

### 3. Lufthebebohrverfahren

#### 3.1. Aufgabengebiete des Lufthebebohrens im Festgestein

Mit dem Aufschwung der Bergbautätigkeit zur Erschließung und Gewinnung von Rohstoffen wurde das Lufthebebohrverfahren als großkalibriges Linksspülbohrverfahren in der Lagerstättenerkundung, Grundwassererschließung, für Bohrschächte und andere technische Bohrungen zur Entwässerung von Tagebauen und im Bauwesen eingesetzt.

Obwohl die Erzeugung von Druckluft bei der adiabatischen Verdichtung relativ aufwendig ist, besitzt die Mammutpumpe, nach deren Prinzip der Spülungskreislauf des Lufthebebohrverfahrens funktioniert, im Sonderfall des wassergefüllten Bohrloches eine sehr günstige Eintauchtiefe und damit einen relativ guten Wirkungsgrad, wobei jedoch der spezifische Energieeinsatz höher als bei der Saugpumpe ist. Unter der Beibehaltung aller Vorteile der anderen Linksspülbohrungen, wie

- unveränderter Bohrgutaustrag durch die Spülung, auch bei variablem Bohrdurchmesser,
- guter Transport des Bohrgutes von der Bohrlochsohle, wodurch gute Bedingungen für die Meißelarbeit geschaffen werden,
- ununterbrochener Austrag des Bohrgutes zum genauen Erfassen des geologischen Profils auch bei geringmächtigen Wechselagerungen,

- kontinuierliche Austragsmöglichkeiten von Bohrkernen,
- geringe hydraulische Druckbelastung der Bohrlochwand ohne Aufbau einer Tonkruste an der Bohrlochwand,

besitzt das Lufthebebohren besonders für die hydrogeologische Erkundung und Erschließung folgende Vorteile:

1. Für Zwischen-, Vor- und Klarpumpversuche ist die Bohrgarnitur hervorragend geeignet, sofern eine Beruhigungsvorrichtung in den Abfluß eingebaut ist. Außerdem ist ein Umrüsten vom Bohren zum Testen und umgekehrt ohne zusätzlichen Grundmittelaufwand möglich.
2. Der Wirkungsgrad der Mammutpumpe ist unter den sehr günstigen Eintauchbedingungen des wassergefüllten Bohrloches außerordentlich günstig und in Verbindung mit der fast verschleißlosen Pumpe (keine beweglichen Teile im Spülstrom) sehr wirtschaftlich.
3. Die Bohrarbeiten können im standfesten Gestein auch bei großem Spülungsverlust durchgeführt werden, obwohl sich dann der Wasserspiegel wesentlich unter der Geländeoberkante einstellt.
4. Die Aufrechterhaltung des Spülungsumlaufes ist unkompliziert und funktioniert unter allen Witterungsbedingungen störungsfrei.
5. Der Lufthebeantrieb überwindet auch hohe Reibungsverluste, wie sie sich in engen Ringräumen zwischen Bohrlochwand und Gestänge, Schwerstangen und Belastungshalbschalen sowie unter Rollenmeißelplatten und Kernbohrwerkzeugen einstellen.

Diese Vorteile, die sich im Verlauf des Einsatzes des Lufthebebohrverfahrens bei vielen technischen Anwendungen herausgestellt haben, gaben auch den Ausschlag zur Auswahl des Lufthebebohrverfahrens und zur Modifizierung für den Einsatz in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung im Festgestein. Das Lufthebebohren arbeitet in der Regel mit Klarwasserspülung ohne Spülungszusätze. Aus diesem Grunde eignet es sich besonders für die hydrogeologische Erkundung und Erschließung, da Klarwasserspülung keine negativen Veränderungen der Grundwasserlagerstät-

ten verursacht und ohne Einschränkung den gleichen hydraulischen Gesetzmäßigkeiten unterliegt wie das Grundwasser selbst.

### 3.2. Wirkungsweise des Lufthebebohrverfahrens

Das Lufthebebohrverfahren gehört zu den Linksspülbohrverfahren. Als Linksspülbohrverfahren bezeichnet man alle Spülbohrverfahren, bei denen die Spülung im Ringraum zwischen Bohrlochwand und Bohrgarnitur zur Bohrlochsohle und von dort unter Mitnahme des Bohrgutes durch die Spülungsöffnungen des Bohrwerkzeuges im Gestänge wieder nach über Tage strömt.

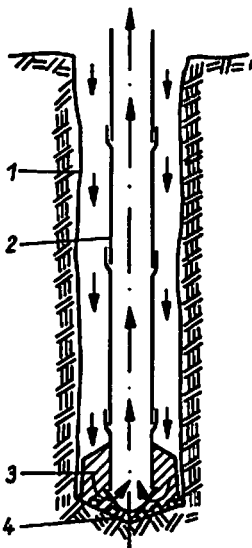


Bild 12  
Schema der Linksspülung  
1 Bohrlochwand  
2 Bohrgarnitur  
3 Bohrwerkzeug  
4 Bohrlochsohle  
→ Spülung

Aus Bild 12 sind die Hauptvorteile dieser Spülungszirkulation ersichtlich:

1. Die Spülungsgeschwindigkeit im Gestänge für den Bohrgutaus-  
trag bleibt trotz Veränderung des Bohrdurchmessers konstant,  
woraus sich eine konstante Antriebsleistung bei variablem  
Bohrdurchmesser ableiten läßt.

2. Das Bohrgut wird schnell in großen Bruchstücken von der Bohrlochsohle nach über Tage ausgetragen, das lithologische Profil wird durch das Bohrgut teufenbezogen repräsentiert, und es wird eine saubere Bohrlochsohle erreicht.

Die Wirkungsweise des Lufthebebohrverfahrens ist im Bild 13 schematisch dargestellt.

