

Spülungsprodukte in der Rotary-Bohrtechnik



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, Beschwerungsmittel und Chemikalien an und verfügt über eine erfahrene, felderprobte Anwendungstechnik.



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 Lagerstättendrucke (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 Spülungspumpe) 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 Spülungsmittel 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

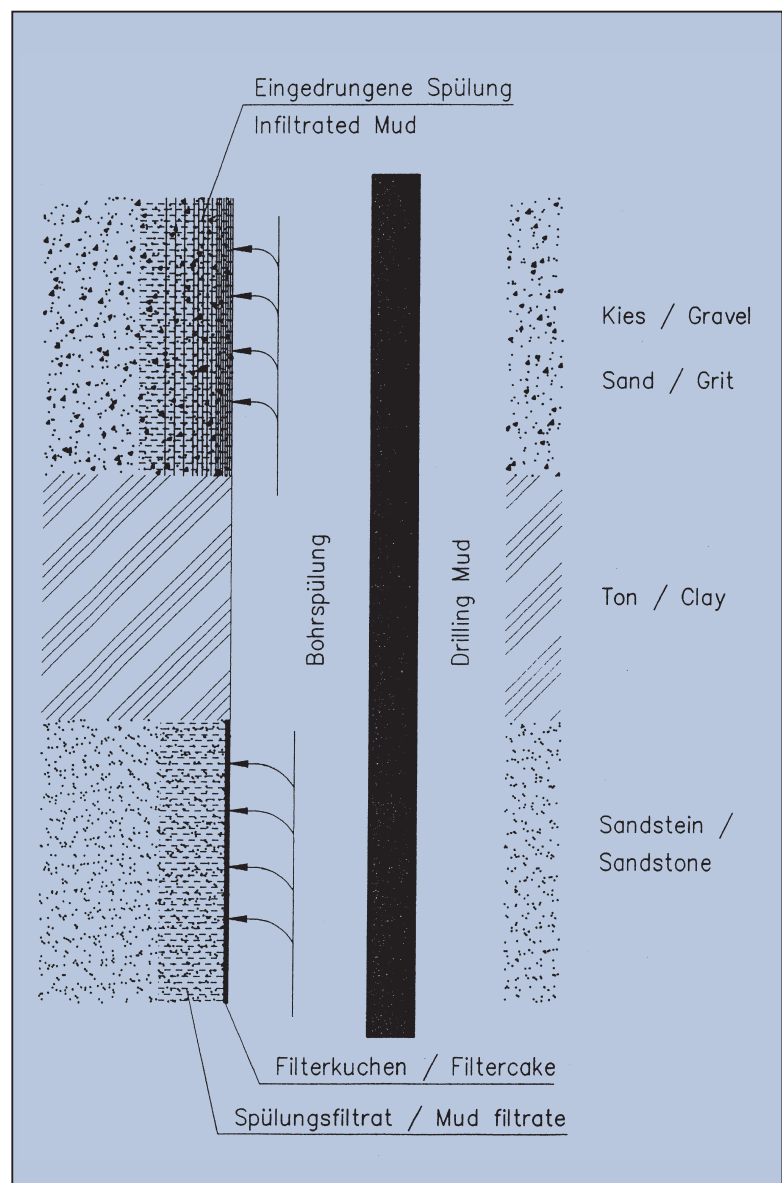
ein hydrostatischer Überdruck von 2 m Wassersäule ausreichend. Darüber hinaus muß sich im bohrlochnahen Bereich eine undurchlässige Zone bilden, damit der Spülungssäulendruck gegen den Erd- und Grundwasserdruck wirksam werden kann und Spülungsverluste vermieden werden.

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 Bohrspülung (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

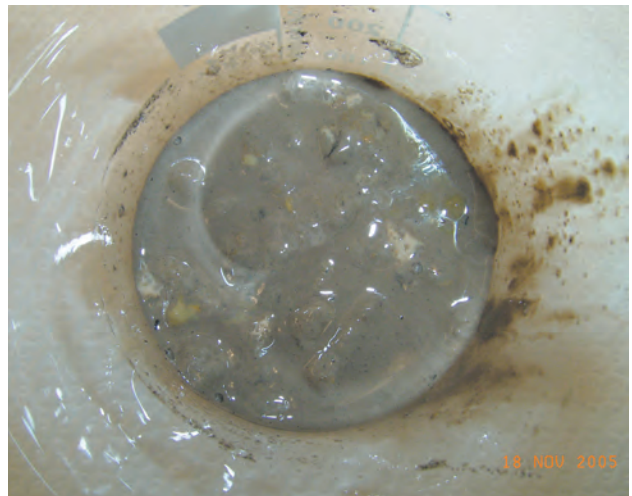
Charakterisierung	Empfohlener Einsatzbereich
Aktivbentonit	Stabilisierung von Sand-Kiesschichten in Süßwasserspülungen
Polyanionische CMC	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen
Technische CMC	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen
Polyacrylamid	Toninhibierung in Süß-Salzwasserspülungen
Hydroxyethylcellulose 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.

