

Hydrogeologie

Bohrverfahren im Festgestein

Von Dr.-Ing. Reinhard Lehmann
und Ing. Werner Bandlow

Mit 19 Bildern und 9 Tabellen



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie
Leipzig

Herausgegeben vom VEB Hydrogeologie, Betrieb des VEB Kombinat
Geologische Forschung und Erkundung
Leitung und Organisation: Betriebssektion der Kammer der Technik
im VEB Hydrogeologie Nordhausen

Nur für die Qualifizierung im Bereich des Ministeriums für
Geologie bestimmt.

Gutachter:

Bergingenieur Josef Knab

Ing. Dieter Quast

1. Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1980

VLN 152-915/51/80

LSV 1463

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: VEB Druckerei "Thomas Müntzer",

Bad Langensalza

Redaktionsschluß: 23.11.1979

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Anforderungen an die Bohrtechnik im Festgestein | 5 |
| 2. | Seilbohrverfahren | 8 |
| 2.1. | Anwendung des Seilbohrens im Festgestein | 8 |
| 2.2. | Wirkungsweise des Seilbohrverfahrens | 10 |
| 2.3. | Technik und Technologie des Seilbohrens | 13 |
| 2.3.1. | Bohrgerät | 13 |
| 2.3.2. | Seilbohrgarnitur | 17 |
| 2.3.3. | Schlämmwerkzeuge und Bohrkleinaustrag | 23 |
| 2.3.4. | Seilbohrregime | 24 |
| 2.4. | Einschätzung des erreichten Standes des Seilbohrens | 26 |
| 2.5. | Hammerbohren mit Versenkhämmern | 28 |
| 2.5.1. | Anwendungsgebiete des Hammerbohrens im Festgestein | 28 |
| 2.5.2. | Wirkungsweise des Hammerbohrens mit Versenkhämmern | 28 |
| 2.5.3. | Technik und Technologie des Hammerbohrens | 30 |
| 2.5.4. | Einschätzung des Hammerbohrens mit Versenkhämmern | 35 |
| 3. | Lufthebebohrverfahren | 36 |
| 3.1. | Aufgabengebiete des Lufthebebohrens im Festgestein | 36 |
| 3.2. | Wirkungsweise des Lufthebebohrverfahrens | 38 |
| 3.3. | Technik und Technologie des Lufthebebohrens | 40 |
| 3.3.1. | Bohrgeräte | 40 |
| 3.3.2. | Lufthebebohrgarnitur | 45 |
| 3.3.3. | Lufthebebohrregime | 56 |
| 3.4. | Einschätzung des erreichten Standes des Lufthebebohrens | 58 |
| | Literaturverzeichnis | 59 |
| | 2 Festgestein | 3 |

1. Anforderungen an die Bohrtechnik im Festgestein

Ausgehend von den Zielen und der Spezifik der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung, müssen an die dafür eingesetzte Bohrtechnik folgende Anforderungen gestellt werden:

- Die gesamte bohrtechnische Ausrüstung muß eine hohe Mobilität besitzen, da sich auf Grund der geringen Dauer der einzelnen Bohrungen häufige Bohrplatzwechsel ergeben.
- Die Bohrtechnik muß während ihres Einsatzes in allen Phasen umweltfreundlich sein, da zum anderen auch die Bohrarbeiten auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen bzw. in bebauten Gebieten durchgeführt werden müssen.
- Die zum Einsatz gelangenden Bohrverfahren müssen das Durchteufen der unterschiedlichen Festgesteine in einem Endteufenbereich von 5 bis 300 m und bei einem Endteufendurchmesserbereich von 100 bis 600 mm gestatten.
- Die Spülungsregime der Bohrverfahren dürfen die Grundwasserlagerstätte nicht schädigen oder verunreinigen, geklüftete und verkarstete Horizonte müssen sicher durchbohrt werden können. Für spezielle Fälle muß das Bohren bei statischem Grundwasserspiegel bzw. ohne sekundäre Spülungszugabe möglich sein.
- Die bohrtechnische Ausrüstung muß aus technischer und ökonomischer Sicht den Ausbau des Brunnens und die Durchführung der notwendigen hydrogeologischen Testarbeiten garantieren.
- Auf Grund der angespannten Situation des Wasserhaushaltes der DDR muß eine Beeinträchtigung oder die Möglichkeit einer falschen Interpretation der Ergebnisse der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung durch die bohrtechnischen Arbeiten sehr gering sein. -

Der Inhalt der Anforderungen an die Bohrtechnik zeigt deutlich, daß diese vorwiegend von den hydrogeologischen Bedingungen, unter denen diese Bohrtechnik zum Einsatz kommt, aber auch von den Qualitätsanforderungen, die an die hydrogeologische Erkun-

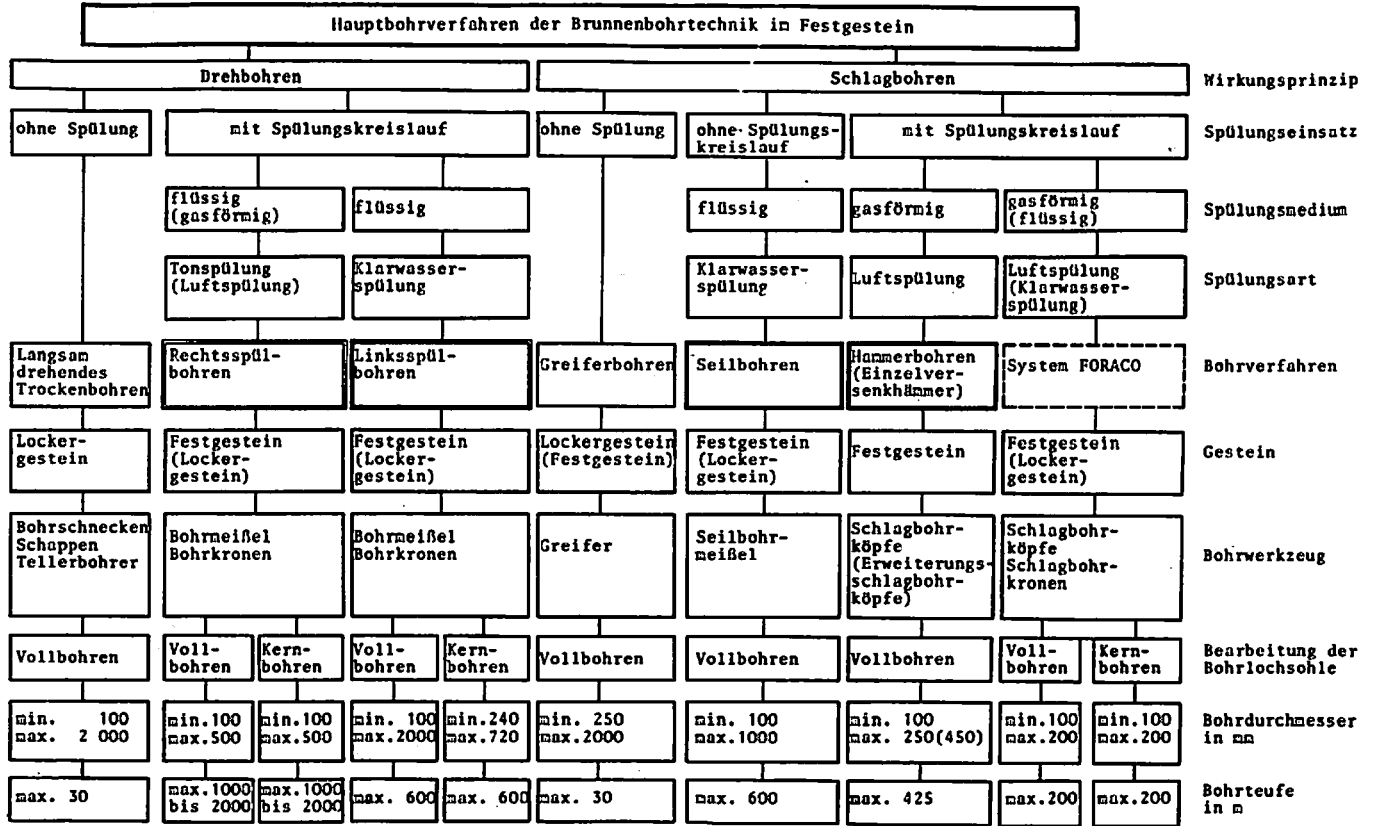


Bild 1. Hauptbohrverfahren der Brunnenbohrtechnik im Festgestein

dung und Erschließung gestellt werden, wesentlich bestimmt werden.

Die Hauptbohrverfahren, die international für die Lösung der Aufgaben und die Erfüllung der Anforderungen in der Hydrogeologie des Festgesteins eingesetzt werden, sind in Bild 1 aufgeführt. Dabei sind auch die Bohrverfahren genannt, die für das Durchteufen des Lockergesteins, das in den meisten Fällen das Festgestein mit einer bestimmten Mächtigkeit überdeckt, geeignet sind.

Für das Abteufen der Festgesteinsbohrungen für die hydrogeologische Erkundung und Erschließung in der DDR werden folgende Bohrverfahren eingesetzt:

- Seilbohren
- Linksspülbohren mit Klarwasserspülung

Beim Durchbohren der Lockergesteinsbedeckung des Festgesteins und beim Einbringen des Standrohres wird an den Bohrpunkten, wo die Bohrverfahren für das Festgestein zu diesem Zweck nicht eingesetzt werden können, mit

- dem langsamen drehenden Trockenbohren und
- dem Bohren mit Greifern

gearbeitet.

Aus technisch-ökonomischen Gründen besitzen die in der DDR eingesetzten Brunnenbohranlagen eine maximale Transportmasse von 16 t, womit gleichzeitig eine Kapazitätsbegrenzung der Bohrgeräte gegeben ist, d. h. eine maximale Hakenregelkraft von 180 kN (18 Mp) und eine Schlagmasse von 3 t. Diese Hauptparameter haben einen wesentlichen Einfluß auf den gesamten Bohrprozeß und letztlich auf die mechanische Bohrgeschwindigkeit und zeigen somit, daß besonders zugunsten einer hohen Mobilität der Bohranlagen Parameterbeschränkungen vorgenommen werden. Damit eng verbunden sind auch die Aufgaben des Einbringens des Brunnenausbaus (Filter- und Vollwandrohre sowie Kiesschüttung), der Durchführung hydrogeologischer Pump- und Testarbeiten und bestimmter Teilarbeiten der Brunnenkomplettierung, die unter Verwendung der Bohranlage durchgeführt werden.

Die richtige Wertung eines Bohrverfahrens und der notwendigen bohrtechnischen Ausrüstung ist immer nur in Verbindung mit der Gesamtzielstellung der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung möglich.

