme der Kühltemperatur auf -2,5 °C (S12d) bleibt die Sonde frostfrei.
6. Im Nahbereich der Sonde konnte bei keinem der durchgeführten Szenarien Frostbildung nachgewiesen werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse (F/T = Frost-Tau-Wechsel)

Initial- und Randbedingungen	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12a	S12b	S12c	S12d
Grundströmung		x							x	x					
ja															
nein	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x
Kühlleistung des Thermostats	x	x	x	x	x	x									
0,6 kW															
maximal (2 kW)															
Zieltemperatur	x	x	x												
0 °C															
-2 °C				x											
-2,5 °C															x
-3 °C					x			x		x	x	x	x	x	
-4 °C						x									
-5 °C							x								
Strömung			x	x	x	x	x								
transient															
turbulent	x	x						x		x	x	x	x	x	x
Betrieb	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Dauerbetrieb															
2,5 Std an / 1 Std aus												x			
2,5 Std an / 1,5 Std aus															
2,5 Std an / 2,5 Std aus													x		
Eisbildung (Zeitpunkt)															
in EWS Nahbereich															
in EWS Verfüllung					100h	10h	12h	21h	94,5h	4h	13h	13h	F/T	F/T	

2 Erreichte Fortschritte für die Wissenschaft und/oder Technische Anwendungen

Von einem wissenschaftlichen Standpunkt aus konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen eine Methode entwickelt werden, mit Hilfe derer erstmals die Eisbildung innerhalb einer EWS für verschiedene Szenarien experimentell nachgewiesen werden konnte. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Keimbildung im Zentrum der Sonde (zwischen den Sondenrohren) stattfindet. Weiterhin wurden das erste Mal Temperaturgradienten innerhalb einer Erdwärmesonde sowie in ihrem Nahbereich experimentell bei verschiedenen Randbedingungen und mit hochauflösenden Geräten untersucht. Auf der einen Seite wurden die Zulauftemperaturen in die EWS (konstant, intermittierend) und auf der anderen Seite auch die Aquiferbedingungen (keine Strömung, verschiedene Strömungsraten in den Schichten mit verschiedenen Durchlässigkeiten) geändert.

Technische Anwendungen: Die Ergebnisse können als experimenteller Nachweis für die Sicherheit der -3°C Regel für den EWS-Zulauf verwendet werden.

3 Vorteile und praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen experimentell, dass die derzeitig verwendete -3°C Regel für EWS genau auf der Grenze zwischen frostsicher und frostgefährdet liegt. Nachdem die Sonden im Feldfall jedoch eine größere Temperaturspreizung zwischen Zu- und Ablauf zeigen und der „Point of Interest“ (Gipskeuper/ Aquiferstauer) weiterhin in einer gewissen Tiefe anzutreffen sind, sollten die in der LQS EWS 2015 festgelegten -3°C einen sicheren Betrieb ermöglichen.

4 Konzept zum Transfer der Ergebnisse auf die Anwendung

Die Ergebnisse könnten/sollten verwendet werden um die Standsicherheit verschiedener EWS im Land nachträglich zu untersuchen. Die Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse über potentielle Frosttiefen verbunden mit dem Wissen über den (historischen) Betrieb einer EWS, den in einer EWS verbauten Komponenten (insbesondere das Hinterfüllmaterial) und dem anstehenden Gebirge (Lage der GW-Stauer) könnten Hinweise auf potentiell problematische EWS ergeben.

Die Ergebnisse könnten also, nach einigen weiteren Untersuchungen, zu einem Werkzeug entwickelt werden, welches den Genehmigungsbehörden erlauben würde von der -3°C Regel ausnahmsweise abzuweichen wenn, Standortbedingt (Geologie, GW-Strömung, Lage der zu schützenden Schichten,...), die Einhaltung der hohen Anforderungen an das EWS-Hinterfüllmaterial nachgewiesen werden können. Dies könnte einen effizienteren Betrieb einer bestimmten EWS oder eines Sondenfeldes erlauben.