

1. AUFGABEN DER BOHRSPÜLUNG

Bohrspülungen sind kontrolliert im Bohrloch zirkulierende Fluide, d.h. Flüssigkeiten, Gase oder Mischungen beider.

Sie dienen zur Durchführung und Aufrechterhaltung des Spülbohrprozesses.

Der Bohrprozeß beinhaltet drei Phasen:

- Gesteinszerstörung,
- Bohrlochsohlenreinigung und Abtransport des Bohrgutes,
- Abstützen der Bohrlochwand, Verhinderung von Nachfall, Zusammenfall und Eindringen fluider Stoffe.

Die Bohrspülung ist ein notwendiges Medium, um diese genannten drei Phasen zu realisieren.

Dabei hat sie folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Auflockerung bzw. "Erweichung" des Gesteins auf der Bohrlochsohle, ggf. auch Mitwirkung bei der Gesteinszerstörung in hierfür in Betracht kommenden Gebirgsschichten, gegebener Spülkanalgestaltung des Bohrwerkzeuges und besonderer spülungshydraulischer Parameter;
- möglichst vollständige Reinigung der Bohrlochsohle und schneller, vollständiger Austrag des Bohrgutes aus dem Bohrloch;
- Schmierung und Kühlung des Bohrstranges einschließlich des Bohrwerkzeuges;
- Abdichtung und Stabilisierung der Bohrlochwand;
- weitgehende Verhinderung der Sedimentation von Bohrklein bzw. beschwerenden Feststoffen bei Unterbrechung der Spülungszirkulation im Bohrloch;
- weitgehende Verhinderung von Erosion und Kavernenbildung an der Bohrlochwand;
- weitestgehende Verträglichkeit mit dem Gebirge, vor allem in Salinarbereichen;
- Ausübung eines regulierbaren Drucks im Bohrloch bei gegebener Notwendigkeit;
- weitgehende Reduzierung von Korrosion am Bohrstrang einschließlich des Bohrwerkzeuges durch Zugabe geeigneter Alkalien bzw. durch Einsatz nicht-korrozierender Spülungen;
- Antriebsmedium von Bohrlochsohlenmotoren bei deren Einsatz;

- Erfüllung der Forderungen des Arbeits- und Umweltschutzes;
- Gewährleistung der störungsfreien Durchführung von geophysikalischen Bohrlochmessungen und deren fehlerfreien Interpretation;
- Sicherung der geologischen Aussagen und der technischen Vorgabe einer Bohrung;
- Verhinderung von Schädigungen des bohrlochnahen Bereiches, insbesondere der Speichereigenschaften.

Die Aufgaben der Bohrspülung werden durch das jeweilige Ziel der Bohrung und die Eigenschaften der zu durchlaufenden geologischen Formationen bestimmt; aus diesen Gründen ist auch die Spülungschemie auf den zu erwartenden geochemischen Charakter des jeweils anzutreffenden Gesteins einzustellen.

Nicht in allen Fällen können bzw. müssen alle genannten Forderungen maximal erfüllt werden.

Zur Realisierung der notwendigen Aufgaben ist die Spülnungsreinigung von besonderer Bedeutung.

Die Spülnungsreinigung beinhaltet das optimale Trennen der durch den Bohrprozeß aufgenommenen geologischen Feststoffe aus der Bohrspülung.

Die in einem Kreislauf befindliche optimal gereinigte Bohrspülung (z. B. Pumpe - Druckmanifold - Bohrstrang - Bohrwerkzeug/Bohrlochsohle - Aufnahme des Bohrgutes - Ringraum [Bohrstrang / Bohrlochwand bzw. Rohrtour] - Ausguß - Reinigungskette - Saugbehälter - Pumpe) verhindert weitgehend eine Erosion in den zu durchlaufenden Strömungsräumen (besonders Pumpenventile, Bohrstrang, Bohrwerkzeug).

2. BESTANDTEILE UND REZEPTUREN

Zur Herstellung der Bohrspülung und Einstellung der aufgabengerechten Eigenschaften werden verschiedene Ausgangsstoffe benötigt (s. Übersicht: Abb. 1).

2.1 BESTANDTEILE

2.1.1 BASISSTOFF

Basisstoff für flüssige Bohrspülungen in der Flachbohrtechnik (Locker- und Festgesteinsbereich) ist Wasser.

