



Stand der Baustofftechnik für dichte Geothermiebohrungen

Norddeutsche Geothermietagung | Hannover | 15. Oktober 2014

Dipl.-Ing. Bernd Wilke

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

Anforderungskatalog

- sichere und einfache Handhabung auf der Baustelle
- Einsatz im Grund- und Trinkwasserbereich
- geringe Wasserdurchlässigkeit (k-Wert)
- Stabilität der Suspension (Sedimentation/ Bluten)
- rheologische Eigenschaften/ Konsistenz der Suspension (Marshzeit, Dichte)
- geprüfter Widerstand gegen chemisch angreifende Umgebung
- Festigkeitsentwicklung
- begrenzte Hydratationswärme
- geprüfter Frostwiderstand
- Wärmeleitfähigkeit
- Eignung zur QUALIFIZIERTEN RINGRAUMVERFÜLLUNG (Messung nach/ während Einbau)

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

sichere und einfache Handhabung auf der Baustelle

- keine Gefährdung der Gesundheit und Umwelt bei bestimmungsgemäßer Anwendung
- Einsatz von überwachten und geprüften Ausgangsstoffen
- Verwendung von chromatreduzierten Zementen
- werkseigene Produktionskontrolle



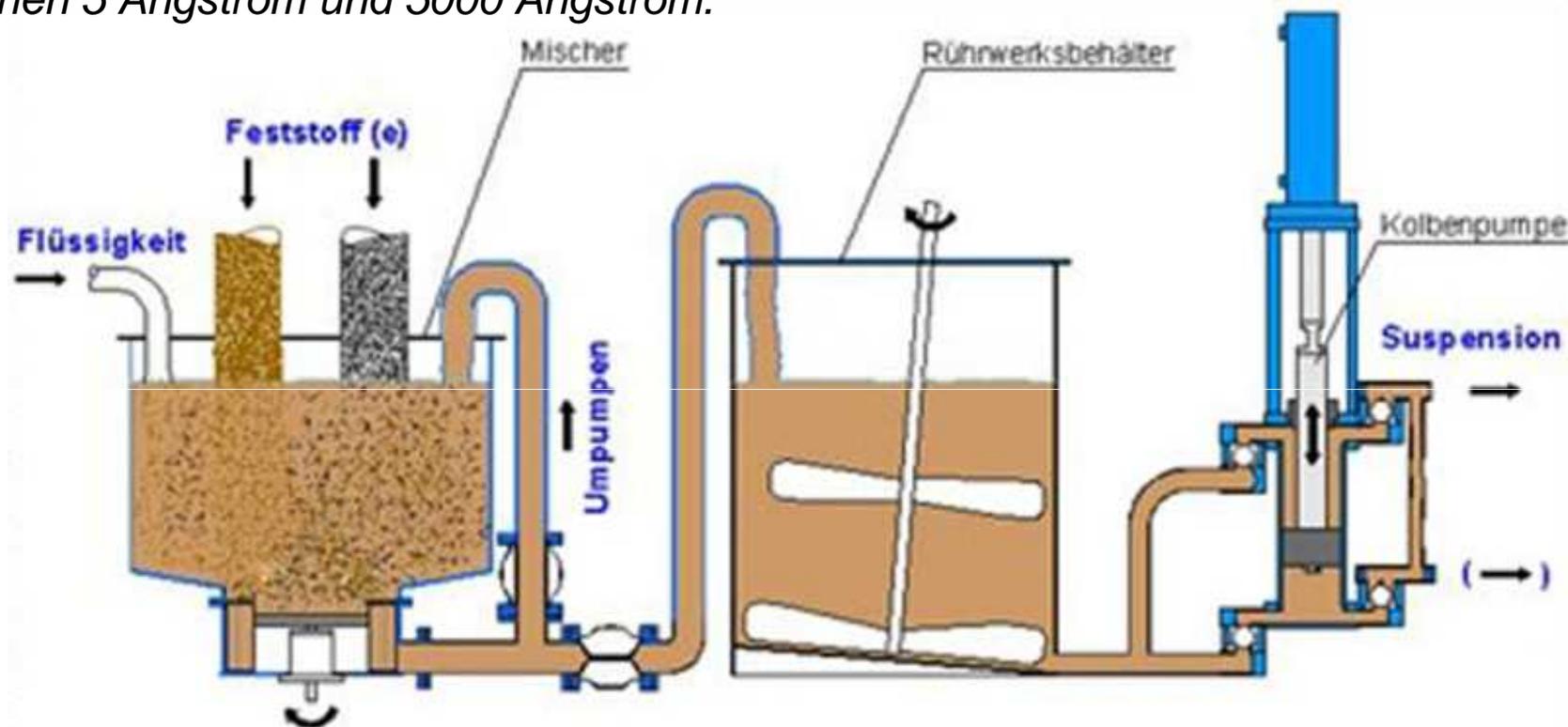
Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

sichere und einfache Handhabung auf der Baustelle

-mit handelsüblicher Mischtechnik anzumischen,
 (Mischanlage muß gleichmäßige und ausreichende Qualität gewährleisten)

Aus DIN EN 12715, Injektionen (Spezialtiefbau):

Kolloid: Stoff, der aus sehr kleinen, in einem kontinuierlichen Medium dispergierten Teilchen besteht. Die Größe eines Kolloidteilchens liegt nach allgemeiner Übereinkunft im Bereich zwischen 5 Ångström und 5000 Ångström.



Grafik Quelle: <http://gertec-gmbh.de>

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

sichere und einfache Handhabung auf der Baustelle

Das Anmachwasser ist ein wesentlicher Bestandteil des Verfüllbaustoffes und muß den Anforderungen der DIN EN 1008 entsprechen

- Trinkwasser ist geeignet
- andere Quellen müssen gemäß DIN EN 1008 geprüft werden