2. Seilbohrverfahren

2.1. Anwendung des Seilbohrens im Festgestein

Ausgehend von der Geologie der Grundwasserlagerstätten des Festgesteins der DDR und der sich daraus ableitenden Hauptanwendung des Linksspülbohrens und des Seilbohrens, ergeben sich in der gegenseitigen Ergänzung dieser beiden Verfahren zur Lösung aller auftretenden bohrtechnischen Probleme in der Hydrogeologie für das Seilbohren wesentliche Aufgabengebiete /2/, wenn

Situation 1

Bohrungen in Gebieten niederzubringen sind, in denen der geologische Aufbau und die hydrogeologischen Verhältnisse kompliziert und ungenügend erforscht sind,

Situation 2

bei hydrogeologischen Bohrungen süßwasserführende Grundwasserleiter von Grundwasserleitern mit hoch mineralisierten oder gar versalzenen Wässern in geringerer vertikaler Entfernung über- oder unterlagert werden,

Situation 3

Grundwasserleiter mit unbedeutendem hydrostatischem Druck erkundet oder erschlossen werden müssen,

Situation 4

es aus erkundungsmethodischen Gründen erforderlich ist, beim Bohren im Bohrloch ständig den statischen Grundwasserspiegel zu beobachten,

Situation 5

auf Grund des geologischen Baus, des Bohrprofils beim Spülbohren mit großen, bohrtechnisch nicht zu beherrschenden Spülungsverlusten zu rechnen ist oder diese beim Linksspülbohren mit Klarwasserspülung eingetreten sind,

Situation 6

es überaus erschwert ist, das für das Abteufen einer Spülbohrung notwendige Spülungsmedium in ausreichender Qualität und Menge zur Verfügung zu stellen,

Situation 7

während der Bohrarbeiten Zwischen- und Vorpumpversuche mit einem großen Zeitanteil durchgeführt werden müssen,

Situation 8

beim Bohren in Magmatit-Metamorphit-Wechsellagerungen bei gleichen mechanischen Bohrgeschwindigkeiten beim Linksspülbohren um ein Vielfaches höhere Bohrwerkzeugkosten entstehen.

Die Charakteristiken der Einsatzgebiete des Seilbohrens werden besonders dadurch geprägt, daß dieses Verfahren ohne einen Spülungskreislauf arbeitet. Dadurch wird eine Veränderung der natürlichen hydrostatischen Druckverteilung (Situationen 1, 3 und 4) und der hydrochemischen Verhältnisse (Situationen 1 und 2) weitestgehend vermieden. Die unbedeutende Beeinflussung der hydrostatischen Druckverteilung ist durch das Fehlen einer Spülungssäule oberhalb des Ruhewasserspiegels begründet, woraus sich die Charakteristik für die Situation 5 und davon abgeleitet auch für die Situation 6 ergibt. Der im Verhältnis zum Linksspülbohren beim Seilbohren geringere Gesamtgrundmittleinsatz und der niedrigere Arbeitskräftebedarf je Schicht sind die Grundlagen der Charakteristik der Situation 7.

Da bei der technischen Ausführung des Spülbohrens als Lufthebebohren für die Arbeit der Mammutpumpe eine bestimmte Eintauchtiefe des Lufteintritts erforderlich und die notwendige Bohrlochteufe bei über Tage anstehendem oder nur unter einer ge-

ringen Lockergesteinsbedeckung lagernden Festgestein nicht gegeben ist, hat sich das Seilbohren für das Durchteufen dieses Bohrlochabschnittes als sehr vorteilhaft erwiesen.

Ein besonders wichtiger Einsatzbereich ist die Anwendung des Seilbohrens in Magmatit-Metamorphit-Wechselagerungen (Situation 8). Obwohl die mechanischen Bohrgeschwindigkeiten die des Linksspülbohrens nicht übersteigen, ergibt sich doch durch die niedrigeren Bohrwerkzeugkosten ein besseres ökonomisches Ergebnis. Die ermittelten 8 hydrogeologisch-bohrtechnischen Situationen für den Einsatz des Seilbohrens lassen sich in der Praxis nicht immer in der strengen Weise trennen; die vorgenommene Aufgliederung sollte hauptsächlich dazu dienen, den Nachweis zu bringen, daß dieses Bohrverfahren viele Bedingungen erfüllt, die von keinem anderen in der gleichen Weise eingehalten werden können.

Der erreichte Entwicklungsstand der Erkundungs- und Brunnenbohrtechnik in der DDR erfordert den Einsatz des Seilbohrens aus hydrogeologischen, bohrtechnischen und ökonomischen Gründen.

2.2. Wirkungsweise des Seilbohrverfahrens /3/

Um die Einflußgrößen auf das Leistungsvermögen des Seilbohrens klar darstellen zu können, wird die Wirkungsweise dieses Bohrverfahrens in einer kurzen Erläuterung beschrieben.

Das Schema des Seilbohrens im Festgestein zeigt das Bild 2. Die Bohrgarnitur besteht aus dem Meißel (1), einer oder mehrerer Schwerstangen (2), der Rutschschere (3) - diese kommt in der Brunnenbohrtechnik in der DDR nicht mehr zum Einsatz - und der Seilmuffe (4) mit der Seilhülse (5), in der das Bohrseil (6) eingebunden ist. Das Bohrseil, welches durch die Seilmuffe, die zusammen eine Wirbelverbindung darstellen, mit der übrigen Bohrgarnitur verbunden ist, läuft über die Schlagrolle (7) in der Krone des Bohrmastes (9), über die Schlagrolle (10) der Schwinge (11) und über die Umlenkrolle (12). Das Ende des Bohrseiles ist auf der Bohrtrommel (13) befestigt. Auf die Bohrtrommel wirken eine Bremse (14) oder eine spezielle Nachlaßvor-

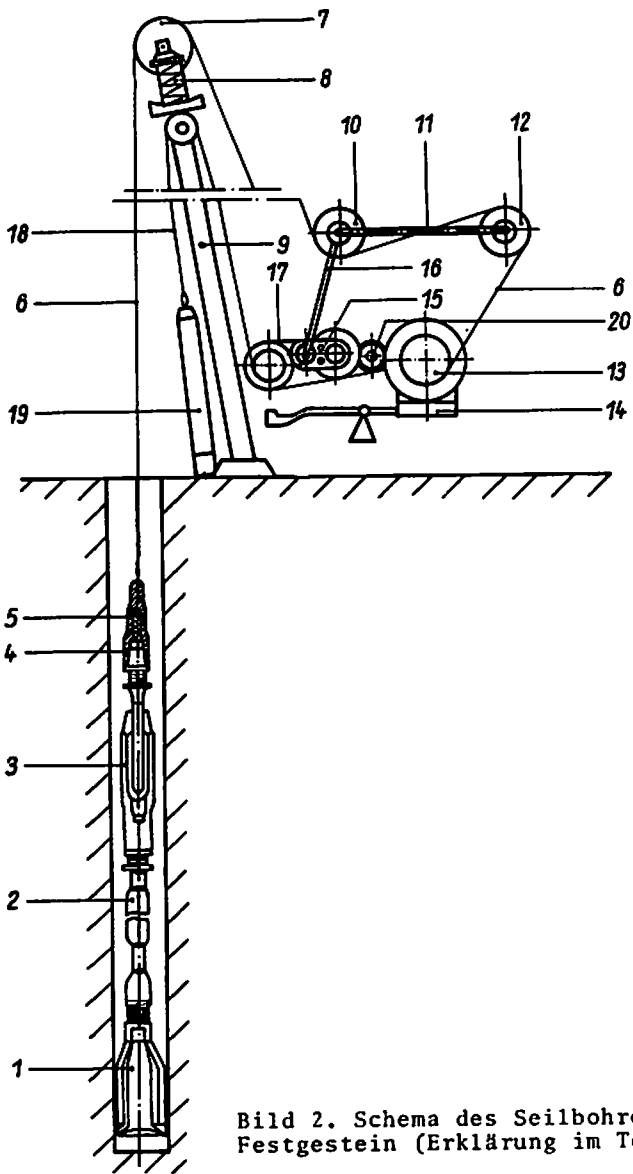


Bild 2. Schema des Seilbohrens im Festgestein (Erklärung im Text)

richtung (14). Die Schlagrolle ist auf einem Stoßdämpfer (8) gelagert. Von der Hauptwelle (20) wird die Kurbel (15) angetrieben. Die Kurbelbewegung wird mit den Pleuelstangen (16) auf die Schwinge und somit auf die Schlagrolle übertragen. Durch diese Bewegung wird mit Hilfe des über die Schlagrolle laufenden Bohrseiles die Bohrgarnitur im Bohrloch auf- und abbewegt und schlägt in der untersten Stellung auf die Bohrlochsohle, wobei eine Gesteinszerstörung erzielt wird. Um einen kreisförmigen Bohrlochquerschnitt abzubohren, muß der Bohrmeißel nach jedem Schlag mit einer bestimmten Gradzahl umgesetzt, d. h. gedreht werden. Diese Drehung wird durch die bei der Belastung des Bohrseiles mit der Bohrgarnitur im Bohrseil entstehende Drallkraft erzielt. Bei jedem Aufschlag der Bohrgarnitur auf die Bohrlochsohle wird das Bohrseil kurzzeitig entlastet und kann sich durch die Wirbelverbindung der Seilmuffe wieder vollständig entdrallen, so daß beim folgenden Hub der Bohrgarnitur im Bohrseil wieder ein Belastungsdrall zum Umsetzen des Bohrmeißels entsteht. Mit Hilfe der Bremse oder der Nachlaßvorrichtung der Bohrtrommel wird bei dem eintretenden Bohrfortschritt die Bohrgarnitur ständig der Bohrlochsohle nachgeführt.

Beim Seilbohren wird ohne Spülungskreislauf gearbeitet. Im Bohrloch muß sich jedoch soviel Wasser befinden, daß das entstehende Bohrklein in der sich über der Bohrlochsohle beim Bohren bildenden Bohrkleinsäule aufgeschlämmt werden kann. Da während des Bohrvorganges keine kontinuierliche Bohrklein-entfernung von der Bohrlochsohle und aus dem Bohrloch erfolgt, muß nach dem Abbohren eines bestimmten Teufenintervalls die Bohrgarnitur aus dem Bohrloch ausgefahren werden, um mit der Schlammtrummel (17) und dem Schlammseil (18) das Schlammwerkzeug (19) in das Bohrloch zum Entfernen des Bohrkleins einfahren zu können. Nach dem Entfernen des Bohrkleins wird die Bohrgarnitur für den nächsten Bohrmarsch in das Bohrloch eingelassen.

Diese globale Funktionsbeschreibung des Seilbohrvorganges weist schon sehr deutlich auf die Einflußgrößen des Leistungsvermögens dieses Bohrverfahrens hin. In Bild 3 (s. Beilage) ist eine Übersicht des technischen Systems des Seilbohrens im Festge-

stein in der hydrogeologischen Erkundungs- bzw. Brunnenbohrtechnik dargestellt. Die Zusammenstellung der Einflußgrößen der Systembestandteile zeigt, daß das Leistungsvermögen nicht nur von reinen bohrtechnischen Faktoren bestimmt wird, sondern auch geologische, hydrogeologische, technologische und erkundungsmethodische Probleme einen bedeutenden Einfluß ausüben.

