

# Visualisierung des Verfüllvorgangs von Erdwärmesondenbohrungen

Dipl.-Ing. Mathieu Riegger, M.Sc. Julian Rolker

Vortrag zum Fachgespräch Erdwärmennutzung am 16.09.2015 in Idstein

Steinbeis  
Forschungsinstitut  
für solare und  
zukunftsfähige  
thermische  
Energiesysteme

Meitnerstr. 8  
D-70563 Stuttgart  
[www.solites.de](http://www.solites.de)

solites

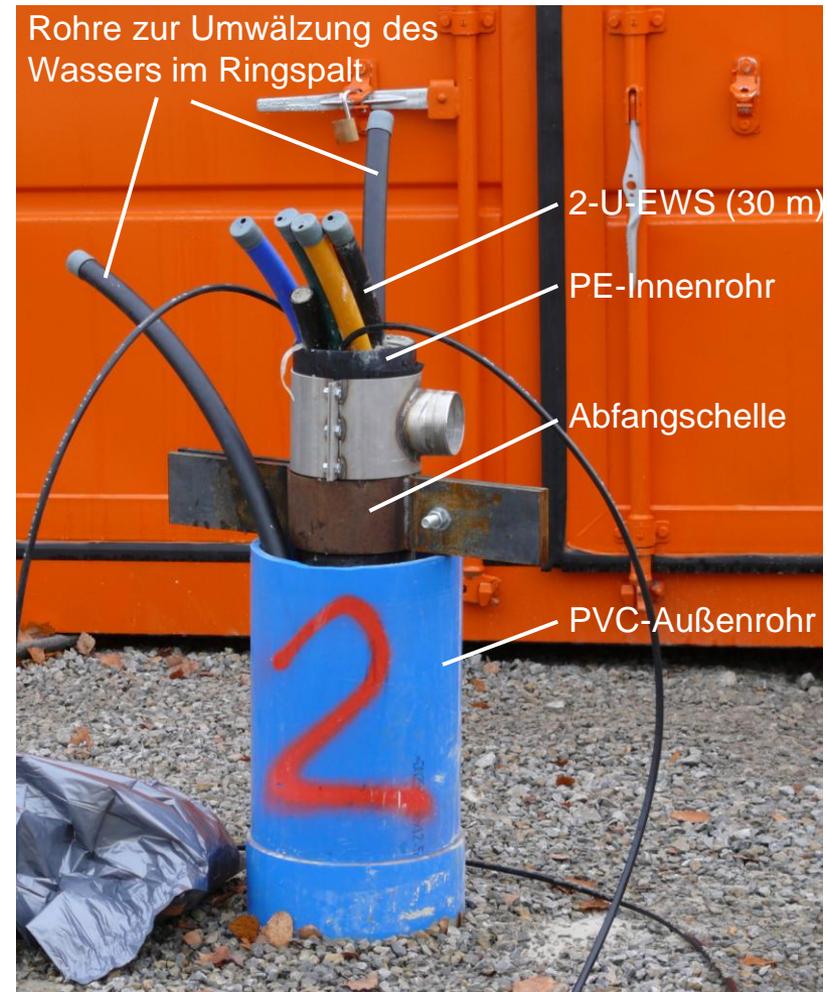
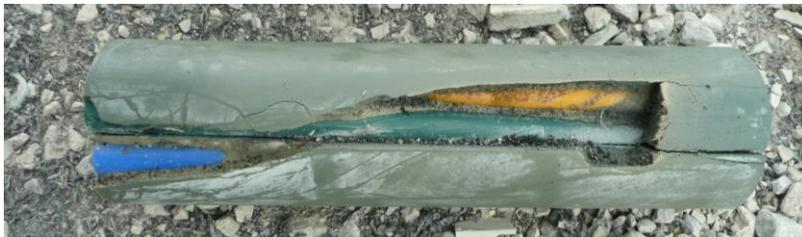
# Ausgangssituation nach dem Forschungsprojekt EWSplus

Untersuchung von 20 Realmaßstabs-Erdwärmesonden hinsichtlich:

- Verlauf der Sondenrohre im Bohrloch
- Thermische Effizienz der Erdwärmesonden
- Verfüllqualität der Erdwärmesonden
- Eignung verschiedener Messverfahren zur Bestimmung der Verfüllqualität

Erkenntnis:

**In zahlreichen der erstellten Erdwärmesonden war die Verfüllqualität nicht zufriedenstellend!**



# Projektübersicht: Das Forschungsprojekt EWS-tech

**EWS-tech** – Weiterentwicklung der Erdwärmesonden-Technologie

## Projektpartner:

- Solites
- EIFER (European Institute for Energy Research)
- Institut für Angewandte Geowissenschaften Karlsruhe am KIT
- Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (MPA) Karlsruhe

## Industriepartner:

- Hersteller von Verfüllbaustoffen
- Hersteller von Misch- und Verpressanlagen
- Hersteller von Erdwärmesonden

Regelmäßiger Einbezug des „Arbeitskreis Baustoffe für Erdwärmesonden“

**Projektstart:** 01.08.2013

**Projektlaufzeit:** 2,5 Jahre

**Fördermittelgeber:**



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

## Projektübersicht: Zielsetzung

- Verständnis des Verfüllvorgangs und der Fehlstellenentstehung im Ringraum von Erdwärmesonden
- Mögliche Weiterentwicklung der eingesetzten Verfüllmaterialien und der eingesetzten Misch- und Verpresstechnik
- Handlungsempfehlungen zur qualitätsgesicherten Ausführung der Verfüllung von EWS
- Erarbeitung von allgemeinen Labor-Prüfbedingungen und -kriterien für Verfüllmaterialien und von Verfüllsuspensions-Parametern, die auf der Baustelle überwacht werden können
- Vorschlag zur Festlegung der grundlegenden Informationen, die in allen Datenblättern der Verfüllmaterialhersteller enthalten sein müssen
- Ausarbeitung eines Systemdichtigkeitstests, der auch von Baustoffherstellern und anderen Prüflaboren (nicht nur AGW, EIFER und MPA) durchgeführt werden kann
- Grundlegende Erkenntnisse zur Langzeitstabilität von Verfüllbaustoffen unter dem Einfluss sulfataggressiver oder CO<sub>2</sub>-haltiger Grundwässer

# Projektübersicht: Vorgehen in drei Stufen

## 1. Laboruntersuchungen

- Materialuntersuchungen u.a. der Frischmörtel und der ausgehärteten Baustoffe, die in den Stufen 2 und 3 eingesetzt werden.
- Untersuchungen zur Systemdurchlässigkeit insbesondere von EWS mit nicht-sulfatbeständigem Zement bei sulfataggressivem bzw. CO<sub>2</sub>-haltigem Grundwasser

## 2. Technikumsversuche in einem oberirdischen, teilweise transparenten Prüfstand mit ca. 6 m Höhe (ca. 36 EWS)

- Visualisierung des Verpressvorgangs in einem transparenten Prüfstand
- Untersuchung einer großen Anzahl von Einflussfaktoren (z.B. Art und W/F-Wert des Verfüllmaterials, Verpressgeschwindigkeiten, Anmischart, etc.)

## 3. Realmaßstabsversuche in einem 30 m tiefen Prüfstand, der den zerstörungsfreien Rückbau der untersuchten EWS erlaubt (8 EWS)

- Vergleich der thermischen Effizienz von 2-U-Erdwärmesonden und von Koaxial-Erdwärmesonden
- Verifizierung der Erkenntnisse aus den Stufen 1 & 2 im Realmaßstab

# Planung der Technikumsversuche

- In Frage kommende transparente Rohrmaterialien:
  - transparentes PVC
  - Acrylglas (PMMA, Plexiglas®)
  - Polycarbonat (PC)
- Ziele:
  - Reduktion der Verbindungsstellenanzahl
  - Besandung muss möglich sein
- Schwierigkeit: Transparente Rohre sind in ausreichender Länge (6 m) nicht als Standardprodukt lieferbar
- Durchführung von Vorversuchen und Besandungsversuchen als Grundlage der Rohrauswahl