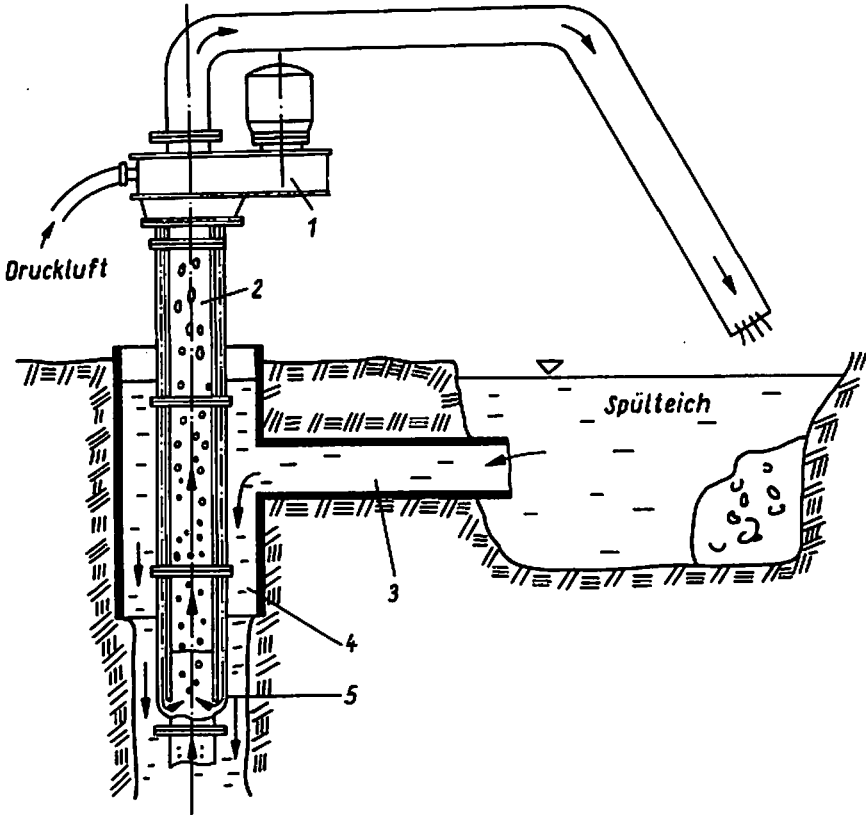


Bild 13. Schema des Lufthebebohrrens

- 1 Kraftspülkopf
- 2 Bohrgestänge
- 3 Zulaufrohr

- 4 Staurohr
- 5 Lufteintrittsstange

Das Lufthebebohren funktioniert nach dem Mammutpumpenprinzip. Dabei wird über entsprechende am Bohrgestänge angebrachte Luftleitungen Druckluft in das Bohrgestänge eingeblasen. Dadurch, daß sich die Luft im Gestänge mit dem Wasser vermischt, entsteht im Gestänge ein Wasser-Luft-Gemisch. Dieses Gemisch hat eine geringere Dichte als die Klarwasserspülung im Ringraum zwischen Gestängeaußenwand und Bohrlochwand. Durch diese Dichtedifferenz entsteht eine Strömung in die Richtung der geringeren Dichte, und die Mammutpumpe beginnt zu fördern, das heißt, die Spülungszirkulation setzt ein. Bei den gegenwärtig in der Bohrtechnik üblichen bohrtechnischen Ausrüstungen für das Lufthebebohrverfahren werden dabei Strömungsgeschwindigkeiten im Bohrgestänge erreicht, die zwischen  $2$  und  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  liegen. Diese hohen Spülungsgeschwindigkeiten bringen einen hohen Spülungsvolumenstrom, wodurch eine gute Bohrlochsohlenreinigung und sogar der hydraulische Kerntransport für eine kontinuierliche Bohrkerngewinnung sichergestellt werden kann. Dabei erreicht die Mammutpumpe unter den Bedingungen eines mit Wasser gefüllten Bohrloches eine sehr günstige Eintauchtiefe und damit einen guten Wirkungsgrad, wie das aus Bild 14 ersichtlich ist. Beim Bohren ist die Eintauchtiefe, außer den Verhältnissen beim Anbohren, immer größer als die Förderhöhe, so daß sich der Arbeitspunkt der Mammutpumpe im Bereich hoher Wirkungsgrade befindet.

### 3.3. Technik und Technologie des Lufthebebohrens

#### 3.3.1. Bohrgeräte

Ausgehend von den sich ständig entwickelnden betrieblichen Erfordernissen, wurde im VEB Hydrogeologie Nordhausen eine Bohrgeräteentwicklung betrieben, aus der für das Lufthebebohren im Festgestein in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung als Hauptergebnisse die Kombinationsbohranlagen K 50 und KB 400 hervorgegangen sind. Ein großer Teil der Entwicklung der K 50 wurde gemeinsam mit Betrieben der VVB TAKRAF, wo auch jetzt die K 50 im VEB Sächsischer Brücken- und Stahlhochbau Dresden gebaut wird, durchgeführt. Diese beiden genannten Bohranlagentypen

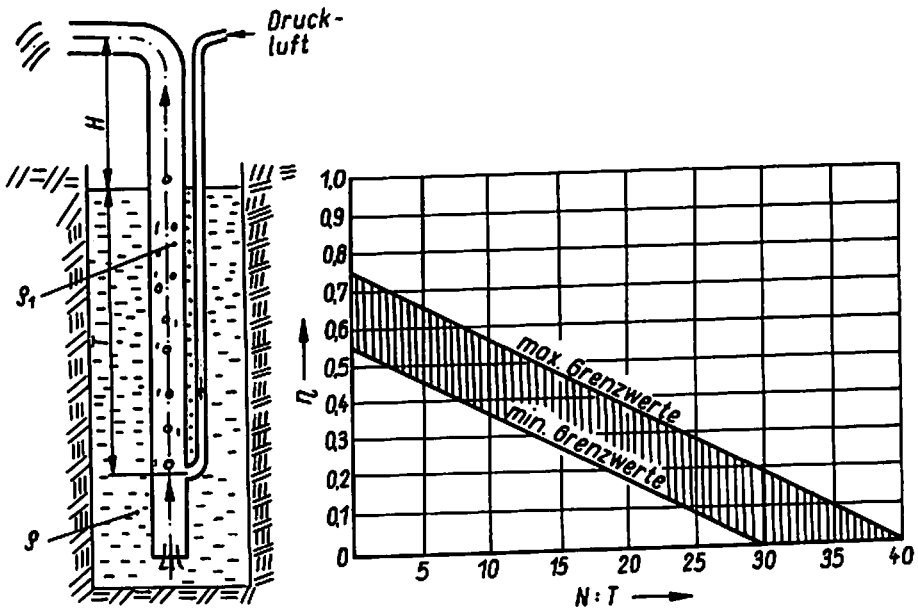


Bild 14. Darstellung des Wirkungsgrades der Mammutpumpe  
 $H$  Förderhöhe;  $T$  Eintauchtiefe;  $\eta$  Wirkungsgrad

stellen zwei unterschiedliche Bohranlagenklassen /7/ dar und besitzen in ihren Hauptbaugruppen die in der Tabelle 5 angegebenen technischen Charakteristiken.

