

GeoTHERM 2024  
01.03.2024



Qualitätssteigerung  
oberflächennaher Geothermiesysteme

Erkenntnisse zur Bohrlochintegrität aus  
rückgebauten Erdwärmesonden

–

Interaktion von Erdwärmesonden-  
Verfüllbaustoffen mit dem Untergrund

Yannick Reduth (Solites)

**HBC.**  
HOCHSCHULE  
BIBERACH  
UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

**BURKHARDT**  
Geologische und  
hydrologische  
Bohrungen

**eifer**

**HAURI**

**H.S.W.** Ingenieurbüro  
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

**KIT**  
Karlsruher Institut für Technologie

**solites**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

**Fraunhofer**  
ISE

In Zusammenarbeit mit:



ZAE BAYERN

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Vorgehen

### Teilprojekt 3 Qualitätsanforderungen an Erdwärmesonden-Verfüllbaustoffe

#### TP 3.1:

Filtrations-  
verhalten  
von EWS-  
Verfüll-  
baustoffen

#### TP 3.2:

Ermittlung der  
hydraulischen  
Durchlässig-  
keit von  
Systemproben

#### TP 3.3:

Realitätsnahe  
Kombination  
von Unter-  
suchungs-  
aspekten von  
Filtrations-  
effekten

#### TP 3.4:

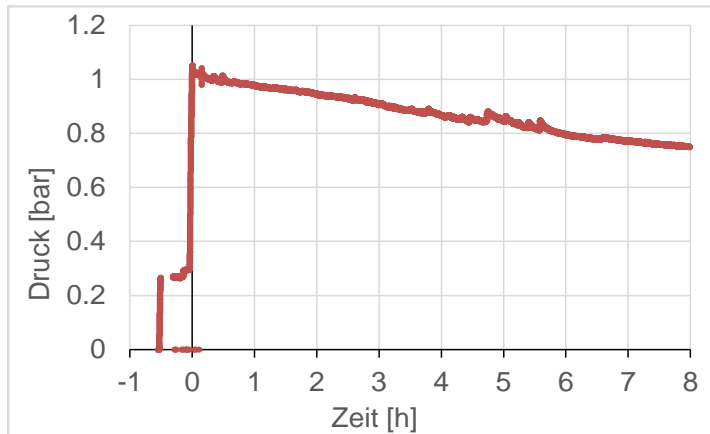
Analyse der  
Verfüll-  
qualität von  
EWS in  
einem realen  
Untergrund

