

Produkte für den Brunnenbau



1.0 Begriffsbestimmung

Die Entwicklung der Spülungstechnik begann mit der Erfindung des Rotary-Bohrverfahrens, für das der Engländer Beart bereits 1845 ein Patent erhielt. Ursprünglich wurde Wasser als Spülung verwendet, das mit dem Fortschreiten der Bohrarbeiten in steigendem Maße mit Bohrklein durchsetzt wurde und eine als Bohrschlamm bezeichnete Trübe bildete. Die Erfahrungen zeigten, daß der Bohrschlamm, insbesondere nach dem Durchteufen quellender Tonpartikel, bessere Eigenschaften als eine reine Wasserspülung aufwies. Daraufhin wurden anstelle von blankem Wasser Ton-Wasser-Suspensionen mit Erfolg verwendet. 1921 wurden erstmalig mit Schwerspat versetzte Spülungen in druckstarken Lagerstätten eingesetzt. 1929 Chemikalien und wasserlösliche Polymere zur Optimierung der Spülungseigenschaften zugegeben.

Heute stehen teilweise komplexe Spülungssysteme für praktisch alle Aufgaben in der Bohrtechnik zur Verfügung.

Als Bohrspülung bezeichnet man alle während des Bohrvorgangs im Bohrloch kontrolliert zirkulierende Flüssigkeiten und Gase.

2.0 Aufgaben der Bohrspülung Spülungsprodukte

Die Aufgaben einer Bohrspülung lassen sich umfassend in 5 Punkten zusammenfassen:

- Austrag des erbohrten Gesteins von der Bohrlochsohle nach Zutage.
- Offenhalten und Stabilisieren der unverrohrten Bohrlochwand.
- Kompensation erhöhter Gebirgs- und Lagerstättendrücke (Wasser/Öl/Gas).
- Schonung der zur Bewirtschaftung erbohrten Horizonte.
- Kühlen und Schmieren der Bohrwerkzeuge.

Erfahrungsgemäß können diese Anforderungen mit ausschließlich blankem Wasser als Spülmedium nicht in ausreichendem Maße erfüllt werden. Dessen Verwendung beschränkt sich daher auf wenige Einzelfälle, beispielsweise Bohrungen in standfesten, gering permeablen Festgesteinen.

2.1 Austrag des erbohrten Gesteins

Der Austrag des Bohrkleins von der Bohrlochsohle nach Zutage wird maßgeblich durch 3 Faktoren beeinflusst:

- Fließgeschwindigkeit der im Bohrloch aufsteigenden Spülung.
- Dichtedifferenz zwischen Spülung und erbohrtem Gestein.
- Viskosität der Bohrspülung.

Insbesondere bei den Bohrverfahren mit direkter Spülstromrichtung (Druckspülbohrungen) ist die Bohrausrüstung (Meißel-, Gestängedurchmesser Spülpumpe) in der Weise auszulegen, daß im Ringraum der zu teufenden Bohrung Fließgeschwindigkeiten der aufsteigenden Spülung zwischen 0,5-1,0 m/s erreicht werden.

Als Faustformel gilt:

**Mindestpumprate 110 l/min pro Zoll
Meißeldurchmesser**

**Bohrfortschritt < 4,5 m/h: ca. 130 l/m pro Zoll
Meißeldurchmesser**

**Bohrfortschritt > 4,5 m/h: ca. 160 l/m pro Zoll
Meißeldurchmesser**

Zu vermeiden sind Pumpraten > 200 l/min pro Zoll Meißeldurchmesser. Diese verursachen durch turbulente Fließregime Bohrlochaufweitungen bis hin zu Erosionen am Bohrwerkzeug.

Je kleiner die Dichtedifferenz zwischen den erbohrten Feststoffen (ca. 2,6 kg/l) und der Bohrspülung desto geringer ist deren Sedimentationsgeschwindigkeit. Die Erhöhung der Dichte einer Bohrspülung mit dem Ziel deren Tragfähigkeit zu verbessern ist allerdings nicht sinnvoll, da schwere, feststoffreiche Spülungen den Bohrfortschritt reduzieren und die Gefahr der permanenten Verstopfung von zur Bewirtschaftung vorgesehener Bohrlochbereiche zunimmt.

Vielmehr wird die Verwendung trägerschonender feststoffarmer Spülungssysteme angestrebt deren Tragfähigkeit sich durch die Zugabe viskositätserhöhender Spülmittel reguliert (Tabelle 1).

2.2 Stabilisierung des Bohrlochs

Für das Abstützen des unverrohrten Bohrlochs ist grundsätzlich ein Spülungssäulendruck erforderlich, der den vom Grundwasser und Erdreich ausgehenden Druck übersteigt. Erfahrungsgemäß ist hierfür

Tabelle 1:

Übersicht Spülmittel zur Erhöhung der Tragfähigkeit/Viskosität

Chemische Charakterisierung	Empfohlener Einsatzbereich
Aktivbentonit	Süßwasserspülungen
Polyanionische CMC	Süß-Salzwasserspülungen
Technische CMC	Süß-Salzwasserspülungen
Polyacrylamid	Feststoffarme Süßwasserspülungen
Hydroxyethylcellulose HEC	Süß-Salzwasserspülungen Ca ²⁺ /Mg ²⁺ Gehalt > 1500ppm
Guar Gum	Bentonitfreie Süßwasserspülungen

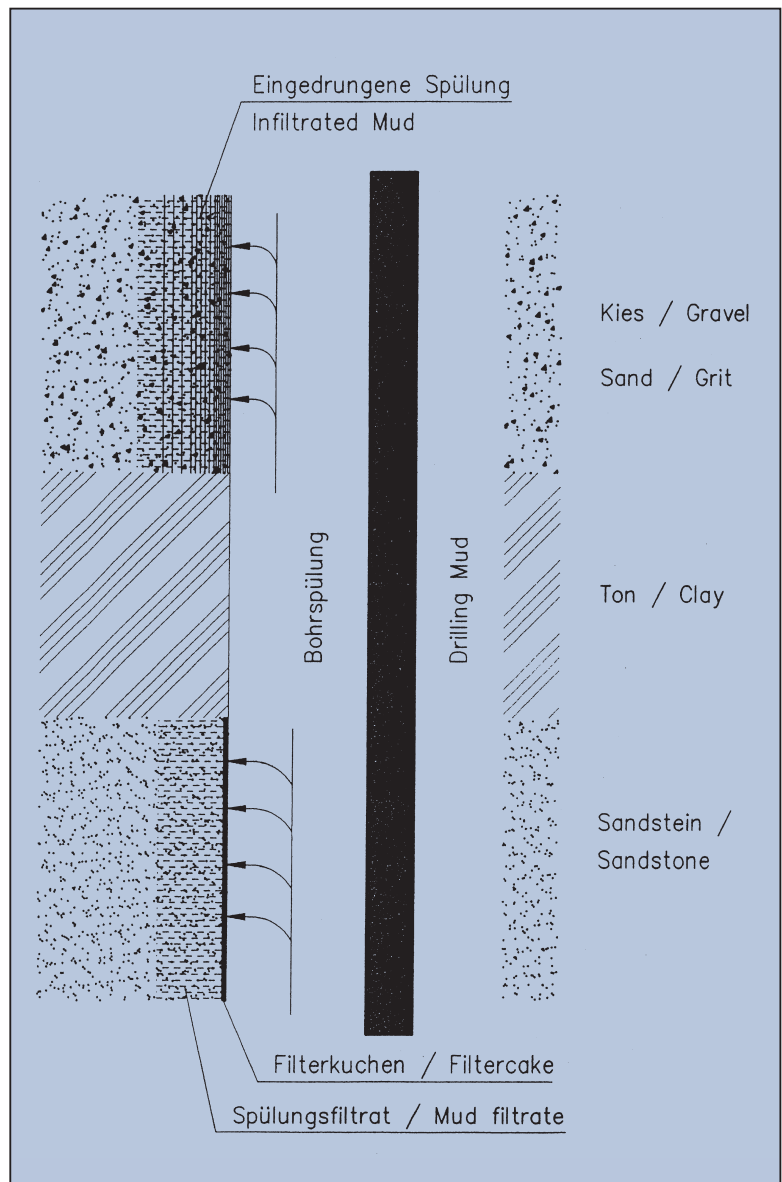
ein hydrostatischer Überdruck von 2 m Wassersäule ausreichend. Darüber hinaus muß sich im bohrlochnahen Bereich eine undurchlässige Zone bilden, damit der Spülungssäulendruck gegen den Erd- und Grundwasserdruck wirksam werden kann und Spülungsverluste vermieden werden.