Tabelle 5. Technische Charakteristiken der Bohranlagen K 50 und KB 400

| K 50 | KB 400 |
|------|--------|
|------|--------|

Fahrgestell

einachsrig, anhängefahrbar

zweiachsrig, anhängefahrbar

Transportabmessungen

Länge: 8480 mm  
 Breite: 2420 mm  
 Höhe: 3800 mm  
 Masse: 6 t

Länge: 10 900 mm  
 Breite: 2 500 mm  
 Höhe: 3 900 mm  
 Masse: 16 t

Tabelle 5 (Fortsetzung)

K 50

KB 400

Antriebsaggregat

Dieselmotor

4 NVD, 12,5 SRL

Leistung: 19,85 kW

Radialkolbenpumpe A2 - 40/160

TGL 10 869

Dieselmotor

4 VD, 14,5/12 SRL

Leistung: 47,02 kW

Radialkolbenpumpe A 2 - 160/160

TGL 10 689

begrenzt auf  $2 \cdot 1,67 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$

( $2 \cdot 100 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ) 16 MPa

( $160 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ )

Hebwerk

Anzahl der Trommeln: 1

Bohrtrommel

Seilzugkraft

maximal 25 kN (2,5 Mp)

Seilgeschwindigkeit

maximal  $0,46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Anzahl der Trommeln: 3

Bohrtrommel

Seilzugkraft

maximal 43 kN (4,3 Mp)

Seilgeschwindigkeit

0,25 bis  $1,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Förder trommel

Seilzugkraft: maximal 38 kN

(3,8 Mp)

Seilgeschwindigkeit: 0,3 bis

$1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Schlamm trommel

Seilzugkraft: maximal 25 kN

(2,5 Mp)

Seilgeschwindigkeit:

0,5 bis  $2,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Tabelle 5 (Fortsetzung)

K 50

KB 400

Bohrmast

Rohrmast

hydraulisch klappbar

Hakenbetriebskraft

50 kN (5,0 Mp) oder

65 kN (6,5 Mp)

Abstand Mastaußenkante

bis Bohrlochmitte 340 mm

Förderhöhe für Hakenbetrieb:

6,0 m

ohne Obertreibsicherung

mit hydraulischer Vorschub-  
einrichtung

Kastenmast

hydraulisch klappbar

Hakenbetriebskraft

180 kN (18 Mp)

Abstand Mastaußenkante

bis Bohrlochmitte 750 mm

Förderhöhe für Hakenbetrieb:

11,7 m

mit Obertreibsicherung

ohne hydraulische Vorschub-  
einrichtung

Rotationseinrichtung

Kraftspülkopf

freier Durchgang

95 mm Durchmesser

$Md_{max}$  3 kN·m (300 kp·m)

$n_{max}$  0,92 s<sup>-1</sup> (55 min<sup>-1</sup>)

Kraftspülkopf

freier Durchgang

135 mm Durchmesser

$Md_{max}$  10 kN·m (1 000 kp·m)

$n_{max}$  1,0 s<sup>-1</sup> (60 min<sup>-1</sup>)

Bohrwagen

Schwenkwinkel: 2,094 rad

(120 Grad)

(hydraulisch)

Kippwinkel: 1,571 rad

(90 Grad)

(hydraulisch)

Schwenkwinkel: 2,094 rad

(120 Grad)

(hydraulisch)

Kippwinkel: 1,571 rad

(90 Grad)

(hydraulisch)

zentraler Steuerstand

vorhanden

vorhanden



Die technischen Charakteristiken der beiden Kombinationsbohranlagen zeigen deutlich die gemeinsame technische Grundkonzeption. Diese Gemeinsamkeit bezieht sich nicht nur auf die Bohranlage selbst, sondern auch auf alle dazugehörigen Ausrüstungen und Bohrgarnituren. Im folgenden werden zu den beiden Kombinationsbohranlagen K 50 und KB 400 kurze Erläuterungen gegeben /4/.

Die K 50 ist eine einachsige Bohranlage, die anhängefahrbar von Traktoren transportiert werden kann. Auf dem einachsigen Fahrgestell sind die Hauptbaugruppen dieseselhydraulisches Antriebsaggregat, Hebewerk, Bohrmast, Rotationseinrichtung und der abgedeckte und somit gesicherte Steuerstand montiert. Der Kraftspülkopf ist mittels Bohrwagen am Bohrmast vertikal verfahrbar und bringt Vorteile gegenüber Bohranlagen mit starrem Drehtisch. Der Kraftspülkopf ist für das Lufthebebohren mit einem Lufteintritt kombiniert, um die Luft in die außen liegenden Luftleitungen des Lufthebebohrgestänges zu führen. Der Drehantrieb des Kraftspülkopfes erfolgt über zwei Axialkolbenmotore. Für die Steuerung und Überwachung der Funktionsabläufe der K 50 sind alle entsprechenden Elemente in einem zentralen Steuerstand in einer arbeitsphysiologisch günstigen Position installiert.

Die KB 400 besitzt ein zweiachsiges anhängefahrbares Fahrgestell, auf dem in der gleichen Weise wie bei der K 50 die Hauptbaugruppen montiert sind. Dagegen werden für die Betätigung der Bandbremsen der drei Hebewerkstrommeln nur geringe Schaltkräfte benötigt, da die Bremsen vollhydraulisch arbeiten. Durch die Bedienung eines hydraulischen Wegeventils wird die jeweilige Bremse gelüftet oder eingelegt und der Hebewerkantrieb gleichzeitig ein- oder ausgeschaltet.

Das dieseselhydraulische Antriebsaggregat der KB 400 befindet sich in einem völlig lärmgekapselten Raum, in dem durch eine besonders gestaltete Zwangsführung der Kühlluft des Motors eine Einhaltung der notwendigen Betriebstemperatur bei allen Witterungsbedingungen erreicht wird. Somit wird der Schallpegel des gesamten Antriebsaggregates gesenkt. Die beiden vorgestellten Kombinationsbohrgeräte werden in ihrer technischen Entwicklung den Anforderungen der Flachbohrtechnik gerecht. Sie enthalten

Voraussetzungen, die eine sichere Steuerung und Kontrolle der Prozesse im Bohrloch, das heißt in erster Linie der Arbeit der Bohrgarnitur, gestatten.

### 3.3.2. Lufthebebohrgarnitur /10/

Die Bohrgarnitur für das Lufthebebohren im Festgestein in der Hydrogeologie besteht, beginnend von der Bohrlochsohle, aus

- Bohrwerkzeug
- Schwerstangen ohne oder mit Belastungshalbschalen
- Stabilisator
- Lufthebebohrgestänge

#### Bohrwerkzeug

Für das Lufthebebohren werden im Festgestein ausschließlich Rollbohrwerkzeuge eingesetzt. Die Rollbohrwerkzeuge arbeiten bei diesem Linksspülbohrverfahren unter der Verwendung von Klarwasserspülung. Die sehr saubere Bohrlochsohle und die hydraulische Entlastung der Sohle durch die Saugwirkung der leichten Klarwasserspülung schaffen aus der Sicht der Bohrspülung ideale Voraussetzungen für die Arbeit der Rollbohrwerkzeuge. Dadurch ergeben sich letztlich, trotz der geringen spezifischen Belastung der großkalibrigen Bohrwerkzeuge, ökonomische Bohrgeschwindigkeiten und Meißelstandlängen.