Prüfergebnisse

Prüfung am: 21.03.2014

Temperatur: 21,1°C

Vorprüfung (Prüfung nach DIN EN 1008:2002 Abschnitt 6)					
	Anforderung	Prüfergebnis	geeignet	ungeeignet	
1	Öle und Fette	Spuren erlaubt	keine	X	
2	Reinigungsmittel	Schaum ≤ 2 min	keine	X	
3	Farbe	schwach gelblich oder heller**	farblos	X	
4	Schwebstoffe	Wasser aus Quellen b Dichte kg/l			
		Wasser aus anderen Quellen < 4ml	< 1ml	X	
5	Geruch	Wasser aus Quellen b nur Geruch von Trinkwasser, leichter Zementgeruch bei FA im Wasser leicht nach H ₂ S			
		Wasser aus anderen Quellen nur Geruch von Trinkwasser	leichter Fischgeruch	X	
6	Säuren	pH>4	9,7	X	
7	Huminstoffe	nach Hinzufügen von NaOH qualitativ schwach gelbl. braun o. hell	keine	X	
Chemische Eigenschaften					
8	Chloride (EN 196-21)	Vorgespannter Beton, Einpressmörtel	≤ 500mg/l	20	X
		bewehrt	≤ 1000mg/l		X
		unbewehrt	≤ 4500mg/l		X
9	Schwefel SO ₄ ²⁻ (EN196-2)	≤ 2000mg/l	< 200	X	
10	Alkalien* (EN 196-21) Na ₂ O-Aquivalent	≤ 1500mg/l			
Schädliche Verunreinigungen					
11	Zucker	≤ 100mg/l	0	X	
12	Phosphate P ₂ O ₅	≤ 100mg/l	0	X	
13	Nitrate NO ₃ ⁻	≤ 500mg/l	0	X	
14	Blei Pb ²⁺	≤ 100mg/l	0	X	
15	Zink Zn ²⁺	≤ 100mg/l	0	X	

* bei Verwendung alkaliempfindlicher Zuschläge

** aus anderen Quellen außer b

Zusammenfassung: Das nach DIN EN 1008 geprüfte Wasser ist als Zugabewasser für Zementgebundene Baustoffsysteme geeignet.

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

sichere und einfache Handhabung auf der Baustelle

Hinweise für eine sichere Verarbeitung auf der Produktverpackung, Kennzeichnung entsprechend den EU-Vorschriften, Bereitstellung der Dokumentation wie Sicherheitsdatenblatt...

Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)

Produkt: Füllbinder

18.07.2014 Version 7.0

Ersatz für alle vorherigen Versionen

Druckdatum: 18.07.2014

SCHWENK Füllbinder® EWM plus ist ein markierter Spezialmörtel für die Geothermie.
Wärmeleitfähigkeit: $\geq 2.0 \text{ W/(m·K)}$

Ergiebigkeit und Festigkeit

Wasser/Füllbinder®-Wert		0,30
Erf. Wassermenge	l/Sack	- 7,5
Ergiebigkeit	l/Sack	- 17
Suspensionsdichte	kg/l	1,94
Druckfestigkeit (40 x 40 x 160 mm Prismen) 28 d	N/mm ²	8,0

Bitte beachten Sie unser technisches Merkblatt!

Das behaltene Sackgut ist mit einem Wasser/Füllbinder®-Wert von 0,30 zu einlagern.



Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

Einsatz im Grund- und Trinkwasserbereich

der Baustoffes darf keine nachteiligen Auswirkungen auf das Grundwasser / die Wasserqualität haben



DVGW, Technische Regel, Arbeitsblatt W 347, Mai 2006,
Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im
Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

geringe Wasserdurchlässigkeit

Der Baustoff muß folgende Gefährdungen verhindern:

- den Eintrag von Verunreinigungen und unerwünschter Zuflüsse
- die hydrogeologische Stockwerksverbindung