Dem Entstehen des Filterkuchens an der Bohrlochwand, bzw. der Ausbildung einer undurchlässigen Zone im bohrlochnahen Bereich gehen Filtrationsvorgänge voraus, die sich nach der Porengröße des durchbohrten Gebirges fallweise unterscheiden:

- **Die freien Flächen (Porenquerschnitte) sind größer als die Partikel der in der Spülung befindlichen Feststoffe.**

Dieser Zustand tritt in der Regel beim Bohren in Lockersedimenten wie Kies- und Sandschichten auf. Die disperse Phase in der Bohrerspülung (Tonpartikel/Bentonitlamellen/langkettige Polymermoleküle) bildet in den Zwickeln/Kapillaren der hydraulisch durchlässigen Formation ein Gerüst, das dem Druck auf die Spülungssäule im Bohrloch das Gleichgewicht hält. Das Dispersionsmittel (Wasser) fließt langsam durch das Gerüst ab, wobei sich die disperse Phase anreichert und laufend undurchlässiger wird. Die angereicherte disperse Phase wird hier als Filterkuchen bezeichnet (Bild 1 / Sand Kies).

Abb. 1: Spülungsinfiltration im Grundwasserleiter



● **Die freien Flächen sind kleiner als die Feststoffpartikel in der Spülung.**

Das Dispersionsmittel (Wasser) wird durch die freien Flächen abgepreßt, die disperse Phase lagert sich vor diesen ab und verstopft mit der Zeit (Bild 1 / Sandstein-Filterkuchen).

Überschreitet die Porengröße des durchbohrten Gesteins ein bestimmtes Maß kommt es zu Spülungsverlusten. Für diesen Fall kommen Stopfmittel zur Anwendung, die aufgrund Ihrer Form und Größe die Fähigkeit besitzen sich in den Zwischenräumen des durchlässigen Gesteins festzusetzen und somit Spülungsverluste reduzieren bzw. völlig unterbinden (s. Tabelle 2).

Neben dem Abstützen der zum Nachfall neigenden Lockersedimente besteht eine weitere wichtige Auf-

gabe der Spülung darin Bohrlochinstabilitäten, hervorgerufen durch die Hydratation erbohrter tonmineralischer Gesteinskomponenten, zu verhindern (s. Abb. 2). Je nach Gehalt an quellenden Bestandteilen des durchbohrten Gesteins können folgende Erscheinungen auftreten:

Hoher Gehalt an stark quellenden Bestandteilen.

- Verengung des Bohrlochs, wobei das Gestein oft plastische Eigenschaften entwickelt.
- Kein Nachfall, oft kommen jedoch am Bohrstrang haftende „Tonmänner“, Festwerden des Bohrstrangs und folglich Überlastziehen vor.
- Schnelle Verdickung der Spülung durch Aufladung mit erbohrtem Gestein.

Tabelle 2:
Übersicht Spülmittel zur Stabilisierung des unverrohrten Bohrlochs

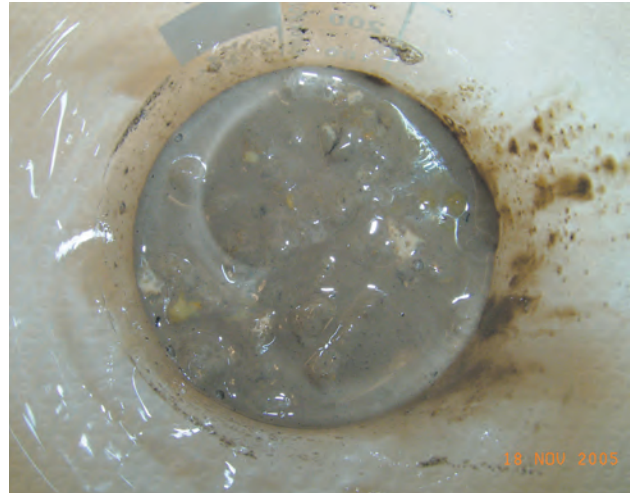
Charakterisierung	Empfohlener Einsatzbereich
Aktivbentonit	Stabilisierung von Sand-Kiesschichten in Süßwasserspülungen
Polyanionische CMC	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen
Technische CMC	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen
Polyacrylamid	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen
Hydroxyethylcellulose HEC	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen bei Ca^{2+}/Mg^{2+} Gehalten > 1500 ppm
Guar Gum	Toninhibierung in Süßwasserspülungen
Stopfmaterial in allen Spülungssystemen s. Datenblätter im Anhang	

Übersicht Eigenschaften Spülmittel							
	Bentonit	Rein-CMC HV	techn-CMC HV	techn-CMC LV	HEC Polymer	PAA	Polysaccharid
Viskositätserhöhende Wirkung	++	++	++	–	++	++	++
Stabilisierende Wirkung auf Lockersedimente	++	0	0	–	0	–	+
Toninhibierung	–	++	++	0	++	++	++
Salzstabilität NaCl/KCl	–	+	+	+	+	0	0
Salzstabilität Ca^{2+}/Mg^{2+}	–	–	–	–	++	–	–
Temperaturstabilität	+	+	+	+	+	++	–
Biologische Stabilität	++	0	0	0	0	+	–
Wertetabelle: ++ = sehr gut / + = gut / 0 = mäßig / – = schlecht							

Abb. 2 Toncuttings in verschiedenen Bohrspülungen



Cuttings trocken vor dem Einlegen



Cuttings nach 24 Std. in Wasser



Cuttings nach 24 Std. in Viscopolspülung



Cuttings nach 24 Std. in angesalzener Viscopolspülung

Niedriger Gehalt an quellenden Bestandteilen

- Vergrößerung des Bohrdurchmessers, verursacht durch die Lockerung des Gefüges von kompakten Gesteinen und deren anschließendem Zerfall.
- Nachfall, der mit der Entwicklung der Hydratation in der bohrlochnahen Zone zunimmt.
- Stetiges Austragen von Bruchstücken des instabilen Gesteins.