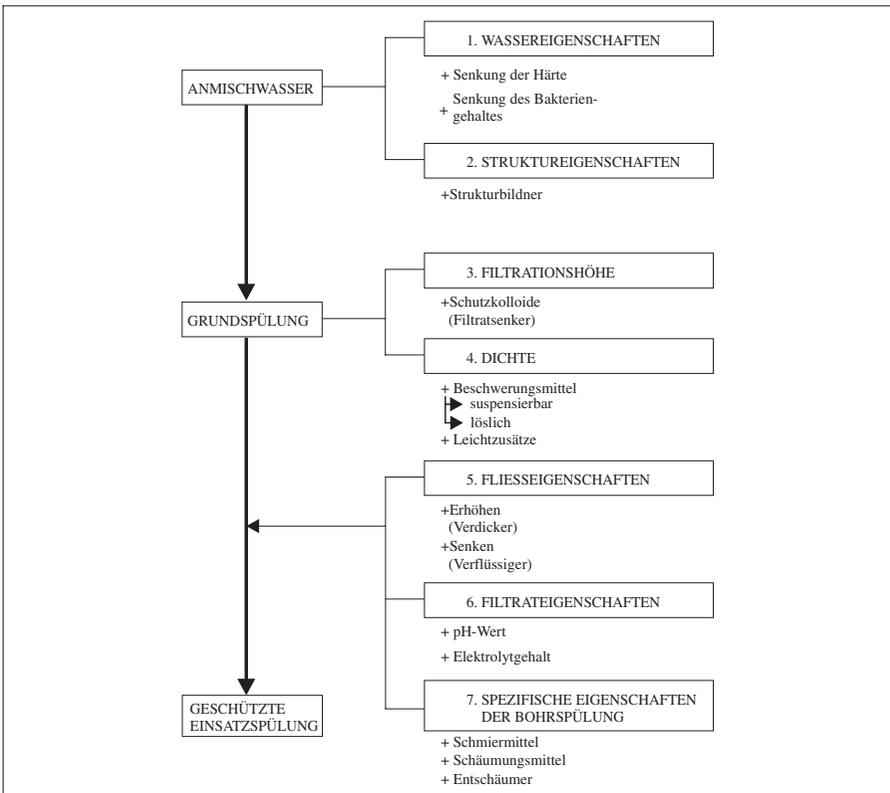


Abb. 1: Mögliche Bestandteile von Bohrspülungen in der Flachbohrtechnik

Zu verwenden sind nur salz- und bakterienfreie Wässer. Befinden sich Härtebildner im Wasser, müssen diese durch geeignete Zusätze (Soda-Na-Ionenreserve für Bentonitquellung) ausgefällt werden, um den nachfolgend einzugebenden Strukturbildnern die Möglichkeit zu geben, eine Gerüststruktur (Gelstruktur) aufzubauen.

Befinden sich Bakterien im Wasser, müssen dem Anmachwasser Bakterizide zugesetzt werden, die verhindern, daß Zusätze von organischen Polymeren innerhalb kurzer Zeit (wenige Stunden) völlig abgebaut und somit wirkungslos werden.

2.1.2 STRUKTURBILDNER

Dem Anmachwasser werden Strukturbildner zugesetzt, damit die viskosen, thixotropen, tragfähigen und stabilen Spülungen entstehen. Die hauptsächlichsten Strukturbildner sind Na-Bentonite, spezielle Tone, deren Hauptbestandteil das Tonmineral Montmorillonit ist. Es handelt sich hierbei um ein Schichtkristall mit blättchenartiger bzw. lamellenförmiger Struktur, in das sich Wassermoleküle einlagern und das Montmorillonitkristall um das Mehrfache seines im trockenen Zustand befindliche Volumen aufquellen lassen (innerkristalline Quellung; Abb. 2). Beim Quellvorgang (Rühren oder im Kreislauf pumpen) kommt es zum völligen Auflösen des Kristallverbandes und im Ruhezustand zum Aufbau einer Gerüststruktur (Kartenhausstruktur), wobei die Lamellen an den Ecken und Kanten durch elektrische Ladung miteinander “verkleben”. Diese Eigenfestigkeit (Gelstärke) kann bei geringster mechanischer Beanspruchung in den Solzustand (Herabsetzen der Fließgrenze) überführt werden. Diese beliebige reversible Veränderung des Zustandes (Gel- oder Sol-Zustand) nennt man Thixotropie.