2.3. Technik und Technologie des Seilbohrens

2.3.1. Bohrgerät

Das Bohrgerät wurde schon als ein wesentlicher Hauptbestandteil im technischen System "Seilbohren im Festgestein" für die hydrogeologische Erkundung und Erschließung herausgestellt. Als Seilbohranlagen können die Bohrgeräte UKS-30, UKS-22, FA-12 und FAP-20 eingesetzt werden /4/. In der Brunnenbohrtechnik werden Bohranlagen, bei denen das Hauptbohrverfahren das Seilbohren im Festgestein ist, als Einzweckbohranlagen eingesetzt. Dabei müssen die Hauptbaugruppen von Seilbohranlagen den spezifischen Anforderungen entsprechen.

Die Antriebsart hat für die Herstellung der Übereinstimmung der Bewegungsabläufe von Bohrgarnitur und Schlageinrichtung eine wesentliche Bedeutung. Wichtig für den Antriebssatz einer Seilbohranlage ist seine gute stufenlose Regelbarkeit, um besonders die Schlagzahlen beim Bohren genau den jeweiligen Bohrbedingungen anpassen zu können, sowie die Unempfindlichkeit gegen stoßhafte Belastungen, die beim Seilbohren auftreten.

Ein Dieselmotor mit Keilriemenvorgelege zur Drehzahlanpassung hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen und ist in der Lage, alle auftretenden stoßhaften Belastungen aufzunehmen, ermöglicht für den erforderlichen Schlagzahlenbereich eine stufenlose Regelbarkeit und ist aus energietechnischer Sicht für den Bohrfeld-einsatz sehr ökonomisch.

Das Schlagwerk stellt die zentrale Baugruppe einer als Einzweckbohranlage konzipierten Seilbohranlage dar. Von den bereits genannten Seilbohranlagen sind diese mit den in Tabelle 1 genannten Schlagwerkausführungen ausgerüstet.

Schlagwerkausführung

Tabelle 1
Aufgliederung der Schlag-
werkausführung nach
Bohranlagentyp

Schlagschwinge Freifallkurbel

UKS-30 FAP-20

UKS-22

FA-12

Für die Beurteilung der Schlagwerkausführungen ist für die Bedingungen des Seilbohrens im Festgestein die Steuerung des Bewegungsablaufes der Bohrgarnitur im Bohrloch in den von den Bohrlochbedingungen vorgegebenen Grenzen das entscheidende Kriterium. Diese Steuerung bezieht sich vorrangig auf die Abwärtsbewegung der Bohrgarnitur, da nur am Ende dieser Bewegungsphase Zerstörungsarbeit auf der Bohrlochsohle geleistet wird. Diese Steuerung ist hauptsächlich in Tonstein-Wechsellagerungen notwendig, da sich im Tonstein auch bei den relativ niedrigen maximal erreichbaren Schlaggeschwindigkeiten der Bohrmeißel und damit die gesamte Bohrgarnitur festschlagen kann. Aus diesem Grunde ist unter dem Gesichtspunkt des hohen Anteils der Tonstein-Wechsellagerungen mit 74,5% am Bohrprogramm bei den Brunnenbohrungen im Festgestein in der DDR die Schlagschwinge der Freifallkurbel überlegen.

Das Hebewerk hat mit der Nachlaßvorrichtung, die auf die Bohrtrommel wirkt, auf Grund der spezifischen Bohrtechnologie des Seilbohrens im Festgestein eine besondere Bedeutung. Um die gestellten Anforderungen erfüllen zu können, muß das Hebewerk drei Seiltrommeln besitzen, und zwar die

Bohrtrommel

Schlämmtrommel

Fördertrommel.

Die Nachlaßvorrichtung ist für die Regulierung des Bohrregimes beim Seilbohren im Festgestein von großer Wichtigkeit. Es muß ein zentimetergenaues Nachlassen der Seilbohrgarnitur auch unter der Einwirkung der hohen dynamischen Belastungen während des Bohrvorganges garantiert sein.

Das Bohrseil stellt in der Seilbohrtechnik die Verbindung zwischen dem über Tage befindlichen Bohrgerät und der im Bohrloch befindlichen Seilbohrgarnitur dar. Dabei dient es einerseits als Förderseil für den Ein- und Ausbau der Bohrgarnitur und zum anderen hat es die vorrangige Aufgabe, die Kraftübertragung für den Bohrprozeß auf der Bohrlochsohle und die damit verbundene Steuerung dieses Prozesses zu garantieren. Für die Belastung dieser Seile bedeutet das, daß sie große schwellende dynamische Beanspruchungen dauernd ertragen müssen. Trotz dieser Beanspruchungen muß ein Bohrseil noch einen hohen Belastungsdrall entwickeln, der für ein erfolgreiches Seilbohren im Festgestein unerläßlich ist.

Diese Einsatzbedingungen und Anforderungen stellen für Drahtseile einen Spezialfall mit einem sehr geringen Anwendungsbereich dar. Hier ist auch die Ursache dafür zu suchen, daß Rundlitzendrahtseile aller Hauptmacharten abhängig vom Seilangebot eines jeden Landes für das Seilbohren Verwendung finden. In der DDR hat das Seil E 24 x 160 z/S, TGL 17 555, die besten Eignungen für den Einsatz beim Seilbohren im Festgestein nachgewiesen. Dieses linksgängige Kreuzschlagseil in WARRINGTON-Machart wird als Bohrseil allen planmäßig auftretenden Anforderungen gerecht. Da die bei der Belastung des Bohrseiles auftretende Elastizität erst bei einer Seillänge, die einer Bohrteufe von etwa 30 m entspricht, für das Seilbohren eine genügende Größe erreicht, muß bei geringeren Teufen durch eine veränderte Vorspannung des Stoßdämpfers die noch fehlende Elastizität kompensiert werden. Für diese zusätzliche Aufgabe des Stoßdämpfers hat sich die Anordnung desselben in der Schlagschwinge und in der Ausführung als Schraubenfeder mit einer Gesamtfederkonstante von $24\ 000\ \text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($2\ 400\ \text{kp}\cdot\text{cm}^{-1}$) besonders bewährt, da das traditionelle Anbringen des Stoßdämpfers in der Krone des Bohrmastes und in der Ausführung mit Gummischeiben eine Elastizitätskompensation nur ungenügend gestattet.

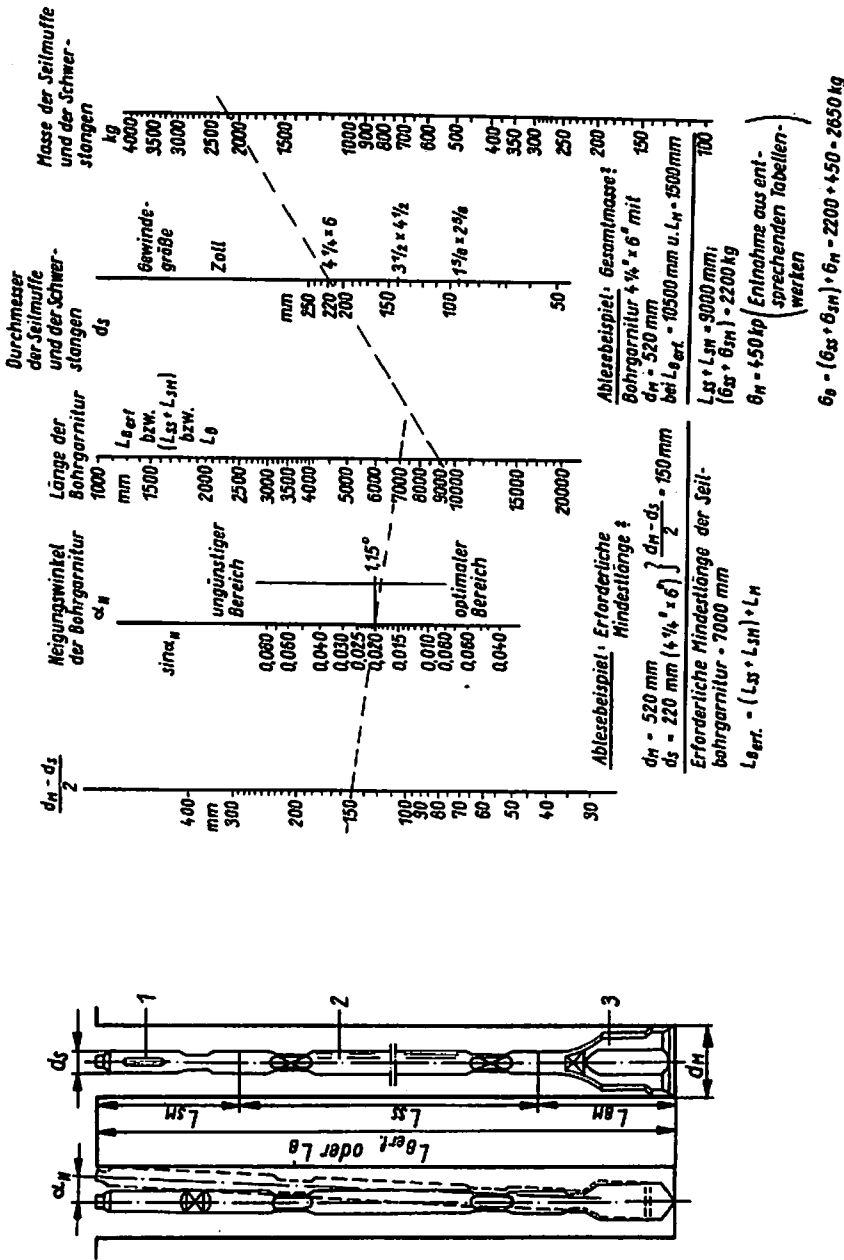


Bild 4. Bestimmung der erforderlichen Mindestlänge L_B erf und der Gesamtmasse G_B der Seilbohr-garnitur
 1 Seilmuffe; 2 Schwertstange oder Schwertstangen; 3 Bohrmeißel; L Länge in mm; G Masse in kg;
 d_M Schneidenmaß des Bohrmeißels in mm; d_S Seilmuffen- und Schwertstangendurchmesser in mm
 Indizes: B Bohrgarnitur; M Bohrmeißel; SS Schwertstangen; SH Seilmuffe

2.3.2. Seilbohrgarnitur

Aufbau der Seilbohrgarnitur

Der in Bild 4 angegebene Aufbau der Bohrgarnitur enthält nicht die international gebräuchliche Rutschschere.

Auf Grund der großen Differenz zwischen dem Bohrdurchmesser und dem Bohrgarniturdurchmesser in der Brunnenbohrtechnik führt die Bohrgarnitur im Bohrloch Taumelbewegungen aus, wodurch es auch auf Grund der großen Bohrgarniturmasse zu Brüchen der Rutschscheren kommen kann. Weiterhin können durch den Einsatz einer Rutschschere 15 bis 20% der Bohrgarniturmasse nicht als Schlagmasse genutzt werden.

