

# Bentonite und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

Auswirkungen von Spülungszusätzen und Ausbaumaterialien auf das Grundwasser  
24.06.2014 Stadthalle Idstein

Peter Mielenz

Anwendungstechnik/Produktentwicklung



## Vortragsinhalt

1. Einleitung - Aufgaben der Bohrspülung
2. Bentonit
3. Polymere
4. Aktuelle Beispiele aus der Praxis
5. Fazit

### 1. Aufgaben der Bohrspülung bei Bohrarbeiten im Grundwasser

- Offenhalten und Stabilisieren des Bohrlochs
- Austrag des Bohrkleins von der Bohrlochsohle nach Zutage
- Kompensation erhöhter Gebirgs- und Lagerstättendrücke
- Schonung der zur Bewirtschaftung vorgesehenen Lagerstätten
- Kühlen und Schmieren der Bohrwerkzeuge

## Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

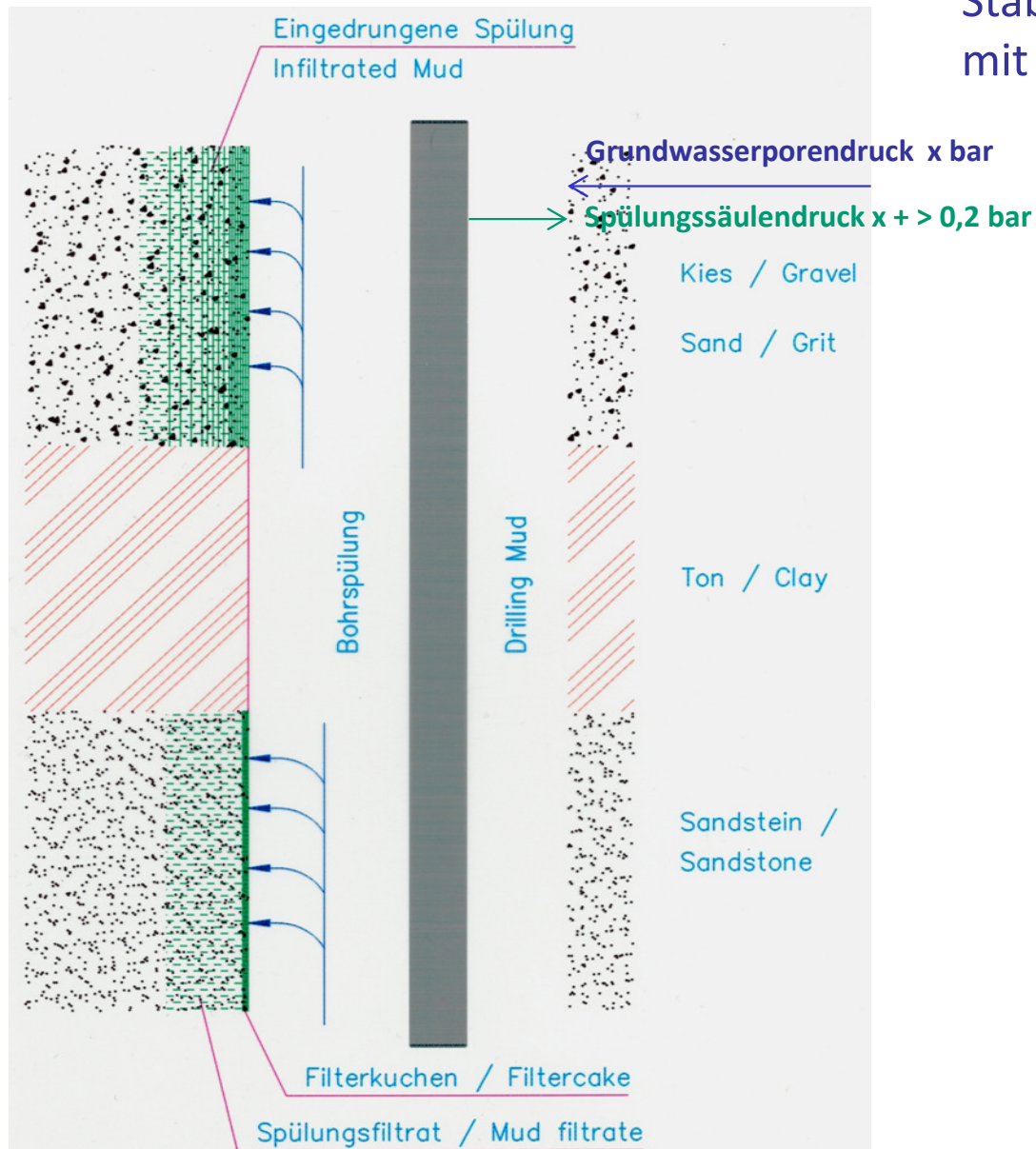
### 1. Aufgaben der Bohrspülung

**Mit Klarwasser können die an eine Bohrspülung zu stellenden Anforderungen nur unvollkommen erfüllt werden !**

- Sehr hoher Wasserverbrauch durch Verluste in durchlässigen Sedimenten
- Drohende Instabilität in Lockersedimenten bei Abfall der Wassersäule
- Instabilität in Tonschichten durch rasch einsetzende Quellprozesse
- Zu geringe Tragfähigkeit für effizienten Bohrkleinaustrag bei Druckspülbohrungen
- Zu geringe Tragfähigkeit für Beschwerungsmittel
- Rasche Aufladung der Wasserspülung mit tonigem Bohrklein und Dichteerhöhung.
- Nachhaltiges Zusetzen durchbohrter Grundwasserleiter durch unzureichende Filtereigenschaften

# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung



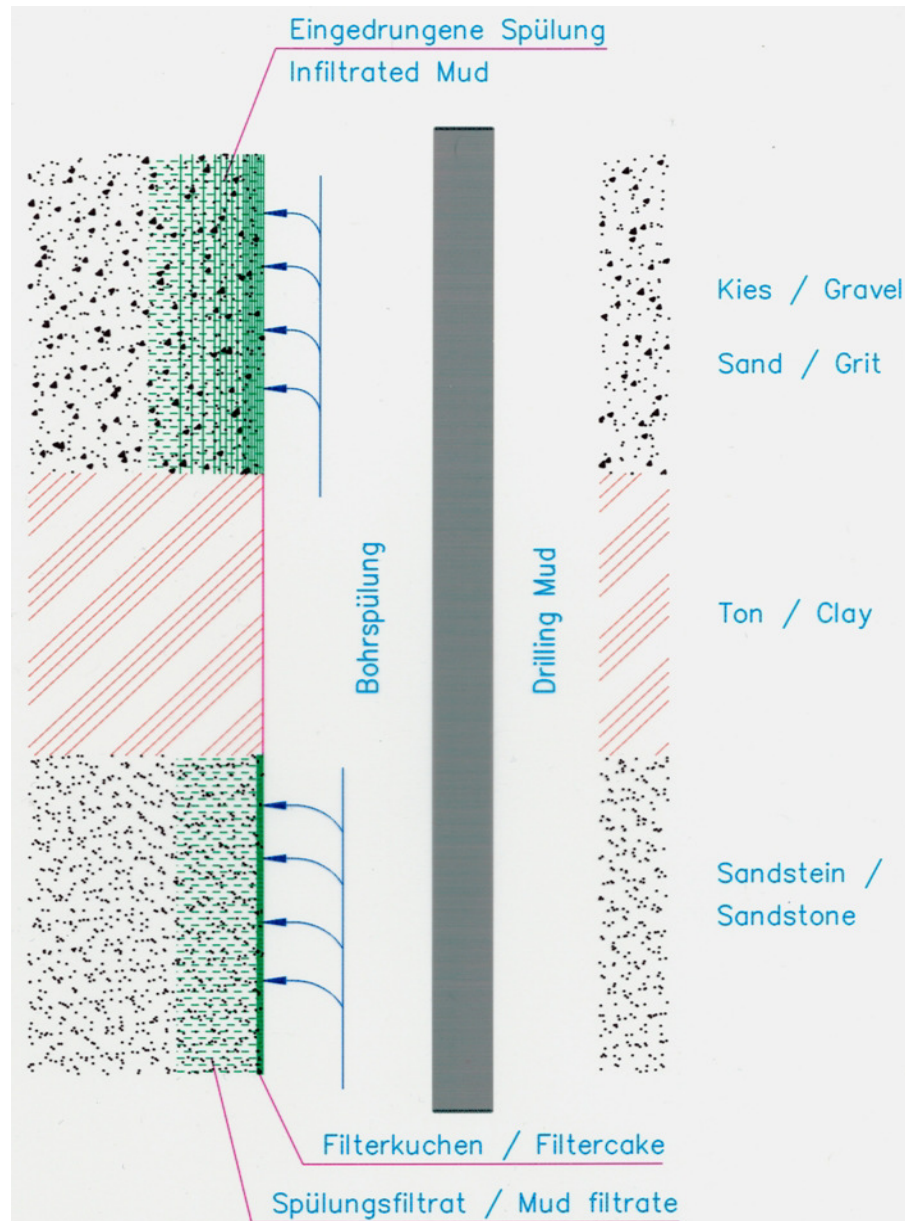
Stabilisierung von Lockersedimenten  
mit großen offenen Porenquerschnitten

### Filtration im Kies/Sand

Feinste in der Bohrspülung verteilte Feststoffpartikel deren Oberflächen in Interaktion mit langkettigen Polymermolekülen stehen bilden in den Poren des infiltrierten Sediments ein Gerüst, das dem Druck auf die Suspension das Gleichgewicht hält. Wasser als Grundlage der Bohrspülung wird durch dieses Gerüst nur langsam abfließen, wobei sich die disperse Phase anreichert und laufend undurchlässiger wird. Das abfiltrierte, nunmehr weitgehend reine Dispersionsmittel wird als Filtrat, die angereicherte disperse Phase als infiltrierte Zone bezeichnet.

# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung



Stabilisierung durchbohrter  
Sedimente mit kleinen  
Porenradien

Freie Flächen sind kleiner als die  
Feststoffpartikel in der  
Bohrspülung. Die in der  
Bohrspülung befindlichen  
Schwebstoffe verstopfen die  
offenen Poren.  
Direkt an der Bohrerwand  
entsteht ein Belag, der als  
Filterkuchen bezeichnet wird.

# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung

### Toninhibierung

Ein Begriff, der die Fähigkeit eines Fluids beschreibt tonige Sedimente daran zu hindern Wasser in ihr Kristallgefüge einzulagern um Bohrlochinstabilitäten wie folgt zu verhindern:

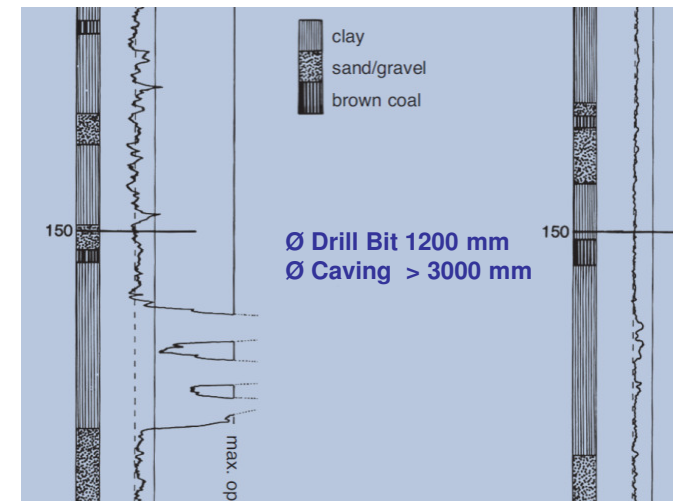
<b>Gehalt an quellenden Bestandteilen gering.</b>	<b>Gehalt an quellenden Bestandteilen hoch</b>
Stetiger Nachfall	Verengung des Bohrlochs
Auskesselungen	Zusammenballen erbohrter Feststoffe beim Auftrieb
Reduzierte Aufstiegs geschwindigkeit in Bohrlochaufweitungen	Zusetzen und Verschmieren des Bohrwerkzeugs
Ausbildung von Überhängen	Überlastziehen durch am Bohrstrang haftende Tonmänner
Festwerden des Bohrstrangs durch Einsturz des Bohrlochs	Festwerden des Bohrstrangs
	Schnelle Verdickung der Spülung

# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung

### Toninhibierung

Toncuttings in Wasser/Polymerlösung



### Comparison of Caliber Logs

Log left: Drilled with Bentonite/Water

Log right: Drilled with Polymer treated fluid



# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung

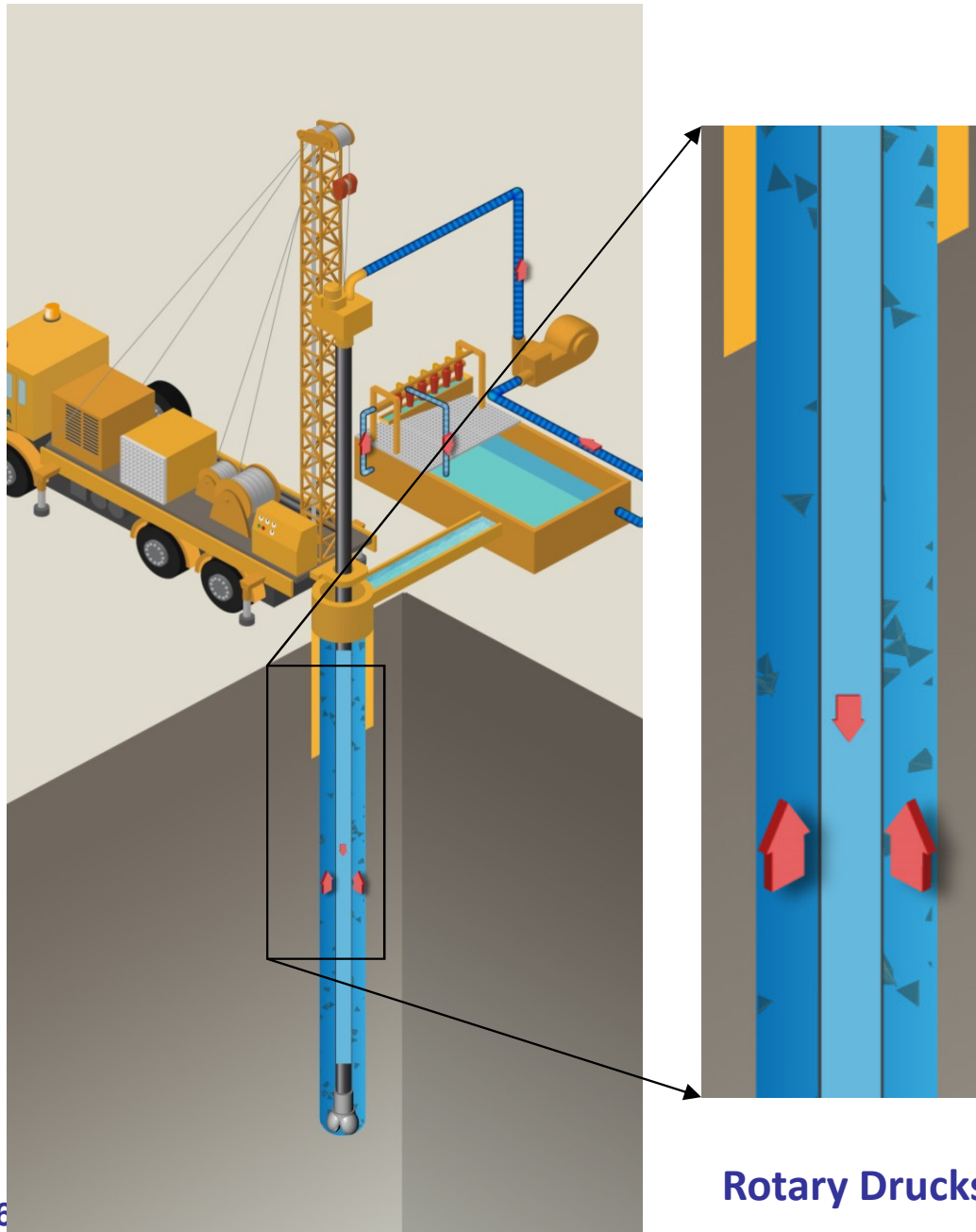
### Toninhibierung

Die toninhibierenden Eigenschaften einer Bohrspülung lassen sich auf einfache Weise mit dem Ringapparat nachweisen. Die Messgröße Wasserabgabezeit steht zudem in direktem Zusammenhang mit der Filterfestigkeit einer Spülung.



**Ringapparat mit Stoppuhr zur Bestimmung der Wasserabgabezeit**

- Anzustreben ist eine Wasserabgabezeit  $> 2000s = 33,3'$

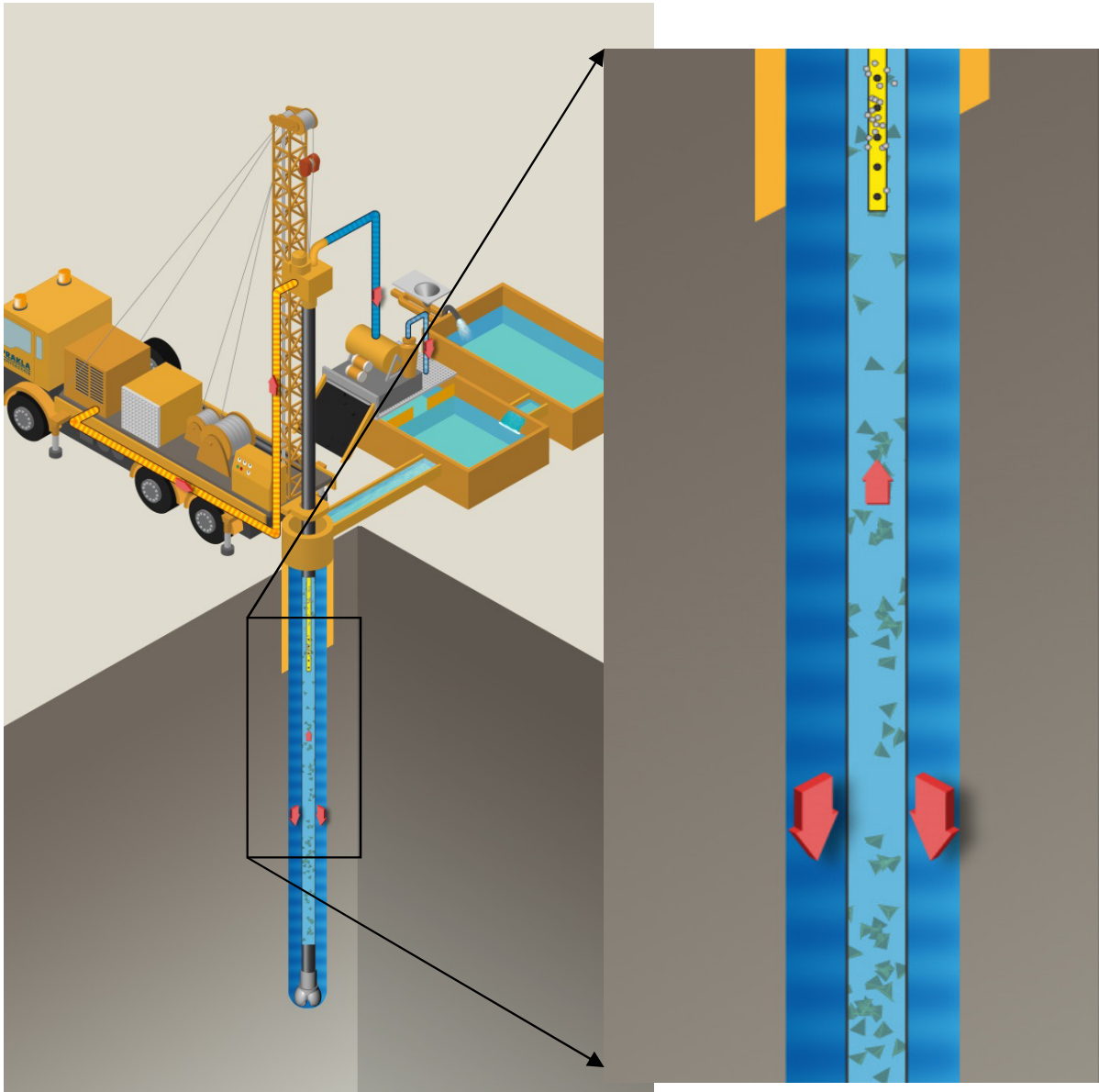


- Hohe Wirtschaftlichkeit bei Bohrdurchmesser bis 300 mm (12“)
- Durch die Erzeugung mechanischer und hydraulischer Kräfte für das Herauslösen des zu erbohrenden Gesteins und dessen Abtransport sind hohe Bohrgeschwindigkeiten realisierbar.
- Erforderliche Spülstromgeschwindigkeit im Ringraum 0,5 – 1,0 m/s
- Bei Verwendung 146 er Bohrgestänge bei 12 ¼“ sind für eine Aufstiegs geschwindigkeit von 0,57 m/s 2000 l Spülung pro min zu verpumpen.
- Die Spülungsviskosität unterstützt einerseits den Bohrkleinaustrag, behindert andererseits die Abtrennung feiner erbohrter Feststoffe durch Absetzen Über tage, so dass Spülungsreinigungsgeräte oder Spülungsneuansätze zur Regulierung von Viskosität und Spülungsdichte erforderlich sind.