# Technikumsversuchsaufbau in der Versuchshalle des KIT



## Visualisierung des Verfüllvorgangs von EWS 1-3



# Visualisierung des Verfüllvorgangs



**EWS 1-1**



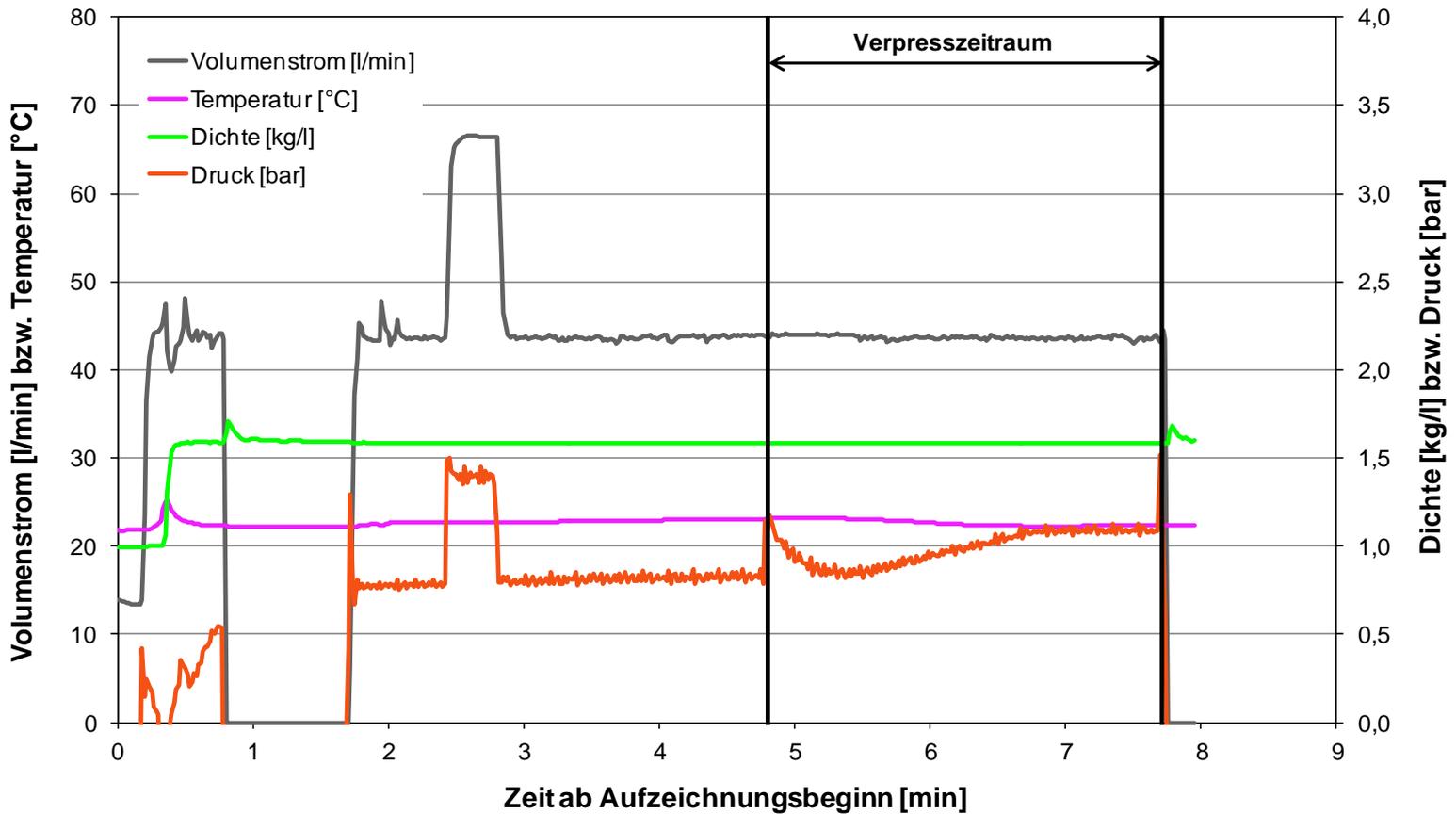
	EWS 1-1	EWS 4-1
<b>Baustoff</b>	VM 1	
<b>W/F-Wert</b>	nach Herstellerangabe	
<b>Bohrloch</b>	wassergefüllt	
<b>Anmischzeit</b>	90 s	120 s (zzgl. ca. 25 min Zirkulation im Verpress- schlauch)
<b>Verpress- geschw.</b>	ca. 40-45 l/min	39 l/min
<b>Verpress- druck</b>	-	3,6 bar
<b>Marsh- Zeit</b>	92 s	nicht messbar
<b>subjektive Beschrei- bung</b>	turbulente Strömung	laminare Strömung
	großer Durchmischungs- bereich Suspension/Was- ser	Grenzschicht Suspension/Was- ser klar erkennbar