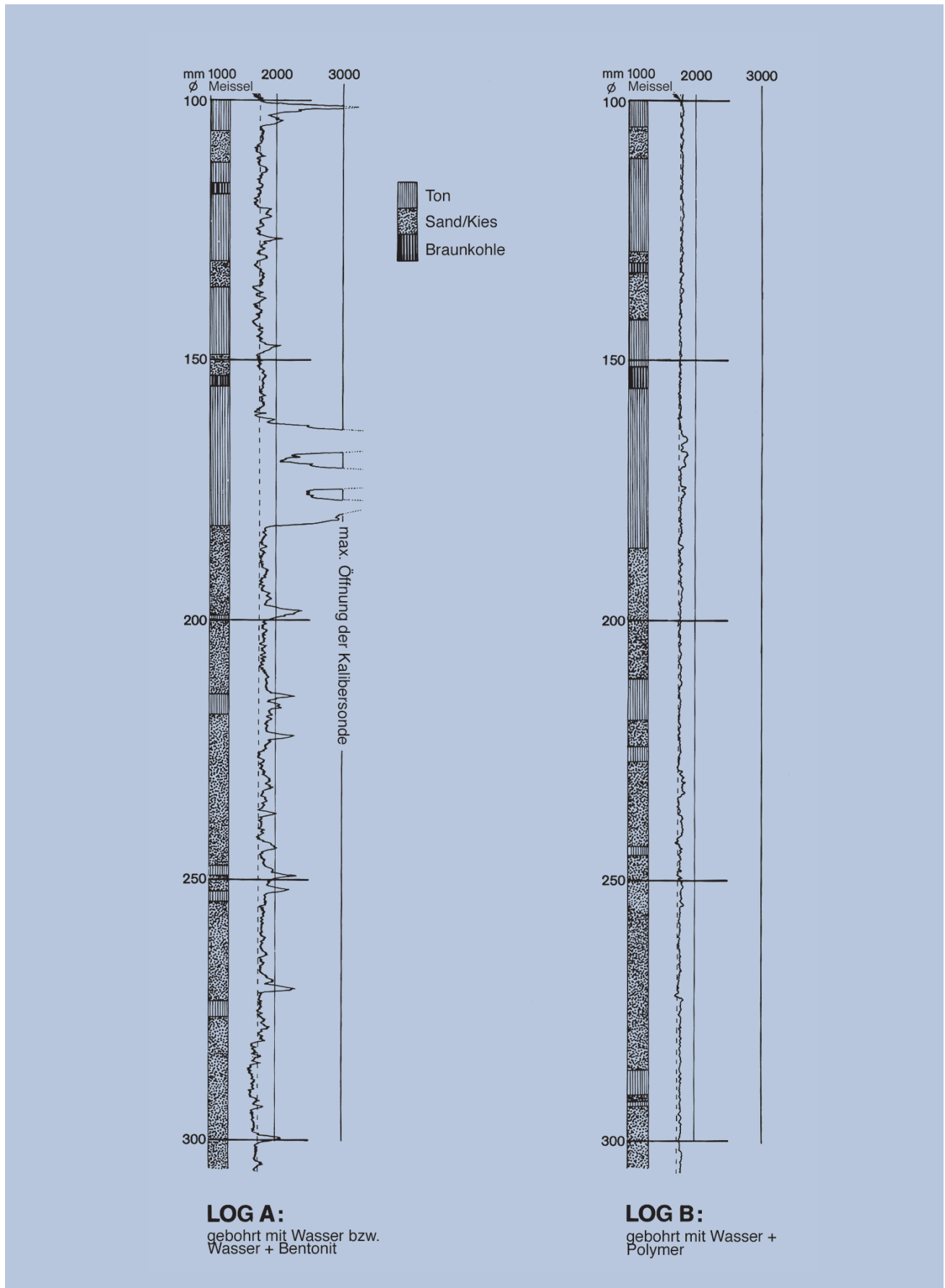
Toninhibierende Spülungspolymere ggf. in Kombination mit Steinsalz Natriumchlorid oder Kaliumchlorid verhindern bzw. verlangsamen den zeitlichen Ablauf der beschriebenen Instabilitäten, so daß die Erstellung kalibertreuer Bohrungen auch unter schwierigen geologischen Bedingungen gelingt (Abb. 3).

2.3 Kompensation erhöhter Gebirgs- und Lagerstättendrucke

Soweit bei Bohrarbeiten erhöhte Gebirgs- oder Lagerstättendrucke angetroffen werden ist durch das Anheben des spez. Gewichtes der verwendeten Bohrspülung ein Spülungssäulendruck herzustellen der das Eintreten von artesisch gespanntem Grundwasser in die Bohrung unterbindet. Der Grad der Beschwerung ist bis zur Schaffung eines Druckgefälles von mind. 2 m Wassersäule vorzunehmen.

Als Beschwerungsmittel kommen gemahlene Kreide (S.G. 2,6 kg/l) für Spülungsdichten < 1,25 kg/l, sowie Schwespat (S.G. 4,2 kg/l) bei höheren Dichteanforderungen zur Anwendung (s. Datenblätter im Anhang).

Abb. 3 Kaliberlogs von zwei Brunnenbohrungen



Beispiel zur Ermittlung der erforderlichen Spüldichte bei artesischem Überdruck:

Teufe des artesischen Zulaufs: 50 m

Wasserdruck in 50 m: 5,0 bar

Artesischer Überdruck GOK: 0,5 bar / 5 mWs

Notwendige Spüldichte zur Kompensation des Zulaufs und Schaffung eines Druckgefälles von 2 mWs (0,2 bar) auf Teufe.

Spüldichte (kg/l) =

$\frac{\text{Artesischer Überdruck} + \text{erford. Druckgefälle} + 1,0}{\text{Wasserdruck in Zuflußteufe}}$

Spüldichte (kg/l) = $\frac{0,5 + 0,2}{5,0} + 1,0$

Spüldichte (kg/l) = 1,14 kg/l

Spülbewerung:

$$t/m^3 = \frac{W3 \times (W2 - W1)}{W3 - W2}$$

W1 = Dichte der Ausgangsspülung kg/l

W2 = geforderte Spüldichte kg/l

W3 = Dichte des Beschwerungsmittels kg/l

Grundsätzlich ist zu beachten, daß beschwerte Spülungen eine erhöhte Tragfähigkeit aufweisen müssen, damit die Beschwerungsmittel nicht absedimentieren sondern gleichmäßig verteilt in Schwebe gehalten werden. Grundlage eines solchen Systems ist in der Regel Aktivbentonit.

2.4 Schonung der zur Bewirtschaftung vorgesehenen Grundwasserleiter-Spülungskontrolle

Der erforderliche hydrostatische Überdruck der Spülungssäule im Vergleich zum Druck des Grundwasserdrucks im Aquifer bewirkt wie beschrieben das Eindringen von Spülung in den bohrlochnahen Bereich und die Ausbildung einer undurchlässigen Zone. Um freien Zugang zu den zur Bewirtschaftung vorgesehenen wasserführenden Horizonten zu erlangen muß diese Abdichtung beim Entwickeln des Brunnens ausgespült werden. Aus diesem Grund ist, soweit es die Bohrlochsituation gestattet, die kontrollierte Verwendung einer feststoffarmen Polymerspülung vorzusehen. Der geringe Feststoffanteil in Kombination mit einem filtratreduzierenden Spülungspolymer verringert die Infiltration an der Bohrlochwand auf ein Minimum, so daß dünne leicht entfernbare Filterkuchen entstehen.

Für die Praxis ist hierbei von entscheidender Bedeutung, daß die Wirkungsweise der verwendeten Polymere, insbesondere beim Bohren in der Lagerstätte

bzw. in dem zur Bewirtschaftung vorgesehenen Grundwasserleiter, kontrolliert und damit sichergestellt wird. Dies geschieht u.a. durch die Messung der **Wasserabgabezeit** (s. Anlage Spülmessgeräte).

Richtwert für trägerschonende Spülung entspr. DVGW Merkblatt W 116:

Wasserabgabezeit: > 1000 s

Bei Bohrungen > 500 m empfiehlt sich darüber hinaus die direkte Kontrolle des Filtrationsverhaltens mittels API-Presswasserversuch.

Richtwerte: API Presswasser < 10 ml
Filterkuchenstärke < 1 mm

Für den Erhalt einer trägerschonenden Bohrspülung ist außerdem dafür Sorge zu tragen, daß beim Bohrvorgang keine übermäßige Aufladung mit feinen erbohrten Feststoffen stattfindet. Feststoffreiche Spülungen dringen aufgrund ihres erhöhten Eigengewichtes erfahrungsgemäß weit in den Grundwasserleiter ein und bilden dicke Filterkuchen, die nur schwer entfernbar sind.