**Rotary Druckspülbohren**

# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung



- Sehr wirtschaftliches Verfahren für das Herstellen von Bohrungen mit großem Durchmesser ( $> 300$  mm)
- Spülstrom mit 2-4 m/s im Bohrgestänge Zutage
- Sehr gute Bohrprobennahme
- Vergleichsweise geringe Druckverluste im Bohrlochringraum und somit sehr schonendes Verfahren zum Schutz druckschwacher Lagerstätten
- Ermöglicht die Verwendung von Bohrspülung mit geringer/moderater Viskosität für effektive Abtrennung erbohrter Feststoffe durch deren Sedimentation in Tanks oder Spülteiche
- Geringe Aufladung der zirkulierenden Spülung durch erbohrten Feststoff minimiert Spülungsneuansätze zur Regulierung von Dichte und Viskosität.

# Bentonit und Polymere als Zusätze für Bohrspülungen

## 1. Aufgaben der Bohrspülung

### Marsh Trichter Auslaufzeit - Spülungviskosität Vorgaben W 116

Auslaufzeit AZ/Restauslaufzeit RAZ

Richtwerte: AZ      38 – 45 s  
                  RAZ     28 – 35 s

Brunnenbohrspülungen mit Marsh Trichter Auslaufzeiten  $> 50$  s erfordern zur Abtrennung erbohrter Feststoffe Separationstechnik in Form von Schüttelsieben, Desander, Desilter oder Mud Cleaner, da eine klassische Reinigung nur über sehr hohe Sedimentationszeiten realisierbar ist.

Hochviskose Spülungen führen zu einer verstärkten Feststoffaufladung. Als Folge steigt die Spüldichte, der Spülungssäulendruck sowie die Menge der sich abfilternden Feststoffe in durchlässigen Sedimenten.

Hingegen verursachen zu niedrige Auslaufzeiten einen unvollständigen Bohrkleinaustrag, Turbulenzen im Spülungsstrom mit der Folge von Auskolkungen in Lockersedimenten.

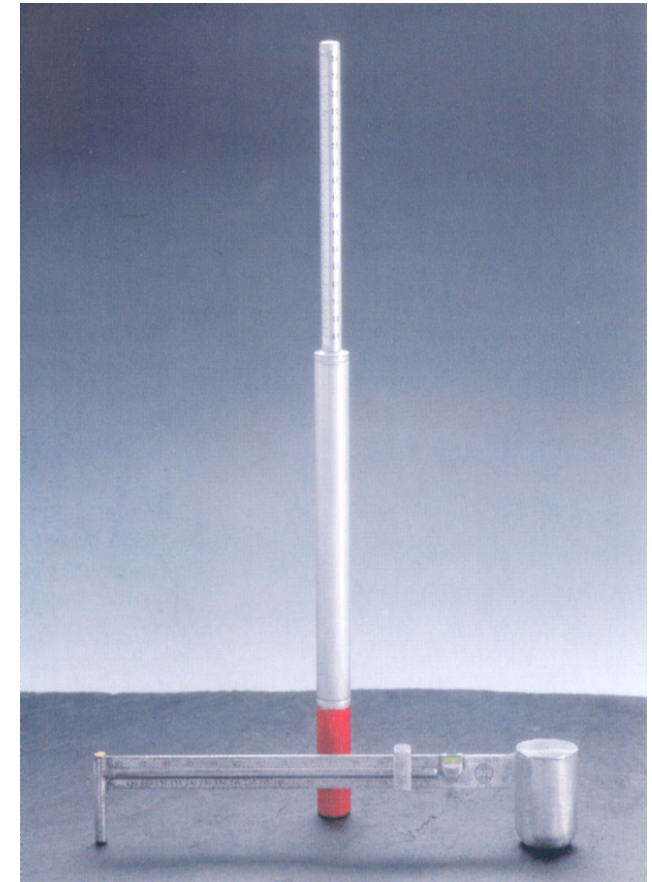


### Spüldichte in g/cm<sup>3</sup>

Über die Spüldichte definiert sich der von einer Bohrsuspension ausgehende hydrostatische Druck, der grundsätzlich größer als der Erd- und Grundwasserporendruck sein muss.

Mittels Zugabe von Beschwerungsmittel kann im Bedarfsfall eine Dichteanpassung an die hydrogeologischen Verhältnisse (Arteser), geologischen vorgenommen werden.

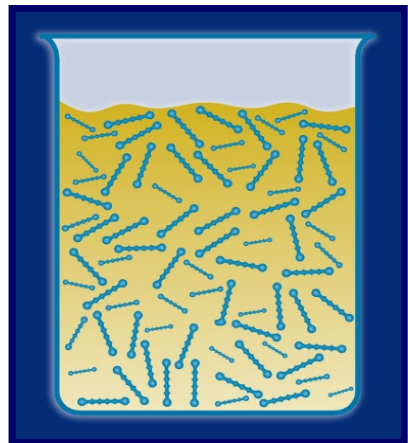
In der Regel werden im Brunnen- und Spezialtiefbau Bohrsuspensionen mit geringer Dichte verwendet um irreversible Verstopfungen in den zur Bewirtschaftung vorgesehenen Bereichen zu vermeiden (W 116 < 1,10 g/cm<sup>3</sup> ).