Um die Haupteigenschaften einer Bentonitspülung

- Quellfähigkeit
- Viskosität
- Thixotropie
- Wasserbindevermögen

herauszubilden, sollte die Ausquellzeit je nach dem, ob “in Ruhe” oder “in Bewegung” 12 bis 24 h vor Bohreinsatz betragen.

Nach der Ausquellzeit stellt sich eine hohe Thixotropie und ein gutes Wasserbindevermögen ein, was eine dünne Filterkruste an der Bohrlochwand entstehen läßt. Damit wird nur eine begrenzte Eindringtiefe des Filtrates in den bohrlochnahen Raum gestattet.

Der hydrostatische Druck der Spülungssäule, der über die Spülungsdichte einstellbar ist, sollte gegenüber dem umgebenden Schichtdruck geringfügig höher sein, wenn eine dünne Filterkruste erwünscht ist und das offene (unverrohrte) Bohrloch standfest bleiben soll.

2.1.3 FILTRATSENKER

Filtratsenker haben die Aufgabe, das Filtrat (freie Wasser) einer Bohrspülung zu “senken” (zu binden), damit es nicht durch die Filterkruste ins Gebirge abgepreßt werden kann, mehr Feststoffe an der Bohrlochwand anlagern und somit die Filterkruste “dicker” wird (Abb. 3). Außerdem verhindern die Filtratsenker als Schutzhülle um die Tonlamellen ein koagulierendes Ausfallen der kolloiden Tonteilchen (Verklumpung) beim Zusammentreffen mit Salzionen. Bei Nichteinsatz von Filtratsenkern wäre das Ergebnis eine lockere und permeable Filterkruste mit ansteigender Filtratabgabe in das Gebirge.

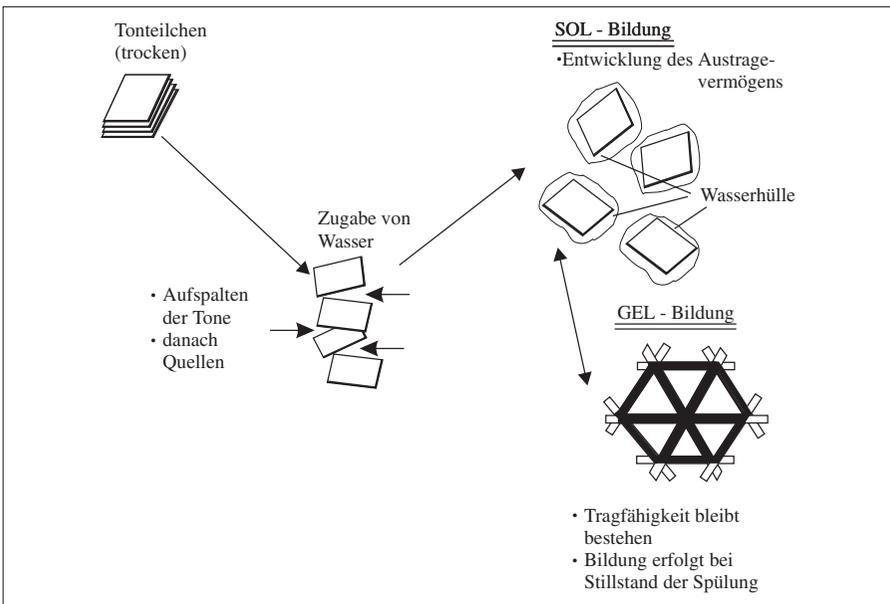
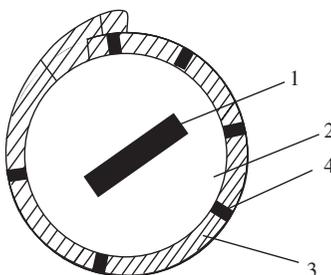


Abb.2: Schema des Sol-Gel-Verhaltens



- 1 Tonteilchen
- 2 Wasserhülle
- 3 Umhüllungsschutz durch Schutzkolloide
- 4 Kettenbindungsglied (Sauerstoffbrücke)

Abb. 3: Schema der Tonstabilisierung mit Schutzkolloiden

Als Filtratsenker und Schutzkolloide kommen hauptsächlich CMC-Polymere zum Einsatz. CMC ist die Abkürzung für Carboxymethylcellulose. CMC-Polymere erhöhen die Viskosität, bauen jedoch keine eigene Gelstruktur auf.