Soweit es die Bohrlochsituation erlaubt sollte die Bohrspülung in den auszufilternden Bohrlochbereichen (DVGW-Empfehlung W 116) folgenden Grenzwert nicht überschreiten:

Richtwert Spüldichte : < 1,10 kg/l

Falls die Spüldichte diesen Wert überschreitet ist durch geeignete Maßnahmen, u.a. durch Neuansätze eine Korrektur vorzunehmen. In diesem Zusammenhang ist auch zu überprüfen ob ggf. die Aufnahmefähigkeit der Spülungstanks/-teiche erschöpft ist und Zwischenentleerungen vorzunehmen sind. Soweit die Einhaltung obigen Grenzwertes darüber hinaus weitere Probleme, beispielsweise durch



Spülungstanksystem für eine effektive Feststoffkontrolle

raschen Wiederanstieg beim Bohren bereitet, könnte hierfür auch eine zu große Tragfähigkeit der Spülung verantwortlich sein.

Diese kann relativ einfach durch Messung der Marsh-Trichter Auslaufzeit (s. Anlage Spülungsmeßgeräte) überprüft werden:

Empfohlene Richtwerte:

Auslaufzeit: AZ 38 - 45 s
Restauslaufzeit RAZ 28 - 35 s

Mit diesen Auslaufzeiten werden in der Regel ausreichende Tragfähigkeiten für den Zutagetransport erbohrter Feststoffe erzielt und ebenso deren Sedimentation in den Ruhezeiten der Spülungstanks ermöglicht. Höhere Viskositäten (Auslaufzeiten) bewirken ohne zusätzliche Ausrüstung zur Feststoffkontrolle (Schüttelsiebe/Desander/Desilter/Mud Cleaner) eine rasche Aufladung mit den beschriebenen Negativfolgen.

Grundsätzlich ist die Dokumentation der Spülungsparameter sowie Angaben über die Menge und Art der verwendeten Spülmittel/Wassermengen auf geeigneten Formblättern (s. Anlage Datenkontrollblatt) vorzunehmen, nicht zuletzt um die Qualität der eigenen erbrachten Leistung nachzuweisen.

3.0 Spülungsrezepturen

Die Wahl der Spülmittel wird in der Regel von folgenden Gegebenheiten bestimmt:

- Standfestigkeit des Gesteins
- Permeabilität des Gesteins
- Druckverhältnisse im Gebirge
- Bohrmethode

Die Verwendung von zusatzfreiem Wasser als Spülmedium beschränkt sich auf wenige Einzelfälle, beispielsweise Bohrungen in standfesten, gering permeablen Festgesteinen. In locker gelagerten Sanden/Kiesen wird hiermit keine ausreichende Bohrlochstabilisierung erreicht. Wasser oder reine Bentonitpülungen sind in tonigen, bindigen Sedimenten ebenfalls nur eingeschränkt einsetzbar. Aufgrund fehlender Inhibiereigenschaften und hoher Wasserabgabezeiten findet in der Regel eine rasche Feststoffanreicherung statt und anstehende Tone bewirken durch einsetzende Quellung Kaliberverengungen bzw. Auskolkungen durch Nachfall. Darüberhinaus werden die Poren der Grundwasserleiter von in der Spülung befindlichem Bohrgut, wie Sand, Ton und Schluff stärker und dauerhafter zugesetzt als durch korrekt dosierte Spülungszusätze.

Beim Bohren in vorwiegend tonigen Sedimenten empfehlen sich als alleinige Spülungszusätze PAA- oder CMC-Polymere. Auf die Verwendung von Bentonit kann hier verzichtet werden, da sich beim Bohrvorgang geringe Mengen des erbohrten Tones in der Spülung dispergieren und sich in der Kombination mit dem Polymer ein dünner, gut abdichtender Filterkuchen aufbaut.

3.1 Spülungsrezept beim Bohren in vorwiegend tonigen Sedimenten

1 m³ Wasser
+ 2 kg Rein-CMC
oder + 6 kg Techn.-CMC
oder + 2 kg PAA-hochviskos

In Wechsellagen aus Sand/Kies/Ton, insbesondere wenn oberflächennah Grobsande und Kiese anstehen, ist eine Bentonit-Polymerpülung einzusetzen. In der Regel wird Bentonit nur für den Erstarsatz der Spülung verwendet und spätere Volumenergänzungen mit feststofffreier Polymerlösung vorgenommen, da auch hier beim Antreffen bindiger Sedimente erbohrter Ton in der Spülung verbleibt.



Schaumspülung für Im-Loch-Hammer Bohrungen im Festgestein

3.2 Spülungsrezept - Erstansatz beim Bohren in Wechsellagen Sand/Kies/Ton

- 1 m³ Wasser
- + 20 kg Bentonit
(mind. 1 h vorquellen lassen)
- + 1,5 kg Rein-CMC H.V.
- oder + 4,0 kg Techn.-CMC H.V.

Beim Antreffen artesisch gespannter Grundwässer kommen Bentonit-Polymerespülungen, die mit Kreidemehl bis auf das erforderliche Gewicht beschwert werden (s. Anlage 3 Tabelle), zur Anwendung. Steigt die notwendige Spüldichte zur Kompensation des Grundwasserdruckes auf über 1,25 kg/l, ist für darüber hinausgehende Beschwerungen Schwerspat einzusetzen.

3.3 Spülungsrezept für beschwerte Spülungen

- 1 m³ Wasser
- + 20 kg Bentonit
(mind. 1 h vorquellen lassen)
- + 1,5 kg Rein-CMC H.V.
- oder + 4,0 kg Techn.-CMC H.V.
- + x kg Kreidemehl
- oder + x kg Schwerspat ab S.G. 1,25 kg/l

Für diesen speziellen Fall wird diese Mischung auch als Volumenergänzung verwendet.

Volumenergänzungen

Volumenergänzungen zur Regulierung der Viskosität bzw. Reduzierung des Feststoffgehaltes (Dichte) der Umlaufspülung sind mit reinen Polymerespülungen ggf. mit geringen Bentonitanteilen (wenn nur Sande/Kiese erbohrt werden) vorzunehmen (Ausnahme: beschwerte Spülung).

3.4 Spülungsrezept Volumenergänzung

- 1 m³ Wasser
- + 0-20 kg Bentonit
(mind. 1 h vorquellen lassen)
- + 1-2 kg Rein-CMC H.V.)
- oder + 3-6 kg Techn.-CMC H.V.)
je nach Viskosität



Injektor für das Anmischen von Polymerespülungen

Bezüglich der Reihenfolge der anzumischenden Produkte ist unbedingt zu beachten, daß immer zuerst Bentonit in polymerfreies Wasser dispergiert wird. Eine Mindestquellzeit von 1 h ist einzuhalten, erst danach sind die polymeren Zusätze einzulösen.

Zum Anmischen der Produkte haben sich für eine klumpenfreie Herstellung der Spülung Injektoren bewährt, die über die an der Bohranlage vorhandenen Spülungspumpe betrieben werden (s. o.). Kleinere Polymermengen können alternativ an einer turbulenten Stelle im Spülungskreislauf übertage eingestreut werden.



Prakla-Universalbohrgeräte mit Spülungstanksystem

Antisol®

ANTISOL FL 30000 ist eine hochviskos eingestellte Polyanionische Cellulose (PAC) zur Regulierung der Fließ- und Filtrationseigenschaften wasserbasischer, feststoffarmer Bohrspülungen

Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung:	Polyanionische Cellulose Wirksubstanzgehalt
Trockensubstanz:	ca. 99 %
Äußeres:	weiß/gelbes Granulat
Korngröße:	0-1,0 mm
Ionogenität:	Anionisch
Substitutionsgrad:	ca. 0,9
Schüttgewicht:	ca. 600 kg/m ³
pH-Wert:	7,5-9,0
Viskosität:	ca. 100 mPas (1%, 20°C, dest. Wasser, Fann Viskosimeter 1022 sec ⁻¹)
Feuchtigkeit:	< 10 %
Verpackung:	25 kg / 8 kg Mehrfachpapiersack mit PE-Innenlage

Produkteigenschaften:

- ANTISOL FL 30000 wirkt primär viskositätserhöhend und verbessert die Austragsfähigkeit wasserbasischer Bohrspülungen.
- Beim Bohren in Tonsedimenten verzögert ANTISOL FL 30000 das Dispergieren und Aufquellen der Cuttings wodurch sich deren Abtrennung verbessert und die Feststoffaufladung reduziert.
- Formationstone werden stabilisiert wodurch maßhaltige Bohrungen entstehen.