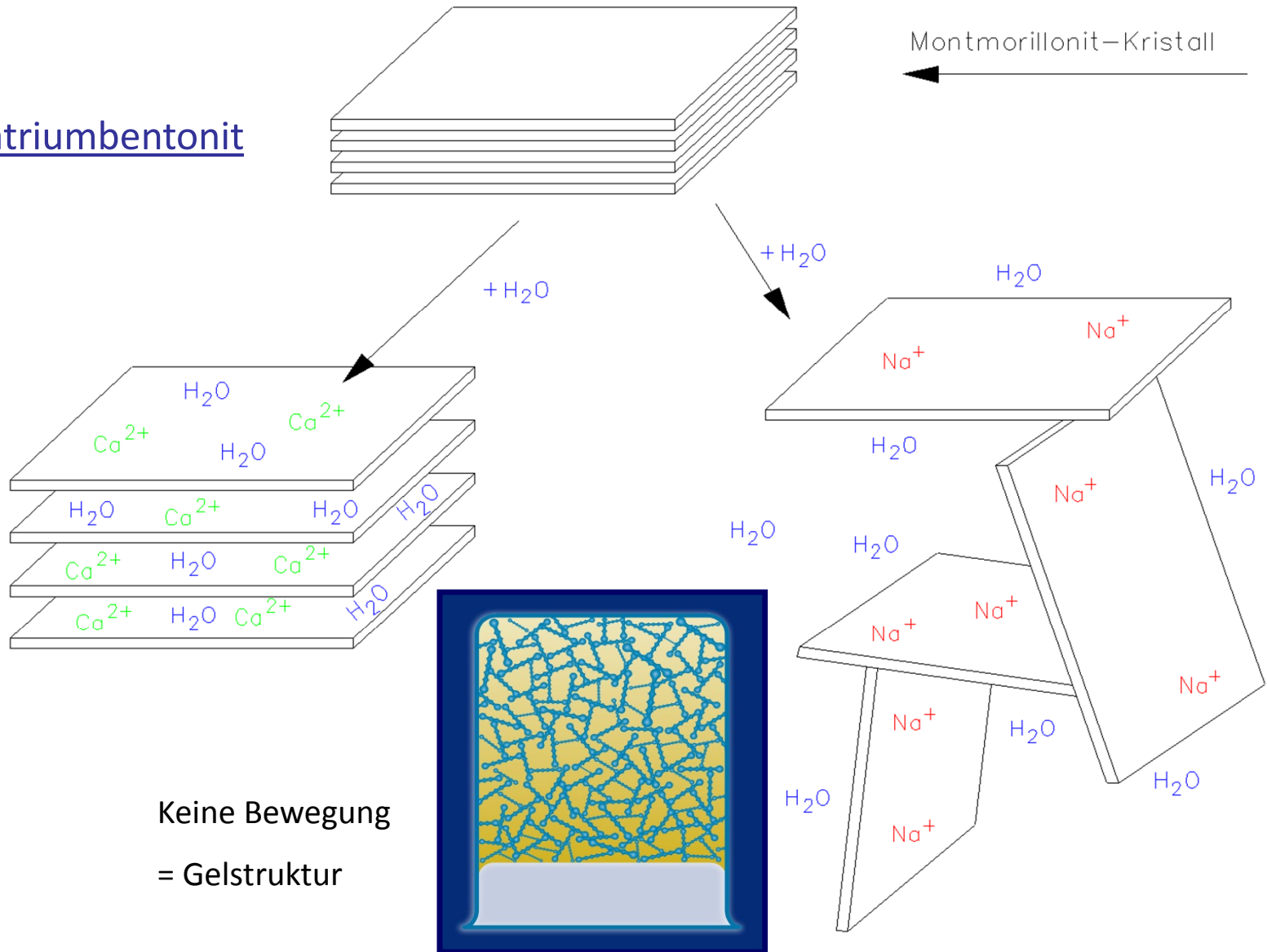
# Polymerspülungen im Brunnen- und Spezialtiefbau

## 1. Bentonite

### Kalziumbentonit - Natriumbentonit



Bewegung = Sol



Keine Bewegung  
= Gelstruktur

### Biopolymere

#### Xanthan

#### Guar Gum

Allg. Eigenschaften:

strukturviskos

toninhibierend

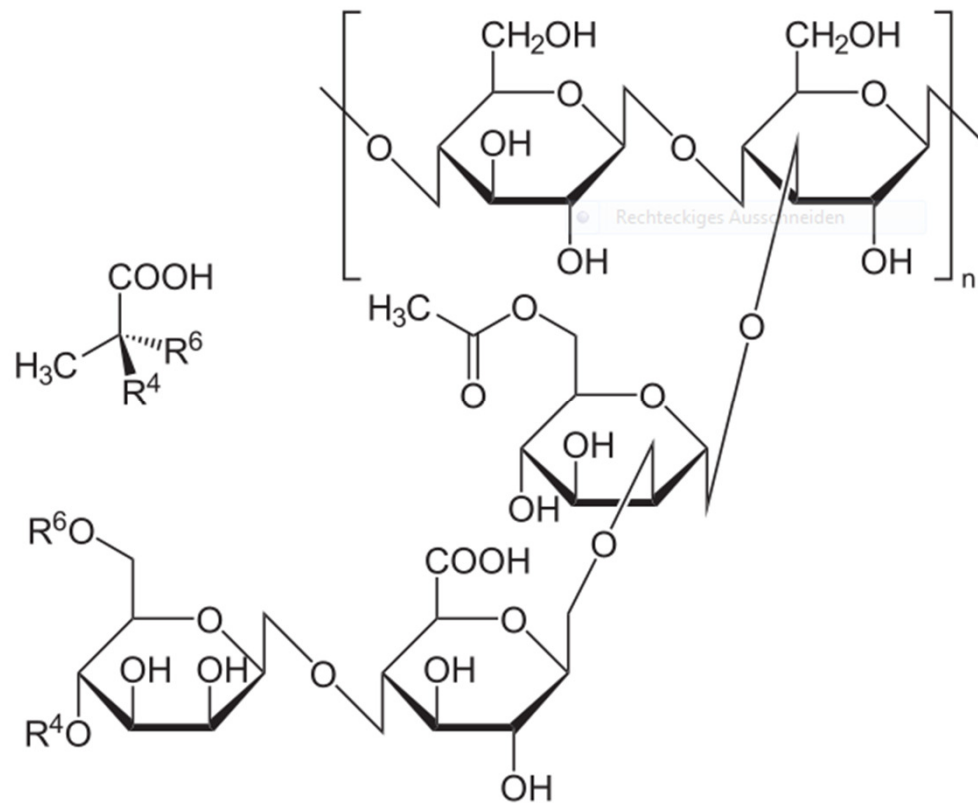
filtratwassersenkend

Biopolymere zeigen Viskositätsprofile, die denen von Bentonitsuspensionen ähneln. Demgemäß zeigen Xanthanspülungen auch gute bohrlochstabilisierende Eigenschaften in Lockersedimenten. Für die Abtrennung erbohrter Feststoffe ist, wie bei der Verwendung von reinen Bentonitssuspensionen der Einsatz von Solid Control Equipment vorzusehen. Das Abtrennen von Cuttings über Absetzbecken ist praktisch nicht möglich.

Während Xanthan relativ stabil gegenüber mikrobiologischen Abbauvorgängen ist, neigen Guar Gum Lösungen zu einer raschen mikrobiologischen Zersetzung. Bei Raumtemperatur ist bereits nach 48 h mit einem massiven Verlust der Viskosität und Wasserbindigkeit zu rechnen, einhergehend mit der Bildung von Faulgasen.

# Bentonit und Polymere als Zusatz für Bohrspülungen

## 3. Polymere



Xanthan- Monomer als langkettiges Polysaccharid mit Molekulargewichten  $> 1.000.000$

### Xanthan Polymerstruktur - Rheologie

- Langkettige Anordnung von Zuckermolekülen mit ausgeprägter Seitenverzweigung
- Sperrige Polymerstruktur bewirkt typische „low end“ Viskosität = starker Viskositätsaufbau bei kleinem Schergefälle
- Guar Gum's zeigen bei ähnlicher Struktur vergleichbare rheologische Eigenschaften



### Halbsynthetische Polymere

#### Carboxymethylcellulose hoch- und niedrigviskos modifiziert:

CMC technische Qualität

PAC gereinigte Qualität

Allg. Eigenschaften:

mäßig strukturviskos

toninhibierend

presswasserreduzierend

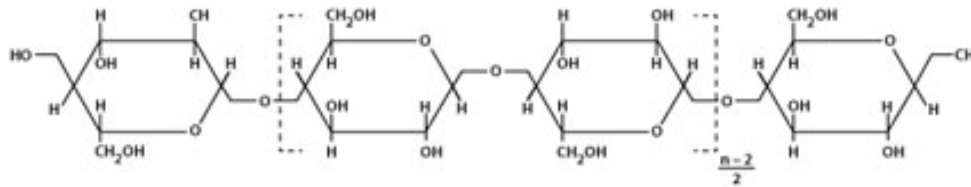
biologisch stabiler als Biopolymere

Cellulosepolymere werden bevorzugt in Bentonitspülungen eingesetzt. Synergien ergeben sich besonders mit hochviskos modifizierten langkettigen CMC Derivaten bei Bentonitgehalten von 0,5-2,5 %. In gering permeablen Sedimenten mit Feinanteilen ist eine Verwendung auch gänzlich ohne Bentonitgrundlage möglich und sinnvoll.