Realisierung über die abdichtende Wirkung des Baustoffes

Durchlässigkeitsbeiwert k
Prüfung nach DIN 18130-1

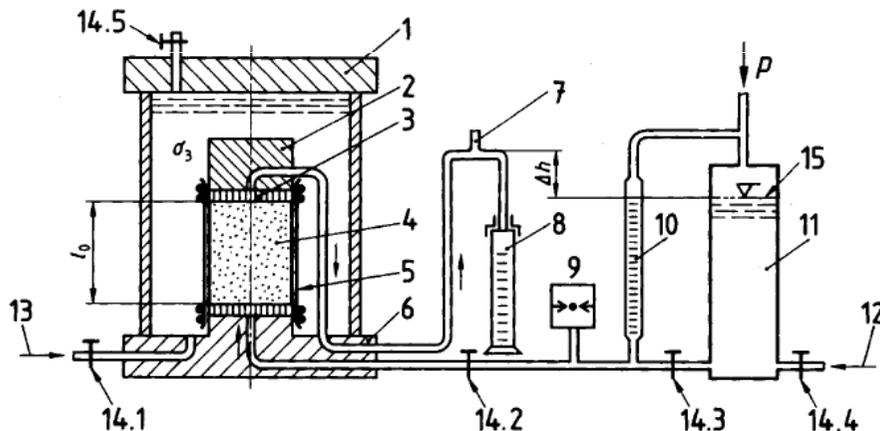


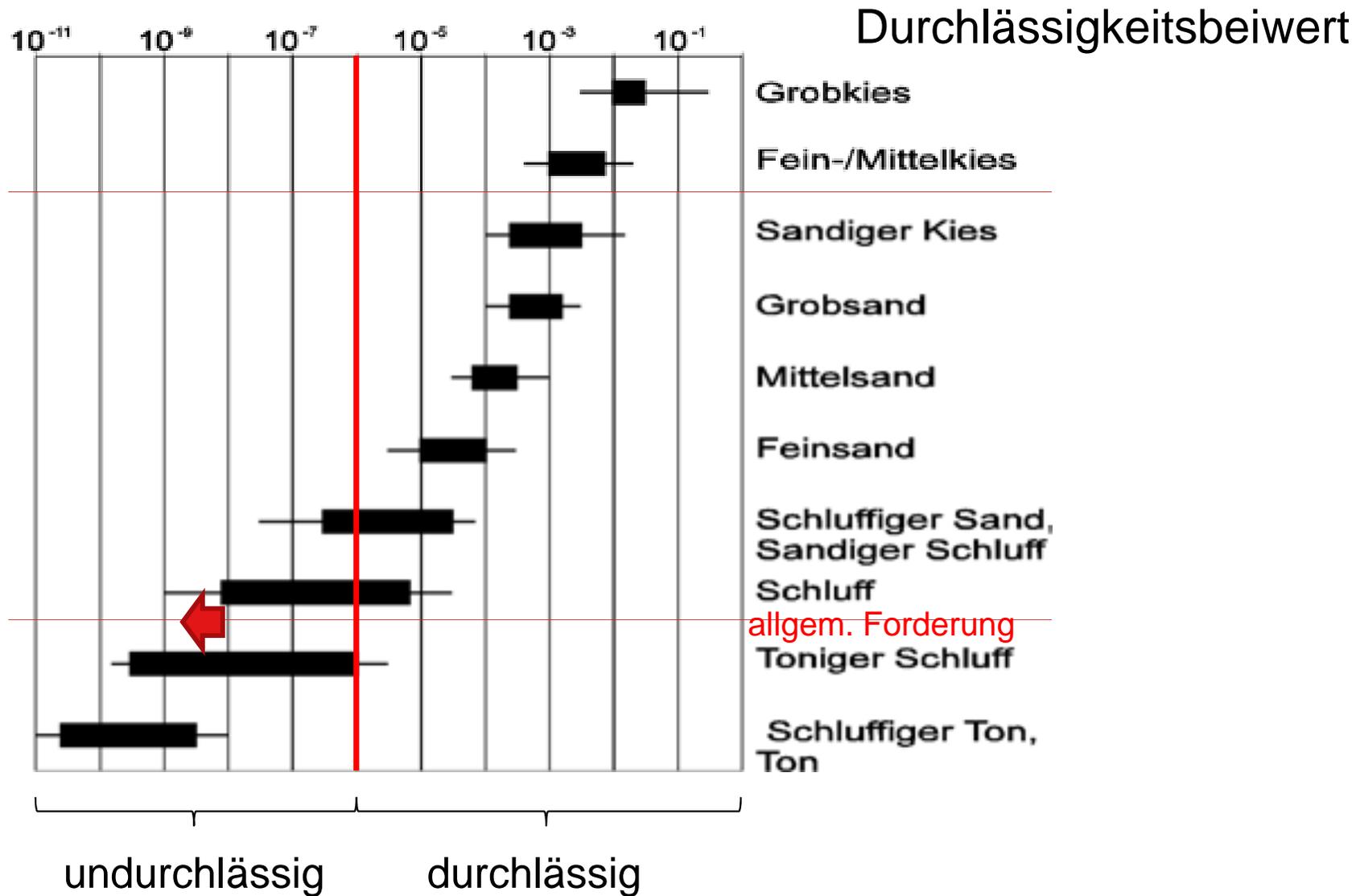
Tabelle 1: Durchlässigkeitsbereiche in Abhängigkeit vom Durchlässigkeitsbeiwert

k m/s	Bereich
unter 10^{-8}	sehr schwach durchlässig
10^{-8} bis 10^{-6}	schwach durchlässig
über 10^{-6} bis 10^{-4}	durchlässig
über 10^{-4} bis 10^{-2}	stark durchlässig
über 10^{-2}	sehr stark durchlässig

Quelle DIN 18130

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

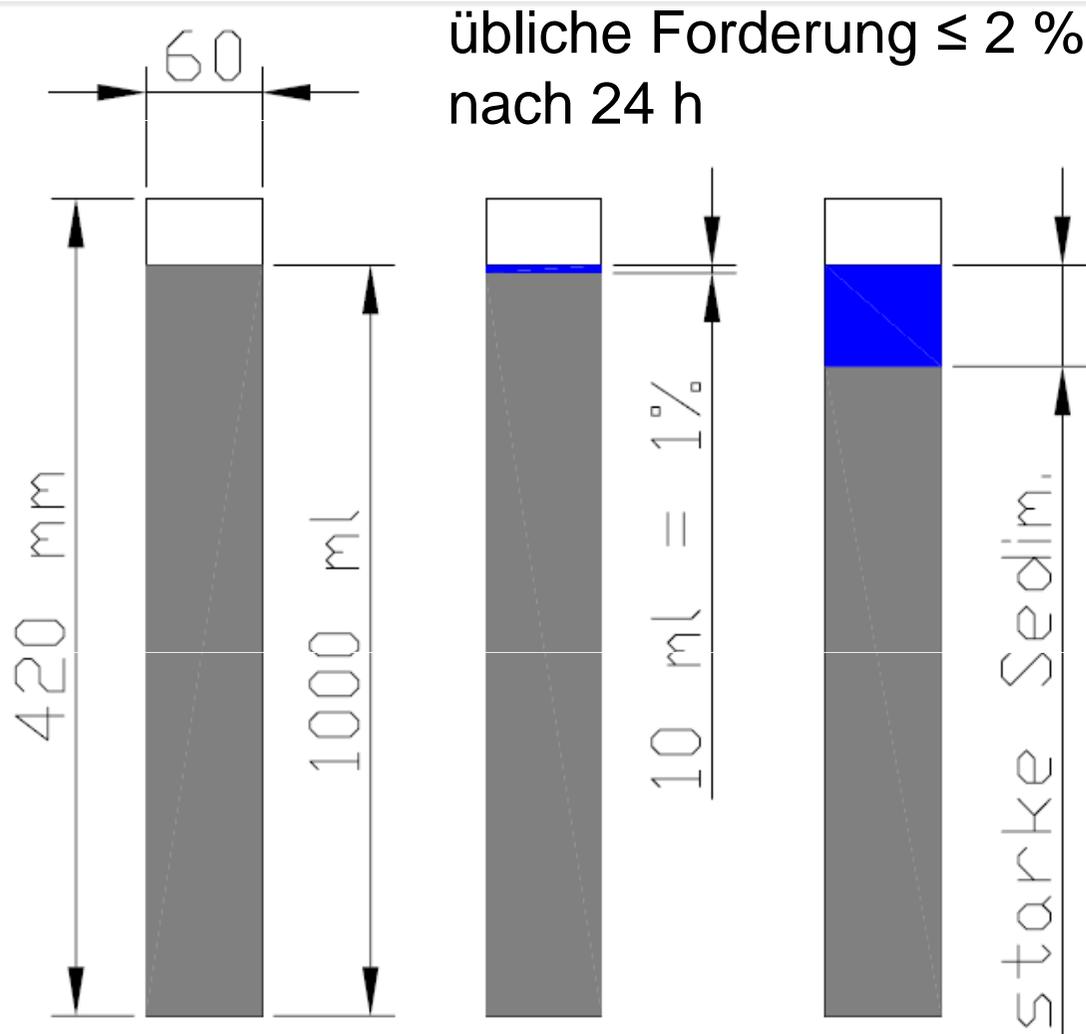
geringe Wasserdurchlässigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert



Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

Sedimentation oder Bluten

Prüfung der Sedimentation im Messzylinder



Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

rheologische Eigenschaften, Konsistenz: Marsh-Viskosität oder Marsh-Zeit



Marsh-Trichter:

- standardisierter Trichter mit Auslaufdurchmesser 4,76 mm
- Befüllung mit 1,5 Liter Suspension
- Messung der Auslaufzeit in Sekunden, bis 1 Liter Suspension ausgelaufen ist



Süßwasser hat eine Marsh-Zeit von 28 sec. bei 20 ° C

übliche Forderung: 50 bis 100 sec.