Damit sind

- der Bohrmeißel,
- eine oder mehrere Schwerstangen und
- die Seilmuffe mit der Seilhülse

die Hauptbestandteile der Bohrgarnitur. Für eine Seilbohrgarnitur in ihrer Gesamtheit sind die

- Länge,
- Durchmesserhältnisse zum Bohrdurchmesser und
- Masse

entscheidende Kriterien.

Das Nomogramm des Bildes 4 zeigt deutlich, daß die Gesamtlänge der Bohrgarnitur und das Verhältnis der Seilmuffen- bzw. der Schwerstangendurchmesser zum Bohrdurchmesser einen entscheidenden Einfluß auf die maximal erreichbare Schlagzahl ausüben.

Bohrwerkzeug

Auch beim Seilbohren im Festgestein ist die zentrale Bedeutung der Bohrwerkzeuge für die Effektivität dieses Verfahrens voll gegeben. Dabei sind in der konstruktiven Ausführung Bohrwerkzeuge erforderlich, die

- eine gute Anpassung der Meißelschneide an das zu durchbohrende Gestein,

- einen niedrigen hydrodynamischen Widerstand zur Erzielung einer hohen Schlaggeschwindigkeit bei gleichzeitiger intensiver Bohrkleinaufschlammung,
- ein rundes Bohrloch bei niedriger Umsetzkraft und
- eine kostensparende Regenerierung derselben garantieren.

Basis für die Ausführung des Bohrwerkzeuges muß stets das Bohrprogramm sein. Aus diesem Grunde wird der in dem Bild 5 dargestellte Seilbohrmeißel eingesetzt. Dieser Meißel besitzt für die unterschiedlichen Gesteine lediglich zwei Winkelgrößen der Meißelschneide, und zwar 1,571 rad und 2,094 rad (90° und 120°). Durch Auftragsschweißungen wird die Meißelschneide bei Verschleißerscheinungen regeneriert, und der vorgegebene Winkel der Meißelschneide (s. Tabelle 3) wird ständig den konkreten Bohrbedingungen genau angepaßt.

Der hohe Anteil von Tonstein-Wechsellagerungen des geologischen Profils im Teufenbereich der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung im Festgestein der DDR hat abhängig von der Zusammensetzung des Tonsteins sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Einsatz des Seilbohrverfahrens.

Zur Vermeidung der durch diese besonderen geologischen Bedingungen hervorgerufenen bohrtechnischen Schwierigkeiten werden Nachräumer eingesetzt (s. Bild 5). Dieser Nachräumer ist so ausgeführt, daß er innerhalb kurzer Zeit montiert bzw. demon­tiert werden kann. Die stegförmigen Arbeitsschneiden des Nachräumers zerkleinern bei der Bewegung des Bohrmeißels die sich an der Bohrlochwand befindenden Zusammenballungen des Tonsteins und gestatten so ein komplikationsloses Ausfahren der Bohrgarnitur nach einem Bohrmarsch.

Schwerstangen und Seilmuffe mit Seilhülse

Während des Schlagbohrvorganges treten in der Bohrgarnitur nicht nur hohe dynamische Belastungen in axialer Richtung auf, sondern auch bedeutende Biegewechselbeanspruchungen müssen von der gesamten Bohrgarnitur ertragen werden.

Aus diesem Grunde müssen folgende konstruktive Gestaltungsfragen beachtet werden:

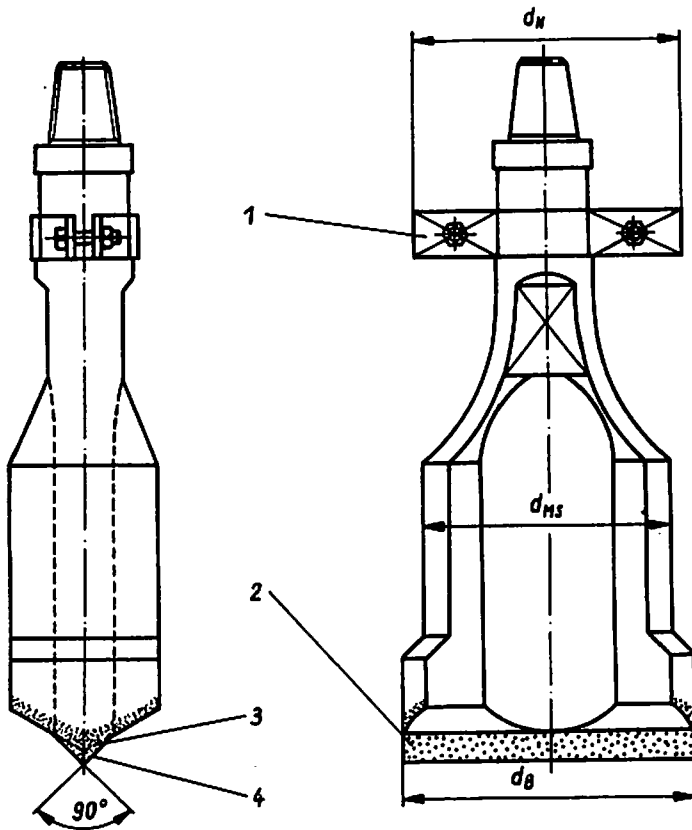


Bild 5. Seilbohrmeißel (mit Nachrührer)

1 Nachrührer

$$d_N = d_B + d_{MS}$$

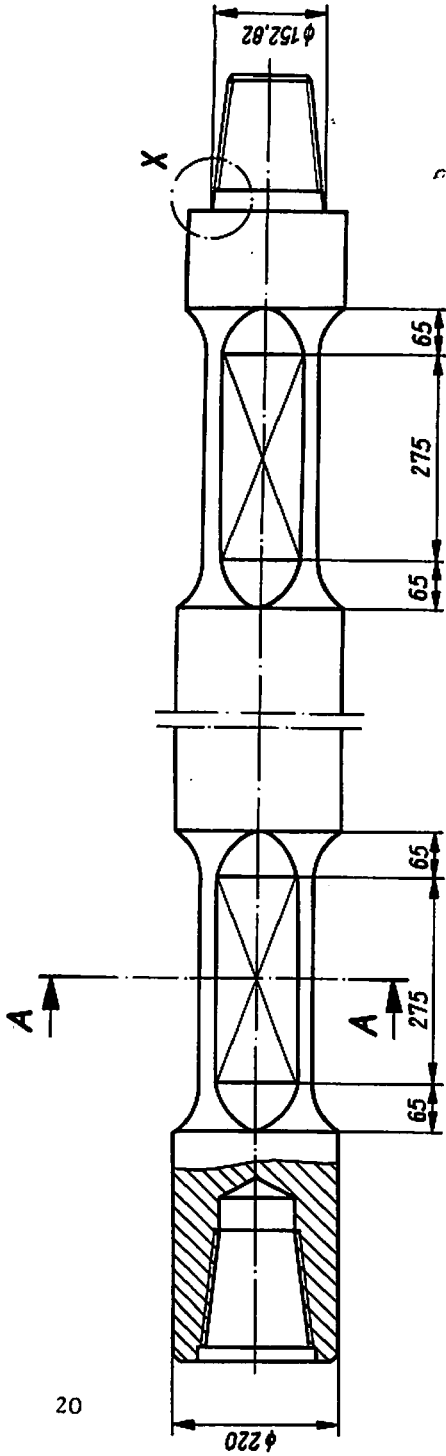
2

2 Zonen der Auftragsschweißung

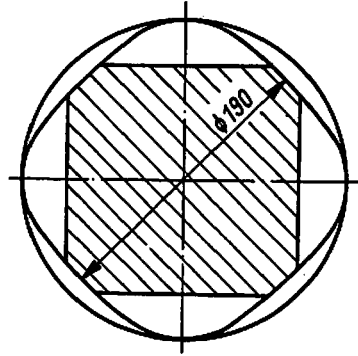
3 Verlauf der Meißelschneide bei 120° Meißelschneidenwinkel

4 Vorschneide bei 90° Meißelschneidenwinkel

- Weglassen der Fangrillen, verbunden mit dem Einsatz von Fangwerkzeugen, die im Bereich der Schlüsselflächen angreifen
- Einhaltung großer Übergangsradien der Schlüsselflächen und gleichzeitiges Abdrehen der Schlüsselflächenkanten
- Abschleifen der Bearbeitungsflächen im Bereich der Schlüsselflächen



Schnitt A-A



Einzelheit X

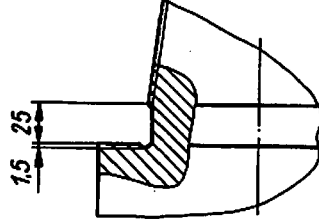


Bild 6. Darstellung der Konstruktionsmerkmale der Seilbohrschwerstangen 4 1/4" x 6" - Schwertstangenausführung

- Einhaltung der erforderlichen Mindestlänge der Seilbohrgarnitur entsprechend Bild 4, um durch die Verringerung der Amplitude der Taumelbewegungen der Bohrgarnitur die Biegewechselbeanspruchungen herabzusetzen

Damit erhält eine Seilbohrschwerstange die im Bild 6 am Beispiel einer 4 1/4" x 6" - Schwerstangenausführung dargestellten Konstruktionsmerkmale.

Durch die Herausnahme der Rutschschere aus der Seilbohrgarnitur ist es notwendig, eine neue Möglichkeit für den Bohrseillängenausgleich zu schaffen, um Bohrseilbrüche über der Seilmuffe zu vermeiden. Diese Funktion wird durch eine veränderte Konstruktion der Seilmuffe von derselben übernommen, die eine vertikale Verschiebung der mit dem Bohrseil verbundenen Seilhülse um etwa 400 mm gestattet.

Gewindeverbindungen

Die Verbindung zwischen den einzelnen Hauptbestandteilen der Seilbohrgarnitur wird durch Gewindeverbindungen hergestellt. Dieses keglige Gewinde ist ausgehend von den API- und GOST-Standards in der TGL O-4938 für die DDR standardisiert worden. Dabei ist zu beachten, daß das Gewinde unbedingt mit einer Entlastungsrille ausgeführt werden muß (s. Bild 6). Häufige Havarieursache beim Seilbohren ist besonders das unkontrollierte Lösen der Gewindeverbindungen der Bohrgarnitur im Bohrloch. Mit dem im Bild 7 dargestellten Diagramm können für alle in der TGL O-4938, Bl. 2, aufgeführten Seilbohrgarniturdimensionen die erforderlichen Verschraubmomente ermittelt werden. Der darin gezeigte Streubereich verdeutlicht den großen Einfluß des Reibungskoeffizienten μ , der durch den Zustand der Gewindeverbindungen und deren Pflege besonders beeinflußt wird. Die erforderlichen Drehmomente für das Verschrauben werden mit Hilfe von entsprechenden Hubzügen oder einer Sonderkonstruktion am Bohrgerät erzeugt und mit dazugehörigen Schlüsseln auf die Gewindeverbindungen übertragen.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Zuordnung der Gewindegrößen zu den Schneiddurchmessern der Meißel. Dabei steht das Ziel im Vordergrund, bei einer vorgegebenen Seilbohrgarniturlänge eine

maximale Schlagmasse zu erhalten, da mit der Gewindenenngröße gleichzeitig der Außendurchmesser der Schwerstangen festgelegt ist (s. Tabelle 2).

