

Einfluss der Einbau- und Verfülltechnologie auf die Systemdurchlässigkeit von Erdwärmesonden

Dr.-Ing. Rolf Michael Wagner,
Prof. Dr.-Ing. Frieder Häfner

Geotherm Offenburg, 01.03.2024

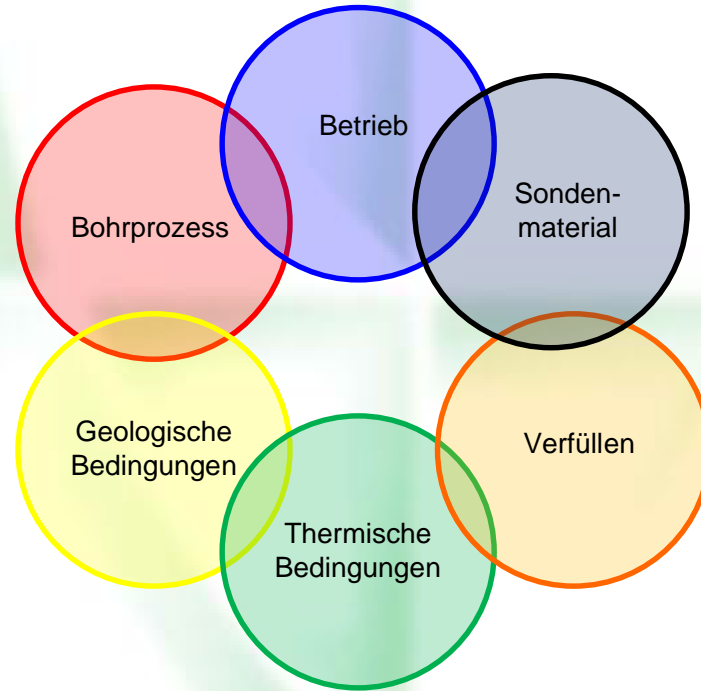


Definition der hydraulischen Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde

angelehnt an Empfehlungen der Ad-hoc-Arbeitsgemeinschaft Hydrogeologie
der Bund/Länderarbeitsgruppen der Staatlichen Geologischen Dienste - Juni 2015

1. Die Systemdurchlässigkeit ist die pauschale Durchlässigkeit eines Systems aus mehreren Komponenten, wie
 - den Abdichtungskörper aus dem Verfüllbaustoff,
 - dessen Kontaktflächen zu den Einbauten ins Bohrloch und zur Bohrlochwand
 - sowie dem aufgelockerten Gebirge
2. Die vertikale Durchlässigkeit des Systems Erdwärmesonde sollte nicht größer als die vertikale Durchlässigkeit des umgebenden Untergrundes sein; mindestens jedoch $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (VDI 4640 $1 \cdot 10^{-8}$ m/s).
3. Betriebsbedingte Einflussfaktoren auf die Systemdurchlässigkeit sind,
 - Frost-Tau-Beanspruchung,
 - Störstoffe für den Abdichtkörper,
 - geogene Einflüsse an den Grenzflächen,
 - innendruck- und temperaturabhängige Rohrdehnungen,
 - betriebsbedingte Einflüsse,
 - Positionierung der Rohre und Abstand der Rohre untereinander

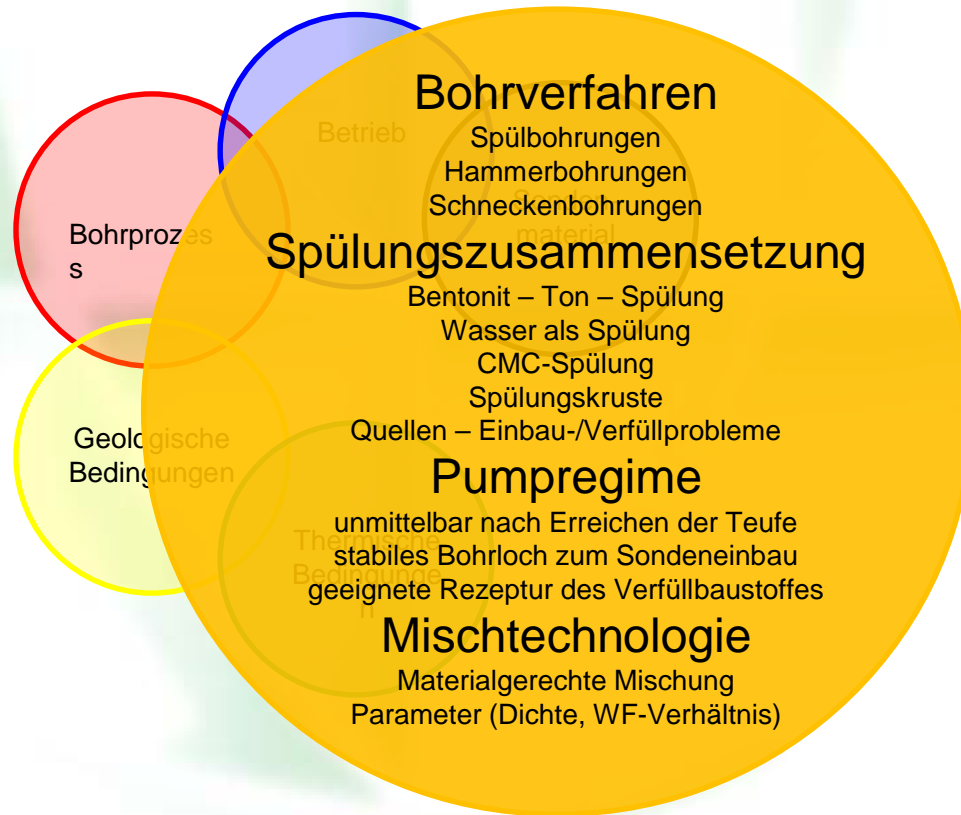
Einflüsse auf die Systemdurchlässigkeit von Erdwärmesonden



Ziel geringdurchlässiger Verfüllungen Erdwärmebohrungen während der Betriebsphase

1. Verfüllung ohne Fehlstellen über die gesamte Bohrlochlänge und Querschnittsfläche
2. Der Verfüllvorgang muss sich in die Standardbohrtechnologie integrieren und unabhängig von geologischen Standortbedingungen eine uneingeschränkte Nutzung ermöglichen.
3. Eine reproduzierbare Systemdurchlässigkeit unter Realbedingungen sollte das Qualitätskriterium sein. Genehmigungsrelevante Handlungsempfehlungen mit praxisfernen Ringraummodellen können nicht als Maßstab dienen
4. Entwicklung von aussagefähigen quantitativen insitu-Prüfungen, die mit der Systemdurchlässigkeit korrelieren.

Verfüllen und Systemdurchlässigkeit



Realmaßstabexperimente (M. Riegger GeoTHERM 2011)

Geborgene Abschnitte mit guter Verfüllqualität
aus 30m tiefen Testbohrungen

Rot d=150mm

Grün d=90mm

„Ringraum“ = 30mm



Landesvorgaben für das Verfüllen und Zentrieren von EWS



Bohrlochdurchmesser

Der Bohrlochdurchmesser sollte so gewählt werden, dass um die Sonden (Sondenbündel) ein Ringraum von mindestens 30 mm verbleibt. (Bohrdurchmesser \geq Sonden-(bündel)-durchmesser + 60 mm) (Abb. 13).