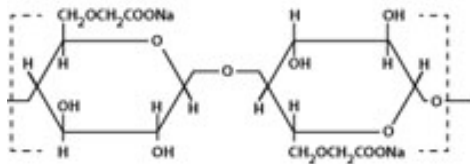
CMC oder PAC Polymere sind in unterschiedlichen Viskositätsstufen verfügbar. Niedrigviskos eingestellte Produkte werden für erhöhte Anforderungen im Zusammenhang mit der Presswasserreduzierung für trägerschonende Spülungen verwendet. Die Mittel sind beständig in gesättigten Natrium- und Kaliumchloridlösungen, Meerwasser und Gipsspülungen.

### Polymerstruktur CMC – Rheologie

Structure of Cellulose



Structure of CMC



- Das Grundgerüst wird von Glucosemolekülen, die über Sauerstoffatome zu kurz- oder langkettigen Polymeren (niedrig- bzw. hochviskos) verknüpft sind gebildet.

- Die Carboxymethylgruppen sind an den „R“-Stellen als Seitenverzweigung angebunden

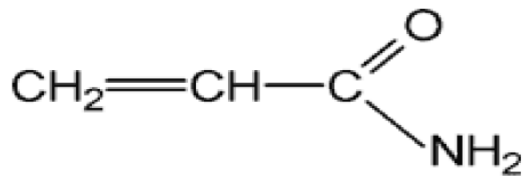
- CMC Polymere sind sehr gut mit Tonsuspensionen kombinierbar. Je nach Type wirken sie zusätzlich viskositätserhöhend oder verflüssigend, verbessern die Presswasserreduzierung und toninhibierende Wirkung.

## Vollsynthetische Polymere

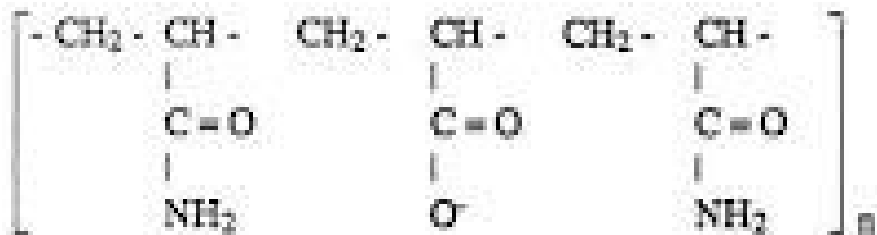
### Polyacrylamide PAA hoch- und niedrigviskos modifiziert

Allg. Eigenschaften:	geringe Strukturviskosität bei hoher plastischer Viskosität (fädenziehende Eigenschaften wie Hühnereiweiß) sehr gut toninhibierend Presswasserreduzierend Biologisch sehr stabil
----------------------	--

PAA Spülungen sind aus spülungstechnischer Sicht und Kosten-Nutzen Abwägungen eine sehr gute Alternative zu den klassischen CMC Polymeren. Bereits mit 1 kg eines hochviskos modifizierten Polymers werden Marsh Trichter Auslaufzeiten > 50 s erzielt.



Acrylamid

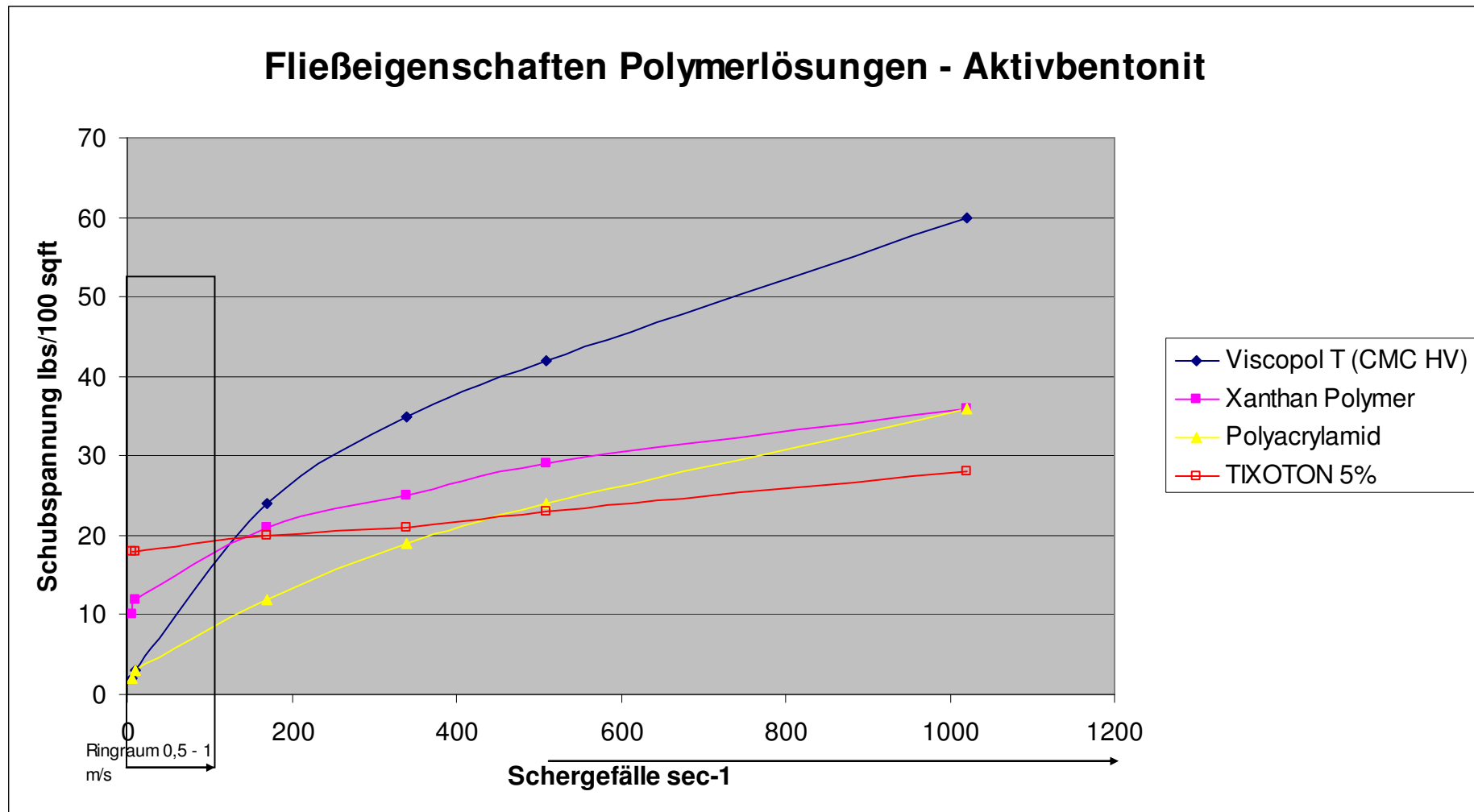


### Polyacrylamide – Rheologie

- Im polymerisierten Zustand bewirkt das vergleichsweise „schlanke“ Monomer Acrylamid Fließeigenschaften mit hoher plastischer Viskosität, vergleichbar mit der Rheologie von Hühnereiweiß.