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

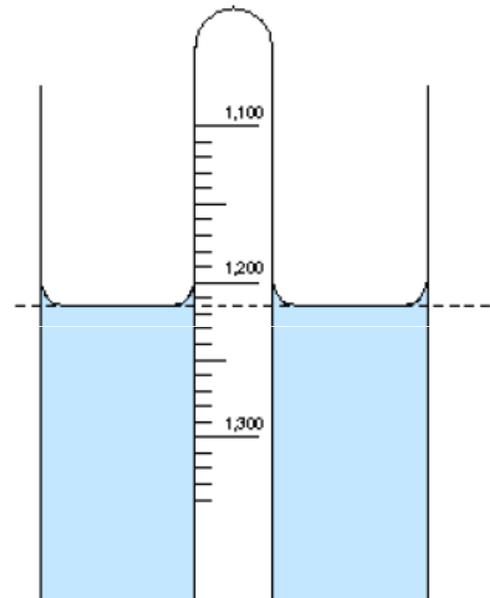
Dichtemessung

Mit der Messung des spezifischen Gewichtes des angemischten Verfüllbaustoffes erfolgt der Nachweis des korrekten Mischungsverhältnisses

Spülungswaage



Aräometer



Haushaltswaage mit Messbecher



Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

geprüfter Widerstand gegen chemisch angreifende Umgebung

DIN 4030-1, Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase

Grundwasser

Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren	XA1 (schwach)	XA2 (mäßig)	XA3 (stark)
SO ₄ ²⁻ mg/l ¹⁾	DIN EN 196-2	≥ 200 und ≤ 600	> 600 und ≤ 3.000	> 3.000 und ≤ 6.000
pH-Wert	ISO 4316	≤ 6,5 und ≥ 5,5	< 5,5 und ≥ 4,5	< 4,5 und ≥ 4,0
CO ₂ mg/l angreifend	DIN 4030-2	≥ 15 und ≤ 40	> 40 und ≤ 100	> 100 bis zur Sättigung
NH ₄ ⁺ mg/l ²⁾	ISO 7150-1 oder ISO 7150-2	≥ 15 und ≤ 30	> 30 und ≤ 60	> 60 und ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 und ≤ 1.000	> 1.000 und ≤ 3.000	> 3.000 bis zur Sättigung

Böden

Chemisches Merkmal	Referenzprüfverfahren	XA1 (schwach)	XA2 (mäßig)	XA3 (stark)
SO ₄ ²⁻ mg/kg ³⁾ insgesamt	DIN EN 196-2 ⁴⁾	≥ 2.000 und ≤ 3.000 ³⁾	> 3.000 ⁵⁾ und ≤ 12.000	> 12.000 und ≤ 24.000
Säuregrad	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully	in der Praxis nicht anzutreffen	

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

geprüfter Widerstand gegen chemisch angreifende Umgebung

Auszug: Anwendungsregeln Expositionsklassen nach Betonnorm

Expositionsklasse	Angriffsart	Beispiele für die Zuordnung von Expositionsklassen	Mindestdruckfestigkeitsklasse ²⁾	Mind.-Zementgehalt ³⁾ [kg/m ³]	Mind.-Zementgehalt ³⁾ bei Anrechnung von Zusatzstoffen [kg/m ³]	Max. Wasser/Zement-Wert
	Umgebungsbedingungen					
XA	Betonkorrosion durch chemischen Angriff					
XA1	chemisch schwach angreifende Umgebung nach Tabelle 2, DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Behälter von Kläranlagen, Güllebehälter	C25/30	280	270	0,60
XA2	chemisch mäßig angreifende Umgebung nach Tab. 2, DIN EN 206-1/DIN 1045-2 und Meeresbauwerke	Betonbauteile, die mit Meereswasser in Berührung kommen; Bauteile in betonangreifenden Böden	C35/45 ¹⁰⁾ C30/37 (LP) ¹²⁾	320	270	0,50
XA3	chemisch stark angreifende Umgebung nach Tabelle 2, DIN EN 206-1/DIN 1045-2	Industrieabwasseranlagen mit chemisch angreifenden Abwässern; Futtertische der Landwirtschaft; Kühltürme mit Rauchgasableitung	C35/45 ¹¹⁾ C30/37 (LP) ^{10) 12)}	320	270	0,45

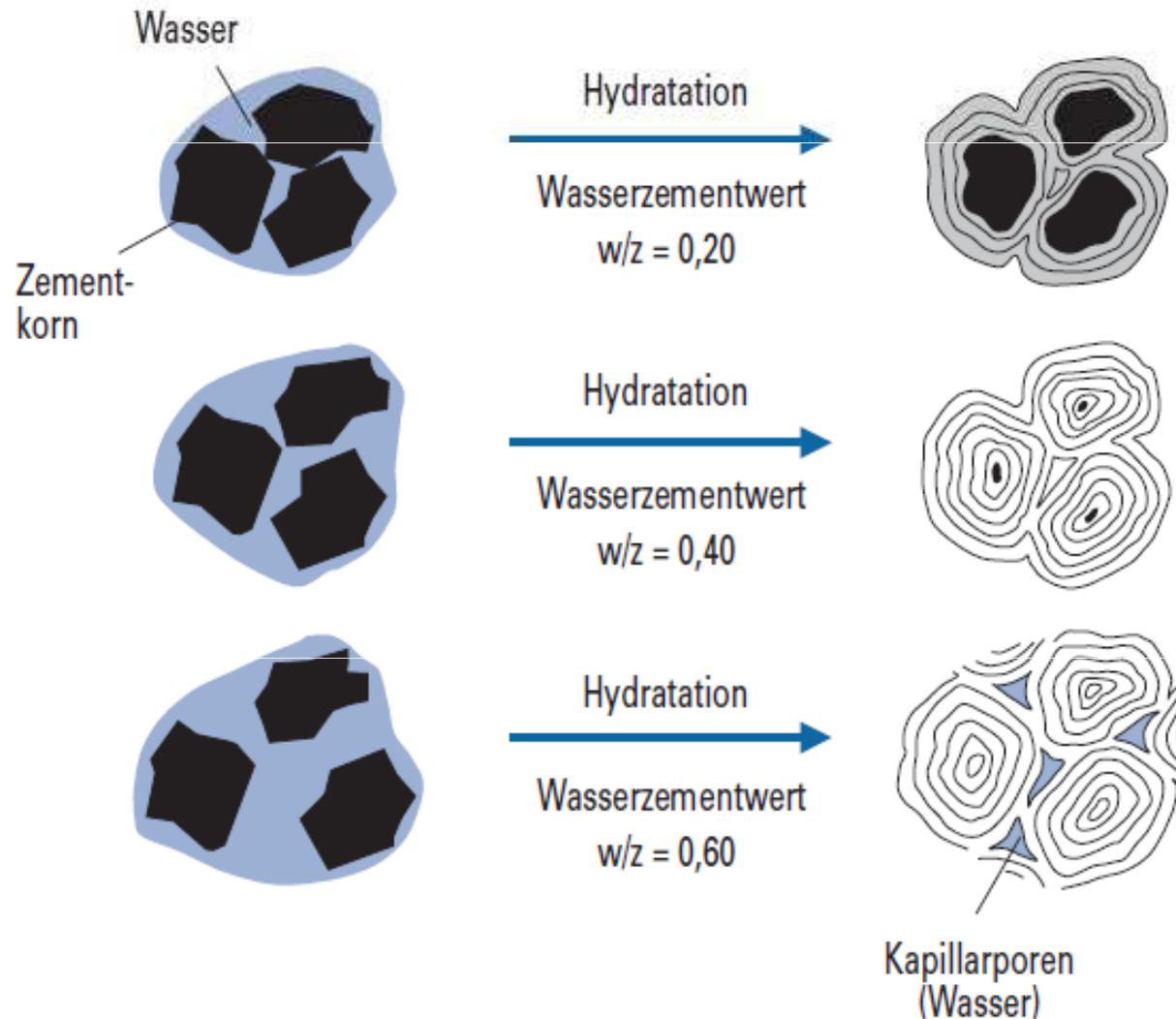
Die Annahme, dass der Einsatz eines hoch sulfatbeständigen Zementes im Verfüllbaustoff ausreicht, ist falsch!