#### TP 3.5:

Neues  
Verfüllmess-  
konzept für  
EWS

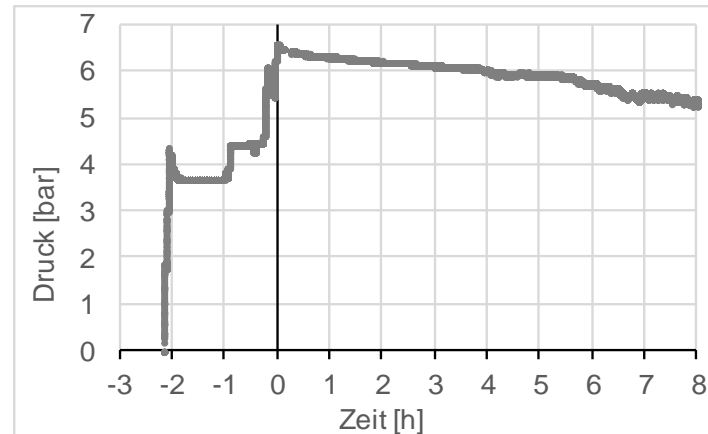


## Verfüllung im PVC-Rohr



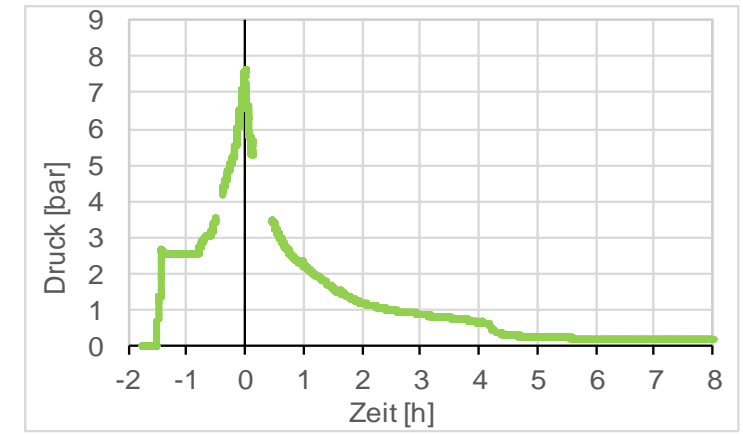
Sensortiefe: 5,50 m uGOK  
 Suspensionsdichte: 1,94 g/cm<sup>3</sup>

## im Tonstein / Mergel



Sensortiefe: 47 m uGOK  
 Suspensionsdichte: 1,57 g/cm<sup>3</sup>

## im Sandstein



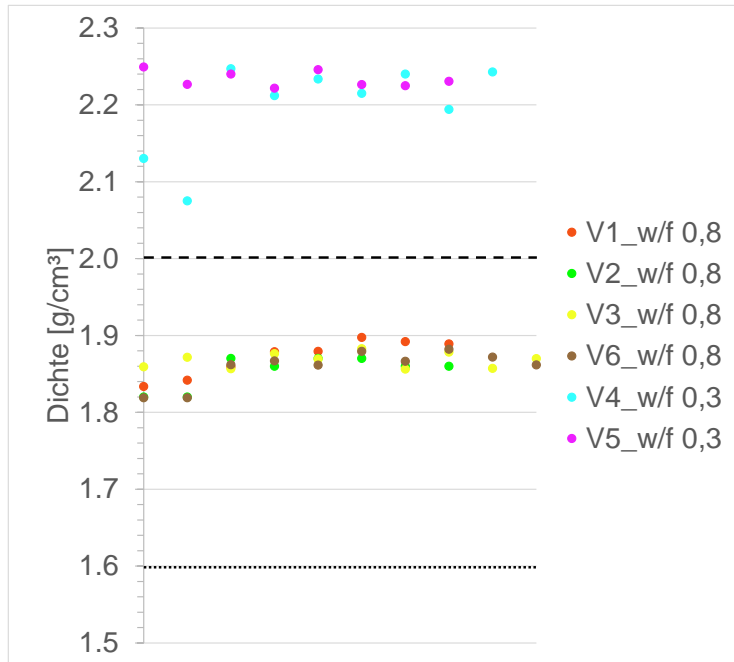
Sensortiefe: 44 m uGOK  
 Suspensionsdichte: 1,94 g/cm<sup>3</sup>