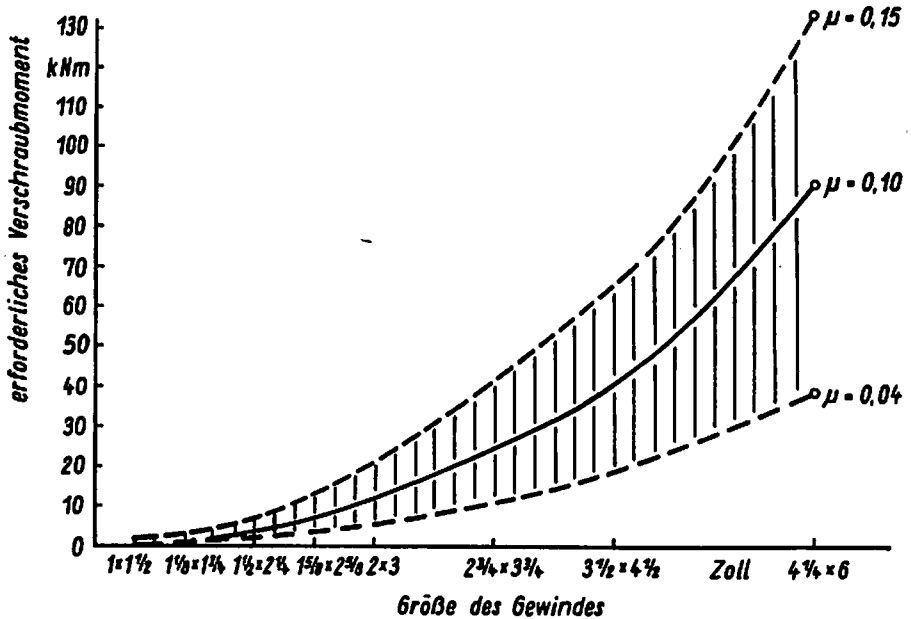


Bild 7. Erforderliches Verschraubmoment von Gewindeverbindungen von Seilbohrgarnituren

Tabelle 2. Kombination der Schneiddurchmesser der Seilbohrmeißel und der Gewindegrößen

| | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|
| Schneiddurchmesser | 140 | 243 | 346 | 346 | 490 | 690 |
| der Seilbohrmeißel | | | | 394 | 590 | 790 |
| in mm | 190 | 295 | 394 | 445 | | |
| Gewindegrößen | | | | | | |
| in Zoll | $1 \frac{5}{8} \times 2 \frac{5}{8}$ | $3 \frac{1}{2} \times 4 \frac{1}{2}$ | $4 \frac{1}{4} \times 6$ | | | |

2.3.3. Schlammwerkzeuge und Bohrkleinaustrag

Da beim Seilbohren ohne Spülungskreislauf gearbeitet wird, muß nach dem Abbohren eines bestimmten Bohrintervalls die Bohrgarnitur aus dem Bohrloch ausgefahren werden, um das über der Bohrlochsohle befindliche Bohrklein austragen zu können. Der Bohrkleinaustrag erfolgt mit einem Schlammwerkzeug. Dabei kommen Spatenventile /5/ oder Kiespumpen der TGL 23 974, Bl. 8, zum Einsatz.

Ein Schlammwerkzeug muß neben seiner Hauptaufgabe auch gleichzeitig ein Kalibrieren des Bohrloches ermöglichen, um sofort zu erkennen, daß infolge des fehlenden Umsetzens des Bohrmeißels beim Bohren kein vollkommen rundes Bohrloch entstanden ist, wodurch Havarien verursacht werden können.

Dazu ist eine entsprechende Abstimmung der Schneiddurchmesser der Seilbohrmeißel mit den Nennmaßen der Schlammwerkzeuge notwendig, wie es im Bild 8 angegeben ist.

| Schneiddurchmesser der Seilbohrmeißel in mm | 140 | 190 | 243 | 295 | 348 | 394 | 445 | 490 | 590 | 690 | 790 |
|---|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Schlammwerkzeug (Nennmaß nach TGL 23 974, Blatt 8) in mm | 80 (60 bis 110) | | | | | | | | | | |
| | 112 (78 bis 128) | | | | | | | | | | |
| | 140 (50 bis 150) | | | | | | | | | | |
| | 175 (65 bis 165) | | | | | | | | | | |
| | 226 (67 bis 167) | | | | | | | | | | |
| | 332 (58 bis 158) | | | | | | | | | | |
| | 426 (64 bis 194) | | | | | | | | | | |
| | (92 bis 192) 528 | | | | | | | | | | |
| | (100 bis 200) 620 | | | | | | | | | | |

Bild 8. Kombination der Schneiddurchmesser der Seilbohrmeißel von Seilbohrgarnituren

Beim Schlämmvorgang ist es besonders wichtig, stets eine Restbohrkleinsäule im Bohrloch zu belassen, um beim nachfolgenden Meißelmarsch bereits eine für das neu entstehende Bohrklein aufnahmefähige Bohrkleinsäule zur Verfügung zu haben.

2.3.4. Seilbohrregime /6/

Zu den Parametern der Bohrregime beim Seilbohren im Festgestein gehören

- Schlagmasse
- Schlaghöhe
- Schlagzahl
- Meißelüberhang
- Wechselfolge zwischen dem Bohr- und dem Schlämmvorgang innerhalb eines Gesamtbohrmarsches
- Winkel der Meißelschneide

Schlagmasse, Schlaghöhe und Schlagzahl werden in ihren maximal und minimal zu erreichenden Werten von den Parametern des Bohrgerätes dominierend beeinflusst. Die Tatsache, daß die stärkste Entwicklung des Seilbohrens von außerhalb der Brunnenbohrtechnik stehenden bohrtechnischen Zweigen vorangetrieben wurde, hat sich besonders auf diese Parameter des Bohrregimes ausgewirkt, da die in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung dominierenden Bohrdurchmesser in den anderen Einsatzgebieten des Seilbohrens nur eine untergeordnete Bedeutung besitzen.

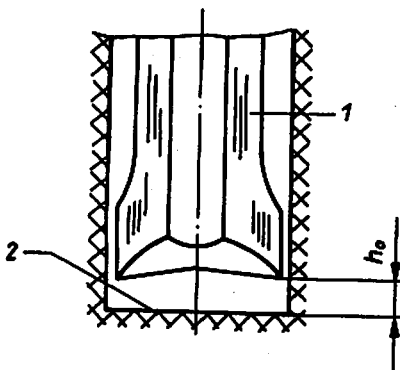


Bild 9
Schema des Meißelüberhangs h_0
1 Seilbohrmeißel
2 Bohrlochsohle

Tabelle 3. Zusammenstellung der Seilbohrregime

| | | UKS-30 M | | E 24 x 160 z/S, TGL 17 555 | | 0 bis 200 m | |
|---|---|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|---------------------|--|
| Bohranlage: Bohrseil: Teilenbereich: | | | | | | | |
| Winkel der Meißelschneide | Gestein | Bohr- durch- messer | Schlag- masse | Schlag- höhe | Schlagzahl zu Beginn des Bohrmarsches | Meißel- überhang | Wechsel vom Bohrvorgang zum Schlamm- vorgang beim Absinken der Schlagzahl auf |
| in rad (in grd) | | in mm | in t | in mm | in s ⁻¹ (in min ⁻¹) | in mm | in s ⁻¹ (in min ⁻¹) |
| 1,308...1,571 (75...90) | Kalkstein-Ton- stein-Wechsel- lagerung | 490 490 690 790 | 2,2 2,6 3,0 3,0 | 820 | 0,70 (42) 0,67 (40) 0,60 (36) 0,55 (32) | 30...50 | 0,63 (38) 0,60 (36) 0,53 (32) 0,47 (28) |
| 1,483...1,745 (85...100) | Sandstein-Ton- stein-Wechsel- lagerung | 490 590 690 790 | 2,2 2,6 3,0 3,0 | 820 | 0,70 (42) 0,67 (40) 0,60 (36) 0,55 (32) | 50...70 | 0,63 (38) 0,60 (36) 0,53 (32) 0,47 (28) |
| 1,308...1,571 (75...90) oder 1,483...1,745 (85...100) | Tonstein | 490 590 690 790 | 2,2(1) 2,6 3,0 3,0 | 820 | 0,63 (38) 0,58 (35) 0,50 (30) 0,45 (27) | 0 | 0,57 (34) 0,52 (31) 0,43 (26) 0,37 (22) |
| entsprechend der Wechsel- lagerung | | | | | | | |
| 2,007...2,269 (115...130) | Magmatit- Metamorphit- Wechsel- lagerung | 490 590 690 790 | 3,0 3,0 3,0 3,0 | 820 (600) | 0,70 (42) 0,67 (40) 0,60 (36) 0,52 (32) | 70...90 | 0,63 (38) 0,60 (36) 0,53 (32) 0,47 (28) |

1) Die angegebene Schlagmasse ist nur mit dem Wert, der ein Festschlagen des Bohrwerkzeuges aus-
schließt, einzusetzen.

Der Meißelüberhang ist im Bild 9 dargestellt. Er ist der Abstand zwischen der Bohrlochsohle und der Meißelschneide, wenn sich der Seilbohrmeißel mit der Seilbohrgarnitur in der unteren Ruhelage befindet. Dieser Überhang ist erforderlich, damit durch die Elastizität des Bohrseiles und des Stoßdämpfers der Rückhub der Bohrgarnitur unterstützt und somit zusätzlich beschleunigt wird. Dadurch tritt eine Entlastung des Schlagwerkes ein, und gleichzeitig werden die Taumelbewegungen der Bohrgarnitur beim Aufschlag des Bohrmeißels auf die Bohrlochsohle gedämpft. Die Wechselfolge zwischen dem Bohr- und dem Schlämmvorgang ist auf Grund des diskontinuierlichen Bohrgutaustrages beim Seilbohren im Festgestein wesentlich für eine maximale Bohrgeschwindigkeit. Der Zeitpunkt für den Beginn des Schlämmvorganges wird dadurch charakterisiert, daß durch die entstehende Bohrkleinsäule die Widerstände beim Schlagvorgang anwachsen und es zu einer Verringerung der Schlagzahl und damit der Bohrgeschwindigkeit kommt.

Der Winkel der Meißelschneide des Bohrmeißels soll in diesem Zusammenhang zum Bohrregime gezählt werden, da diese Kenngröße auf Grund der großen dynamischen Belastungen besonders sorgfältig auf das jeweilige Gestein abgestimmt werden muß. Dabei wird die Größe des Schneidenwinkels bis in die unmittelbare Nähe des Wertes verringert, wo bei einem Unterschreiten abhängig vom Gestein während des Schlagbohrvorganges Meißelschneidenbrüche auftreten. Die in der Tabelle 3 enthaltenen Bohrregime garantieren ausgehend von den geologischen Bedingungen und Kennwerten des Bohrprogramms eine volle Kapazitätsauslastung des Bohrgerätes und somit auch eine hohe Effektivität der Bohrarbeiten.