Es muss eine praxisnahe Performance-Prüfung durchgeführt werden.

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

geprüfter Widerstand gegen chemisch angreifende Umgebung

Hydratation und Gefüge des Zementsteins



Quelle: VDZ

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

geprüfter Widerstand gegen chemisch angreifende Umgebung

- Gips, Anhydrit ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) → Ettringit , **Thaumasit**
- Pyrit (FeS_2) → Schwefelsäure, Gips, Ettringit , **Thaumasit**
- Magnesiumsulfat (MgSO_4) → Brucit, Gips, Ettringit , **Thaumasit**
- Ammoniumsulfat($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) → Gips, Ettringit , **Thaumasit**
- Meerwasser (2,8 g/l SO_4^{2-}) → siehe $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$; MgSO_4 , **Thaumasit**

Folgen:

- Bildung von Gips, Ettringit → Treiberscheinungen
- MgSO_4 , FeS_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ → lösender und treibender Angriff
- Bildung von Thaumasit → Entfestigung

Quelle: Th. Neumann

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

Festigkeitsentwicklung

dichtheitsrelevante Einflüsse während der Festigkeitsentwicklung:

Drucktest der Sondenrohre nach Verfüllung?

- Dehnung der Sondenrohre durch Druckaufbau...

Wann kann, im Umfeld wieder gebohrt werden?

- Verfüllmaterial sollte gegen Ausblasen und Ausspülen eine mindestens annähernd gleiche Stabilität wie die umliegende Geologie besitzen
- EAU 2012: $\geq 0,2 \text{ N/mm}^2$ ist erosionsstabil

Mindestdruckfestigkeit $\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$

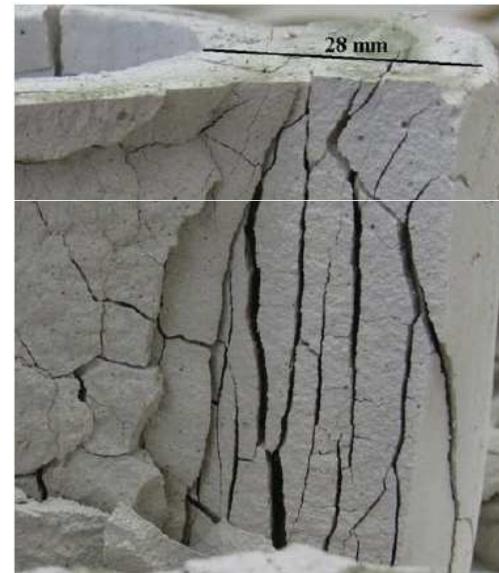
Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

Frostwiderstand

- von erheblicher Relevanz, wenn die Sonde in den Frost gefahren werden darf
- Gefügeschädigung des Verfüllmaterials mit höherer Wasserdurchlässigkeit in Folge Frosteinwirkung

verschiedene Frostprüfszenarien auf dem Markt:

- TU Darmstadt (KED)
- ZAE Bayern
- KIT
- u. A.



Bildquelle: Anbergen, Frank, Müller, Sass 2014

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG

Aus dem Brunnenbau:

Technische Regel

DVGW Arbeitsblatt W 121, Juli 2003

Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen

8.2 Kontrollen und Abnahmen

„... Sofern es die geologischen und anwendungsbezogenen Verhältnisse erfordern (z. B. Durchteufen von Grundwassergeringleitern, -nichtleitern, tiefe Messstellen), ist nach Fertigstellung der Messstelle eine optische und bohrlochgeophysikalische Ausbaukontrolle durchzuführen...“

Technische Regel

DVGW Arbeitsblatt W 110, Juni 2005

Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen-
Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG

Messverfahren für geophysikalische Nachweise

Verfüllbaustoff	notwendige Messverfahren zum Nachweis	
	zweidimensional	dreidimensional
magnetisch markiert	MAL, GG.D	MAL, RGG.D
gammaaktiv markiert	GR, GG.D	SGL, RGG.D
nicht markiert	GR, GG.D, NN	SGL, RGG.D, NN