Bei herkömmlichen Doppel-U-Sonden entspricht das einem Mindestdurchmesser von 152 mm. Nur dadurch können ein komplikationsloser Einbau und eine sichere und vollständig abdichtende Hinterfüllung gewährleistet werden. Bei geringeren Abständen ist zu befürchten, dass verpresst werden kann oder die SONDENSCHLÄUCHE



Abb. 13: Systemschnitt Erdwärmesonde - Bohrlochdurchmesser in Abhängigkeit vom Sondenbündel

Erdwärmennutzung in Hessen

Leitfaden für Erdwärmesondenanlagen zum

12. Um eine ordnungsgemäße Verpressung der Bohrung zu gewährleisten, muss der Durchmesser der Bohrung bis zur Endteufe 60 mm größer als der Durchmesser des Erdwärmesondenbündels sein (Bohrdurchmesser \geq Sondenbündel + 60 mm). Für den häufigsten Sondentyp, die Doppel-U-Sonde aus 32 mm-Rohren, ergibt sich demnach ein erforderlicher Bohrlochdurchmesser von 150 mm bei gebündelten (eng beieinander liegenden) Sondenrohren. (A)

„Um die Bohrung sicher abzudichten und einer Beschädigung der SONDENSCHLÄUCHE vorzubeugen, ist der Bohrlochdurchmesser ausreichend groß zu wählen, sodass um das Sondenbündel ein Ringraum von 32 mindestens 30 mm verbleibt (Bohr-durchmesser \geq Sondenbündel + 60 mm). Bei kleineren Bohr-durchmessern steht zu befürchten, dass die Bohrung nicht ordnungsgemäß verfüllt werden kann (zum Beispiel Luftein-schlüsse, Verbindung unterschiedlicher wasserführender Horizonte, Schadstoffeintrag ins Grundwasser), die Sonden-schläuche beschädigt werden und Soleverluste auftreten können. Weiterhin ist die Sonde zentriert gleichzeitig mit dem Verfüllrohr mit geeigneten Einrichtungen einzubauen.“



Bewertung der 36 Technikumsversuche und drei Beispiele für sehr gute Verfüllqualität

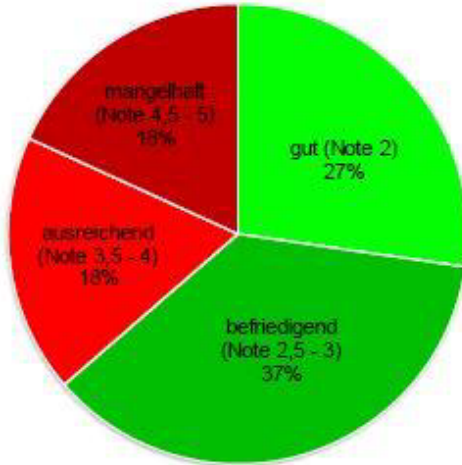


Abbildung 4-19: Prozentuale Verteilung der Noten der 11 unter Standardversuchsbedingungen durchgeführten Technikumsversuche



Abbildung 4-20: Exemplarische Darstellung von Versuchsstücken mit sehr guter Verfüllqualität (von links nach rechts: EWS 5-3, EWS 6-2, EWS 8-2)

Fehlstellen bei der Verfüllung in Verbindung mit Zentrierungen

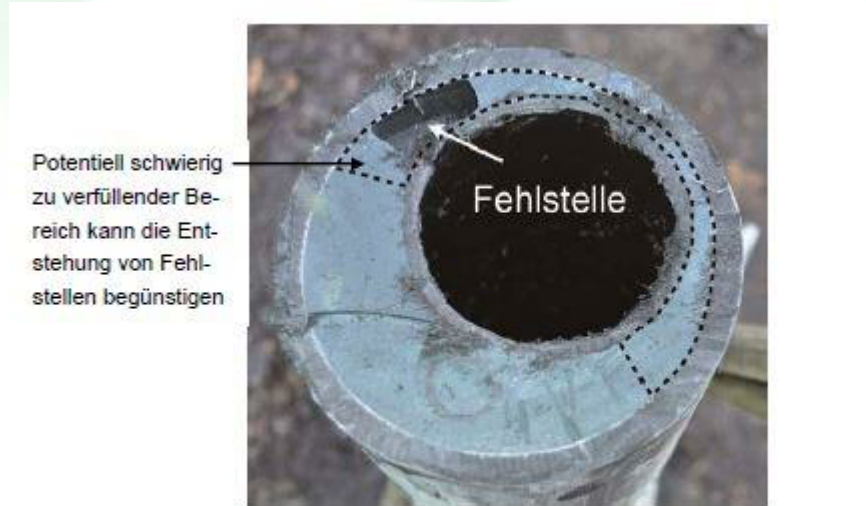


Abbildung 5-10: Querschnitt der Versuchs-EWS mit 140 mm Koaxial-EWS mit dem potentiell verfüllenden Bereich

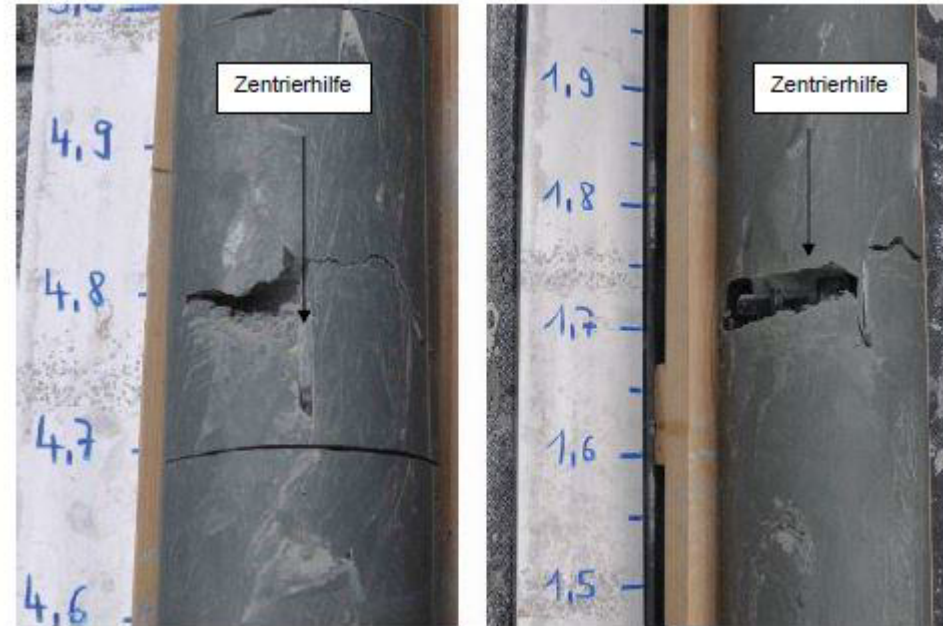
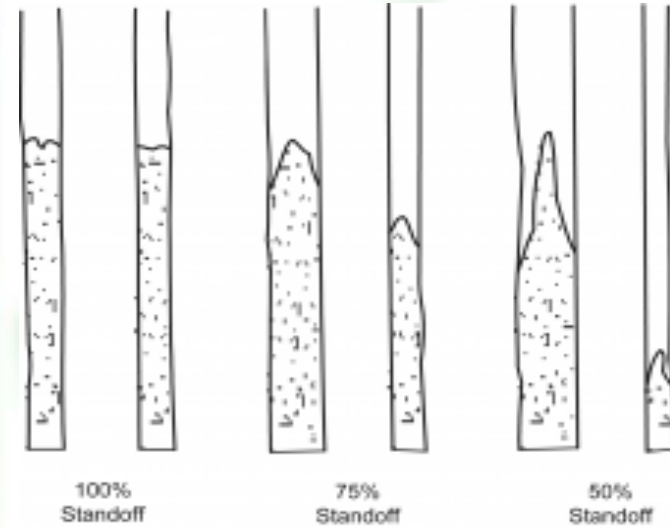
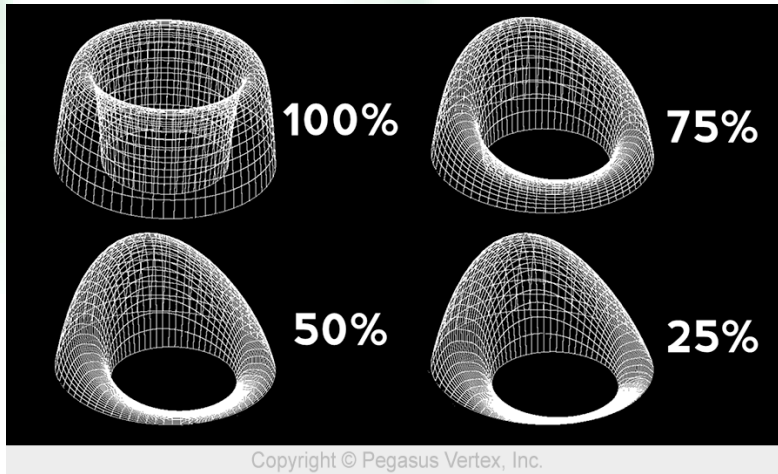
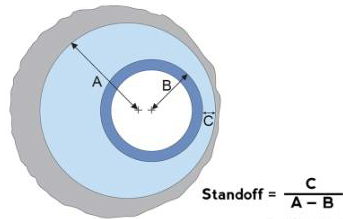