- ANTISOL FL 30000 wirkt presswasserreduzierend, in Verbindung mit erbohrten oder zugesetzten Tonmineralien entstehen dünne trägerschonende Filterkuchen.
- ANTISOL FL 30000 ist temperaturstabil bis 140 °C.

Einsatzkonzentrationen:

Süßwasserspülung:	2- 5 kg/m ³
Seewasserspülung:	4-10 kg/m ³
Salzwasserspülung:	4-10 kg/m ³
Gips/KCl-Spülung:	4-10 kg/m ³

Anwendungshinweise

- In Kombination mit Aktivbentoniten ist zu beachten, daß ANTISOL FL 30000 aufgrund der toninhibierenden Wirkung erst nach Zugabe und Quellung des Tones eingelöst wird.
- Bei Anwesenheit von Ca²⁺/Mg²⁺-Ionen > 1500 ppm verliert ANTISOL FL 30000 seine Wirksamkeit, die Umstellung auf ein Ca/Mg-stabiles HEC-Polymer wird empfohlen.
- Zur Stabilisierung der ANTISOL-Spülung gegen vorzeitigen mikrobiologischen Abbau wird die Anhebung des pH-Wertes > 9, bzw. die Verwendung eines Biozids (Dodge 3485) empfohlen.

Kennwerte Standardspülung - Neuansatz

2 % Multiton B/0, 2 % ANTISOL FL 30000/Süßwasser

Marsh Auslaufzeit	Spez. Gewicht	Scheinb. Viskosität	Plast. Viskosität	Fließgrenze	Wasserabgabezeit	API Presswasser	Filterkuchen
s	Kg/l	mPas	mPas	lbs/100sqft	s	ml	mm
65/55	1,015	24,5	15,0	19,0	∞	18,0	1,0

SBF-Bentonil®

Abmischung aus Aktivbentonit und Polymer zur Herstellung von Bohrspülungen für mit Druckspülbohrtechnik zu teufende Erdwärmesondenbohrungen in locker gelagerten Sand- und Kiesschichten.

Produktmerkmale:

- Fertigmischprodukt aus Aktivbentonit/Polymer mit hoher Ergiebigkeit
- Kurze Anmischzeiten und hohe Quellfähigkeit für rasche Verfügbarkeit der Spülung ohne Vorquellzeiten
- Sol/Gel Mechanismus zur Stabilisierung erbohrter Lockersedimente mit hoher Tragfähigkeit für den Bohrkleinaustrag
- Beim Bohren in tonigen Sedimenten – zurückwässern und nachsetzen von toninhibierenden Polymeren wie Viscopol T, Viscopol R oder Viscopol L
- Ergiebigkeit für 15 cP: > 36 m³/t

Einsatzkonzentrationen:

- Grobkiese/Gerölle 35-40 kg/m³
- Kies/Schwemmsande 30-35 kg/m³
- Sande 25-30 kg/m³

Suspensionskennwerte:

Bentonil®pb (kg/m³)	25	30	35
Marsh Viskosität s	35	40	50
Scheinbare Viskosität cP	13	20	25
Plastische Viskosität cP	7,5	9	9
Fließgrenze lbs/100 sqft	12	22	32
Gelstärke 10"/10'	5/7	10/13	15/18

(nach Standard API-Verfahren)



SODA

Soda dient in der Spülungstechnik primär zum Ausfällen von Kalzium- und Magnesiumionen hin zu unlöslichen Karbonaten. Es erhöht den pH-Wert (> 10), so daß eine biozide Wirkung erzielt wird. Auch wird es zum Schutz der bedingt Ca²⁺-beständigen CMC/PAA-Polymere beim Aufbohren zementierter Bohrlochbereiche verwendet.

Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung:	Na ₂ CO ₃
Äußeres:	weiß, pulverförmig
Dichte:	2,53 kg/l
Löslichkeit in Wasser:	212 g/l
Schüttgewicht:	600 kg/m ³
pH-Wert 100 g/l:	11,6
Verpackung:	25 kg Papiersack

Einsatzmengen/Richtwerte:

Bei hoher Härte im Anmachwasser:	1-2 kg/m ³
Zur Erhöhung des pH-Wertes > 10:	2-3 kg/m ³
Zum Polymerschutz beim Aufbohren zementierter Bohrlochbereiche:	5-10 kg/m ³

Viscopol TLV

Viscopol TLV ist ein niedrigviskos eingestelltes CMC- Polymer für Süß- und Salzwasserspülungen mit hohen Feststoffgehalten zur Regulierung der Filtrations- und Fließeigenschaften

Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung: Natrium-Carboxymethyl-Cellulose, technisch

Wirksubstanzgehalt: min. 50 %

Feuchtigkeit: max. 10 %

Äußeres: weiß/gelbes Granulat

Partikelgröße < 1 mm: min. 90 %

Ionogenität: anionisch

Substitutionsgrad: min. 0,85

Schüttgewicht: ca. 600 kg/m³

pH-Wert: neutral

Viskosität: ca. 22 mPas
 (2 % ige Lösung in gesättigtem Salzwasser, Fann Viskosimeter 1022 sec⁻¹)

Löslichkeit: in Süß-, Meer- und Salzwasser gut löslich

Verpackung: 25 kg Papiersack mit PE-Inliner

Produkteigenschaften:

- Viscopol TLV wirkt primär presswasser-reduzierend. In Verbindung mit erbohrten, zugesetzten Tonmineralien entstehen dünne, trägerschonende Filterkuchen, die gut rückspülbar sind.
- Bentonitsuspensionen und beschwerte oder aufgeladene Bohrspülungen werden im

„Low-Shear Bereich“ verflüssigt.

- Beim Bohren in Tonsedimenten verzögert Viscopol TLV das Dispergieren und Aufquellen der Cuttings wodurch sich deren Abtrennung verbessert und die Feststoffaufladung reduziert.
- In Salzwasserspülungen schützt Viscopol TLV die in der Spülung befindlichen Feststoffe vor dem Ausflocken (Schutzkolloidwirkung).
- Viscopol TLV ist temperaturstabil bis 150°C.

Einsatzkonzentrationen:

Süßwasserspülungen: 5-10 kg/m³
 Seewasser/KCl-Spülungen: 15-25 kg/m³
 Salzwasserspülungen: 15-30 kg/m³
 Gipsspülungen: 10-15 kg/m³

Anwendungshinweise

- Bei Anwesenheit von Ca²⁺ /Mg²⁺- Ionen > 1500 ppm verliert Viscopol TLV an Wirksamkeit, die Umstellung auf ein beständiges Polymer wie Viscopol HEC wird empfohlen.
- Zur Stabilisierung der Viscopol Spülung gegen vorzeitigen mikrobiologischen Abbau wird in Süßwasserspülungen die Anhebung des pH- Wertes > 9 mittels Alkalien (Soda/ Ätznatron), bzw. die Verwendung eines Biozids empfohlen.