GR
NN
GG.D

Gamma-Ray-Log
Neutron-Neutron-Log
Gamma-Gamma-Dichte-Log

SGL
RGG.D
MAL

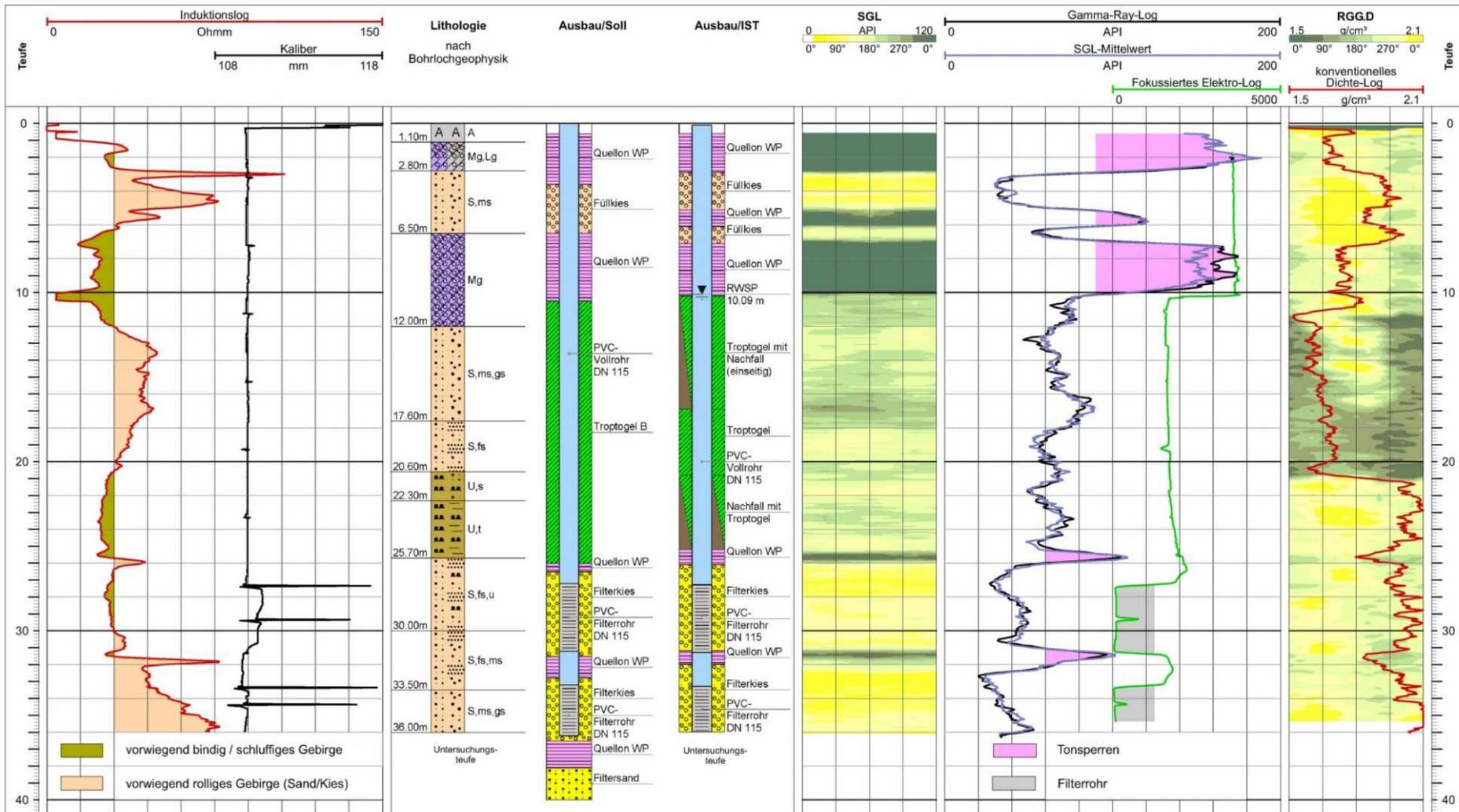
Segmentiertes Gamma-Ray-Log
Dichte-Ringraum-Scanner
Suszeptibilitäts-Log

Quelle: Bohrlochmessung Storkow

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG

BOHRLOCHGEOPHYSIKALISCHE MESSSTELLENKONTROLLE



Quelle: Bohrlochmessung Storkow

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG

- Gängige Verfahren für Erdwärmesonden wie Dichte- und Temperatur-Logs oder der Kurz-Thermal-Response-Test geben Aufschluss über die Bedingungen rund um die Sondenrohre, bedürfen aber der Interpretation durch erfahrene Fachleute.
Eine eindeutige Ansprache des Verfüllbaustoffes ist nicht möglich.
- **Markierte Baustoffe** erlauben weitestgehend unabhängig vom anstehenden Gebirge eine vergleichsweise einfache und direkte Detektion des Verfüllmaterials. Neben Gamma-Strahlern wie Zirkonsand eignen sich magnetisch aktive Komponenten zur Markierung des Baustoffs.
- Üblicherweise verwendete PE-Materialien für den Ausbau von Erdwärmesonden erlauben den Nachweis des magnetischen Markers durch das Sondenrohr mittels Magnetik-LOG.

Quelle: Bohrlochmessung Storkow

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG

Speziell entwickelte Magnetik-Log-Miniatursonden machen selbst das Befahren von Sondenrohren mit Durchmessern ab DN 25 mm problemlos möglich.