Abbildung 4-22: Kleinere Fehlstellen in unterschiedlichen Höhen jeweils im Bereich von eingebaute Zentrierhilfen bei EWS 4-2

Rohrabstände und Exzentrizität im Verfüllprozess



Standoffkoeffizient



Verfüllqualitätsmängel gemessen an Doppel-U-Rohrsonden

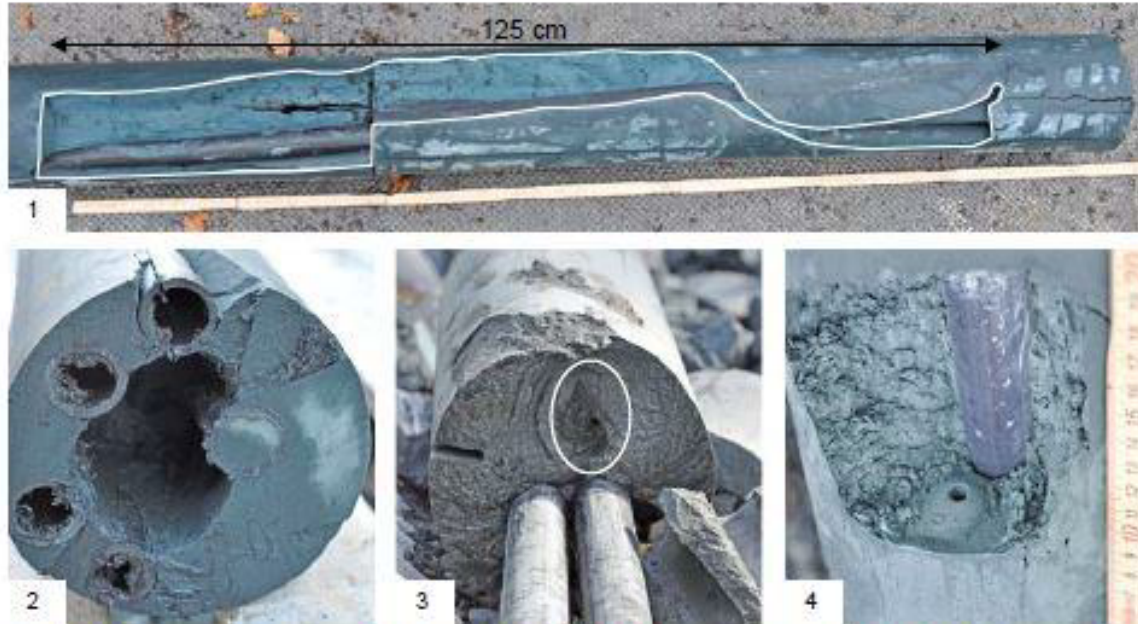
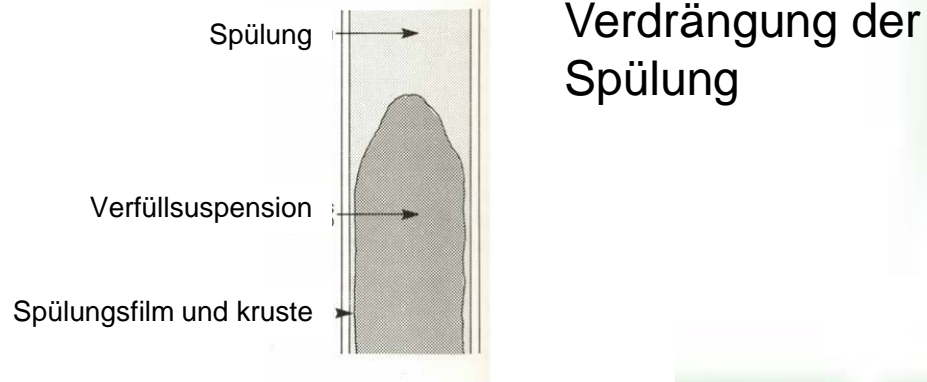
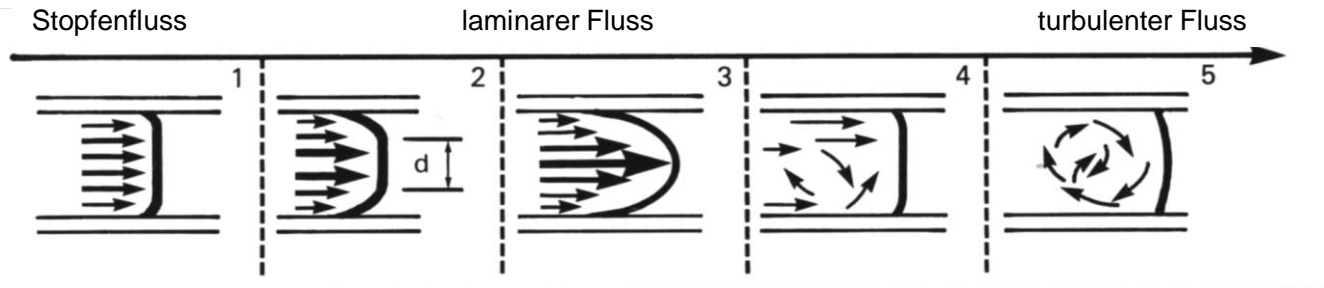


Abbildung 5-9: Auswahl exemplarischer Verfüllqualitätsmängel. 1: Fehlstelle mit einer Ausdehnung von 125 cm; 2: Fehlstelle im Zentrum des Versuchsstücks; 3: Aufstiegskanal im Zentrum des Versuchszylinders mit feuchter Peripherie; 4: Fehlstelle mit einem von unten kommendem Aufstiegskanal