**EWS 4-1**



# Datenerfassung während des Verfüllvorgangs von EWS 3-2



Verpressdauer: 2,91 min

Mittlere Suspensionsdichte: 1,58 kg/l

Mittlere

Suspensionstemperatur: 22,6 °C

Mittlerer Verpressvolumenstrom: 43,7 l/min

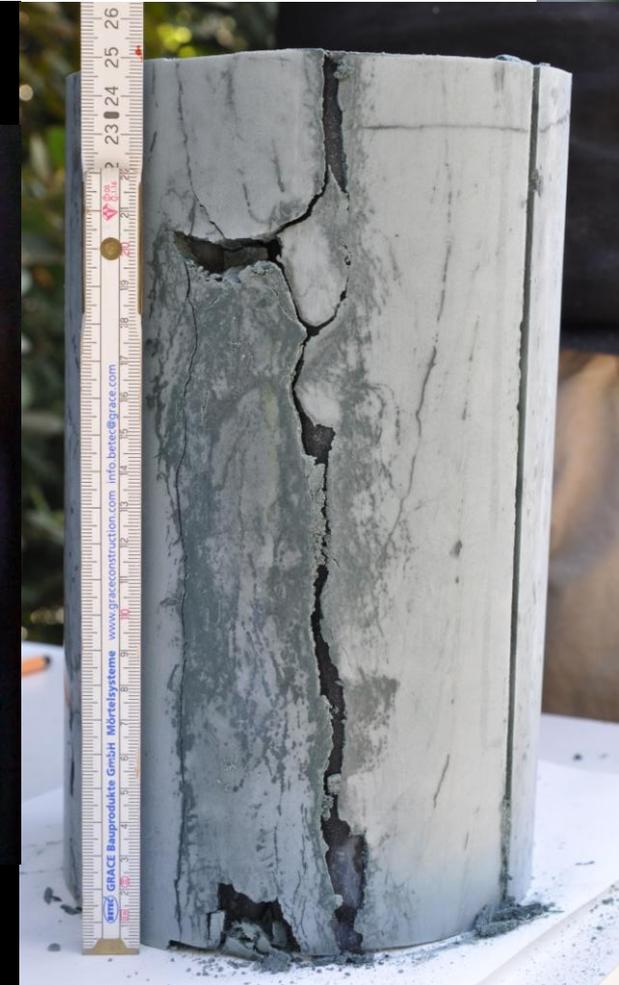
Eingebrachtes Suspensionsvolumen: 127 l

# Visualisierung des Abbindevorgangs von EWS 3-1 (1)

76 min nach Verpressung



Ausgehärteter Zustand

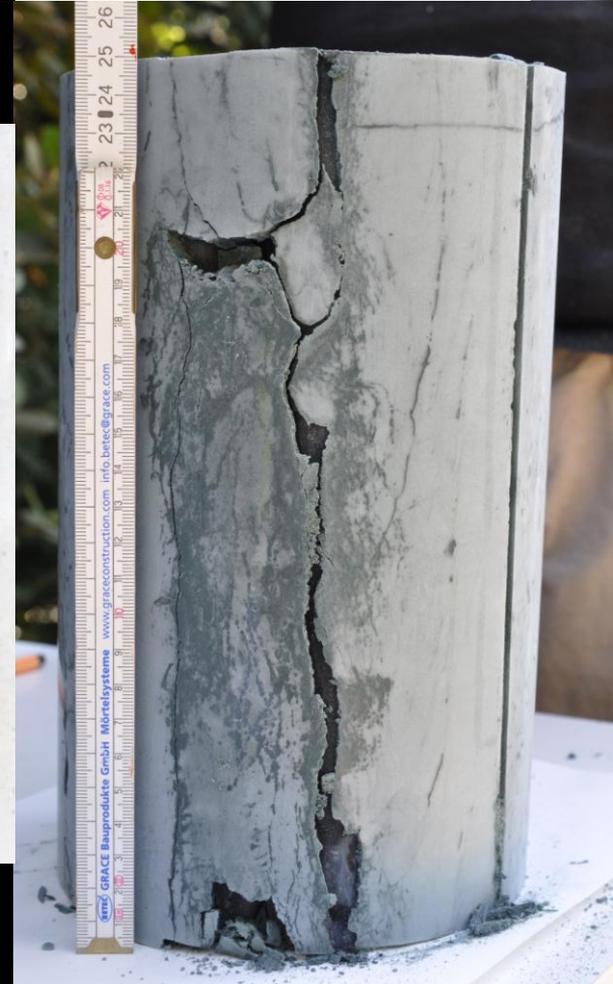


# Visualisierung des Abbindevorgangs von EWS 3-1 (2)

94 min nach Verpressung



Ausgehärteter Zustand



## Erfassung der Verfüllqualität (1)



## Erfassung der Verfüllqualität (2)



## Erfassung der Verfüllqualität (3)



# Übersicht der bisherigen Technikumsversuche (1)

	Verfüll- baustoff	Anmischzeit	W/F-Verhältnis	Verfüllge- schwindigkeit	Zusätzliche Variationen
EWS 1-1	08	90 s	nach Datenblatt	ca. 45 l/min	
EWS 1-2	08	90 s	nach Datenblatt	45 l/min	besandetes "Bohrloch"
EWS 1-3	08	90 s	nach Datenblatt	67 l/min	
EWS 1-4	08	90 s	nach Datenblatt	26 l/min	
EWS 2-1	08	90 s	nach Datenblatt	41 l/min	
EWS 2-2	08	90 s	nach Datenblatt	41 l/min	