Bei der Messung der magnetischen Suszeptibilität wird die

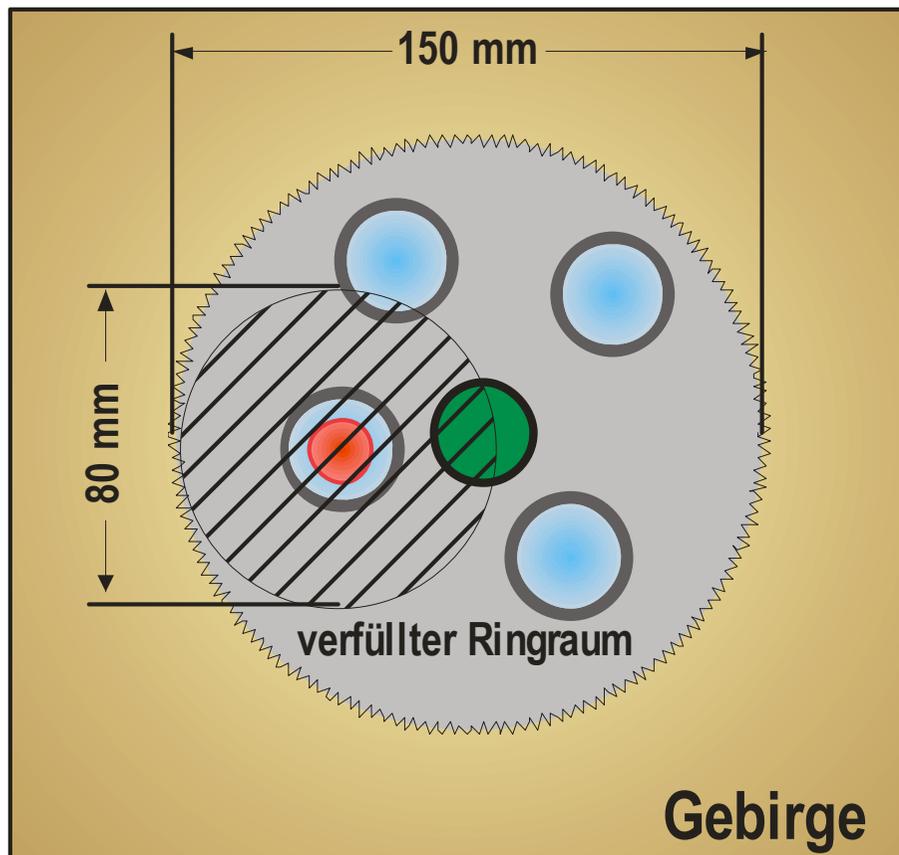
Magnetisierbarkeit

eines Stoffes gemessen. Durch das Anlegen eines schwachen, elektrisch erzeugten Magnetfeldes reagiert die untersuchte Substanz darauf, indem sie dieses Magnetfeld verstärkt oder abschwächt.