Kennwerte Standardspülung - Neuansatz

2 % Multiton B/ 2 % Viscopol TLV/Süßwasser

Marsh Auslaufzeit	Spez. Gewicht	Scheinb. Viskosität	Plast. Viskosität	Fließgrenze	Wasserabgabezeit	API Presswasser	Filterkuchen
s	Kg/l	mPas	mPas	lbs/100sqft	s	ml	mm
67/59	1,02	35,75	128,0	15,5	∞	8,0	0,9

SBF-Viscopol® L

Spülpolymer in flüssiger Form für das Herstellen feststoffarmer Bohrspülungen in der Rotary - Bohrtechnik.

Produktmerkmale:

- Als Flüssigprodukt lässt sich Viscopol L ohne Klumpenbildung einfach anmischen.
- SBF- Viscopol L wirkt viskositätserhöhend und bildet mit feinen Feststoffen einen dünnen gut abdichtenden Filterkuchen
- Wasserempfindliche tonige Cuttings werden inhibiert, bleiben formstabil und sedimentieren effektiv in den Ruhezeiten der Spülungsteiche/- tanks
- Die Qualität der Bohrproben und deren Ansprache wird deutlich verbessert.
- Das Aufquellen und Nachfallen durchbohrter wasserempfindlicher Tonsedimente wird unterdrückt.
- Die Aufladung der zirkulierenden Spülung mit erbohrten Feststoffen reduziert sich auf ein Minimum
- Bei Kernbohrarbeiten zeigt Viscopol L eine hohe Schmierwirkung. Drehmomente werden reduziert, der Kerngewinn optimiert.

Einsatzkonzentrationen:

- Im Ton:
Als alleiniger Zusatz 2-4 l/m³
- Im Kies/Sand:
In Kombination mit Bentonit 1-3 l/m³
(unverbindliche Richtwerte)

Spülungsrichtwerte:

- **Marsh Trichter Auslaufzeit:** 38-45 s
- **Spezifisches Gewicht** max. 1,10 kg/l
- **Wasserabgabezeit** > 1000 s

Kennwerte* Spülungsansätze

SBF-Viscopol L	2 l/m ³	4 l/m ³	6 l/m ³	8 l/m ³
Marsh Trichter Auslaufzeit	40 s	51 s	64 s	94 s
Wasserabgabezeit	160 s	1900 s	> 2000 s	> 2000 s

* angemischt mit Leitungswasser 525µS/cm

SBF-Multiton B®

SBF-Multiton B ist ein aktivierter Bentonit mit hoher Ergiebigkeit. Das Produkt ist rein mineralisch ohne organische Zusätze. SBF-Multiton B dient der Herstellung von Bohrspülungen im Brunnenbau und in der Tiefbohrtechnik. In Kombination mit polymeren Zusätzen wie SBF-Viscopol zeigt es sehr gute bohrlochstabilisierende Eigenschaften. Beim Bohrvorgang vorübergehend abgedichtete Grundwasserleiter werden beim Entwickeln rasch freigespült.

Allgemeine Eigenschaften

Äußeres: Pulver
 Schüttdichte: 750 kg/m³
 Wassergehalt: 7 - 9 %
 pH-Wert (5% ige Susp.): 9,0
 Verpackung: lose im Silo LKW
 in Säcken/Big Bags
 Lagerung: trocken und frostfrei

Einsatzkonzentrationen:

Standardbohrspülung in Wechsellagen:
 1 m³ Süßwasser
 + 20 kg SBF Multiton B
 + 1,5 kg SBF-Viscopol R

Spülungseigenschaften:

Marsh Viskosität: 45 s
 Wasserabgabezeit > 1000 s
 Spülungsdichte < 1,10 kg/l

Produkteigenschaften:

- In Wasser dispergiert entstehen stabile, thixotrope Suspensionen
- Gute Filtrationseigenschaften von SBF-Multiton Spülungen reduzieren Flüssigkeitsverluste in durchlässigen Sedimenten auf ein Minimum und vermeiden Instabilitäten in unkonsolidierten Lockersedimenten
- Besonders in Verbindung mit polymeren Zusätzen wie SBF-Viscopol entstehen dünne, trägerschonende, gut dichtende Filterkuchen, die beim Klarpumpen leicht rückspülbar sind.
- SBF-Multiton B wirkt viskositäts erhöhend und fördert den Bohrkleinaustrag.
- SBF-Multiton B bildet die Grundlage für zu beschwerende Spülungen

Anwendungshinweise

- In Kombination mit SBF-Viscopol sollte zunächst SBF-Multiton B dem Anmachwasser zugesetzt werden.
- In Salzwasser ist die Ergiebigkeit stark eingeschränkt.
- Reine SBF-Multiton B Spülungen zeigen ausgeprägte Scher-Verdünnungseigenschaften. Erbohrte Feststoffe mit kleinem Korndurchmesser werden in der Suspension dauerhaft getragen und können nur mit zusätzlicher Feststoffkontrollausrüstung wie Schüttelsiebe/Desander/Desilter separiert werden.

Spülungstechnische Kennwerte reiner SBF-Multiton B Spülungen

Konzentration	kg/m ³	30	40	50	60
Marsh-Auslaufzeit	cP	32/23	36/26	40/36	55/∞
Scheinb. Viskosität	cP	6,25	10,0	15,0	21,0
Plast. Viskosität	cP	4,0	5,0	5,0	4,0
Fließgrenze	cP	4,5	10,0	20,0	34,0
API Wasserverlust	ml	22,0	15,5	13,5	11,5
Filterkuchen	mm	0,9	1,1	1,3	1,3

Tetranatriumpyrophosphat

Tetranatriumpyrophosphat wirkt in Bohrspülungen als Verflüssiger und Dispergiermittel. Vergelungsstrukturen infiltrierter Bohrspülungen im Porenraum durchbohrter Grundwasserleiter können hiermit zerstört werden, wodurch sich diese beim Klarpumpprozeß besser zurückschülen lassen.

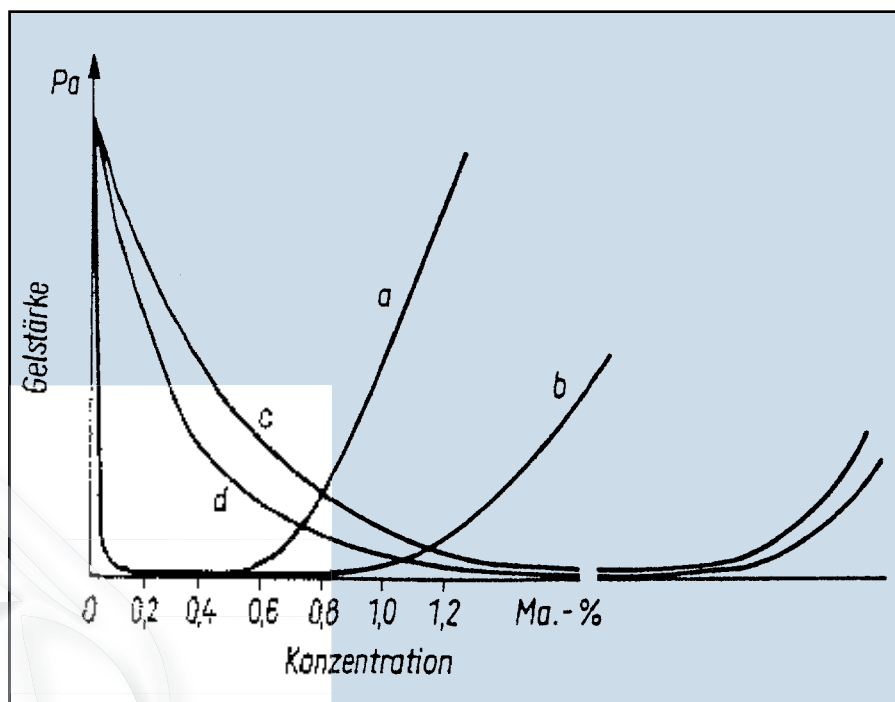
Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung:	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ Tetranatriumdiphosphat
pH-Wert	
1%ige Lösung:	10,4
Äußeres:	weißes Pulver
Schüttgewicht:	ca. 850 kg/m ³
Löslichkeit bei 20° C:	50 g/l
Lagerung:	vor Feuchtigkeit schützen

Produkteigenschaften/ Anwendungshinweise:

- In feststoffreichen, viskosen Bohrspülungen wirkt Tetranatriumdiphosphat massiv viskositätsenkend.