Verpressende bei  $t_0$   
 Relativdruckmessungen: 0 bar = Atmosphärendruck

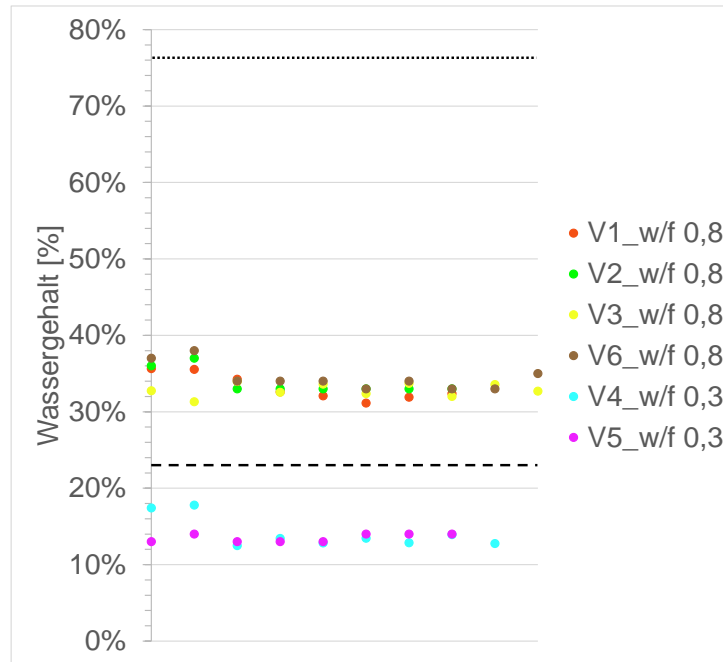




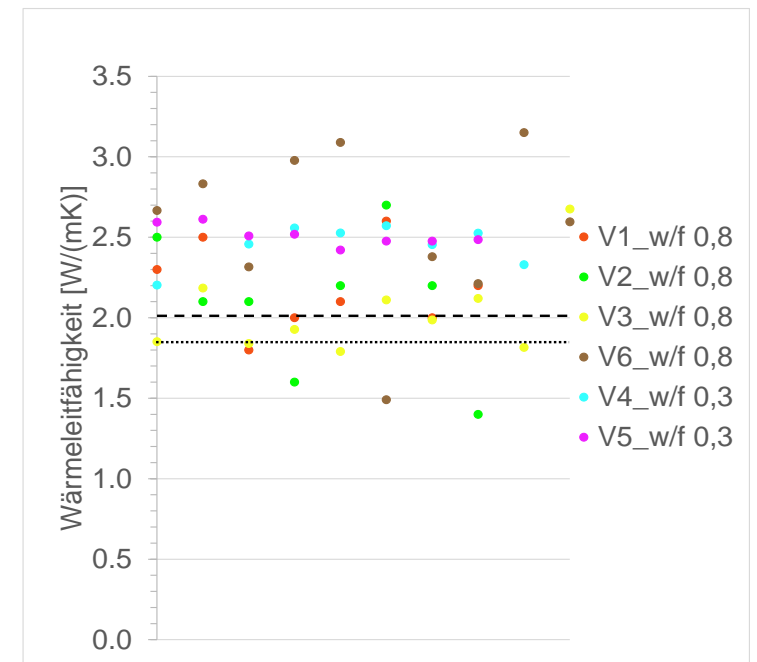
Dichte



Wassergehalt\*



Wärmeleitfähigkeit



Referenzprobe unfiltriert:

..... W/F 0,8

----- W/F 0,3

W/F = Wasser-Feststoff-Verhältnis

\*Bestimmung nach DIN EN ISO 17892-1  
 $(m_w / m_d) \times 100$  [%]



- **Auswirkungen der Filtrationsvorgänge auf den Verfüllbaustoff**
- Trennung der Verfüllsäule in Strömungskanal und Filterkuchenbereich
- deutlich erhöhte Dichte und reduzierter Wassergehalt gegenüber des Baustoffs vor der Verfüllung
- erhöhte Wärmeleitfähigkeit
- leicht reduzierte Wärmekapazität
- Ausbleiben von Fehlstellen und gravitativ getriebener Entmischung, gegenüber bisherigen Untersuchungen in wasserundurchlässigen Aufbauten



Bohrarbeiten im Steinbruch 06/2021 & 06/2022  
Erstellung von EWS in ca. 13 m mächtiger Lössbedeckung, darunter Kalkstein