Folgende Schneiddurchmesser können gegenwärtig in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung technisch realisiert werden /8/:

Schneiddurchmesser in mm

| kleinkalibriger Bereich | großkalibriger Bereich |
|-------------------------|------------------------|
| 140                     | 445                    |
| 190                     | 490                    |
| 243                     | 590                    |
| 295                     | 690                    |
| 346                     | 790                    |
| 394                     | 950                    |
|                         | 1150                   |

Auf dem Gebiet der Rollbohrwerkzeuge haben sich im Verlauf der technischen Entwicklung verschiedene Meißeltypen für den Einsatz an Lufthebebohranlagen bewährt.

### Dreikegelrollenmeißel

Für die Bohrdurchmesser im Bereich von 140 bis 490 mm werden serienmäßig hergestellte Dreikegelrollenmeißel eingesetzt. Diese Meißel müssen jedoch in ihrem Spülkanal soweit aufgebohrt werden, daß sie sich dem inneren Gestängedurchmesser von 96 bzw. 147 mm der Linksspülbohr garnitur anpassen. Diese Maßnahme ist erforderlich, da die Dreikegelrollenmeißel in der Regel für das Rechtsspülbohren hergestellt werden.

Die zulässigen maximalen Belastungen dieser Meißel werden oberhalb 243 mm Schneiddurchmesser in der Regel nicht überschreiten, da die zulässigen Hakenlasten der eingesetzten Bohranlagen dies nicht zulassen. Während im Bereich von 140 bis 394 mm mehrere Verzahnungstypen (M, S, T, K) erhältlich sind und der Preis im vertretbaren Verhältnis zur Standlänge steht, ist dies im Bereich ab 445 und 490 mm für die Flachbohrtechnik nicht mehr gegeben. Aus diesem Grunde werden, beginnend ab 394 mm Schneiddurchmesser, spezielle Rollbohrwerkzeuge mit austauschbaren Schneidrollen verwendet.

In der Tabelle 6 sind für einige Durchmesser der Dreikegelrollenmeißel Verzahnungstypen und Anschlußgewindemaße aufgeführt.

Tabelle 6. Dreikegelrollenmeißel

| Schneiddurchmesser<br>in mm | Verzahnungstypen       | Anschlußgewinde<br>in Zoll |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| 243                         | M, S, T, TK, OK        | 4 1/2-SSCH-Zapfen          |
| 295                         | M, S, ST, T, TK, K, OK | 6 5/8-REG-Zapfen           |
| 346                         | M, S, T                | 6 5/8-SSCH-Muffe           |
| 394                         | S, T                   | 6 5/8-SSCH-Muffe           |
| 445                         | S                      | 6 5/8-SSCH-Muffe           |
| 490                         | S                      | 6 5/8-SSCH-Muffe           |

Für den Anschluß dieser Meißel an den mit Flanschverbindungen ausgerüsteten Linksspülbohrgarnituren sind entsprechende Übergänge notwendig.

### Kernrollenmeißel

Beim Kernbohren gelangen Kernrollenmeißel aus SU-Importen zum Einsatz. Diese Bohrwerkzeuge sind in der Regel mit zwei Kernmeißelrollen bestückt und für die Kombination mit Kernrohr-ausrüstungen für das Rechtsspülbohren entwickelt worden. Aus diesem Grunde ist auch hier der Spülkanal für das Linksspülbohren entsprechend aufzubo-hren. Der Kernrollenmeißel ist danq mit einem Kernbrecher auszurüsten, der den Bohrkern für den hydraulischen Kerntransport stets bei einer bestimmten Länge bricht. Die Länge der Kernstücke ist abhängig von der Nennweite der Bohrgarnitur und muß garantieren, daß es beim hydraulischen Transport nicht zu Verstopfungen oder Verklemmungen kommt. Die Kernrollenmeißel werden als Einzelmeißel oder in der Kombination mit dem Universalrollenmeißel eingesetzt. Durch den Einsatz von Kernrollenmeißeln wird beim Lufthebebohren während des Bohrprozesses mit Hilfe des hydraulischen Kerntransportes ein kontinuierlicher Kerngewinn erreicht. In der Tabelle 7 sind die technischen Daten einiger Kernrollenmeißel angegeben.

Tabelle 7. Kernrollenmeißel

| Schneid-durch-messer in mm | Kern-durch-messer in mm | Ver-zahnungs-typ | Anschlußgewinde in Zoll |
|----------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|
| 243                        | 49                      | ST               | 6 5/8-SSCH-Zapfen       |
| 295                        | 49                      | ST               | 6 5/8-SSCH-Zapfen       |
| 346                        | 49                      | ST               | 6 5/8-SSCH-Zapfen       |

### Plattenrollenmeißel

Um in der Flachbohrtechnik bei Bohrdurchmessern über 445 mm die Bohrmeißel ökonomisch einsetzen zu können, wurde vom VEB Hydrogeologie Nordhausen gemeinsam mit dem VEB PWS Schmölln die

Plattenrollenmeißelreihe von 394 bis 1 150 mm Schneiddurchmesser entwickelt. Diese Reihe war durch die Modifizierung von Meißelpratzen des 243er Dreikegellrollenmeißels entstanden, in dem paarweise angeordnete Außenrollen  $A_1$  und  $A_2$  sowie Zentrumsrollen  $Z_1$  und  $Z_2$  als Grundlage für das Baukastenprinzip dienten. Die Meißelpratzen wurden auf sogenannte Zentrumsplatten bzw. Meißelbesatzplatten aufgeschweißt und mit den Platten an den jeweiligen Meißelgrundkörpern montiert. Die eigentlichen Meißelrollen wurden nur im Verzahnungstyp S hergestellt. Bei dieser Meißelentwicklung wurde bei verschlissenen Meißelrollen nur die Zentrumsplatte bzw. die Meißelbesatzplatte ausgewechselt, während der Meißelgrundkörper als Träger dieser Platten immer wieder verwendet werden konnte.

Diese Meißeltypenreihe wird gegenwärtig von der neuen Meißelreihe der Universalrollenmeißel abgelöst, wobei die im zehnjährigen praktischen Einsatz der Plattenrollenmeißel erzielten Erfahrungen übernommen wurden.