Die Filtratsenker-molekel werden aufgrund der starken negativen Ladungen intensiv an die Tonlamellen gebunden, so daß sie diese mit einer gut haftenden, stark wasserhaltigen "Schutzhülle" überziehen, wodurch sich bei der Filterkrustenbildung an der Bohrlochwand die Zwischenräume zwischen den Tonpartikeln verkleinern, die Permeabilität der Filterkruste und somit die abfiltrierende Filtratmenge abnehmen.

CMC-Polymere sind mit allen gängigen Spülungszusätzen kombinierbar. Sie sollen nach dem Bentonit in die Spülung gegeben werden. Eine weitere Aufgabe der Filtratsenker ist das sofortige Umhüllen von erbohrten anstehenden Tonen, um ein Zerfallen und eventuelles Quellen dieser Tonpartikel zu verhindern (Verdickung der Spülung durch anstehende Tone).

CMC-Produkte sind biologisch abbaubar und somit ein Nährboden für Mikroorganismen. Ein Zusatz von Bakteriziden in das Anmachwasser verhindert aber vorzeitigen Abbau und somit die Wirkung als Filtratsenker und Schutzkolloid.

Hinweis:

In der Flachbohrtechnik finden auch synthetische Polymere auf Polyacrylamid-Basis (PAA) als Spülungszusatz zur Regulierung der Filtrathöhe Verwendung. PAA erhöhen die Schutzkolloidwirkung einer Bohrspülung, indem sie das Quellen von Fremdtönen (durch das Bohrklein in die Spülung gelangte Tonmaterial) weitestgehend unterbinden, bei bestimmten Konzentrationen die Filterkruste verstopfen und somit die Filtratabgabe ins Gebirge senken.

PAA-Produkte sind nach bisherigen Erfahrungen schlechte Nährstoffe für Bakterien, frei von anorganischen Salzen und stellen dadurch keine Belastung für das Grundwasser dar.

Einsatz als Kombination:

Bentonit + mittelmolekulare PAA oder
hochmolekulare PAA alleine + Wasser.

2.1.4 BESCHWERUNGSMITTEL

Beschwerungsmittel dienen zur Dichteerhöhung der Bohrspülung, um den hydrostatischen Druck der Bohrspülungssäule auf den zu erwartenden Schichtinhaltsdruck der zu durchbohrenden Gesteinsformationen einzustellen. Die Beschwerungsmittel müssen frei von Stoffen sein, die außer der Dichteerhöhung zu weiteren Veränderungen der Spülungsparameter führen. Es muß frei von löslichen und festen Verunreinigungen und fein vermahlen sein.

Achtung:

Bei nicht korrekter Spülingsreinigung beschwert sich die Tonspülung durch die Aufnahme von Bohrklein selbst, man spricht von der Selbstaufladung der Spülung (bis zu $\rho = 1300 \text{ kg/m}^3$).

| Beschwerungsmittel für Bohrspülungen | | |
|---|---|---|
| Beschwerungsmittel | Dichte in kg/m^3 | Erreichbare Spülingsdichte in kg/m^3 |
| Kreide | 2600 | bis 1500 |
| Baryt (Schwerspat) | 4300 | bis 2400 |
| Eisenoxid (Hämatit) | 4900 | bis 2400 |

Diese genannten Beschwerungsmittel sind suspensierbar, d. h. sind fein verteilt in der Bohrspülung. Einen weiteren Bereich umfassen die löslichen Beschwerungsmittel, die Salze. Salze werden notwendig, wenn saline Gebirgsschichten durchteuft werden sollen, um die Spülung auszusalzen, d. h., es werden gesättigte Salzlösungen hergestellt, die keine weiteren Salze aus dem Gebirge aufnehmen. Damit wird ein kaliberhaltiges Bohrloch gewährleistet, Kavernenbildung verhindert. Dabei muß die Art des Salzzusatzes der chemischen Beschaffenheit des Gebirges und deren Schichtinhaltsstoffe entsprechen, um unerwünschte chemisch-physikalische Reaktionen zu vermeiden.