- Das Maximum der verflüssigenden Wirkung liegt zwischen 1,0 - 10 kg $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ pro m³ zu verflüssigende Bohrspülung.
- Zum Mobilisieren von im Grundwasserleiter festsitzender vergelter Spülung wird üblicherweise eine 1%-ige Phosphatlösung in den ausgefilterten Bohrlochbereich eingebracht und durch Saugen und Kolben eine Vermischung mit der den Grundwasserleiter blockierenden Spülung/Filterkuchen hergestellt. Nach Auswertung des anschließenden Pumpversuchs ist die Maßnahme ggf. zu wiederholen.
- Ab einer Salzkonzentration von 5g NaCl/l verliert sich die Wirksamkeit von Tetranatriumdiphosphat.



Verflüssigung von Tonspülungen durch Zugaben von

- a** Natriumhexameta-
phosphat,
„Polyphosphat“,
- b** Tetranatriumdi-
phosphat,
„Pyrophosphat“,
- c** Na+-Tannat
(Tannin + NaOH),
- d** Ca+++-Lignosulfat
(LS)

Feinkreide

Feinkreide zum Beschweren von Bohrspülungen zeichnet sich durch hohe Reinheit und Mahlfineinheit aus. Aufgrund der Säurelöslichkeit wird Kreide bevorzugt in trägerschonenden Spülungen verwendet.

Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung:	CaCO ₃	
Dichte:	2,6 kg/l	
Schüttgewicht:	ca. 800 kg/l	
Kornverteilung:	> 0,04 mm	0,1 %
	< 0,015 mm	98 %
	< 0,01 mm	96 %
	< 0,005 mm	80 %

Richtrezeptur beschwerte Spülung Neuansatz:

1 m³ Wasser + 20 kg Aktivbentonit + X kg Polymer + X kg Feinkreide*

* Zur Erhöhung der Dichte um 0.01 g/l müssen pro m³ Spülung ca. 17 kg Feinkreide zugesetzt werden.
Siehe auch Tabelle Spülungsbeschwerung Anhang.

Zusammensetzung:

Kalziumkarbonat	CaCO ₃	ca. 94,2 %
Magnesiumkarbonat	MgCO ₃	ca. 0,2 %
Tonbestandteile		ca. 4,5 %
Wassergehalt		ca. 0,3 %
pH-Wert		8- 9

Produkteigenschaften/ Anwendungshinweise

- Die Verwendung von Kreide als Beschwerungsmittel kann in Süßwasserspülungen bis zu Suspensionsgewichten von 1,25 kg/l problemlos realisiert werden. Höhere Dichten verursachen einen erhöhten Viskositätsanstieg.
- Als Grundlage einer Kreidespülung ist neben einem geeigneten polymeren Zusatz eine 2%-ige Aktivbentonitspülung zu verwenden.



Genapol LRO

Genapol ist ein Schaum- und Netzmittel für das Bohren mit Luft als Spülmedium

Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung: Na-Alkylethersulfat
 Wirksubstanzgehalt: ca. 28 %
 Wassergehalt: ca. 71 %
 Salzgehalt: ca. 1 %
 Äußeres: gelbe, klare Flüssigkeit
 Dichte: 1,05 kg/l
 Ionogenität: anionisch
 Viskosität: 120 mPas
 Pour point: 0° C
 pH-Wert (1%): neutral
 Lagerung: frostfrei lagern
 (2%, 20°C, dest. Wasser)

- Ins Bohrloch zufließendes Wasser wird durch verschäumen ausgetragen.
- Staubentwicklung wird vermieden.

Anwendung

Bei hohen Auftriebsgeschwindigkeiten (900-1500 m/min) und Verwendung von Im-Loch-Bohrhämern

1 m³ Wasser
 + 5 - 15 ltr. Genapol LRO

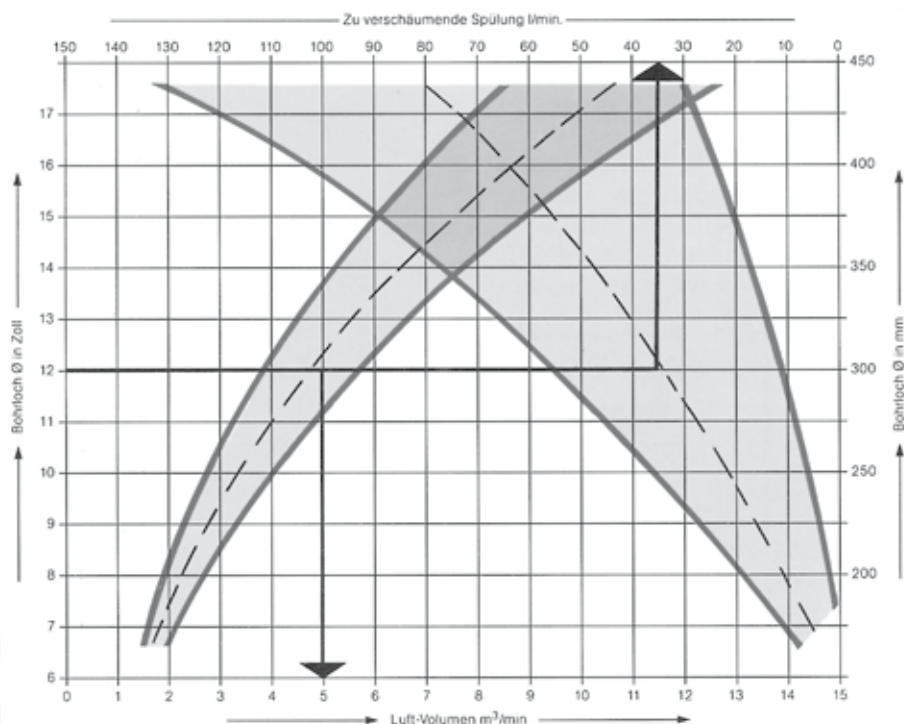
Bei geringen Auftriebsgeschwindigkeiten (60-90 m/min) und Verwendung konventioneller Bohrwerkzeuge

1 m³ Wasser
 + Zugabe eines hochviskosen Polymers
 + 5 - 15 ltr. Genapol LRO

Produkteigenschaften:

- Genapol LRO erhöht die Tragfähigkeit einer Luftspülung. Der Austrag erbohrter Feststoffe wird verbessert.

Spülungs- und Luftvolumen für stabilen Schaum



SBF-Viscopol® R

Hochviskos eingestellte Polyanionische Cellulose zur Regulierung der Fließ- und Filtrationseigenschaften feststoffarmer Bohrspülungen

Produktmerkmale:

- Erhöht die Viskosität/Tragfähigkeit ohne Bildung thixotroper Vergelungsstrukturen.
- Verbessert die Filtrationseigenschaften, abgedichtete Bohrlochbereiche werden beim Entwickeln leichter freigespült.
- Wasserempfindliche tonige Cuttings werden inhibiert, bleiben formstabil und sedimentieren effektiv in den Ruhezononen der Spülungsteiche/- tanks.
- Die Qualität der Bohrproben und deren Ansprache wird deutlich verbessert.
- Das Aufquellen und Nachfallen durchbohrter wasserempfindlicher Tonsedimente wird unterdrückt wodurch masshaltige Bohrungen entstehen.
- Die Aufladung der zirkulierenden Spülung mit erbohrten Feststoffen reduziert sich auf ein Minimum.
- Die Schutzkolloidwirkung von SBF-Viscopol R verhindert das Ausflocken von dispergiertem Bentonit/Ton beim Bohren in Bereichen mit erhöhter Mineralisation.
- Viscopolspülungen wirken turbulenzsenkend und fördern die Maßhaltigkeit der Bohrung in Lockersedimenten.