### Universalrollenmeißel

Die neu entwickelte Meißelreihe der Universalrollenmeißel besitzt als Kernstück eine modifizierte Meißelpratze, die auswechselbar (Verschraubung) ist und deren Meißelrolle in den Verzahnungstypen M und T im VEB PWS Schmölln in Serie hergestellt wird. Mit dieser Meißelpratze wird im Baukastenprinzip die gesamte Universalrollenmeißelreihe mit einem Schneiddurchmesserbereich von 394 bis 1 150 mm im Baukastenprinzip entsprechend NBS 203/01-08 realisiert /9/. Diese Meißelreihe besitzt bei jedem Meißel ein auswechselbares Zentrum, das mit verschiedenen Schneidelementen und Vorrichtungen bestückt werden kann. Somit kann bei der Verwendung nur eines Meißelgrundkörpers nach dem Baukastenprinzip ein Vollbohr-, ein Kernbohr- oder ein Erweiterungsbohrmeißel hergestellt werden. Dabei werden im Zentrum des Meißels, für das ein abgestimmter Schneiddurchmesser von 243 mm festgelegt wurde, ein entsprechender Dreikegellrollenmeißel, eine Einrollenpratze, ein Kernrollenmeißel (Bild 15) bzw. ein Pilot montiert.

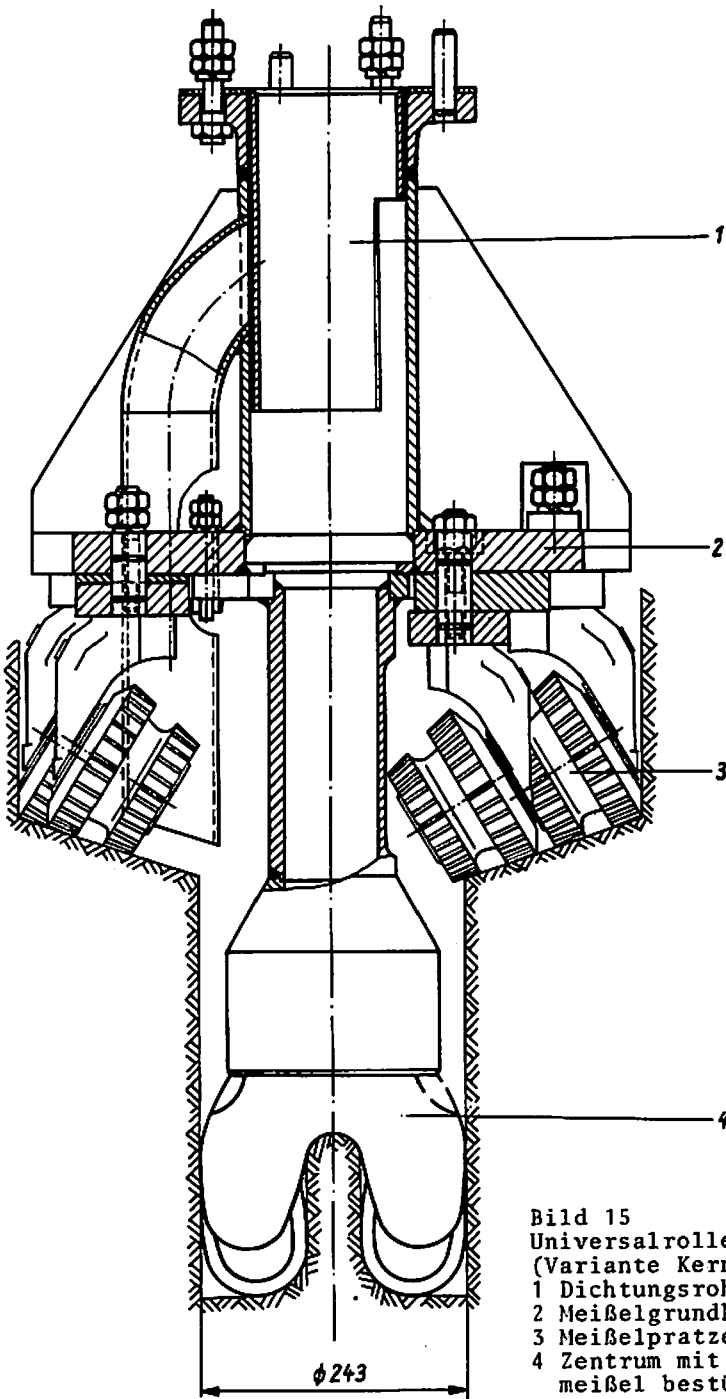


Bild 15  
 Universalrollenmeißel  
 (Variante Kernrollenmeißel)  
 1 Dichtungsrohr  
 2 Meißelgrundkörper  
 3 Meißelpratze  
 4 Zentrum mit Kernrollen-  
 meißel bestückt

Für die optimale Spülungsführung der einzelnen Meißelvarianten ist der Meißelgrundkörper mit einem Dichtungsrohr ausgerüstet, das wahlweise unterschiedlich angepaßte Spülungsführungen im Meißel und somit auf der jeweiligen Bohrlochsohle gestattet.

### Schwerstangen und Belastungshalbschalen

Schwerstangen der Lufthebebohrgarnitur sind von ihrer konstruktiven Gestaltung her normale Lufthebebohrgestänge, die mit einem Stahlmantel umgeben wurden. In dem dabei entstehenden Ringraum befindet sich Stahlschrot zur Erzielung einer größeren Masse. Die Flanschverbindung hat die gleichen Abmessungen wie beim Bohrgestänge. Die Baulänge beträgt ebenfalls 3 000 mm. Einige technische Daten der Lufthebeschwerstangen werden in Tabelle 8 angegeben.

Tabelle 8. Lufthebeschwerstangen

| Abmessungen            |                        | Masse                 |           | Einsatz ohne Belastungshalbschalen für Bohrdurchmesser in mm |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------|--|
| Außendurchmesser in mm | Innendurchmesser in mm | in Luft               | in Wasser |  |
|                        |                        | in kg m <sup>-1</sup> |           |  |
| 299                    | 147                    | 615                   | 510       | 346; 394   |
| 299                    | 96                     | 800                   | 640       | 346; 394   |
| 219                    | 96                     | 400                   | 310       | 243; 295   |

Die Schwerstangen werden zusätzlich mit Belastungshalbschalen bestückt, wenn der Schneiddurchmesser des Bohrwerkzeuges wesentlich größer als der Außendurchmesser der Schwerstange ist. Dabei werden folgende Vorteile wirksam:

- Erhöhung der Masse je Längeneinheit des Schwerstangenstranges
- Verkürzung des Schwerstangenstranges bei gleicher Gesamtmasse
- Stabilisierungseffekt, wenn der Bohrdurchmesser nur wenig größer als der Außendurchmesser der Belastungshalbschalen ist
- Erhöhung der Stabilität des Schwerstangenstranges

- Verminderung der Bruchgefahr der Flanschverbindungen der Schwerstangen durch die Überlappung dieser Verbindungen bei der Montage der Belastungshalbschalen

Bei der Montage der Belastungshalbschalen wird durch einen Stützring, der sich 500 mm über der Flanschverbindung der unteren Schwerstange befindet, die Überlappung der Flanschverbindungen erreicht. In dem Bild 16 ist der Einsatz der Belastungshalbschalen dargestellt. Die Abmessungen der Belastungshalbschalen, ihre Massen und Einsatzbereiche sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

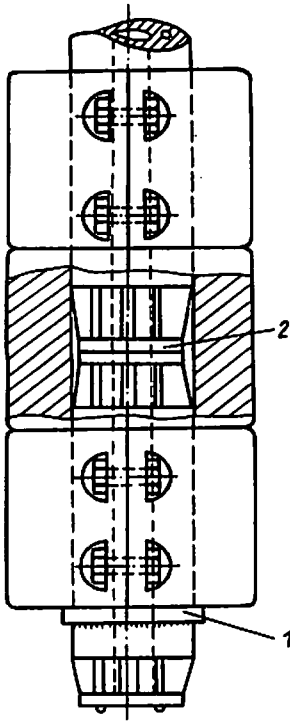


Bild 16  
Schwerstangen mit Belastungshalbschalen (schematisch)  
1 Stützring  
2 Überlappung der Flanschverbindung



Tabelle 9. Belastungshalbschalen

| Abmessungen                |                            |       | Masse      |              | Einsatz bei                      |
|----------------------------|----------------------------|-------|------------|--------------|----------------------------------|
| Außen-<br>durch-<br>messer | Innen-<br>durch-<br>messer | Länge | in<br>Luft | in<br>Wasser | Bohrdurch-<br>messer             |
| in mm                      | in mm                      | in mm | in kg      | $m^{-1}$     | in mm                            |
| 520                        | 299                        | 1000  | 955        | 830          | 590, 690, 790, 890,<br>950, 1150 |
| 420                        | 299                        | 1000  | 550        | 390          | 445, 490, 590, 690               |
| 420                        | 219                        | 1000  | 700        | 615          | 445, 490, 590, 690               |
| 320                        | 219                        | 1000  | 285        | 250          | 346, 394, 445                    |

Die Montage und Demontage der Belastungshalbschalen erfolgt mit speziellen Anschlagmitteln. In der Praxis werden bei vielen Manipulationen nur die Belastungshalbschalen an den Flanschverbindungen der Schwerstangen entfernt, um somit komplett montierte Sektionen (zwei Schwerstangen mit fünf Belastungshalbschalenpaaren bzw. eine Schwerstange mit zwei Belastungshalbschalenpaaren) bewegen zu können. Die Schraubenbrücken sind nach Einsätzen zu kontrollieren, bedarfsweise nachzuziehen und durch Splinte zu sichern. Mit der Einführung der Belastungshalbschalen konnte bei Bohrdurchmessern, die größer als der Außendurchmesser der Schwerstangen sind, bei gleicher Schwerstangengarniturlänge eine wesentlich höhere Meißelbelastung erreicht werden. Damit wurde es möglich, die zulässige Hakenlast der Bohranlagen auszunutzen und eine stabile und havariesichere Belastungsgarnitur zu schaffen, wodurch sich eine bedeutende Steigerung der Bohrgeschwindigkeit erreichen läßt.

### Stabilisator

Maßnahmen zur Stabilisierung der Bohrgarnitur sind in der Bohrtechnik wichtige technische Maßnahmen, die unter den jeweiligen Bedingungen den gesamten Bohrprozeß verbessern und rationalisieren. Der Stand der stabilisierungsgerechten Ausführung von Bohrgestängen, Schwerstangen und Bohrwerkzeugen sowie Sonder-

ausrüstungen (Stabilisatoren) kennzeichnet auch den Stand der Technologie eines Bohrverfahrens.

Beim Lufthebebohren, wo mit Bohrdurchmessern gearbeitet wird, die die Außendurchmesser vieler Elemente der Bohrgarnitur weit übertreffen, ist die Stabilisierung ein vorrangiges Problem. Hinzu kommt, daß im Teufenbereich der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung des Festgesteins viele Wechsellagerungen, Störungen, Klüfte und stark einfallende Schichten anzutreffen sind, wodurch die Bohrgarnitur zusätzlich zu Abweichungen und zum Schleifen an der Bohrlochwand neigt. Dadurch, daß die einzelnen Teile der Linksspülbohgarnitur nicht ausgewuchtet sind, zeigt diese ohne Stabilisator beim Bohren, besonders bei hohen Drehzahlen, einen sehr unruhigen Lauf. Aus den oben genannten Gründen wurde der stehende Stabilisator mit federnden Gleitbacken für die Stabilisierung der Linksspülbohgarnitur in Festgesteinsbohrungen, wie er im Bild 17 dargestellt ist, entwickelt. Dieser Stabilisator stellt eine sichere Führung für das rotierende Bohrgestänge und für die Belastungsgarnitur dar. Der Grundkörper ist mit gekapselten Wälzlagern auf einer Innenhülse gelagert. Die federnden Gleitbacken am Grundkörper verspannen sich an der Bohrlochwand in einem Bohrlochdurchmesserbereich, der von 20 mm unterhalb bis 20 mm oberhalb des jeweiligen Schneiddurchmessers des Bohrwerkzeuges reicht.

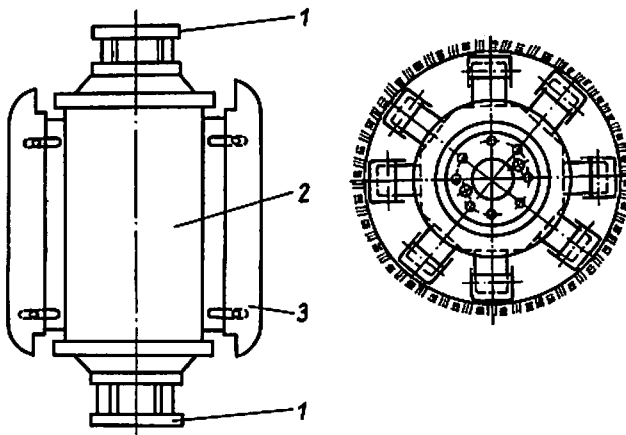


Bild 17  
Stabilisator  
1 Gestänge-  
übergang  
2 Grundkörper  
3 Gleitbacken

Diese Wirkungsweise führt dazu, daß sich der Grundkörper mit den Gleitbacken nicht dreht, entsprechend dem Bohrfortschritt an der Bohrlochwand gleitet und somit beim Bohren stabilisierend wirkt, während die Innenhülse mit ihren Verbindungen zu den anderen Bohrgarniturteilen rotiert. Diese Stabilisator konstruktion ist für die großkalibrigen Bohrungen und die vielfach wenig standfesten Bohrlochwandungen in der Hydrogeologie besonders vorteilhaft. Es kommt beim Einsatz nur zu einer geringen Drehmomentaufnahme und zur Schonung der Bohrlochwand. Dagegen gestattet die sichere Stabilisierung hohe Drehzahlen der Bohrgarnitur und somit hohe Bohrgeschwindigkeiten.