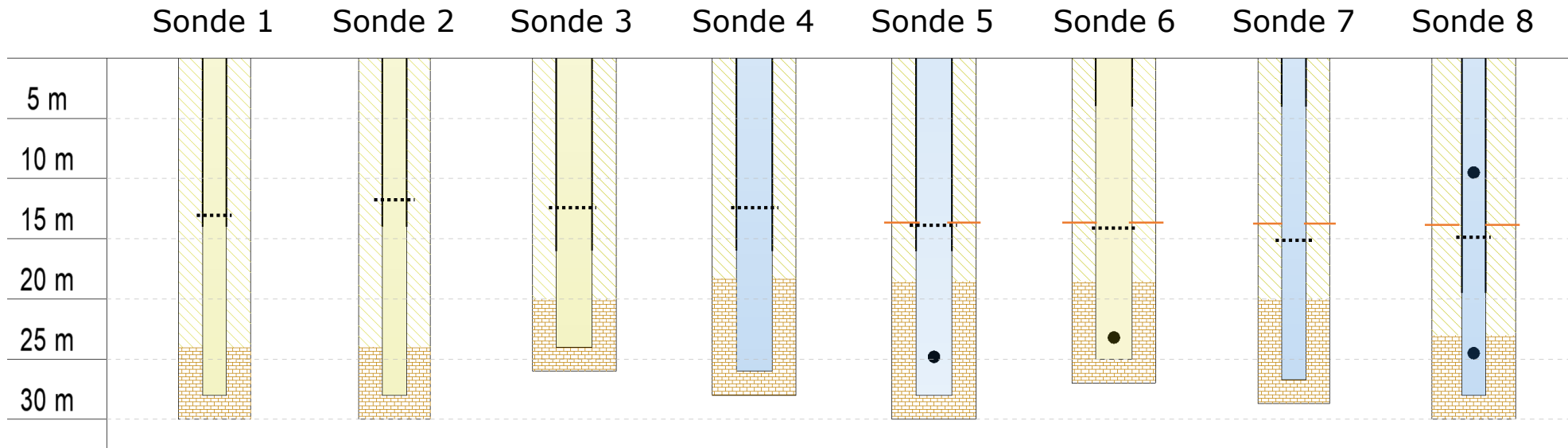


Geophysikalische  
Bohrlochvermessung



..... Max. Tiefe der Sondenbergung

— Beginn Kalkstein Verwitterungszone



Löss



Baustoff A



6 x 32er DU-Rohrsonden

Bohrdurchmesser 150/132 mm

Kalkstein



Baustoff B

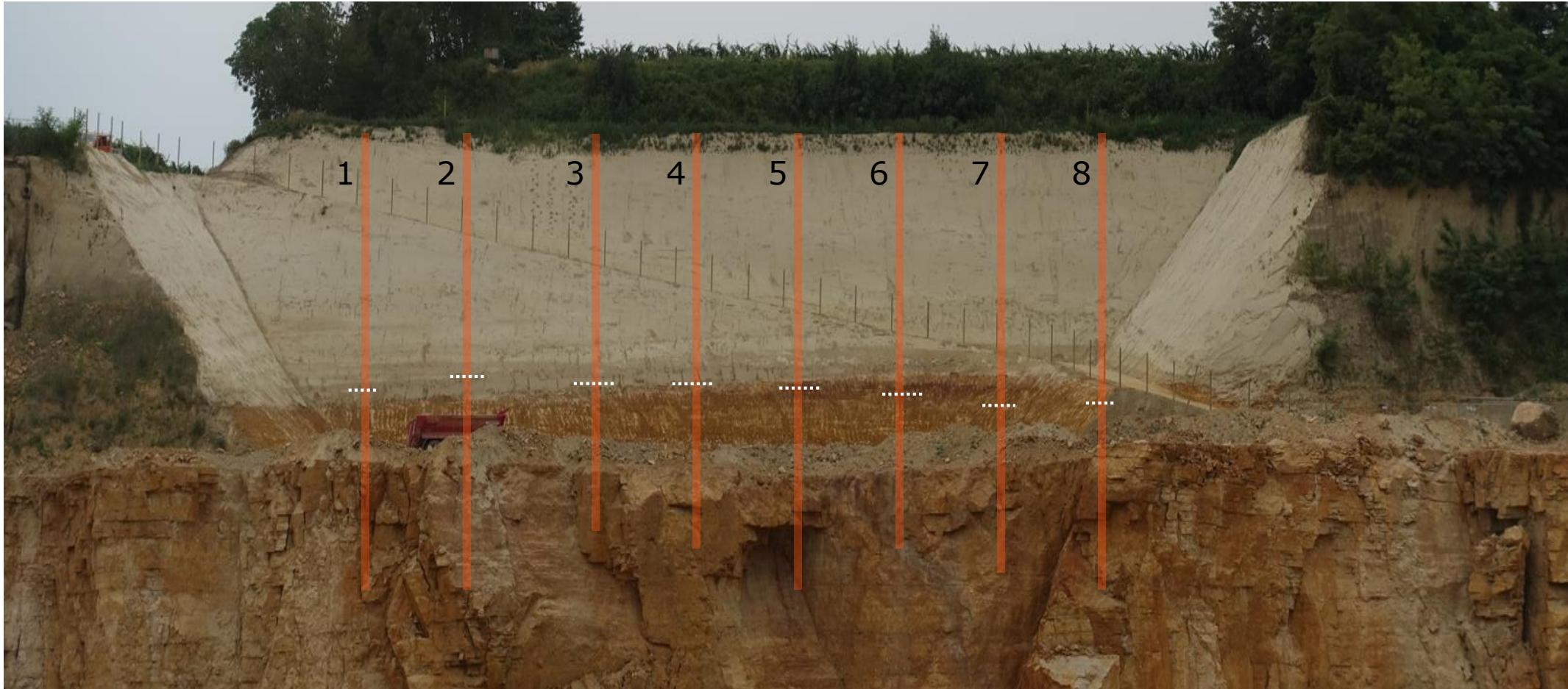


2 x Wellrohrsonden

Bohrdurchmesser 219/190 mm

Verrohrung

Drucksensor



Positionen der rückgebauten Erdwärmesonden Nr. 1 bis 8







Die Optische Analyse und Vorbereitung zur Laboranalyse erfolgt analog zu den Filtrationsversuchen.

Vor-Ort-Untersuchungen:

Horizontalschnitte mind. alle 50 cm

- Fotodokumentation
- Bewertungsschema:
  - Lunker
  - Spalte
  - Entmischungen
  - Häufigkeit makroskopischer Poren
  - Weitere Auffälligkeiten



EWS 1