2.4. Einschätzung des erreichten Standes des Seilbohrens

Bei der Einschätzung des Seilbohrens im Festgestein in der Brunnenbohrtechnik der DDR sind die Bohrdurchmesser-Verhältnisse und Bohrteufen mit den damit verbundenen hydrogeologischen Bedingungen und Forderungen von entscheidender Bedeutung. Dabei werden auf den technisch-ökonomischen Teilgebieten, wo eine gleiche

Ausgangsbasis gegeben ist, Vergleiche mit dem parallel zum Einsatz kommenden Linksspülbohrverfahren gezogen.

Die Ermittlung der Bohrwerkzeugstandlänge ist beim schlagenden Bohren an andere Bedingungen geknüpft als beim drehenden Bohren, da beim Seilbohrmeißel jede auftretende Verschleißerscheinung der Meißelschneide durch eine elektrische Auftragsschweißung wieder regeneriert wird. Das führt dazu, daß die spezifischen Bohrwerkzeugkosten beim Seilbohren, dargestellt als Bohrwerkzeugkosten pro Bohrmeter, wesentlich unter denen des Linksspülbohrens liegen. Diese Tendenz ist besonders stark beim Bohren in Magmatit-Metamorphit-Wechselagerungen ausgeprägt. Für die Leistungsfähigkeit der Bohrwerkzeuge und des entsprechenden Bohrregimes ist die mechanische Bohrgeschwindigkeit v_{mech} eine wichtige Kenngröße. Die für das Seilbohren teilweise niedrigeren Werte von v_{mech} werden bei Effektivitätsbetrachtungen durch geringeren Grundmitteleinsatz, geringere Bohrwerkzeugkosten und durch den Einsatz von zwei Arbeitskräften in der Schicht beim Seilbohren gegenüber dem Linksspülbohren wieder kompensiert. Das führt dazu, daß beim Vergleich der auf eine Arbeitskraft bezogenen Leistungseinheiten das Seilbohren die gleichen Produktivitätskennziffern erreicht wie das Linksspülbohren. Es kann eingeschätzt werden, daß das Seilbohren mehr leistet, als nur die im Abschnitt 2.1. genannten, vom Linksspülbohrverfahren nicht zu bewältigenden Bedingungen und Forderungen in der Rolle des einzigen Alternativverfahrens unter Vernachlässigung der ökonomischen Ergebnisse zu erfüllen. Das bedeutet, daß der ökonomische Einsatz dieses Bohrverfahrens gleichberechtigt in einer hydrogeologisch und bohrtechnisch begründeten gegenseitigen Ergänzung mit dem Linksspülbohrverfahren gegeben und notwendig ist.

Im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung des Seilbohrverfahrens als schlagendes Bohrverfahren wird gegenwärtig der Einsatz eines weiteren Schlagbohrverfahrens für die hydrogeologische Erkundung und Erschließung des Festgesteins vorbereitet - das Bohren mit Versenkhammern.

2.5. Hammerbohren mit Versenkhämmern

2.5.1. Anwendungsgebiete des Hammerbohrens im Festgestein

Das Bohren mit Versenkhämmern, die auch Versenkhammer, Tieflochhämmer, Unterflurhämmer oder Tauchhämmer genannt werden, stellt gegenwärtig eine progressive Entwicklung der schlagenden Bohrverfahren dar und beginnt in der jüngsten Zeit, sich auch in der Brunnenbohrtechnik im Festgestein durchzusetzen (englisch "hammerdrill").

Ausgehend von einer hydrogeologisch begründeten Bohrdurchmesser-
verringering in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung des Festgesteins in der DDR und des damit verbundenen Anteils von 25% der Festgesteinsbrunnen mit einem Endbohrdurchmesser ≤ 300 mm, ergeben sich für den Einsatz der Versenkhammer als Einzelhammer entsprechende Aufgabengebiete. Diese sind das Abteufen von Brunnenbohrungen in dem genannten Endbohrdurchmesserbereich in Magmatiten, Metamorphiten, Sandsteinen (mit quarzitischem Bindemittel) und Kalksteinen. Die Endbohrdurchmesser unterhalb 300 mm werden sich in der DDR besonders in Magmatiten und Metamorphiten einsetzen lassen, da der Mittelwert der Brunnenförderleistung in diesen Gesteinen nur $3,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($12,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) beträgt.

2.5.2. Wirkungsweise des Hammerbohrens mit Versenkhämmern

Nach BERUBE /13/ wird die Entwicklung des mit Druckluft arbeitenden Hammerbohrens in drei Generationen eingeteilt:

1. Generation

- Anordnung des Bohrhammers mit Rotationseinrichtung über Tage
- Einsatz von Hohlgestänge
- Ausführung der Bohrkronen als Stahlkronen

2. Generation

- Anordnung des Bohrhammers mit Rotationseinrichtung über Tage

- Einsatz von Hohlgestänge
- Ausführung der Bohrkronen mit Hartmetallschneidelementen

3. Generation

- Anordnung des Bohrhammers ohne Rotationseinrichtung unter Tage
- Anordnung der Rotationseinrichtung über Tage
- Einsatz von Hohlgestänge
- Ausführung der Bohrkronen mit Hartmetallschneidelementen

Der wesentliche Qualitätssprung der dritten Generation liegt in der Anordnung des Bohrhammers direkt über der Bohrkronen und in der Trennung der Rotationseinrichtung von dem sich dadurch ergebenden Unterflurhammer, wodurch dieser nur noch zur Erzeugung der notwendigen Schlagenergie dient. Die erforderliche Rotationsbewegung wird durch einen separaten Antrieb von über Tage mit dem Bohrgestänge auf das Bohrwerkzeug übertragen. Die gesamte technische Ausführung des Bohrens mit Versenkhammern reduziert wesentlich die bei den ersten beiden Generationen entstehenden Übertragungsverluste, da die Schlagenergie des Schlagkolbens des Versenkhammers (Bild 10) direkt auf die Bohrkronen übertragen wird.

Die Druckluft dient beim Bohrverfahren zur Übertragung der Arbeitsenergie für den Versenkhammer und gleichzeitig als Spülungsmedium. Dabei wird die Druckluft im Bohrgestänge zum Versenkhammer geführt und steigt nach der Abgabe der Arbeitsenergie im Bohrhammer durch den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Bohrgestänge unter Mitnahme des Bohrkleins nach über Tage auf. Der Luftvolumenstrom ergibt sich aus den Kenndaten des Versenkhammers und muß nach /13/ so bemessen sein, daß für den Austrag des Bohrkleins und auftretender Wasserzuflüsse im Ringraum zwischen dem Bohrgestänge und der Bohrlochwand eine Luftgeschwindigkeit von etwa $23 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ garantiert wird. Die mechanische Bohrgeschwindigkeit der Versenkhammer ist dem Luftdruck direkt proportional.

2.5.3. Technik und Technologie des Hammerbohrens

Bohrgerät

Als Bohrgerät für das Hammerbohren mit Versenkhämmern eignen sich Bohranlagen, die mit modernen Bohrmasten für das Drehbohren ausgerüstet sind. Solche Bohrmasten besitzen eine steuerbare Vorschubeinrichtung, die auf den sich an Führungsschienen bewegendem Bohrwagen wirkt. Der Bohrwagen ist dann der Träger notwendiger Rotationseinrichtungen, die auch gleichzeitig die erforderliche Druckluft in die eigentliche Bohrgarnitur leiten. Somit stellt die Einführung dieses Bohrverfahrens für die modernen Drehbohrgeräte in der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung eine wesentliche Erweiterung des Einsatzgebietes dar, da die für das Bohren mit Versenkhämmern notwendige Bohrgarnitur an die Kraftspülköpfe der Flachbohranlagen angeschlossen und somit gesteuert und gedreht werden kann, während gleichzeitig durch den Kraftspülkopf die notwendige Arbeits- und Spülluft in die Hammerbohrgarnitur geführt wird.

Der Kraftspülkopf muß aber gleichzeitig auch die Durchführung des Linksspül- oder Rechtsspülbohrens gestatten, damit das über dem Festgestein lagernde Lockergestein mit diesem Bohrverfahren durchteuft werden kann.

Gleichzeitig sollte das Bohrgerät mit einer Dosierpumpe ausgerüstet sein, damit eine Wasser- bzw. Wasser-Schäumergemisch-Zufuhr in den Luftstrom erfolgen kann.

Hammerbohrgarnitur

Die Hammerbohrgarnitur besteht aus

- Bohrkrone
- Versenkhammer
- Bohrgestänge

Die Bohrkrone, mit Hartmetallschneidenelementen bestückt, ist das vorherrschende Bohrwerkzeug beim Bohren mit Versenkhämmern. Mit einem Schaft, der mit einem Keilwellenprofil versehen ist, wird die Bohrkrone mit dem Versenkhammer verbunden (Bild 10). Diese Bohrwerkzeuge werden gegenwärtig für Schneiddurchmesser

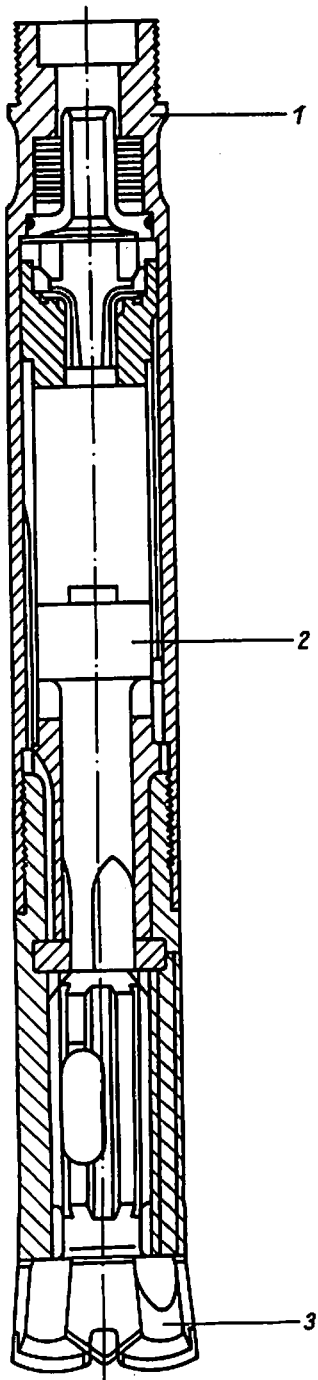


Bild 10
 Aufbau eines
 Versenkhammers
 1 Bohrhammer-
 gehäuse
 2 Schlagkolben
 3 Bohrkronen mit
 Hartmetall-
 schneidelementen

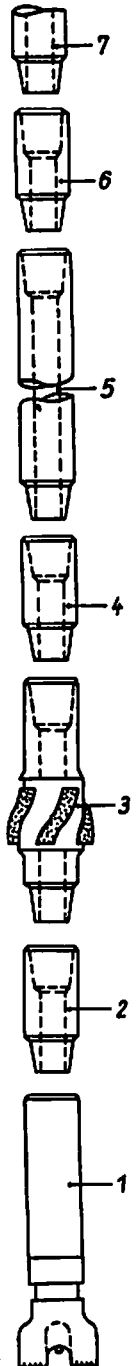


Bild 11
 Aufbau der Hammer-
 bohrgarnitur
 1 Bohrkronen
 2 Versenkhammer
 3 Stabilisator bzw.
 Nachräumer
 4 Übergang
 5 Bohrgestänge
 6 Übergang
 7 Anschluß des
 Kraftspülkopfes

von 65 bis 445 mm hergestellt, wobei die Bohrwerkzeuge der größeren Bohrdurchmesser als Erweiterungsbohrkronen ausgebildet sind. In der DDR stehen gegenwärtig für dieses Bohrverfahren Bohrkrone bis zu einem Bohrdurchmesser von 100 mm zur Verfügung.