### Lufthebebohrgestänge

Das Lufthebebohrgestänge wurde bisher mit Flanschverbindungen ausgerüstet. Dieses Bohrgestänge besitzt zwei außen liegende Luftleitungen für die Führung der Druckluft der Mammutpumpe (Bild 18).

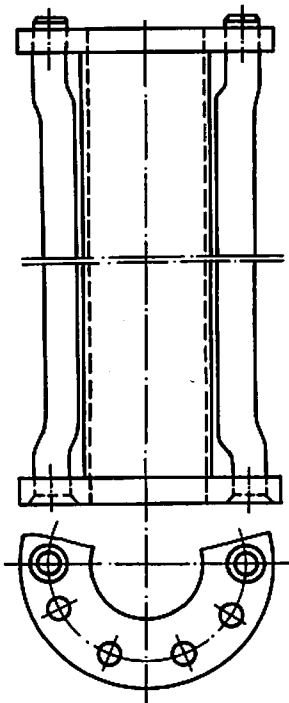


Bild 18  
Lufthebebohrgestänge  
(Flanschverbindung)

|  |                  |                  |
|--|------------------|------------------|
| Nenngröße                                | 150              | 100              |
| Lichter $\phi$ in mm                     | 147              | 96               |
| Lochkreis $\phi$ in mm                   | 240              | 160              |
| Flanschaußen $\phi$ in mm                | 280              | 200              |
| Schraubenverbindung                      | 4xM20x70<br>(8G) | 4xM16x60<br>(8G) |
| Baulänge in mm                           | 3000             | 3000             |
| in Luft                                  | 37,7             | 20               |
| Masse in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ |                  |                  |
| in Wasser                                | 32,3             | 17,5             |
| max. Zugkraft in kN (Mp)                 | 220 (22)         | 140 (14)         |
| max. Moment in kNm (Mpm)                 | 12,75            | 5,5              |
|  | (1,275)          | (0,55)           |

Für die Einführung der Druckluft in das Gestängeinnere sind die betreffenden Bohrgestänge mit einem Lufteintritt versehen. Die Baulänge des Gestänges beträgt 3 000 mm. Dieses Bohrgestänge hat den Vorteil einer einfachen Herstellung, jedoch haben die Flanschverbindungen folgende Nachteile:

- Die Gestängeverbindung ist sehr havarieanfällig (Lösen oder Bruch der Gewindebolzen).
- Die Herstellung bzw. das Lösen der Verbindung erfolgt manuell und ist zeitaufwendig.
- Die Verbindung ist ungenügend zentriert.

Um diese Nachteile auszuschalten, laufen gegenwärtig Entwicklungen, die eine Schraubverbindung beim Lufthebebohrgestänge zum Ziele haben, wie sie beim Tiefbohrgestänge üblich ist. Das Bild 19 zeigt ein solches Lufthebebohrgestänge mit Gestängeverbindern.

Dieses Lufthebebohrgestänge beinhaltet wesentliche Voraussetzungen, die für die Mechanisierung der Bohrnebenarbeiten unbedingt erforderlich sind.

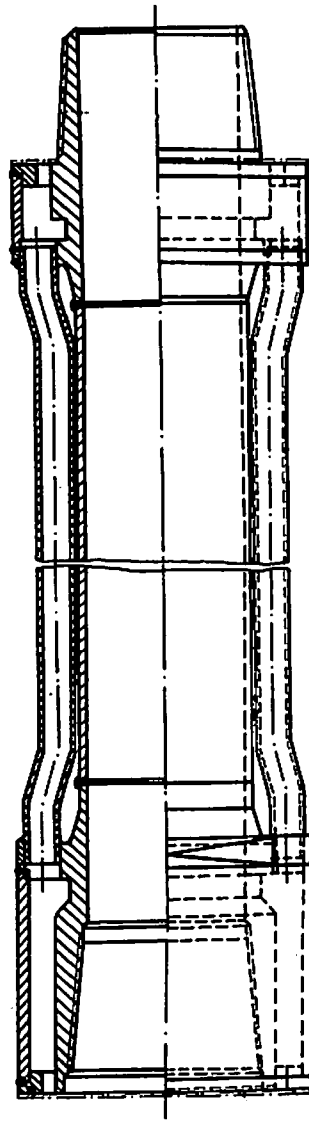


Bild 19  
Lufthebebohrgestänge  
(Schraubverbindung)

### 3.3.3. Lufthebebohrregime /11/, /12/

Zu den Parametern des Bohrregimes des Luftbohrverfahrens beim Einsatz in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung des Festgesteins gehören das Drehmoment, die Drehzahl, die Meißelbelastung und das Spülungsregime. Diese Parameter sind abgestimmt auf das Bohrprogramm, auf die bohrtechnische Ausrüstung und auf die Spezifik dieses Bohrverfahrens.

#### Drehmoment

Das Drehmoment ist eine entscheidende Größe für den Antrieb der Bohrgarnitur. Dabei ist ein maximales Moment von 10 kN·m (1 Mp·m) für alle Bohrdurchmesser bis 1 150 mm völlig ausreichend. Dieser Wert enthält Reserven für die Bewältigung aller Einsatzkomplikaionen. Diese Tatsache ist auch damit belegt, daß zum Beispiel mit dem Bohrgerät K 50 bei einem maximal erreichbaren Drehmoment von 3 kN·m (0,3 Mp·m) Bohrungen bis zu einem Durchmesser von 690 mm abgeteuft werden können. Durch die Ausrüstung der modernen Flachbohrgeräte mit Kraftspülköpfen erfolgt die Drehmomentenanpassung in der jeweils konkreten Situation des Bohrprozesses automatisch. Diese Regelung ergibt sich aus der leistungsabhängigen Steuerung der Hydrauliksysteme der Kraftspülköpfe.