Es kommen hauptsächlich zum Einsatz:

Steinsalz

Technisches Steinsalz (NaCl) wird bergmännisch gewonnen und lose oder in Säcken angeliefert. Durch das Lösen von etwa 30 % Steinsalz stellt sich eine Sättigung mit einer maximalen Dichte von 1200 kg/m^3 ein.

Magnesiumchlorid

Technisches Magnesiumchlorid (MgCl_2) in fester Form wird als Schuppenmaterial in Fässern oder Plastsäcken geliefert. MgCl_2 zieht Wasser aus der Luft an und ist vor Feuchtigkeit zu schützen (alsbaldiger Verbrauch). Als Sprühlaugung mit einem Gehalt von 200 bis $300 \text{ g MgCl}_2 \text{ l}^{-1}$ dient sie zur Herstellung von laugenstabilen Spülungen. Nach Bedarf wird in dieser Sprühlaugung mit festem Magnesiumchlorid der Gehalt an MgCl_2 bis zur Sättigung erhöht.

Kaliumchlorid

Technisches Kaliumchlorid (KCl) wird als Rohprodukt bergmännisch gewonnen und aufbereitet. Es wird wie Steinsalz eingesetzt, jedoch nur dann, wenn es zur Erhöhung der Bohrlochwandstabilität erforderlich ist. Kaliumchlorid senkt osmotische Effekte an Tonschichten, die zum Nachfall neigen, d. h. Tone neigen bei KCl-Zusatz weniger zur Quellung.

2.1.5 LEICHTZUSÄTZE

Leichtzusätze sollen die Dichte der Bohrspülung verringern, um Spülungsverluste zu verhüten bzw. bei bereits eingetretenen Spülungsverlusten durch Senkung des hydrostatischen Druckes der Spülungssäule diesen zu verringern.

Verwendet wird fast ausschließlich Luft, die in den Spülkreislauf durch Kompressoren eingepreßt oder durch ein sogenanntes Schnüffelventil regulierbar eingesogen wird, es entstehen belüftete Spülungen bzw. durch Zusatz schaumbildender Tenside (Schäumer) stabilisierte Schaumspülungen mit geringeren Dichten.

Belüftete Spülungen und Schaumspülungen bedeuten stark erhöhte Korrosionsgefahr, die durch Korrosionsschutzmaßnahmen (pH >10) gesenkt werden muß. Der Einsatz luftgefüllter Plastehohlkugeln (russ.: Plamilone) bzw. Glashohlkugeln ist durch den hohen Preis auf Sonderfälle beschränkt.

2.1.6 REGULATOREN DER FLIESSEIGENSCHAFTEN

Die im Kreislauf gefahrene Bohrspülung nimmt über Zeit und nicht korrekter Spülungsreinigung Feststoffe aus dem Bohrgut auf, die chemisch-physikalischen Eigenschaften können sich verändern, eventuelle thermische Reaktionen tragen dazu bei, daß die Bohrspülung "eindickt", die Fließeigenschaften sich erhöhen und damit die Probenrelevanz unsicherer sowie die bohrlochhydraulische Leistung zum Besseren des Bohrloches unnötigerweise ansteigt. Die Verflüssiger haben die Aufgabe, die Bohrspülung "flüssiger" zu machen, die Feststoffe zu verteilen, sie zu dispergieren. Diese Verflüssigung wird durch eine Entladung der Anziehungskräfte zwischen den Ton- und Feststoffteilchen erklärt.

Verflüssiger dissoziieren in Lösung in relativ stark negativ geladene große Ionen bzw. kleinere Kolloidionen, die an den positiv geladenen Bruchkanten der Tonplättchen adsorbiert werden und auch diesen eine negative Ladung erteilen. Dadurch werden die Plus-Minus-Anziehungskräfte zwischen den Tonpartikeln verringert bzw. gänzlich beseitigt, die Spülung wird verflüssigt, die Gelstärke sinkt.

Dabei tritt eine Viskositätssenkung ein, aber die Feststoffe bleiben feinverteilt in der Spülung. Durch die ständige Aufnahme an Bohrklein steigt die Dichte, und der Trend zur Viskositätssteigerung bleibt trotzdem erhalten, da die Verflüssiger ständig feines Bohrklein und Gebirgstteile lösen. Die Behandlungsmethode "Einsatz von Verflüssigern" bringt also keine Lösung der Probleme, sondern nur eine zeitweilige

Verbesserung der Fließeigenschaften. Sinnvoller sind Maßnahmen zur mechanischen Abscheidung des Feststoffes und Verhinderung einer langsamen Anreicherung durch mechanische Spülungsreinigung.