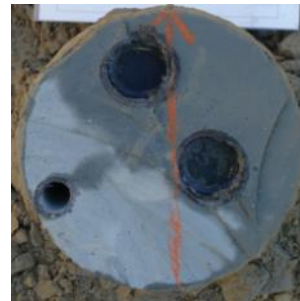
EWS 2



EWS 3



EWS 4



EWS 5



EWS 6



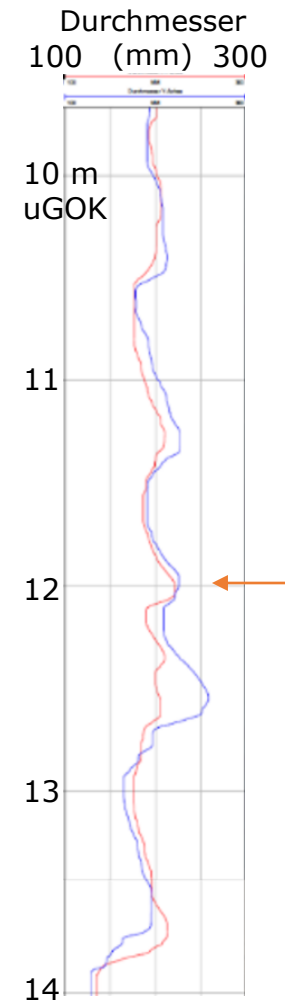
EWS 7



EWS 8



- Unabhängig vom Bohrlochdurchmesser oder der betrachteten Tiefe, liegen in der überwiegenden Anzahl der betrachteten Querschnitte Sondenrohre an der Bohrlochwandung an.



Sonde 7: Nach Übergang in den unverrohrten Bereich nimmt der BL-Durchmesser deutlich zu (bis ca. 20 cm) und variiert stark.



Übergang Löss / Kalkstein



Im Kalkstein:  
BL-Durchmesser ca. 13 cm

Sonde 7: Bohrdurchmesser 150/132 mm

Nach Übergang in den Kalkstein geht der BL-Durchmesser auf den Durchmesser des Bohrkopfs zurück



Sonde 5: Bohrdurchmesser 219/190 mm.  
Der Durchmesser wächst in diesem Beispiel auf zum Teil über 30 cm an.