EWS 2-3	08	90 s	nach Datenblatt	41 l/min	besandetes "Bohrloch"
EWS 2-4	08	90 s	nach Datenblatt	40 l/min	besandetes "Bohrloch"
EWS 3-1	02	120 s	nach Datenblatt	44 l/min	
EWS 3-2	02	120 s	110%	44 l/min	
EWS 3-3	02	Durchlaufmischer	Dichte nach Datenblatt	ca. 35 l/min	
EWS 3-4	02	Durchlaufmischer	max. Wasserzugabe	ca. 35 l/min	
EWS 4-1	08	120 s	nach Datenblatt	39 l/min	Gummiringe an Sondenrohren im Abstand von 0,5 m
EWS 4-2	08	90 s	nach Datenblatt	41 l/min	Zentrierhilfen im Abstand von 1,0 m
EWS 4-3	02*	90 s	nach Datenblatt	41 l/min	
EWS 4-4	02*	120 s	nach Datenblatt	41 l/min	
EWS 5-1	08	60 s	nach Datenblatt	40 l/min	Koaxialsonde
EWS 5-2	08	90 s	nach Datenblatt	40 l/min	trockenes "Bohrloch"
EWS 5-3	03	60 s	nach Datenblatt	39 l/min	
EWS 5-4	03	Durchlaufmischer	Dichte nach Datenblatt	ca. 35 l/min	

\*: gegenüber dem entsprechenden Originalprodukt durch den Hersteller modifizierter Verfüllbaustoff

**Standardversuchsbedingung:** wassergefülltes, nicht besandetes PMMA-Rohr als "Bohrloch"; 2-U EWS PE 100, keine Abstandshalter/Zentrierhilfen, Verfüllung im Kontraktorverfahren