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG

Reichweite der Suszeptibilitätsmessung

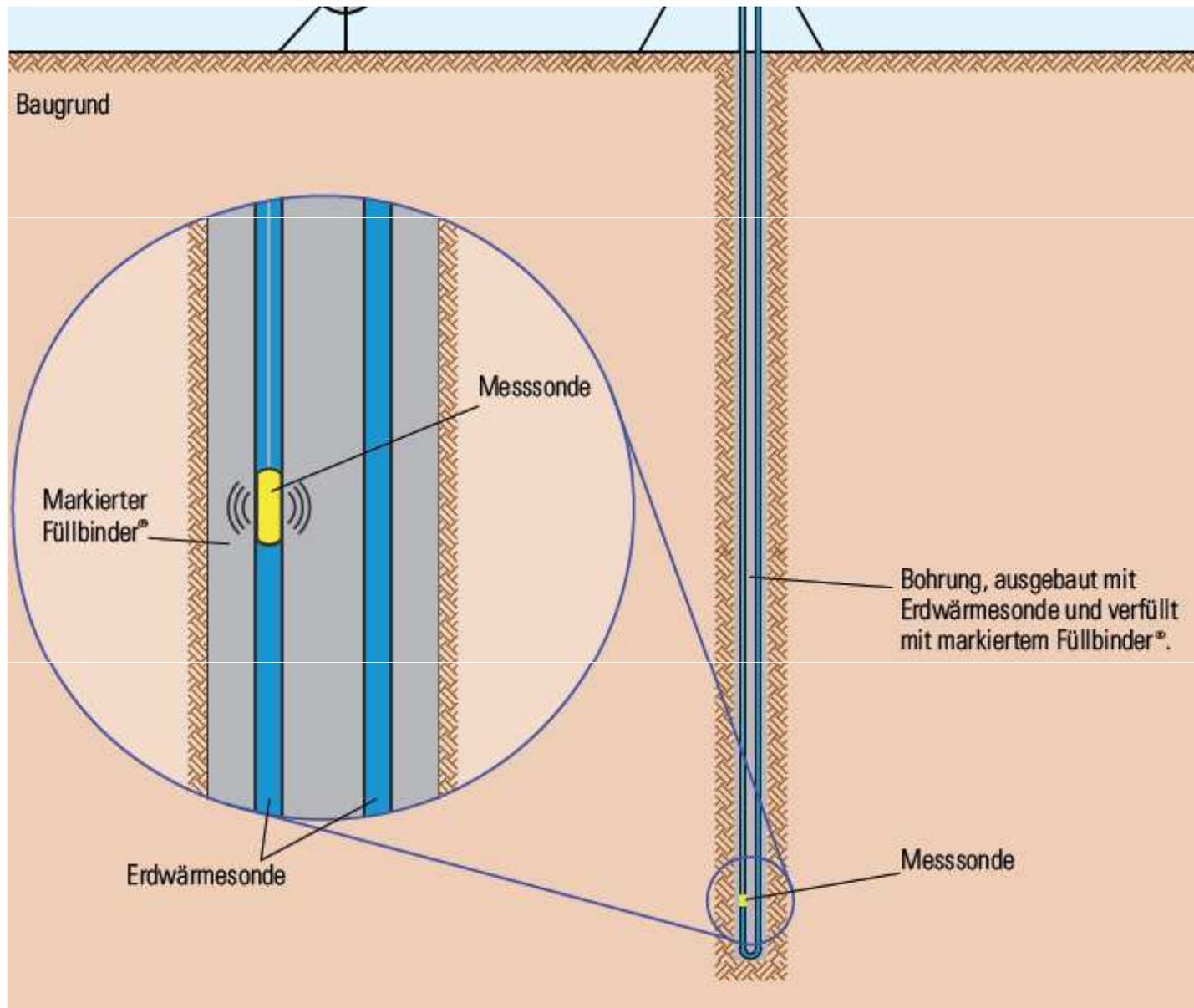


-  PE-Sonden-U-Rohr
-  verbliebener Zementationsschlauch
-  Magnetsonde

Quelle: André Voutta Grundwasserhydraulik

Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

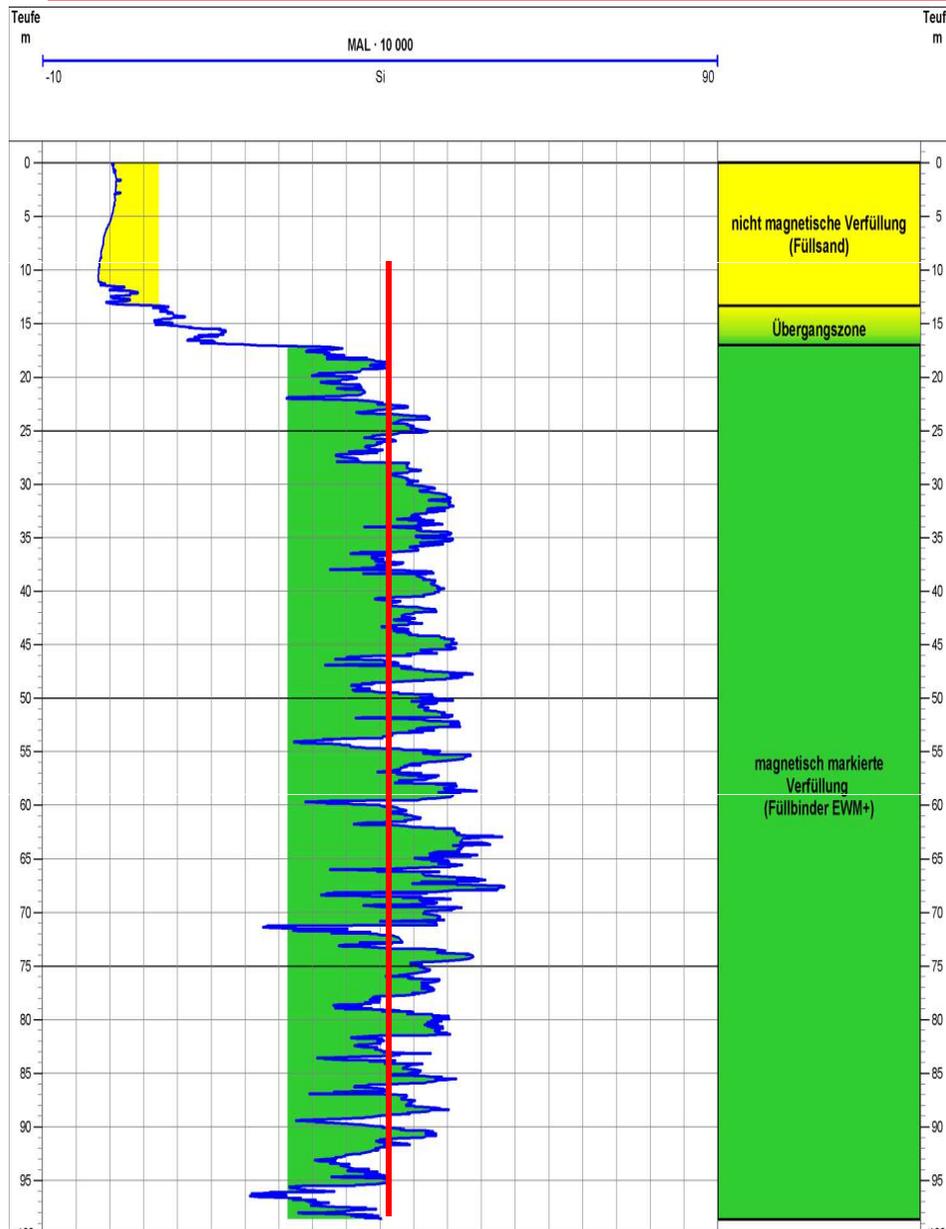
QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG



- Zum Zweck der Messung wird eine Suszeptibilitätssonde in das PE-Rohr eingeführt. Das Messsignal wird in Abhängigkeit von der Tiefe aufgezeichnet.
- Die Messung ist sowohl beim Befahren als auch beim Ziehen der Messsonde möglich.
- Für jedes Sondenrohr existiert folglich eine charakteristische, nahezu unveränderliche Messkurve – ein unverwechselbarer „Fingerabdruck“

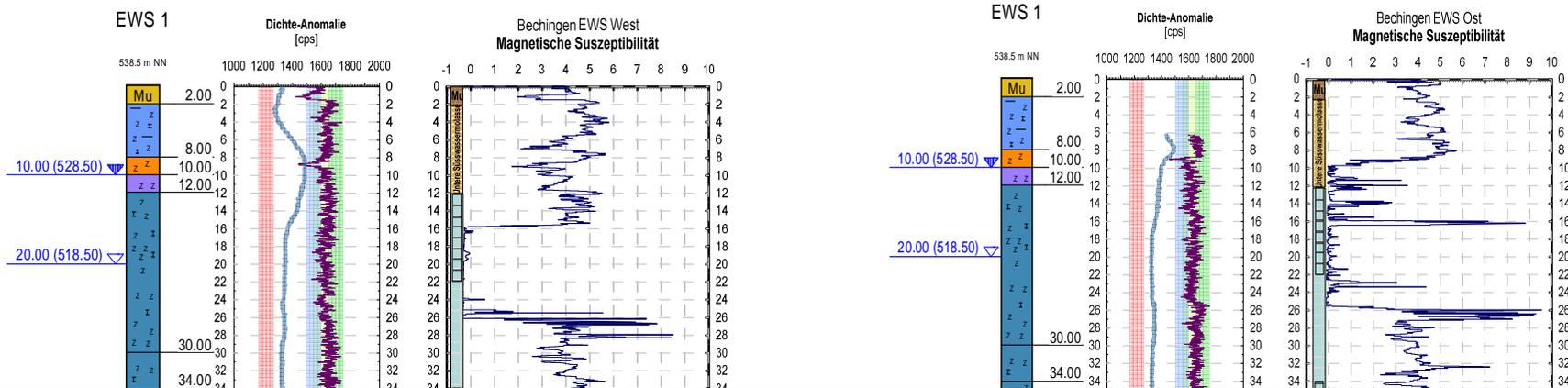
Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG



Stand der Baustofftechnik für Verfüllbaustoffe

QUALIFIZIERTE RINGRAUMVERFÜLLUNG



- Zweifelsfreier Nachweis der lückenlosen Ringraumverfüllung, anwendbar in nahezu allen geologischen Formationen Deutschlands für Bohrunternehmen, Bauherren und Behörden

- Vermischungszonen im Grenzbereich zur Bohrspülung sind sehr gut sichtbar
- Einziger Nachweis vorhandener Ringraumverfüllung im ausgehärteten Zustand und damit Möglichkeit zur Dokumentation des Vorhandenseins der ausgehärteten Suspension (Anlage zur Bohrdokumentation). Ein Nachweis des eingebauten Verfüllmaterials ist somit auch nach vielen Jahren noch möglich.

Stand der Baustofftechnik für dichte Geothermiebohrungen

Quintessenz

Über die Eigenschaften, Handhabung und Verarbeitung haben Verfüllbaustoffe einen maßgeblichen Einfluss auf die Dichtheit von Geothermiebohrungen.

Die Definition von einheitlichen Qualitäts-Standards und die Nutzung bestehender und neuer Möglichkeiten zur Qualitätssicherung können dazu beitragen die Dichtheit von Geothermiebohrungen zu belegen.

Die Sicherheit von der Planung über die Herstellung bis zum Betrieb und Stilllegung von Geothermiebohrungen kann qualifiziert verbessert werden.



SCHWENK



Baustoffe fürs Leben