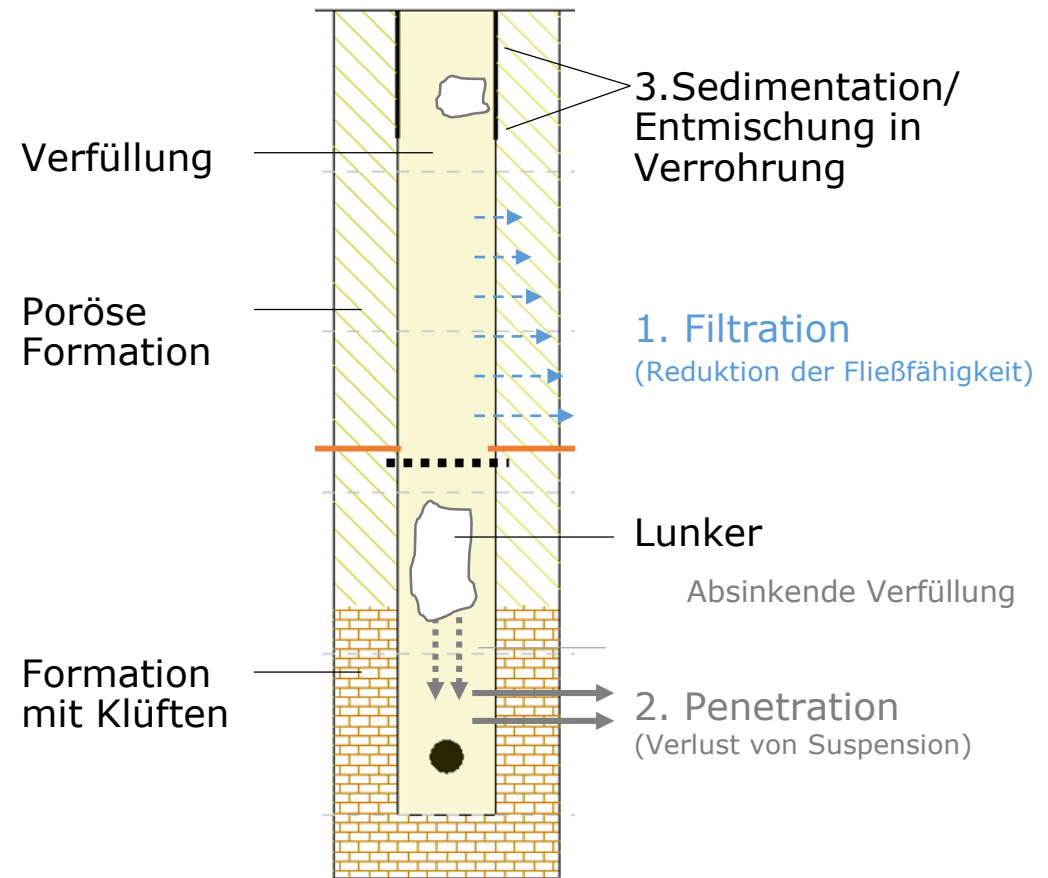


Diese Strukturen befinden sich im verrohrten Bereich und entstehen durch Druckstöße beim Bohrprozess (Wechsel der Verrohrung).



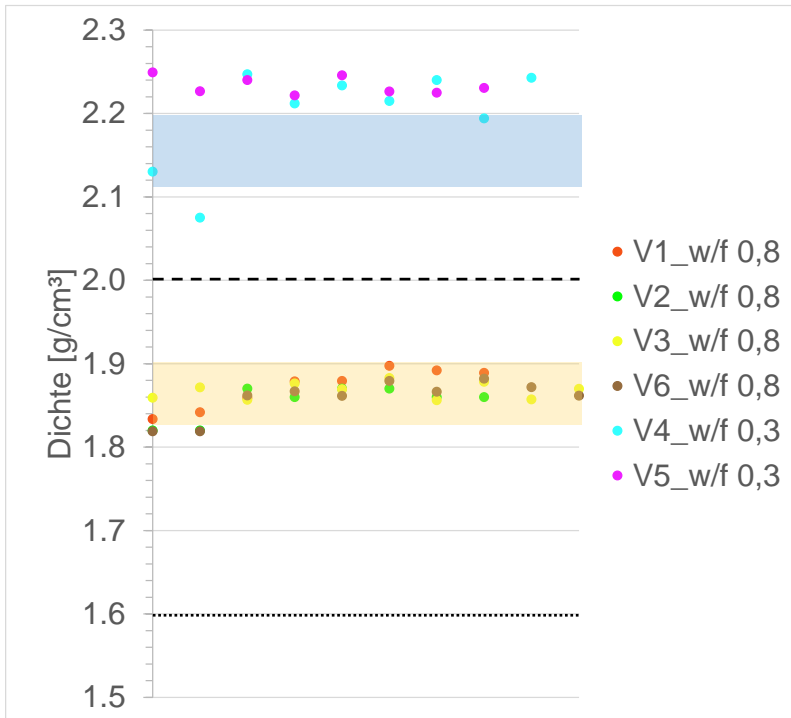
Lunker im Übergangsbereich zum Kalkstein an Sonde 6, von innen fotografiert