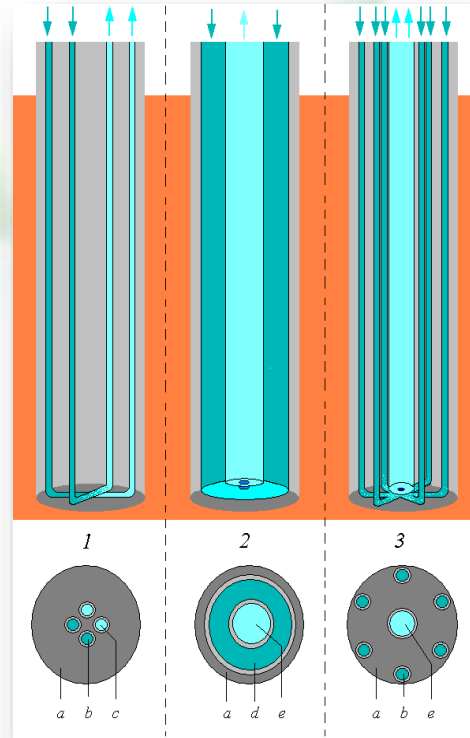
Pumprate im Verfüllprozess



Strömungsform und Verdrängung der Spülung



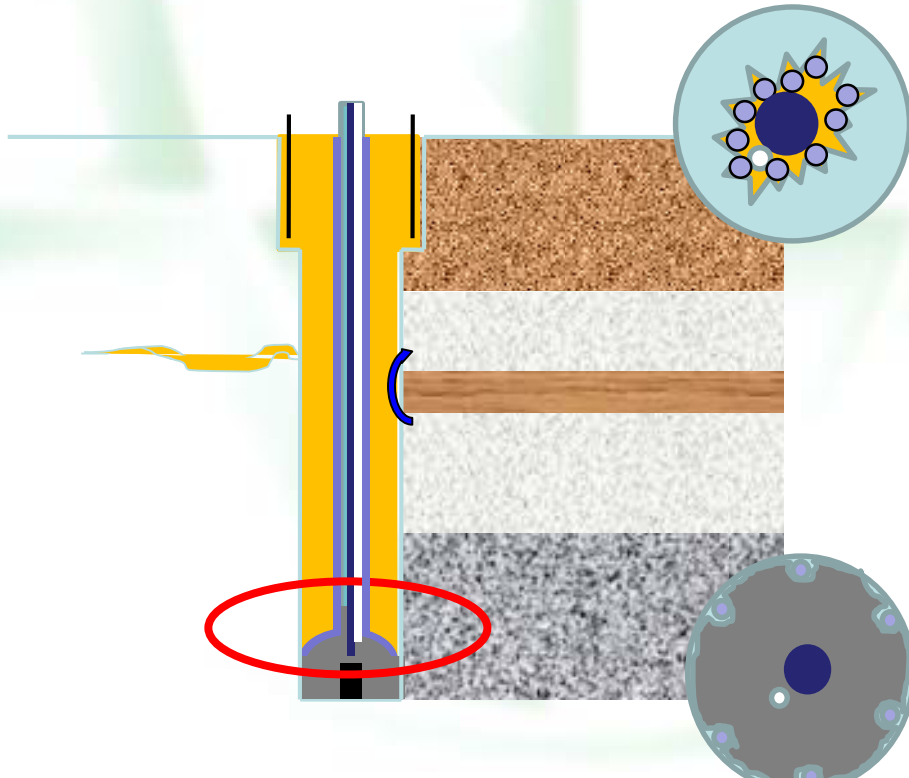
Sondentypen für die oberflächennahe Geothermie



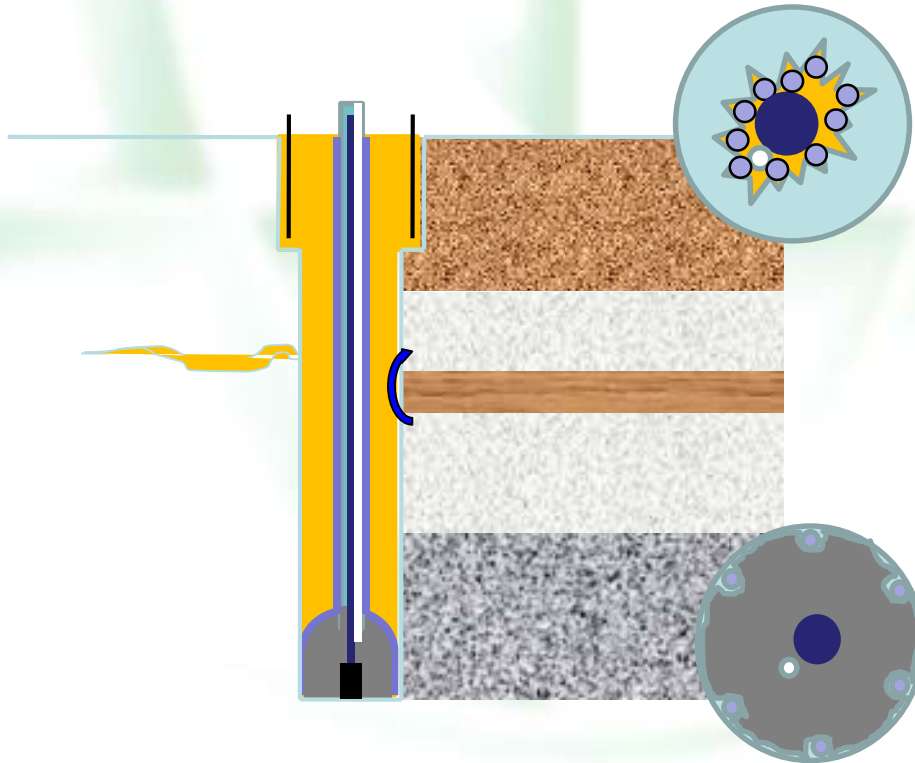
Vergleich

- 1 – U-Rohrsonde
- 2 – Koaxialsonde
- 3 – Ringrohrsonde

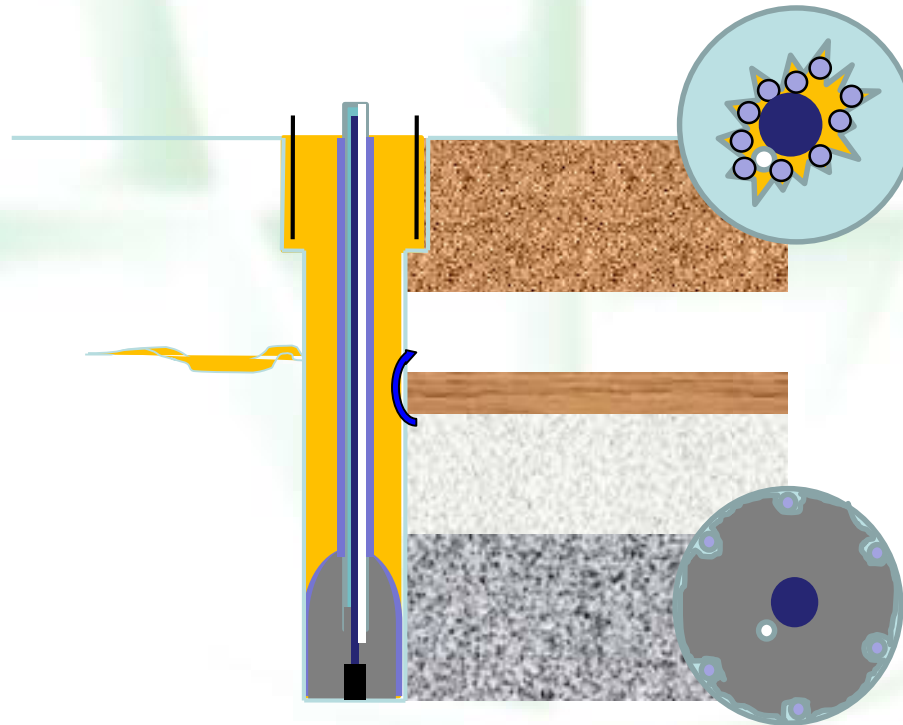
Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



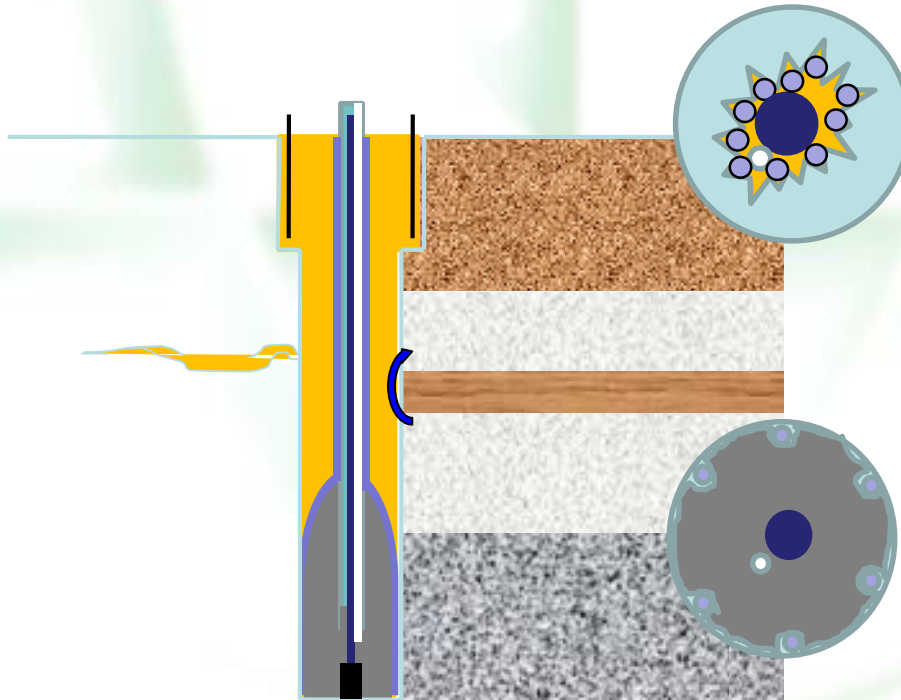
Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