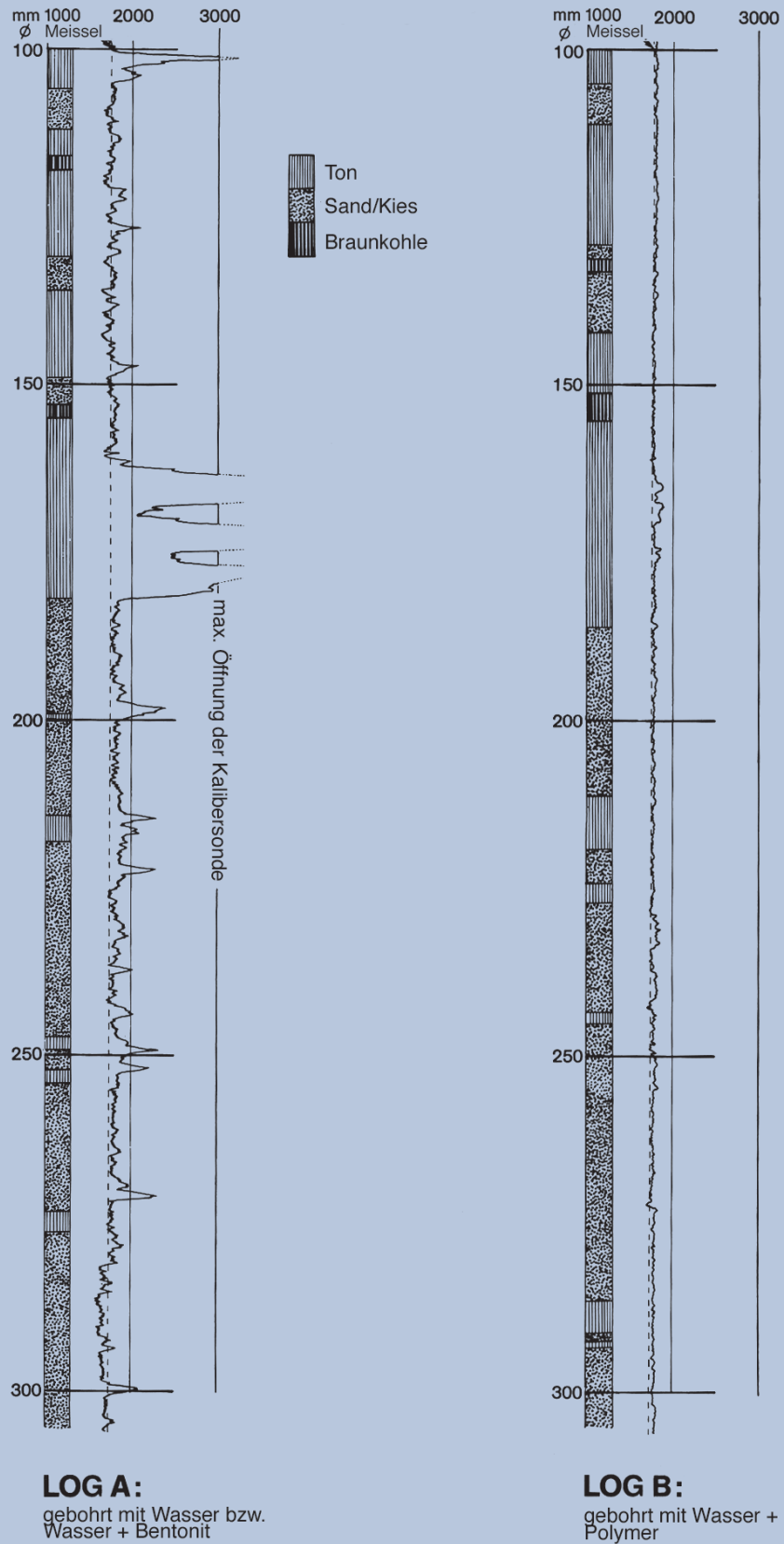
Toninhibierende Spülungspolymere ggf. in Kombination mit Steinsalz Natriumchlorid oder Kaliumchlorid verhindern bzw. verlangsamen den zeitlichen Ablauf der beschriebenen Instabilitäten, so daß die Erstellung kalibertreuer Bohrungen auch unter schwierigen geologischen Bedingungen gelingt (Abb. 3).

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 Spülsäule 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 Spülpolymer 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 Ruhezononen 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 Erstanatz 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-Polymerspülungen, 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 Polymerspülungen 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 Polymerspülungen

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 Spülpumpe betrieben werden (s. o.). Kleinere Polymermengen können alternativ an einer turbulenten Stelle im Spülungskreislauf übertage eingestreut werden.



Prakla-Universalbohrgeräte mit Spülungstanksystem

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

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

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 Luft einschüsse 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.

¹ Durchmesser Filterpapier 50 mm Typ Schleicher und Schüll 2040a



Marsh-Trichter und Maßbecher



Ringapparat mit Filterpapier, Stoppuhr



Spülungswaage und Hydrometer



Produkte für den Brunnenbau