Der Versenkhammer ist das charakteristische Merkmal der Bohrgarnitur bei diesem Hammerbohrverfahren. Das Bild 10 zeigt den generellen Aufbau von Versenkhammern. Dabei ist zu erkennen, daß der Schlagkolben direkt auf die Bohrkrone wirkt, wodurch die Schlagenergie ohne große Übertragungsverluste direkt am Bohrwerkzeug wirksam wird. Das ist auch der Hauptgrund für die hohe Effektivität dieses Bohrverfahrens. Die Versenkhammer werden mit ihren unterschiedlichen Baugrößenausführungen, abgestimmt auf den Schneiddurchmesser der Bohrkrone, eingesetzt. Die Versenkhammer arbeiten mit Schlagzahlen im Bereich von $12,5$ bis $33,3 \text{ s}^{-1}$ (760 bis 2000 min^{-1}), wobei die Arbeit je Schlag von 30 bis $300 \text{ N}\cdot\text{m}$ (3 bis $30 \text{ kp}\cdot\text{m}$) reicht. Für den Einsatz in der Brunnenbohrtechnik ist besonders die Eignung der Versenkhammer beim Bohren unterhalb des Wasserspiegels von besonderer Wichtigkeit. Oberhalb des Versenkhammers wird häufig ein Stabilisator bzw. Nachräumer in die Hammerbohrgarnitur eingesetzt (Bild 11).

Das Bohrgestänge dient beim Bohren mit Versenkhammern für die Steuerung der Arbeit des Versenkhammers. Mit dem Bohrgestänge wird die Druckluft zum Bohrhammer geleitet, die Rotationsbewegung von über Tage übertragen und der Bohrdruck reguliert. Dabei liegt die Belastung des jeweiligen Bohrgestänges wesentlich niedriger als beim Rotarybohren mit Flüssigkeitsspülung. Somit ist jedes Rotarybohrgestänge für den Einsatz bei diesem Hammerbohrverfahren geeignet.

Bei der Auswahl des Bohrgestänges sind die Durchmesserhältnisse zwischen dem Gestänge und dem Bohrloch wichtig, wobei auf einen kleinen Ringraumquerschnitt zu orientieren ist. Dadurch wird bei einem gegebenen Luftvolumenstrom eine maximale Aufstiegs geschwindigkeit, die zum Austrag des Bohrkleins und vorhandener Wasserzuflüsse notwendig ist, erreicht. Spezialbohrgestänge für das Hammerbohren mit Versenkhammern ist innen und

außen glatt, wodurch geringe Druckverluste und günstige Voraussetzungen für den Bohrkleinaustrag gegeben sind.

Hammerbohrregime

Zu den wichtigsten Parametern des Bohrregimes beim Hammerbohren mit Versenkhämmern gehören:

- Hammerbelastung (Bohrdruck)
- Drehzahl
- Luftdruck
- Luftvolumenstrom

Die Parameter des Bohrregimes sind beim Hammerbohren genau nach den Angaben des jeweiligen Hammertyps einzuhalten, so daß die weiteren Ausführungen zum Hammerbohrregime lediglich als Orientierungswerte zu betrachten sind.

Die Hammerbelastung ist erforderlich, damit die vom Versenkhammer erzeugte Schlagenergie mit der Bohrkronen auf das zu durchbohrende Gestein für die Gesteinszerstörung übertragen werden kann. Die Hammerbelastung wird abhängig von der Baugröße des Versenkhammers in einem Bereich von 100 bis 1500 kg gewählt. Die ständige Rotation des gesamten Versenkhammers ist notwendig, damit ein kreisendes Bohrloch abgebohrt wird. Die dazu notwendige Drehzahl wird von einer Rotationseinrichtung des Bohrgerätes über das Bohrgestänge auf den Hammer übertragen. Dabei liegt diese Drehzahl in einem Bereich von $0,25$ bis $2,5 \text{ s}^{-1}$ (15 bis 150 min^{-1}).

Der Luftdruck der Arbeitskraft hat einen entscheidenden Einfluß auf die Funktion des Bohrhammers und beeinflusst die erreichbare mechanische Bohrgeschwindigkeit (s. Abschnitt 2.5.4.). Bei Versenkhämmern, die unterhalb des Wasserspiegels eingesetzt werden, muß der hydrostatische Druck der überlagernden Flüssigkeitssäule besonders in der Phase des Beginns der Zirkulation der Luftspülung berücksichtigt werden. Für den Einsatz beim Bohren mit Versenkhämmern sind Kompressoren mit Enddrücken von $0,5$; 1 ; $1,5$; 2 und $2,5 \text{ MPa}$ (5 ; 10 ; 15 ; 20 und $25 \text{ kp}\cdot\text{cm}^{-2}$) im Einsatz. Die Verwendung von Kompressoren der oberen Druckstufen garantiert eine mechanische Bohrgeschwindigkeit in härtesten Gestei-

nen, die in der modernen Rotarybohrtechnik nur bei einer Bohrmeißelbelastung von $1,36\text{-t}\cdot\text{cm}\cdot\text{Meißeldurchmesser}^{-1}$ erreicht werden /13/.

Der Luftvolumenstrom ist in erster Linie von der Baugröße des Versenkhammers abhängig. Da aber der Luftvolumenstrom eine besondere Aufgabe beim Bohrkleinaustrag zu erfüllen hat und die dafür notwendigen Luftvolumina größer sind als die für den Betrieb des Hammers erforderlichen Werte, sind in der Regel die Verhältnisse der Säuberung des Bohrloches ausschlaggebend für die Dimensionierung des Luftvolumenstromes. Dabei stellen Luftaufstiegsgeschwindigkeiten im Ringraum von $23\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ Spitzenwerte dar, wobei auch schon bei $15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ eine vertretbare Säuberung der Bohrlochsohle erreicht wird. Besonders wichtig wird der leistungsfähige Betrieb der Versenkhammer bei Wasserzuflüssen, die in der Brunnenbohrtechnik das Ziel der Bohrarbeiten darstellen. Die Wasserzuflüsse können mit gesteigerten Luftvolumina oder in besonderen Fällen durch den Einsatz von Schäumern beherrscht werden. Diese Schäumer werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Sie müssen aber für den Einsatz in der Brunnenbohrtechnik physiologisch unbedenklich sein. Schäumer werden mit Wasser gemischt und mit einer Dosierpumpe dem Luftstrom zugeführt. Sie dienen zur

- Verringerung der Staubentwicklung
- Verhinderung des Zusammenbackens des aufsteigenden Bohrkleins im Bohrloch bei sehr geringen Grundwasserzuflüssen
- Senkung des hydrostatischen Druckes der im Bohrloch befindlichen Wassersäule
- Havariebekämpfung beim Festwerden der Bohrgarnitur.

Dabei ergeben sich folgende wesentliche Vorteile:

- Verminderung der erforderlichen Kompressorleistung
- Senkung des Energieaufwandes durch Verringerung des Reibungswiderstandes zwischen Bohrgarnitur und Bohrlochwand
- Erhöhung der Bohrgeschwindigkeit durch Verbesserung der Bohrlochsohlenreinigung beim Einsatz des Luft-Schäumer-Gemisches
- Reduzierung der mechanischen Beanspruchung der Bohrlochwand durch die Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit des aufsteigenden Spülluftstromes

Die erforderlichen Kompressoren für dieses Bohrverfahren besitzen Fördervolumenströme in den Abstufungen 0,083; 0,167; 0,25· 0,417 und 0,5 m³·s⁻¹ (5; 10; 15; 25 und 30 m³·min⁻¹).

2.5.4. Einschätzung des Hammerbohrrens mit Versenkhämmern /2/

Dieses ursprünglich nicht für die Brunnenbohrtechnik entwickelte Bohrverfahren ist in diesem Einsatzgebiet bereits so vervollkommen worden, daß die hier erzielten Ergebnisse denen der anderen Anwendungsgebiete ebenbürtig sind. Das trifft auch auf das Abführen des Bohrkleins mit der Luftspülung aus den unter ständigen Wasserzuflüssen stehenden Brunnenbohrungen zu. Die mechanische Bohrgeschwindigkeit der Versenkbohrhämmer ist vom Luftdruck der Arbeitsluft direkt und vom Luftvolumenstrom soweit abhängig, wie er zur Verbesserung der Bohrlochsohlenreinigung beiträgt. In der Tabelle 4 werden für Versenkhämmern bei 100 mm Schneiddurchmesser der Bohrkronen mechanische Bohrgeschwindigkeiten angegeben, die die Effektivität dieses Bohrverfahrens in seinem Einsatzgebiet nachweisen.

Tabelle 4. Mechanische Bohrgeschwindigkeiten von Versenkbohrhämmern bei einem Bohrdurchmesser von 100 mm /14/

| Gestein | Bohrgeschwindigkeit bei Luftdruck | |
|------------|---|--|
| | 0,56 MPa in m·s ⁻¹ | 1,05 MPa in m·s ⁻¹ |
| Granit | 0,84 · 10 ⁻³ bis 1,1 · 10 ⁻³ | 1,86 · 10 ⁻³ bis 2,12 · 10 ⁻³ |
| Kalkstein/ | 1,35 · 10 ⁻³ bis | 2,8 · 10 ⁻³ bis |
| Sandstein | 1,69 · 10 ⁻³ | 3,2 · 10 ⁻³ |

Das Hammerbohrverfahren mit Versenkbohrhämmern wird als schlagendes Bohrverfahren das Seilbohren nicht in all seinen Einsatzgebieten ablösen können. Es kann jedoch wesentlich dazu beitragen, durch den Einsatz in Magmatiten, Metamorphiten und Sandsteinen mit quarzitischem Bindemittel, wo das Leistungsvermögen

des Linksspül- und des Seilbohrens sehr niedrig ist, eine Effektivitätssteigerung bei den Bohrarbeiten zu erzielen. Die international bekannt gewordenen hohen Bohrgeschwindigkeiten dieses Hammerbohrverfahrens berechtigen zu dieser Schlußfolgerung, wobei jedoch die hohen Investitionskosten für die notwendigen leistungsstarken Kompressoren (Schraubenkompressoren) und für die in der Brunnenbohrtechnik erforderlichen Baugrößen der Versenkhammer einen rationellen Einsatz dieser Ausrüstungen verlangen, der von den Kennwerten des Bohrprogramms abhängig ist und somit eine technisch-ökonomische Einsatzbegründung verlangt.