## Mögliche Entstehungsursachen:

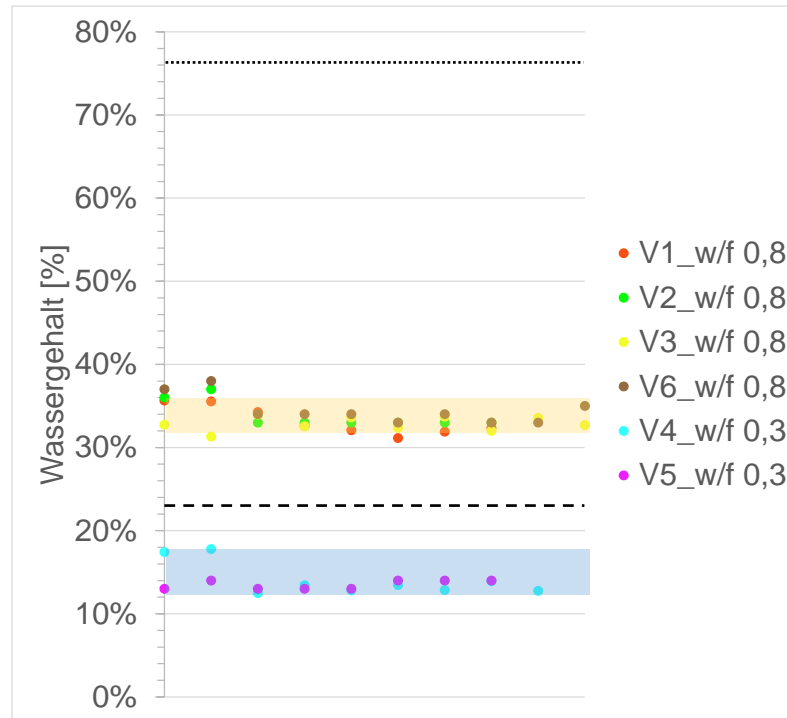




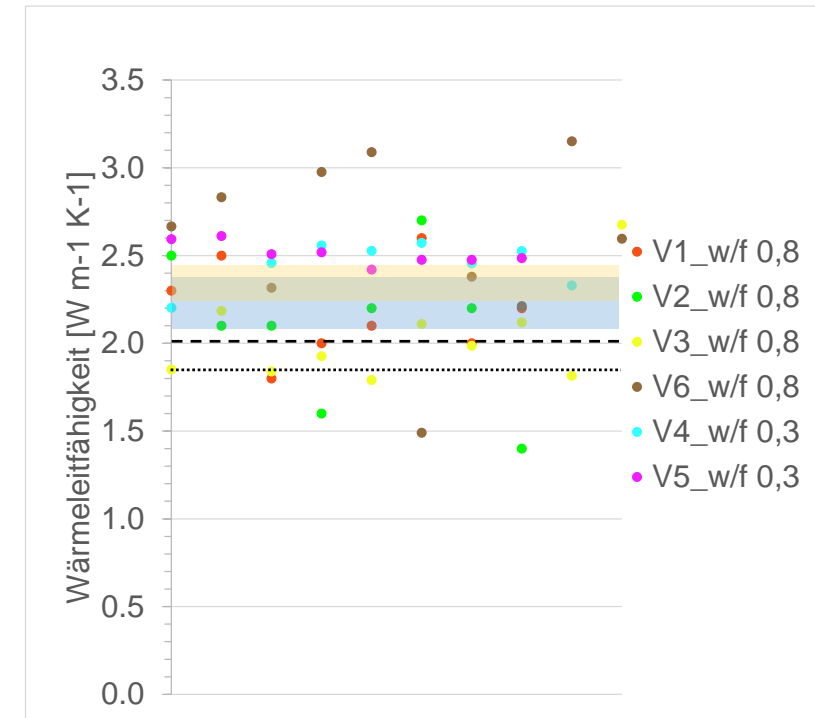
### Dichte



### Wassergehalt\*



### Wärmeleitfähigkeit



Referenzproben unfiltriert ----- w/f 0,3 (EWM Plus)  
 ..... w/f 0,8 (ZEOTHERM 2.0)