## Übersicht der bisherigen Technikumsversuche (2)

	Verfüll- baustoff	Anmischzeit	W/F-Verhältnis	Verfüllge- schwindigkeit	Zusätzliche Variationen
EWS 6-1	07	120 s	nach Datenblatt	42 l/min	
EWS 6-2	07*	120 s	nach Datenblatt	42 l/min	
EWS 6-3	13	60 s	nach Datenblatt	41 l/min	
EWS 6-4	13	240 s	nach Datenblatt	42 l/min	
EWS 7-1	13	5 s	nach Datenblatt	43 l/min	
EWS 7-2	13*	90 s	nach Datenblatt	42 l/min	
EWS 7-3	13*	90 s	nach Datenblatt	~ 26 l/min	
EWS 7-4	13*	90 s	nach Datenblatt	~ 65 l/min	
EWS 8-1	15	90 s	nach Datenblatt	43 l/min	
EWS 8-2	15	90 s	nach Datenblatt	43 l/min	aufgerautes PE-Xa 2-U Rohr
EWS 8-3	15	90 s	nach Datenblatt	43 l/min	Koaxialsonde (gewellt)
EWS 8-4	15	90 s	nach Datenblatt	43 l/min	Koaxialsonde (glatt)
EWS 9-1	09	90 s	nach Datenblatt	40-45 l/min	
EWS 9-2	09	90 s	nach Datenblatt	40-45 l/min	aufgerautes PE-Xa 2-U Rohr
EWS 9-3	09	90 s	nach Datenblatt	40-45 l/min	gezogener Verpressschlauch
EWS 9-4	09	90 s	nach Datenblatt	40-45 l/min	langer Verpressschlauch

\*: gegenüber dem entsprechenden Originalprodukt durch den Hersteller modifizierter Verfüllbaustoff

**Standardversuchsbedingung:** wassergefülltes, nicht besandetes PMMA-Rohr als "Bohrloch"; 2-U EWS PE 100, keine Abstandshalter/Zentrierhilfen, Verfüllung im Kontraktorverfahren

## Fazit der bisherigen Technikumsversuche

- Erfolgreiche Erstellung des Technikumsversuchsaufbaus
- Der Versuchsablauf wurde erarbeitet, während eines Vorversuchs erfolgreich getestet und in den durchgeführten Versuchsreihen in Details optimiert.
- Es konnte gezeigt werden, dass Fehlstellen (wasser-/luftgefüllte Bereiche in der EWS-Verfüllung), die in dem Forschungsvorhaben EWSplus bei Realmaßstabsversuchen mit 30 m tiefen EWS beobachtet wurden, auch bei einer Verfüllstrecke von lediglich 6 m auftreten können.
- Die im Bohrloch nach der Verfüllung stattfindenden Prozesse (z.B. Entmischung, Wasserabsetzen) können sehr gut beobachtet werden und sind von großer Bedeutung für die Verfüllqualität.

## Weiteres Vorgehen

- Abschluss der Technikumsversuche
  - Noch ausstehend: Versuchsreihe 9 und Referenzuntersuchungen in Bohrlöchern ohne Sondenrohre
- Durchführung der Realmaßstabsversuche
- Korrelation der Versuchsergebnisse aus den Technikums- und Realmaßstabsversuchen mit:
  - den Versuchsbedingungen (Art und W/F-Wert des Verfüllmaterials, Anmischzeit, Art der verwendeten Misch- und Verpressanlage, Verpressgeschwindigkeit, etc.),
  - den visuellen Beobachtungen während des Verfüllvorgangs und während des Abbindevorgangs (Technikumsversuche),
  - den während des Verfüllvorgangs kontinuierlich (Verpressgeschwindigkeit, -druck, Dichte und Temperatur der Verfüllsuspension) und einmalig (Absetzmaß, Dichte und Marsh-Zeit der eingebrachten und austretenden Verfüllsuspension) erfassten Daten und
  - den durch die MPA Karlsruhe bestimmten Verfüllsuspensionseigenschaften

## Erstellung des Realmaßstabsversuchsgeländes (1)



## Erstellung des Realmaßstabsversuchsgeländes (2)





Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!