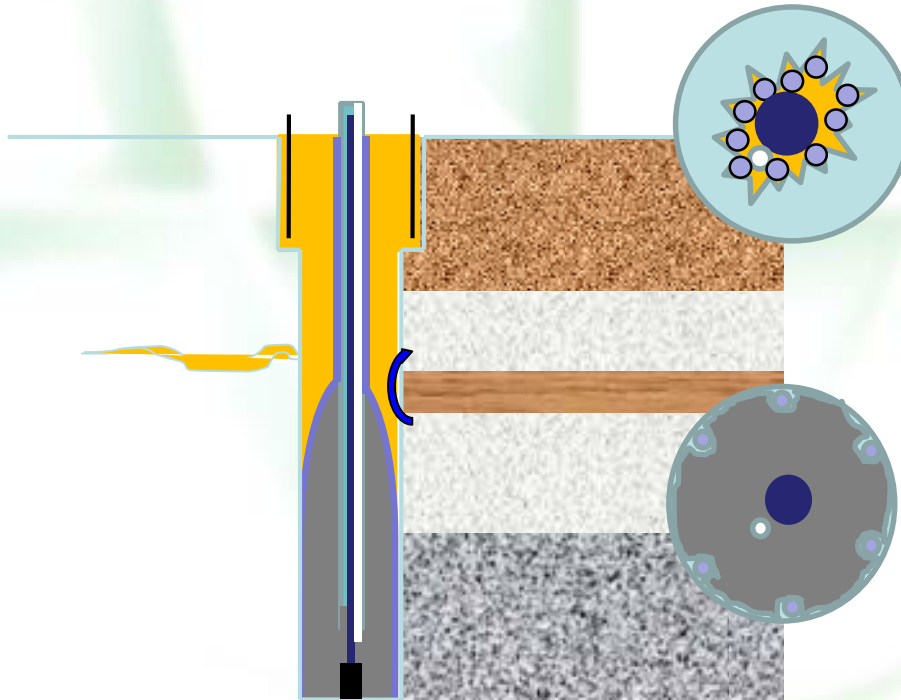
Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



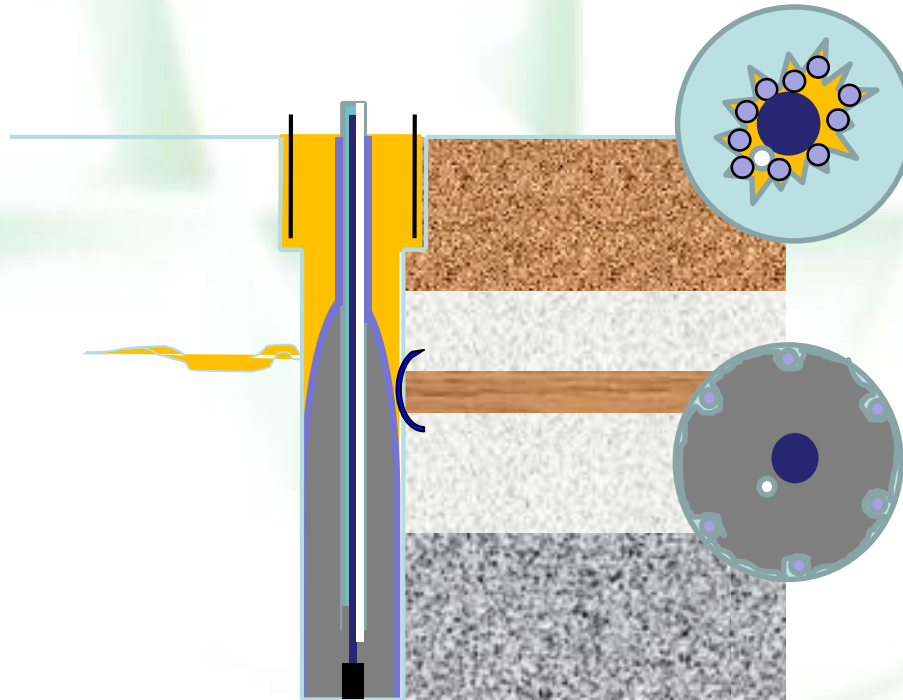
Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand

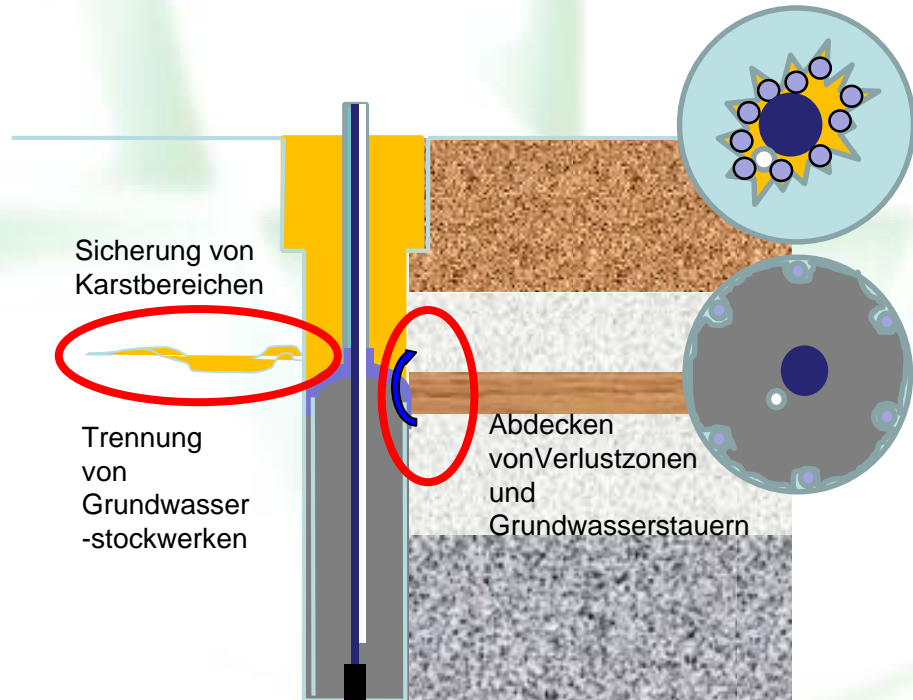


Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand

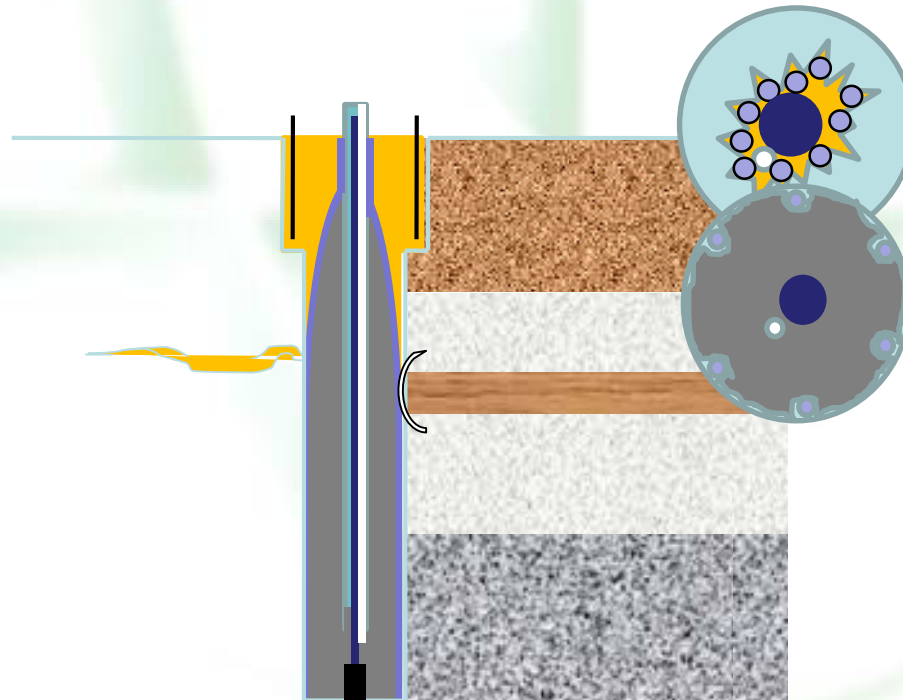


Trennung Spülung von Verfüllsuspension

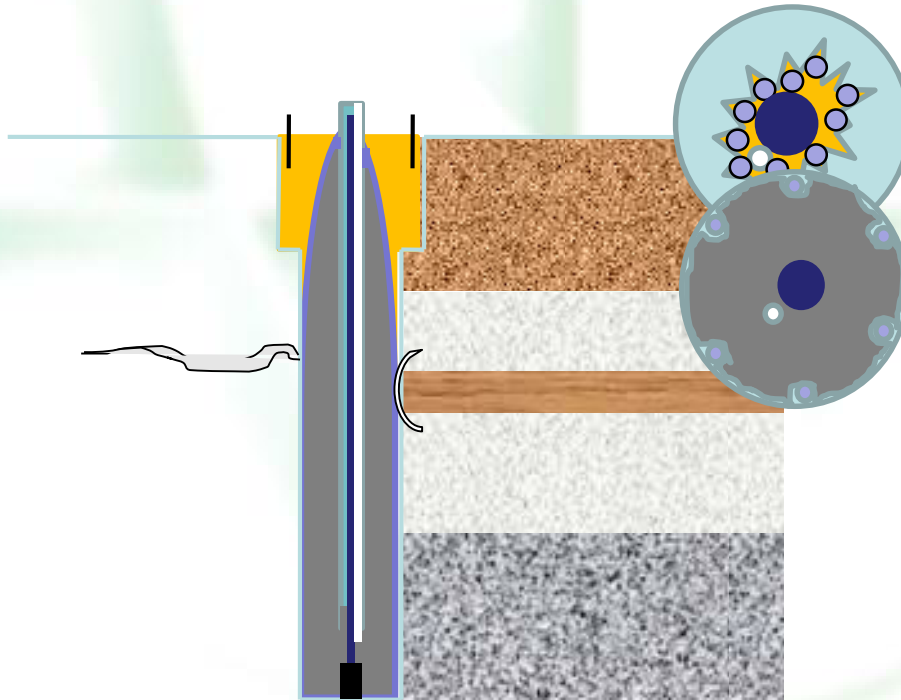
Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



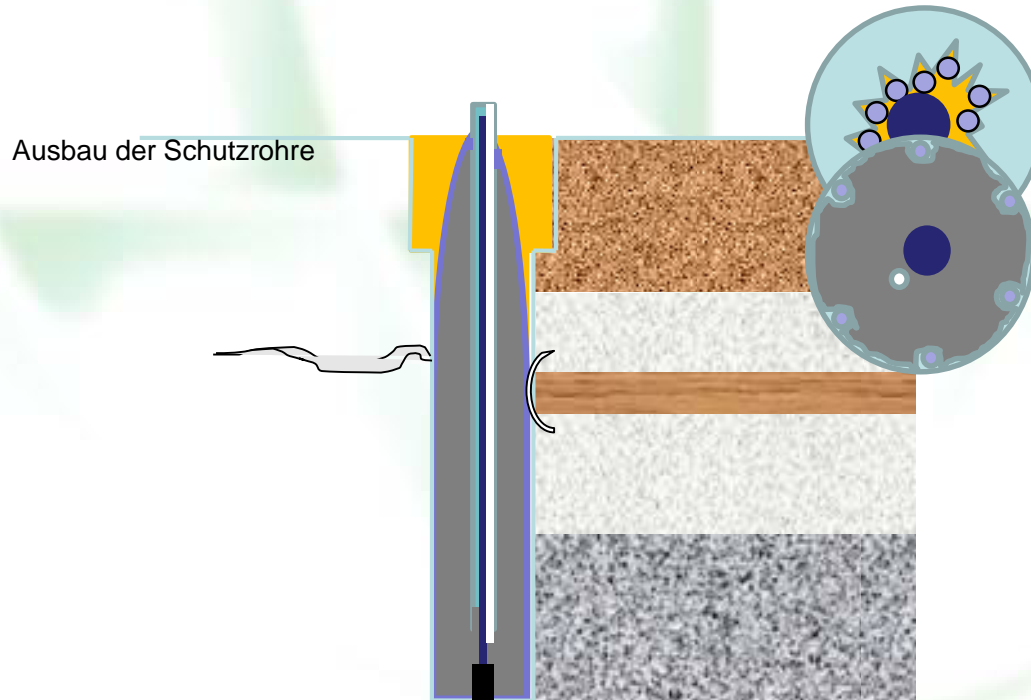
Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



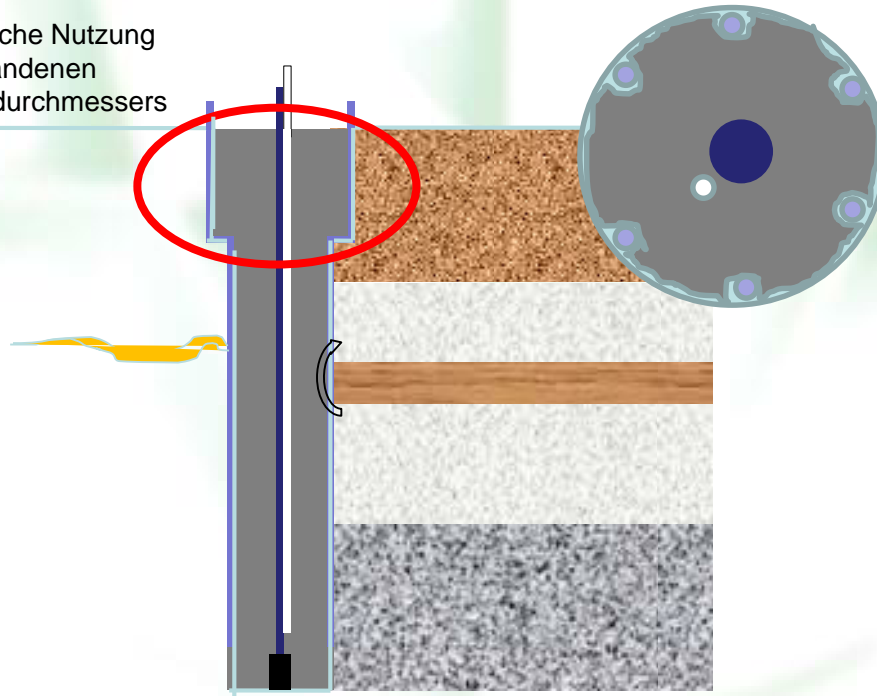
Trennung Spülung von Verfüllsuspension Positionieren der Rohre an die Bohrlochwand



Sondeneinbau Ringrohrsonde

Verfüllen bis GOK

Energetische Nutzung
des vorhandenen
Bohrlochdurchmessers



Probekörper einer verfüllten Ringrohrsonde Schnitt bei einer hydraulischen Säule von 150cm