Baustoff A  
 Baustoff B

Daten aus Steinbruch  
 (Mittelwerte je Sonde)

\*Bestimmung nach DIN EN ISO 17892-1  
 ( $m_w / m_d$ ) x 100 [%])





- Die Beobachtungen zum Filtrationsverhalten aus Experimenten sind mit den Beobachtungen der im Steinbruch freigelegten EWS vereinbar.
- Bohrlochgeometrie:
  - Im leicht abtragbaren Untergrund kann der Bohrllochdurchmesser erheblich vergrößert sein, auch im Bereich der Verrohrung. Damit erhöht sich die benötigte Menge an Verfüllbaustoff.
  - Unabhängig von der Tiefe oder Bohrlochgeometrie liegen in der überwiegenden Anzahl der betrachteten Querschnitte Sondenrohre an der Bohrllochwandung an.
- Verfüllqualität:
  - Es wurden keine Unterschiede der Bohrllochintegrität in Abhängigkeit vom Bohrllochdurchmesser oder der Sondenausführung beobachtet.
  - Der eingesetzte Verfüllbaustoff hat Auswirkungen auf die Neigung zur Lunkerbildung. Ein niedriges W/F-Verhältnis wirkt sich in diesem Szenario positiv auf die Bohrllochintegrität aus.
  - In der Verrohrung können Lunker durch Entmischungs- und Absetzvorgänge gebildet werden.
  - Besonders im Übergangsbereich von unterschiedlichen Schichten besteht die Möglichkeit einer verstärkten Lunkerbildung.
  - Alle freigelegten EWS zeigen eine gute Verfüllqualität. Diese Qualität ist unbedenklich hinsichtlich des in BW genehmigten EWS.

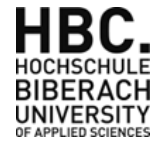
# Vielen Dank für Ihr Interesse!

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ: 03EE4020A-H



## Hochschule Biberach

Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff | [qewsplus@hochschule-bc.de](mailto:qewsplus@hochschule-bc.de) | [www.hochschule-biberach.de](http://www.hochschule-biberach.de)



## Burkhardt GmbH Neuweiler

Frank Burkhardt | [frank@burkhardt-bohrungen.de](mailto:frank@burkhardt-bohrungen.de) | [www.burkhardt-bohrungen.de](http://www.burkhardt-bohrungen.de)



## EIFER Karlsruhe

European Institute for Energy Research

Dr. Roman Zorn | [roman.zorn@eifer.org](mailto:roman.zorn@eifer.org) | [www.eifer.kit.edu](http://www.eifer.kit.edu)



## Fraunhofer Freiburg

Institut für Solare Energiesysteme (ISE)

Björn Nienborg | [bjoern.nienborg@ise.fraunhofer.de](mailto:bjoern.nienborg@ise.fraunhofer.de) | [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)



## Hans G. Hauri KG Bötzingen

Frank Hauri | [f.hauri@hauri.de](mailto:f.hauri@hauri.de) | [www.hauri.de](http://www.hauri.de)



## H.S.W. Ingenieurbüro Rostock

Jens-Uwe Kühl | [info@hsw-rostock.de](mailto:info@hsw-rostock.de) | [www.hsw-rostock.de](http://www.hsw-rostock.de)



## Karlsruhe Institut für Technologie

Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)

Dr. Hagen Steger | [hagen.steger@kit.edu](mailto:hagen.steger@kit.edu) | [www.kit.edu](http://www.kit.edu)



## Solites Stuttgart

Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Yannick Reduth | [reduth@solites.de](mailto:reduth@solites.de) | [www.solites.de](http://www.solites.de)



## ZAE Bayern Garching

Bayrisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.

Peter Osgyan | [peter.osgyan@zae-bayern.de](mailto:peter.osgyan@zae-bayern.de) | [www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)



Qualitätssteigerung  
oberflächennaher Geothermiesysteme

Yannick Reduth  
Solites – Steinbeis Forschungsinstitut  
Meitnerstr. 8  
70563 Stuttgart  
0711 673 2000 70  
[reduth@solites.de](mailto:reduth@solites.de)