Der Einsatz von Verflüssigern geschieht mit folgenden Zielstellungen:

- Senkung der Gelstärke bei wenig salzgeschädigten oder bei durch Aufnahme von Tonbohrklein eingedickten Spülungen, wenn die erhöhten Gelstärken bzw. Dichten nicht durch Wasserzugabe gesenkt werden sollen oder können.
- Herstellung von tonsteinstabilisierenden Verflüssigerspülungen, sogenannten dispergierten Spülungen, z. B. Kalkspülungen oder Gipsspülungen,
- Verwendung als schwach wirkende Filtratsenker und als Schutzkolloide.

Handelsübliche Verflüssiger (Dispergiermittelgruppen) sind:

- kondensierte Phosphate,
- Gerbstoffe (Tannine),
- Lignosulfonatderivate,
- Huminsäureabkömmlinge.

Hinweis:

Vor dem Einsatz von Verflüssigern ist in jedem Fall Rücksprache mit der Wasserbehörde bzw. den Spülungslabors zu nehmen. Es gilt Informationen einzuholen über Konzentration des Zusatzes bzw. evtl. Schädigung des Grundwassers!

Die einfachsten Mittel zum Verdünnen der Bohrspülung sind die Zugabe von Wasser und eine korrekte Bohrspülungs-Reinigung.

2.1.7 REGULATOREN DER FILTRATEIGENSCHAFTEN

Veränderungen von Filtrateigenschaften dienen dem Schutz des Zusammenspiels Bohrspülung - Bohrstrang - Gebirge. Besonders hervorzuheben ist dabei der pH-Wert des Bohrspül-Filtrates. Er ist mehr oder weniger verantwortlich für das Korrosionsverhalten der Bohrspülung gegenüber den sich in Bohrloch befindlichen Stahlteilen. Die bekannte Sauerstoffkorrosion von Eisen ist im Bereich von pH > 10 ... 12,5 vernachlässigbar. Zur Hebung des pH-Wertes werden in der Flachbohrtechnik Alkalien (anorganische Verbindungen) eingesetzt.

| | | |
|-----------|--------------------------|-------------------------|
| Soda | Na_2CO_3 | Pulver |
| Ätznatron | NaOH | Schuppen oder Plättchen |
| Ätzkali | KOH | Schuppen |

Sie werden eingesetzt, um

- Wasser zu enthärten,
- Einstellung eines pH-Wertes von 8 bis 9, um das Quellvermögen der Tone zu fördern,
- die Korrosion einzuschränken,
- den Abbau der Schutzkolloide zu senken.

2.1.8 SPEZIFISCHE ZUSÄTZE

Schmiermittel

Der Einsatz von Schmiermitteln dient zur Herabsetzung der Reibung des Bohrstranges an der Bohrlochwand.

- Normale Schmiermittel (Öle, Graphite) werden an der Oberfläche der Metalle nur lose physikalisch adsorbiert und durch hohe Kontaktdrücke verdrängt, seltene Anwendung!
- Hochdruckschmiermittel werden an der Metalloberfläche chemisorbiert, d. h. durch chemische Kräfte festgebunden. Bei hohem Druck werden sie nicht von der Oberfläche verdrängt. HD-Schmiermittel sind bei hohen Drehzahlen in kleinkalibrigen Bohrungen (z.B. Bohrdurchmesser 46 mm) sowohl im Klarwasser als auch in selbstgängigen und feststoffarmen Tonspülungen unbedingt notwendige Zusätze. Voraussetzung für deren Einsatz ist die wasserwirtschaftliche Unbedenklichkeit.

Schäumungsmittel

Schäumungsmittel sind anionaktive Tenside, sie sind vergleichbar mit Geschirrspülmitteln. Sie werden bei Bohrungen eingesetzt, wo Luft als Spülmedium verwendet wird. Üblicherweise werden die Schäumer mit Wasser verdünnt und in den Luftstrom injiziert. Sie verbessern das Austragsvermögen erheblich und schäumen zufließendes Wasser aus.

Ihr Einsatz empfiehlt sich in Festgesteinsbohrungen, bei der Verwendung von Im-Loch-Bohrhämern, in Bohrungen mit Klüften oder druckschwachen Formationen.