Gewebeschauch

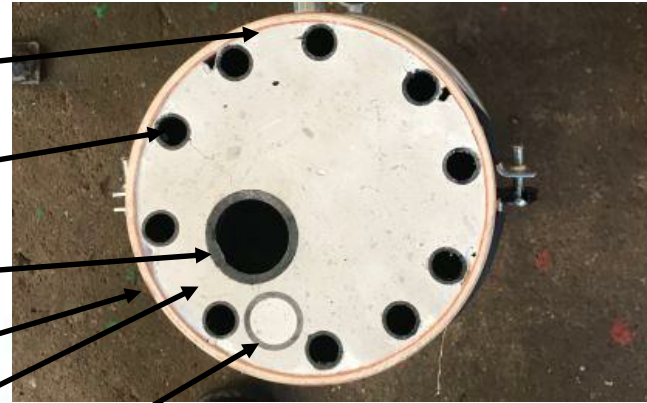
Vorlaufrohre DN16

Rücklaufrohr DN40

KG-Rohr DN150

Verfüllbaustoff

Verfüllrohr DN25



- **Geordnete** Rohrpositionierung
- Reproduzierbare Konstruktion
- Optimiert für die Bohrlochgeometrie
- Mit KG-Rohr DN250 und Gewebeschauchdurchmesser 190mm

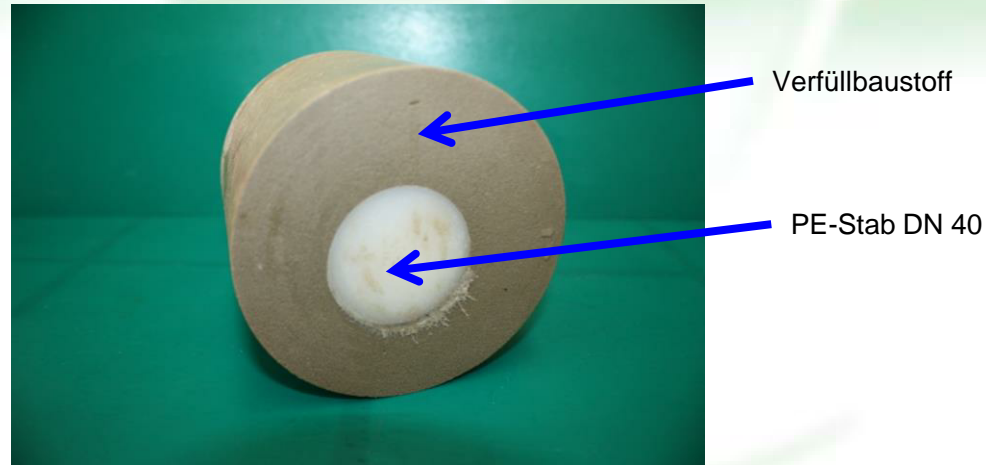
Probekörper für PE DN 40 zur Durchlässigkeitsmessung

Vorbereitung zur Messung in Triaxialzellen in Anlehnung an die DIN 18130-1

Stangenmaterial PE DN 40

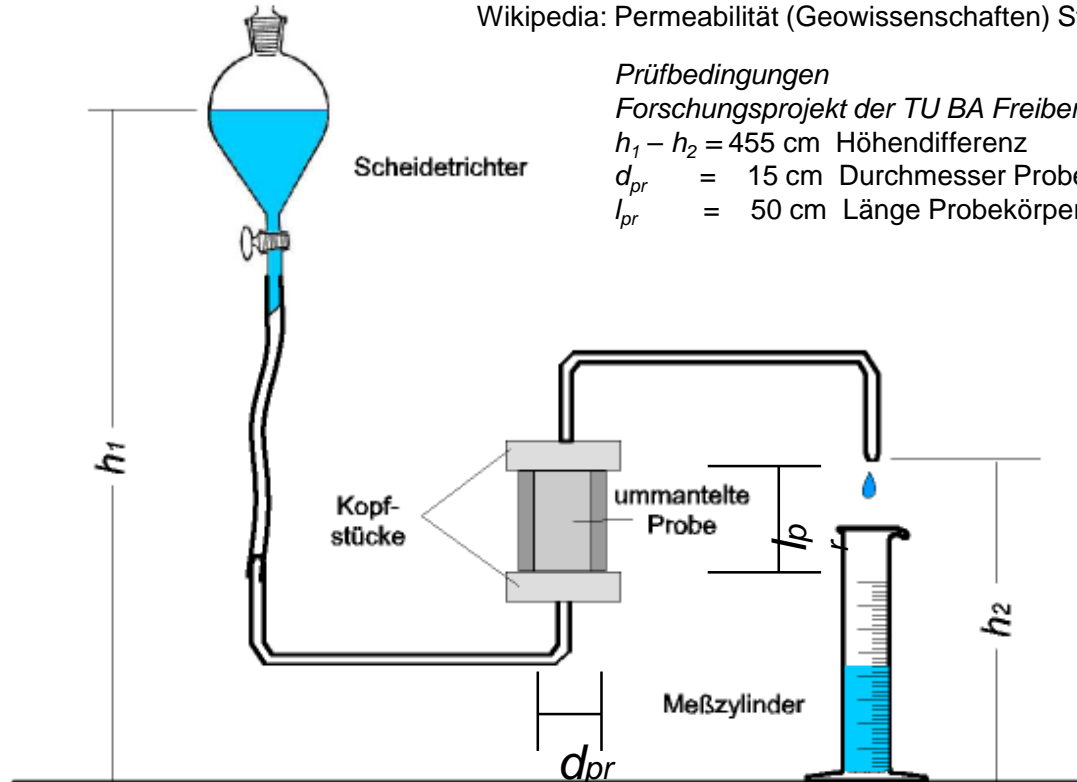
Verfüllbaustoff (Fertiggemisch mit Datenblatt)