Einsatzkonzentrationen:

- Im Ton:
Als alleiniger Zusatz 2-4 kg/m³
- Im Kies/Sand:
In Kombination mit Bentonit 1-3 kg/m³
(unverbindliche Richtwerte)

Spülungsrichtwerte:

Marsh Trichter Auslaufzeit:

Direktes Spülbohren
38-55 s
Indirektes Spülbohren
36-45 s

Spezifisches Gewicht max. 1,10 kg/l

Wasserabgabezeit > 2000 s

Kennwerte Standardspülung - Neuansatz

2 % Multiton B/0, 2 % SBF-Viscopol R/Süßwasser

Marsh Auslaufzeit	Spez. Gewicht	Scheinb. Viskosität	Plast. Viskosität	Fließgrenze	Wasserabgabezeit	API Presswasser	Filterkuchen
s	Kg/l	mPas	mPas	lbs/100sqft	s	ml	mm
65	1,015	24,5	15,0	19,0	>2000	18,0	1,0

SBF-Viscopol®T

SBF-Viscopol T ist ein hochviskos eingestelltes CMC Polymer zur Regulierung der Fließ- und Filtrationseigenschaften wasserebasischer feststoffarmer Bohrspülungen

Allgemeine Eigenschaften

Zusammensetzung:	Natrium-Carboxymethyl cellulose, technisch
Wirksubstanzgehalt:	min. 50 %
Feuchtigkeit:	max. 10 %
Äußeres:	weiß/gelbes Granulat
Partikelgröße:	< 1,0 mm
Ionogenität:	anionisch
Substitutionsgrad:	min. 0,75
Schüttgewicht:	ca. 550 kg/m ³
pH-Wert:	neutral
Viskosität:	45-60 mPas (2%, 20°C, dest. Wasser, Fann Viskosimeter 1022 sec ⁻¹)
Löslichkeit:	in Wasser jeder Temperatur
Verpackung:	25 kg Papier-/Kunststoffsack

Produkteigenschaften:

- SBF-Viscopol T wirkt viskositätserhöhend und verbessert die Austragsfähigkeit wasserbasischer Spülungen.
- Beim Bohren in Tonsedimenten verzögert Viscopol T das Dispergieren und Aufquellen erbohrter Cuttings wodurch sich die Festoffaufnahme in der Spülung reduziert (Toninhibierung).
- Formationstone werden stabilisiert wodurch maßhaltige Bohrungen entstehen.

- SBF-Viscopol T wirkt presswasserreduzierend, in Verbindung mit erbohrten oder zugesetzten Tonmineralien entstehen dünne, trägerschonende Filterkuchen.
- SBF-Viscopol T ist temperaturstabil bis 140°C. Das Produkt ist in Natriumchloridlösungen bis zur Sättigung einsetzbar.

Einsatzkonzentrationen:

Süßwasserspülung:	5-10 kg/m ³
Seewasserspülung:	15-25 kg/m ³
Salzwasserspülungen:	15-30 kg/m ³
Gipsspülungen:	10-15 kg/m ³
KCl-Spülungen:	15-25 kg/m ³

Anwendungshinweise

- In Kombination mit Aktivbentoniten ist darauf zu achten, daß SBF-Viscopol T aufgrund der toninhibierenden Wirkung erst nach Zugabe und Quellung des Tones eingelöst wird.
- Bei Anwesenheit von Ca²⁺/Mg²⁺-Ionen > 1500 ppm verliert SBF-Viscopol T an Wirksamkeit, die Umstellung auf ein elektrolytbeständiges HEC-Polymer wird empfohlen.
- Zur Stabilisierung der Viscopol T-Spülung gegen vorzeitigen mikrobiologischen Abbau wird die Anhebung des pH-Wertes > 9, bzw. die Verwendung eines Biozids empfohlen.

Kennwerte Standardspülung - Neuansatz

2 % Multiton B/0, 4 % SBF-Viscopol T/Süßwasser

Marsh Auslaufzeit	Spez. Gewicht	Scheinb. Viskosität	Plast. Viskosität	Fließgrenze	Wasserabgabezeit	API Presswasser	Filterkuchen
s	Kg/l	mPas	mPas	lbs/100sqft	s	ml	mm
66/65	1,015	20,5	14,0	13,0	∞	12,5	1,0

Die Bohrspülung im Brunnenbau

Mit der Einführung mobiler, hydraulischer angetriebener Spülbohrgeräte zum Ende der 50iger Jahre erlangte das Thema Spülungstechnik im Brunnenbau zunehmend an Bedeutung. Durch den kontrollierten Einsatz von Spülmitteln in wasserbasierten Bohrspülungen gelang es, den ständig steigenden Anforderungen der Auftraggeber nach tieferen, größeren und leistungsfähigeren Brunnen nachzukommen.

Das schnelle Abteufen unverrohrter Spülbohrungen zur Erstellung von Brunnen, Gütemessstellen, Geothermieanlagen, seismischer Sprengbohrungen,

Kernbohrungen bei der Baugrunderkundung usw. ist durch den Einsatz moderner Spülungsprodukte heute Stand der Technik. Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile im Vergleich mit Trockenbohrverfahren sind unbestritten.

Als führender Hersteller und Lieferant von Brunnenausbaumaterialien bietet die pumpenboese gmbh & co. kg für das Herstellen moderner Spülungssysteme ein komplettes Sortiment an Bentoniten, polymeren Schutzkolloiden, Beschwerungsmitteln und Chemikalien an und verfügt über eine erfahrene, felderprobte Anwendungstechnik.



4.0 Prüfen von Bohrspülungen

Marsh-Trichter zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Bohrspülungen

- Den Trichter am unteren Ende verschließen und durch das Sieb mit Spülung befüllen bis der Spiegel die Unterkante des Siebes berührt (1500 ml).
- Die untere Öffnung freigeben und mit einer Stoppuhr die Zeit für den Auslauf von 1000 ml Spülung messen = Auslaufzeit (AZ).
- Anschließend die Zeit für den Auslauf der noch im Trichter befindlichen 500 ml Spülung ermitteln und in Sekunden als Restlaufzeit (RAZ) notieren.

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



Marsh-Trichter und Maßbecher

Ringapparat zur Messung der Wasserabgabezeit

- Ein Filterpapier¹ auf die Grundplatte legen.
- Den Metallring zentrisch auf das Filterpapier positionieren.
- Die zu prüfende Bohrspülung in die konische Öffnung des Ringes füllen.
- Stoppuhr in Gang setzen, wenn der erste Tropfen das Filterpapier berührt.
- Zeit messen bis das ganze (außerhalb des Ringes sichtbare) Filterpapier durchnässt ist = Wasserabgabezeit (WAZ).

Empfohlener Wert: > 1000 s



Ringapparat mit Filterpapier, Stoppuhr

Hydrometer/Aräometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Bohrspülung

- Zu prüfende Spülung in den am unteren Ende des Hydrometers befindlichen Becher füllen und diesen ohne Lufteinschlüsse mit dem Hydrometer verbinden.
 - Das Hydrometer in ein mit Wasser gefülltes Rohr eintauchen.
 - Die Dichte der Bohrspülung direkt an der Eintauchstelle des Hydrometers ablesen = kg/l.
- Empfohlener Wert für unbeschwerte Spülung: < 1,10 kg/l.



Spülungswaage und Hydrometer

¹ Durchmesser Filterpapier 50 mm Typ Schleicher und Schüll 2040a