#### Drehzahl

Ausgehend von dem notwendigen Bohrdurchmesserbereich, der seinen Maximalwert bei 1 150 mm erreicht, wird in einem Drehzahlbereich von 0 bis 1 s<sup>-1</sup> (0 bis 60 min<sup>-1</sup>) gearbeitet. Für diesen Drehzahlbereich sind die Kraftspülköpfe der Bohranlagen ausgelegt. Da in diesem Drehzahlbereich die Bohrgeschwindigkeit proportional mit der Erhöhung der Drehzahlen wächst, ist ständig eine maximale Drehzahl einzuhalten. Die jeweilige maximal zulässige Drehzahl ist variabel, da sie von der Kompaktheit und Beschaffenheit des zu durchteufenden Gesteins sowie von der Stabilisierung des Bohrstranges abhängig ist. Aus diesem Grunde ist nur mit Einsatz eines Stabilisators zu bohren.

## Meißelbelastung

Die Meißelbelastung als einer der Hauptfaktoren des Bohrregimes ist abhängig von der Bohrgarniturvariante, welche wiederum durch die Teufe und den Bohrdurchmesser der Bohrung bestimmt wird. Dabei muß beachtet werden, daß auf Grund der notwendigen Mobilität der Flachbohranlagen die maximale Hakenkraft begrenzt ist und somit nur maximale spezifische Meißelbelastungen von  $400 \text{ kg}\cdot\text{cm} - \text{Bohrwerkzeugdurchmesser}^{-1}$  möglich sind. Dagegen liegen optimale spezifische Meißelbelastungen zwischen  $1\ 000$  und  $1\ 600 \text{ kg}\cdot\text{cm Bohrwerkzeugdurchmesser}^{-1}$ .

Aus diesem Grunde ist der Bohrdruck so zu bemessen, daß er unter Berücksichtigung der Havarieprophylaxe und der Garantie einer möglichst geringen Bohrlochabweichung im Maximalbereich liegt. Beim Bohren in weichen plastischen Steinen (Tonstein, Schluffstein usw.) ist die Meißelbelastung in Abhängigkeit von der Spülungsführung des Bohrwerkzeuges zu variieren, um ein Zusetzen oder Verstopfen des Meißels zu vermeiden.

In Abhängigkeit von der Teufe und dem Bohrdurchmesser gestattet die Bohranlage K 50 maximale Meißelbelastungen von  $6\ 000 \text{ kg}$ , und die Bohranlage KB 400 von  $14\ 000 \text{ kg}$ .

## Spülung

Beim Lufthebebohren wird in der Hydrogeologie grundsätzlich nur Klarwasser als Spülung verwendet. Dabei ist jedoch zu beachten, daß an die Qualität des Spülungswassers hohe Anforderungen gestellt werden müssen, damit es nicht zu einer Schädigung der Grundwasserlagerstätte kommt. Dieses Problem gewinnt vorrangige Bedeutung, wenn während der Bohrarbeiten Spülungsverluste auftreten.

Der erforderliche Spülstrom ist abhängig von dem pro Zeiteinheit anfallenden Bohrgut, das heißt, die mechanische Bohrgeschwindigkeit und der Bohrdurchmesser bestimmen die notwendige Spülmengenge pro Zeiteinheit. Für die im Festgestein erreichbaren Bohrgeschwindigkeiten ist eine Spülmengenge von  $0,019$  bis  $0,025 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  ( $70$  bis  $90 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ) ausreichend, um die Bohrlochsole zu säubern und das Bohrgut auszutragen. Um diesen Spülstrom erreichen zu können, werden zwei Dieselkompressoren des

Typs DIKO 4/8 für den Betrieb der Mammutpumpe eingesetzt. Diese Kompressoren haben einen Ansaugvolumenstrom von  $0,067 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  ( $4 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ) und einen Enddruck von  $0,8 \text{ MPa}$  ( $8 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ ).

Bei luftdichtem Bohrgestänge und einem günstigen Eintauchverhältnis (Quotient aus Förderhöhe H und Eintauchtiefe T) ist auch ein DIKO 4/8 ausreichend. Unter den Bedingungen des Lufthebebohrens in der Flachbohrtechnik arbeitet die Mammutpumpe erst beginnend bei einem Eintauchverhältnis 1. Da die Förderhöhe auf Grund der Konstruktion der Bohranlagen zwischen 3 und 5 m liegt, sind für das Anbohren einer Lufthebebohrung andere geeignete Bohrverfahren (Trocken- und Saugstrahlbohren) einzusetzen.

Während des Bohrprozesses wird die Leitfähigkeit der Spülung gemessen, um Veränderungen des Chemismus des Grundwassers festzustellen. Gleichzeitig werden Spülungsverluste und Grundwasserzuflüsse zur Spülung mengenmäßig erfaßt und registriert. Diese Messungen ermöglichen wichtige Rückschlüsse auf hydrogeologische Parameter.

#### 3.4. Einschätzung des erreichten Standes des Lufthebebohrens

Das Lufthebebohrverfahren ist ein Ergebnis der auf dem Gebiet des Spülbohrens vorgenommenen Spezialisierung, wodurch neben dem Rotarybohren für kleinkalibrige Bohrdurchmesser und große Bohrteufen ein Linksspülbohrverfahren für großkalibrige Bohrdurchmesser und kleine Bohrteufen zur Verfügung steht. Das Lufthebebohrverfahren wurde durch die modifizierte Übernahme vieler technischer Entwicklungsdetails vom Rotarybohren zu einem selbständigen leistungsfähigen Brunnenbohrverfahren im Festgestein mit einer eigenen Ausrüstungskonzeption entwickelt.

Der Einsatz der Klarwasserspülung führt beim Linksspülbohren, wenn die erforderliche Wassermenge in hoher Qualität zur Verfügung steht, zu keinen unkontrollierten Beeinflussungen oder gar Schädigungen der Grundwasserlagerstätten.

In der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung des Festgesteins in der DDR ist das Lufthebebohrverfahren gegenwärtig das verbreitetste Bohrverfahren. Dieses Verfahren besitzt einen

hohen technologischen Stand und wird ständig weiterentwickelt. Dabei treten im Bereich der Gesteine mit den Bohrbarkeitsgruppen V bis VII und im Bohrdurchmesserbereich von 445 bis 790 mm mechanische Bohrgeschwindigkeiten von  $0,139 \cdot 10^{-3}$  bis  $0,556 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $0,5$  bis  $2,0 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ ) auf. Dabei werden gegenwärtig solche Technologien, wie das Bohren bei abgesenktem Wasserspiegel und das Vorbohren und Erweitern eingeführt, die die Einsatzgebiete des Lufthebebohrverfahrens wesentlich erweitern und rationalisieren.