Durchmesser 10cm; Länge 10cm



Schematische Versuchsanordnung für die Messung der Systemdurchlässigkeit

Wikipedia: Permeabilität (Geowissenschaften) Stand 27.01.2017



Prüfbedingungen

Forschungsprojekt der TU BA Freiberg / BLZ Geotechnik 2017

$h_1 - h_2 = 455$ cm Höhendifferenz

$d_{pr} = 15$ cm Durchmesser Probekörper

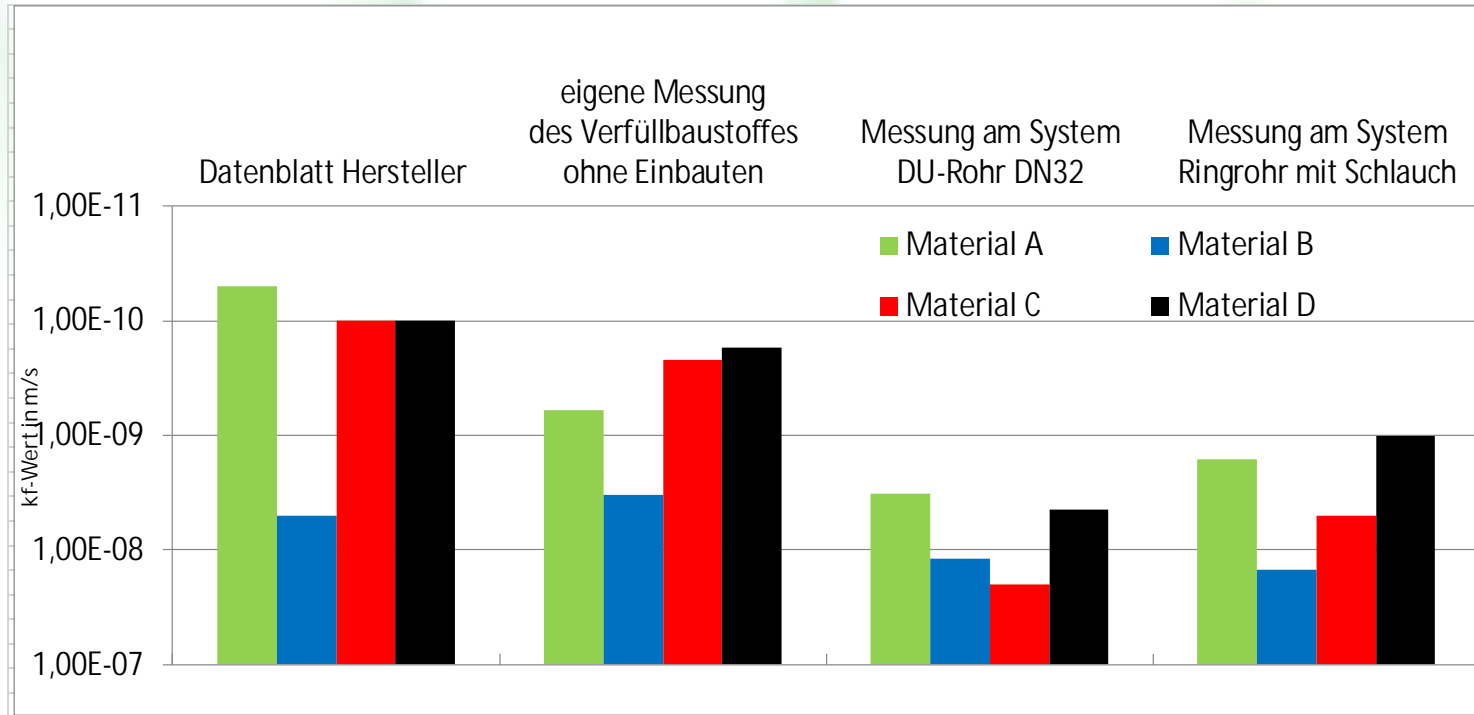
$l_{pr} = 50$ cm Länge Probekörper

Versuchsdurchführung Probekörper im Versuchsstand



Parallele
Messung
von bis zu
10 Proben

Gemessene Systemdurchlässigkeiten verschiedener Verfüllbaustoffe unter gleichen Messbedingungen



Zusammenfassende Wertung

- Eine direkte Systemdurchlässigkeitsprüfung im ausgebauten Bohrloch ist nicht möglich
- Konstruktive Vorgaben haben keinen Bezug auf die vertikalen Fließwege
- Labor-, Technikums- und Realmaßstabuntersuchungen können sich näherungsweise dem realen komplexen Parameter nähern
- **Ringrohrsonde** und **DU-Sonde** liefern auf dem Versuchstand mit nachgebildeter Bohrlochgeometrie vergleichbare sondentypische Systemdurchlässigkeiten
- Es gibt keine einheitliche Vereinbarung zur Bestimmung der Systemdurchlässigkeit im Bohrloch und an Messplätzen

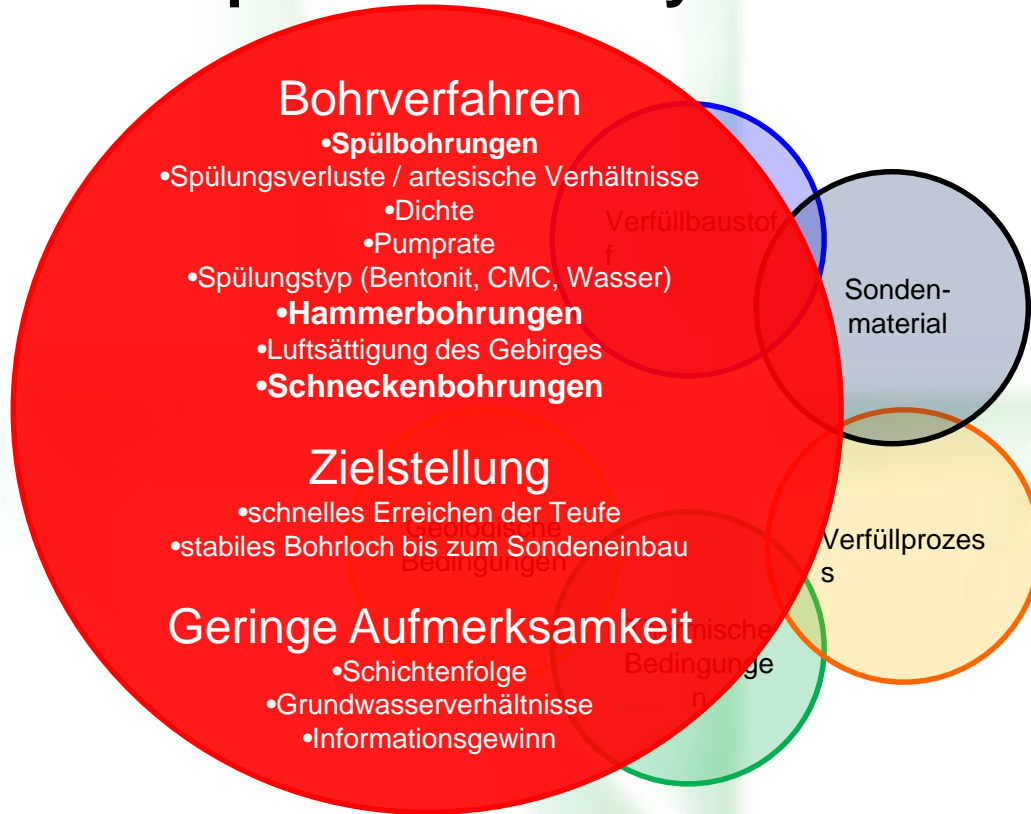
**BLZ Geotechnik GmbH
Stand 32**



**Nutzen Sie die technischen Möglichkeiten für
die Gewinnung von erneuerbarer Erdwärme !**



Bohrprozess und Systemdurchlässigkeit



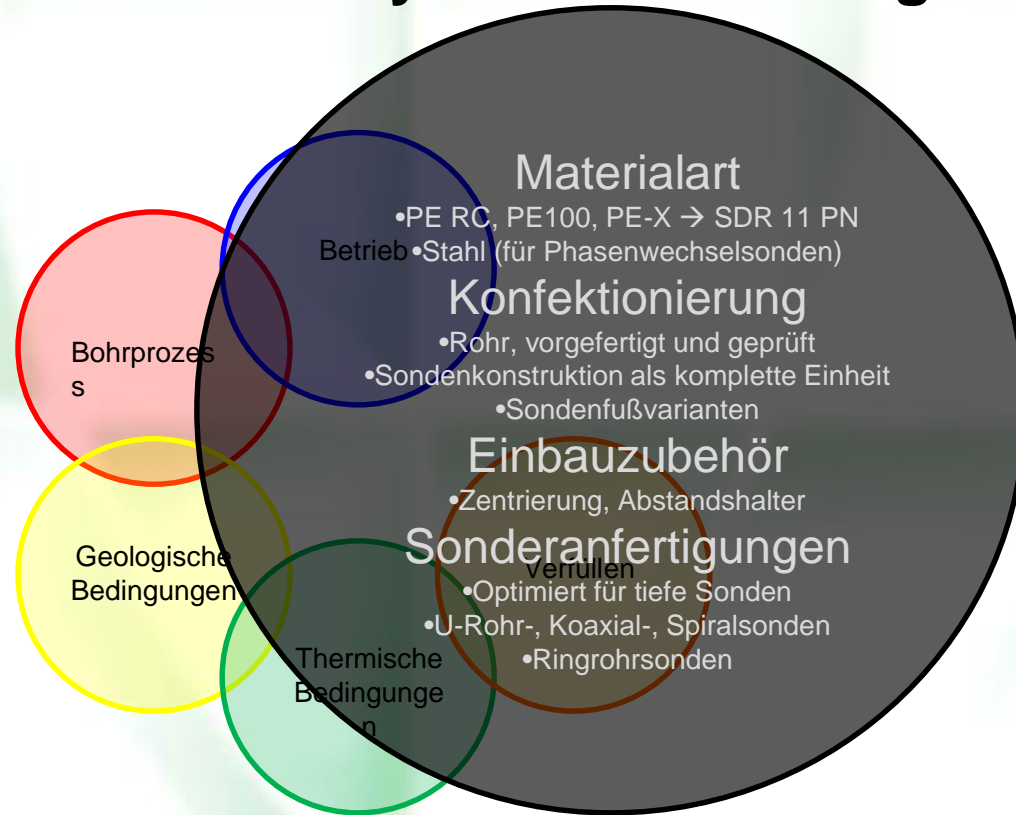
Geologische Bedingungen und Systemdurchlässigkeit



Thermische Bedingungen und Systemdurchlässigkeit



Sondenmaterial und Systemdurchlässigkeit



Verfüllen und System- durchlässigkeit