- Bei hohem Schergefälle findet praktisch kein Viskositätsabfall statt. Dies hat spülungstechnisch Auswirkungen wie folgt:

- Keine Verflüssigung bei hoher Scherung, demgemäß hohe Tragfähigkeit bei hoher Strömungsgeschwindigkeit
- Kein Ansteifen bei kleiner Strömungsgeschwindigkeit, demgemäß kaum Tragfähigkeit bei kleiner Strömungsgeschwindigkeit, mit der Konsequenz, dass sich erbohrte Feststoffe aus der Bohrspülung über Sedimentation in Tanks oder Spülungsteichen effektiv abtrennen lassen.



# Bentonit und Polymere als Zusatz für Bohrspülungen

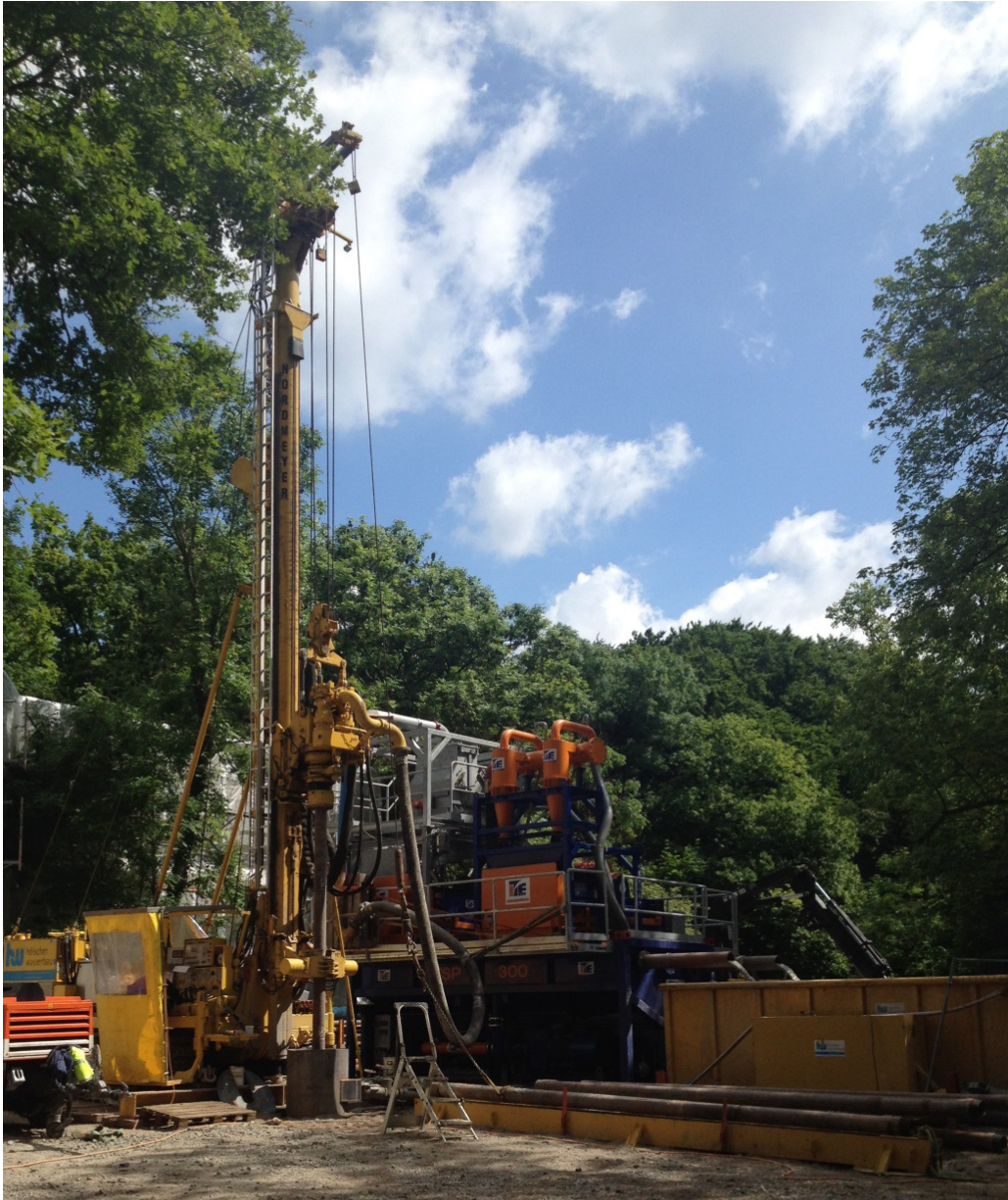
## 3. Polymere

### Übersicht Spülmittel - Wirkungsprofile

Aktivbentonit	Biopolymere	Halbsynt. Polymere	Vollsynt. Polymere
TIXOTON - Multiton B - Erbslöh B1 - Bohrbentonit	GWE XC Polymer - Xanthan	Viscopol T - Viscopol TLV - Viscopol R - Antisol - PAC - CMC	GWE PolyPile HD - GWE PolyPile LD - PAA
Erzeugt Fließgrenze und Thixotropie, für hohe Standsicherheiten in Lockersedimenten	Erzeugt Fließgrenze für hohe Standsicherheiten in Lockersedimenten	Keine Fließgrenze, keine Thixotropie, Standsicherheit in Lockersedimenten durch Einstellung hoher Viskosität oder besser durch Kombination mit Bentonit oder Tonmehl herstellbar	Keine Fließgrenze, keine Thixotropie, Standsicherheit in Lockersedimenten durch Einstellung hoher Viskosität oder besser durch Kombination mit Bentonit oder Tonmehl herstellbar
Bildet einen wirksamen Filterkuchen aus	Filterkuchen in Verbindung mit tonigen Feststoffen (Bentonit oder erbohrte Tone)	Filterkuchen in Verbindung mit tonigen Feststoffen (Bentonit oder erbohrte Tone)	Filterkuchen in Verbindung mit tonigen Feststoffen (Bentonit oder erbohrte Tone)
Keine Toninhibierwirkung	mäßige Toninhibierwirkung	gute Toninhibierwirkung	sehr gute Toninhibierwirkung
Beschwerungsmittel werden in Schwebelage gehalten	Beschwerungsmittel werden in Schwebelage gehalten	Beschwerungsmittel neigen zur Sedimentation	Beschwerungsmittel neigen zur Sedimentation
Solid Control Equipment in Form von Schüttelsieben, Desander/Desilter erforderlich	Solid Control Equipment in Form von Schüttelsieben, Desander/Desilter erforderlich	Abtrennung erbohrter Feststoffe mit Solid Control Equipment gut praktizierbar aber ebenso mit Sedimentationstanks, -teichen effektiv praktizierbar	Abtrennung erbohrter Feststoffe mit Solid Control Equipment praktizierbar, aber ebenso mit Sedimentationstanks, -teichen effektiv praktizierbar

# Bentonit und Polymere als Zusatz für Bohrspülungen

## 4. Beispiele aus der Praxis



Bentonit-Polymerspülung für Tiefbrunnen in Ludwigshafen  
Mai 2014

Spülungswerte:

Marsh Trichter Auslaufzeit	38-42s
Spüldichte:	< 1,04 kg/l
Wasserabgabezeit:	> 2000s
pH Wert:	> 9

# Bentonit und Polymere als Zusatz für Bohrspülungen

## 4. Beispiele aus der Praxis

Spülungstanksystem Tiefbrunnen Parkinsel P 37, TWL Ludwigshafen, E+M Bohr GmbH, Nov. 2012



### Installierte Ausrüstung zur Spülsauberung

- Leistungsfähiger Hopper für Neuansätze
- Schüttelsiebe
- Desilter mit Absiebung des Unterlaufs
- Langer Beruhigungstank vor dem Rücklauf in die Bohrung



## Bentonit und Polymere als Zusatz für Bohrspülungen

### 4. Beispiele aus der Praxis

Baustelle Bundeswehr, TrübPI Munster SB 17



#### **Klassische Spülteichanordnung mit Folie ausgekleidet für großkalbrige Lufthebebohrung**

Polymer- Wasserspülung mit geringem Bentonitzusatz im Erstansatz.

Abtrennung erbohrter Feststoffe erfolgt effizient über Sedimentation in drei durch Überlaufwehre verbundene Spülungsbecken.

Marsh Trichter Auslaufzeit: 38-45 s

Wasserabgabezeit: > 2000 s

Spüldichte: < 1,08 kg/l

# Bentonit und Polymere als Zusatz für Bohrspülungen

## 4. Beispiele aus der Praxis

### Betriebsbrunnen für Papierfabrik in Norddeutschland



Gesicherte Box für NaOH zur pH Wert Einstellung > 10

Bohrung: Papierfabrik Tornesch - NBB Bergedorf  
Lufthebbohrung

Drilling fluid data sheet

Datum-Date		3.6.13																	
Uhrzeit-Time		10:30																	
Tiefe-Depth		195m																	
Spezifisches Gewicht-Weight	kg/l	g	1.04																
Marsh viscosity	s	azitez	39/31																
Presswasser API Waterloss	ml	mv	4,2																
Wasserabgabezeit Water Retention Time	s	waz	72000																
pH Wert-Value	pH	pH	12,5																
Sandgehalt-content	vol%	sd	0.5																

Bemerkungen/Verbrauch Spülmittel/Wasserverbrauch für Spülung in m<sup>3</sup>  
Remarks/Consumption Mud Additives/Water consumption in m<sup>3</sup>

Presswasser Fbar/30' : 4,2 ml

Über Tage : ca. 30 m<sup>3</sup>

800 mm Bohrlöcher 0-195m : ca. 100 m<sup>3</sup>

130 m<sup>3</sup>

Lithologie :  
Neckelförderung an  
Sand / Schluff / Ton

Spülsungseigenschaften  
100%

Datum/Unterschrift

3.6.2013 [Signature]

Qualifiziertes Bohrpersoneel, das abgestimmt auf den Bohrverlauf kontinuierlich die Spülsungseigenschaften kontrolliert und aus Erfahrung großen Wert auf die Verwendung einer optimal eingestellten Spülsung legt. Das Setup für die Spülsung erscheint auf den ersten Blick zwar etwas unprofessionell, ist aber letztlich klug in der Anordnung ausgeführt, spiegelt die Sachzwänge an verfügbarem Platzangebot und Kosten für Ausrüstung im Brunnenbau wieder. Die erfolgreiche Umsetzung von Bohraufgaben dieser Größenordnung wird aber letztendlich immer von der Motivation und Qualifikation der Bohrcrew getragen.

Aussagen Hygiene Institut Gelsenkirchen – Bundesanstalt für Gewässerkunde:

### Zitate im Zusammenhang mit CMC

Die Feststoffbeschaffenheit von Viscopol T ist weitgehend mit der eines natürlichen Bodens vergleichbar. Aufgrund der als mäßig einzustufenden biologischen Abbaubarkeit ist davon auszugehen, dass aus der Verwendung des Polymers eine temporäre Belastung im unmittelbaren Umfeld resultieren kann. Mit einem verstärktem Bakterienwachstum ist nicht zu rechnen da der polymere Zusatz nur kurze Zeit im Boden verbleibt und beim Pumpversuch praktisch wieder vollständig ausgespült wird.

Unter dieser Voraussetzung sind u.E. (Hygiene Institut Gelsenkirchen) keine Bedenken gegen den sachgemäßen Einsatz von Viscopol T im Brunnenbau vorzubringen.

### Zitate im Zusammenhang mit Aktivbentonit

Das aus einer TIXOTON Suspension (Aktivbentonit) abtrennbare Wasser, das einen pH Wert um 10 aufweist ist wegen seiner absolut gesehenen geringen Menge nicht in der Lage nutzbare Grundwasservorkommen in ihrer Beschaffenheit nennenswert zu beeinflussen. Gegen die Verwendung von TIXOTON ist selbst in Einzugsgebieten von Wasserfassungen nichts einzuwenden, sofern die Baustelle als solche keine Gefährdung des Grundwassers in sich birgt. (Bundesanstalt für Gewässerkunde)

- Die Verwendung von feststoffarmen Polymerspülungen ist im deutschen Brunnenbau eine Erfolgsgeschichte und seit mehr als 30 Jahren gängige Praxis.
- Bei der Anwendung moderner Spülbohrtechniken im Brunnenbau kann aus den genannten Gründen auf die Anwendung von Spülmittelzusätzen nicht verzichtet werden.
- Um die Beeinflussung des Grundwassers auf ein Mindestmaß zu beschränken sollten Bohrspülungen mit niedriger Dichte, hoher Filterfestigkeit und guter toninhibierender Wirkung, gemäß den Empfehlungen des technischen Merkblattes W 116, verwendet werden.
- Der qualifizierte nach W 120 zertifizierte Brunnenbauer verfügt heute über das Know How die Spülung zu messen, die Spülungseigenschaften im Zusammenhang mit den brunnenbautechnischen Erfordernissen zu interpretieren und diese soweit erforderlich durch geeignete Maßnahmen anzupassen. Diese Fähigkeit dient in letzter Konsequenz auch immer dem Schutz der mittels Spülbohrungen erschlossenen Grundwasservorkommen.

**Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!**