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.

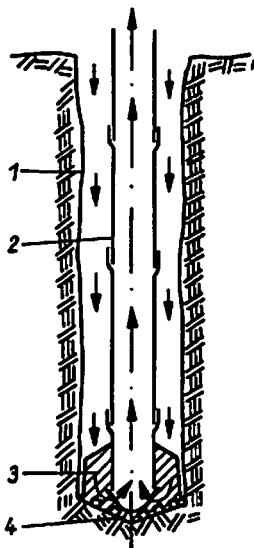


Bild 12
Schema der Linksspülung
1 Bohrlochwand
2 Bohrgarnitur
3 Bohrwerkzeug
4 Bohrlochsohle
→ Spülung

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.

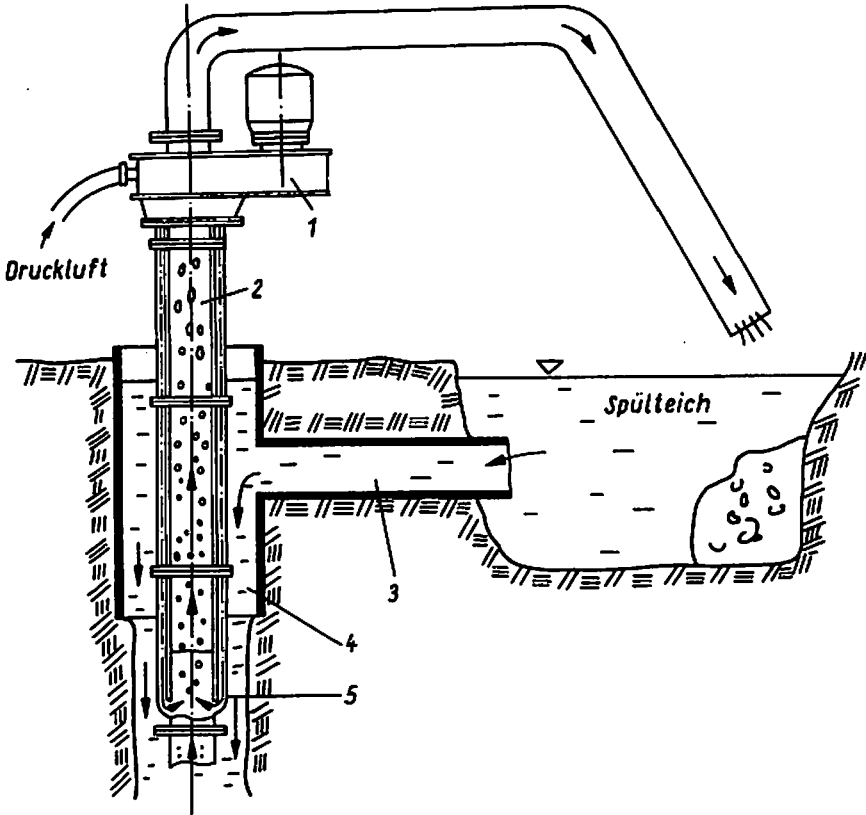


Bild 13. Schema des Lufthebebohrrens

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

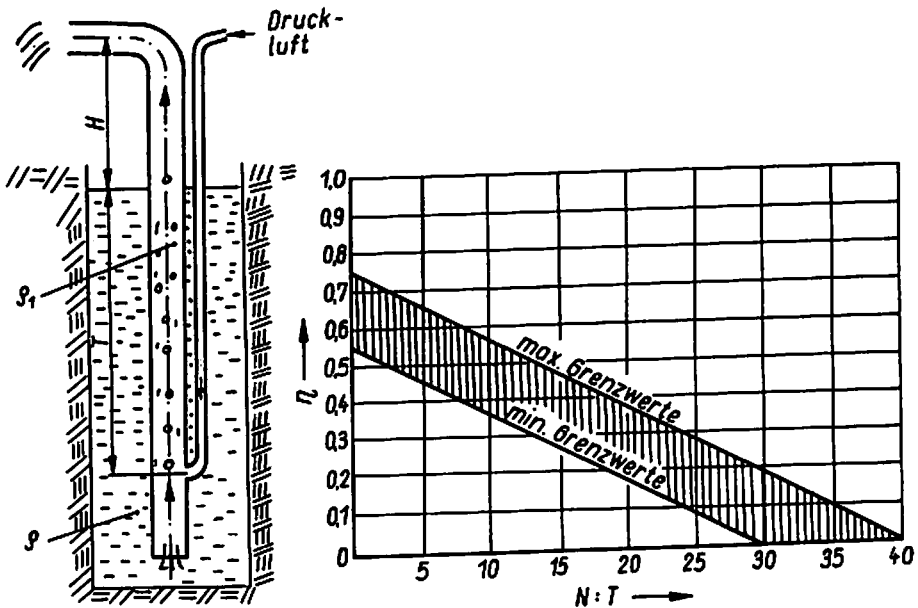


Bild 14. Darstellung des Wirkungsgrades der Mammutpumpe
 H Förderhöhe; T Eintauchtiefe; η Wirkungsgrad

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

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

Schlämm 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⁻¹ (55 min⁻¹)

Kraftspülkopf

freier Durchgang

135 mm Durchmesser

Md_{max} 10 kN·m (1 000 kp·m)

n_{max} 1,0 s⁻¹ (60 min⁻¹)

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 in mm | Verzahnungstypen | Anschlußgewinde 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 dann 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.

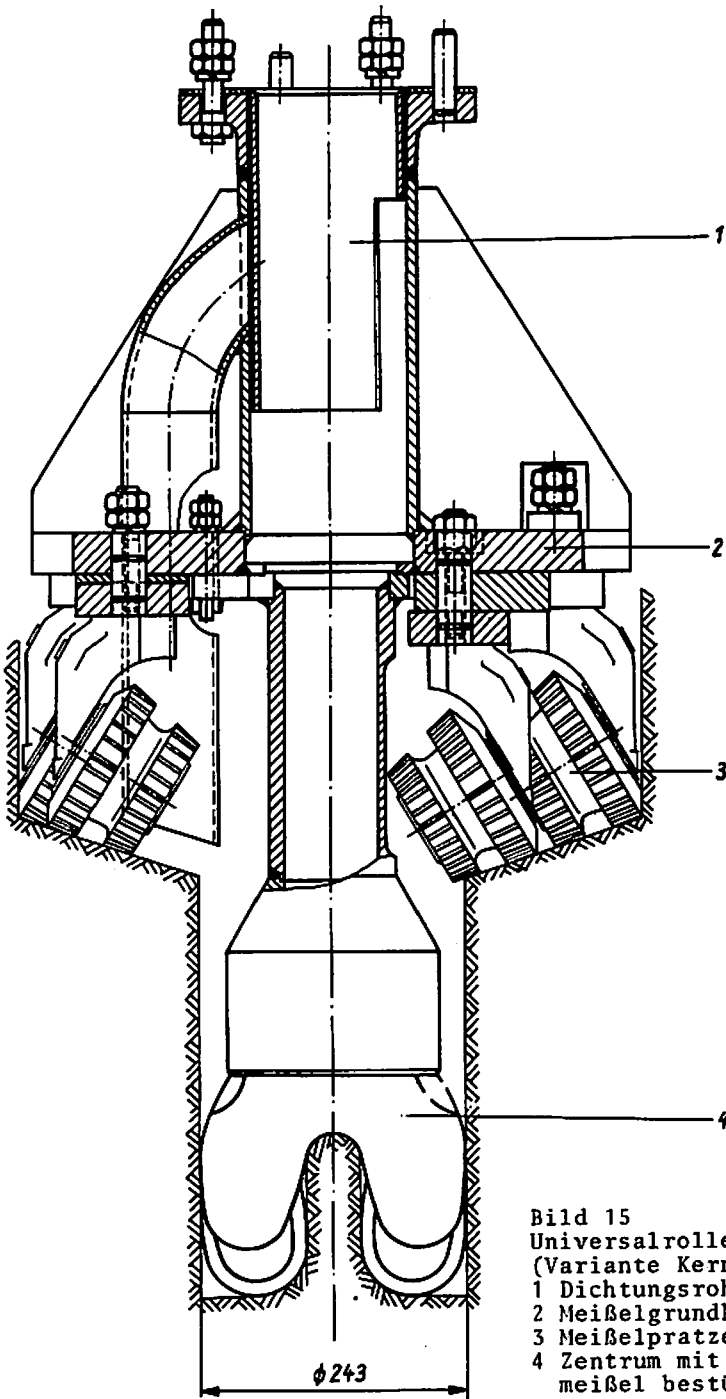


Bild 15
 Universalrollenmeißel
 (Variante Kernrollenmeißel)
 1 Dichtungsrohr
 2 Meißelgrundkörper
 3 Meißelpratze
 4 Zentrum mit Kernrollen-
 meißel bestückt

Für die optimale Spülführung der einzelnen Meißelvarianten ist der Meißelgrundkörper mit einem Dichtungsrohr ausgerüstet, das wahlweise unterschiedlich angepaßte Spülführungen 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 ⁻¹ | | |
| 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.

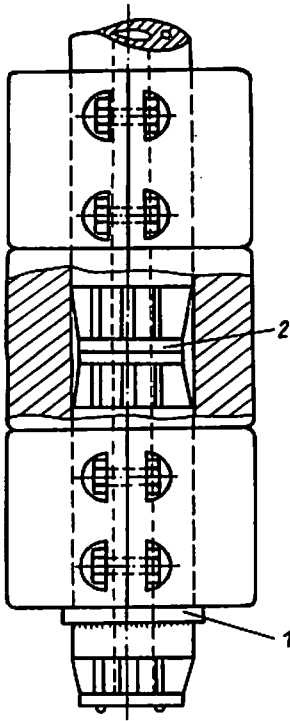


Bild 16
Schwerstangen mit Belastungshalbschalen (schematisch)
1 Stützring
2 Überlappung der Flanschverbindung

Tabelle 9. Belastungshalbschalen

| Abmessungen | | | Masse | | Einsatz bei |
|----------------------------|----------------------------|-------|------------|--------------|----------------------------------|
| Außen- durch- messer | Innen- durch- messer | Länge | in Luft | in Wasser | Bohrdurch- messer |
| in mm | in mm | in mm | in kg | m^{-1} | in mm |
| 520 | 299 | 1000 | 955 | 830 | 590, 690, 790, 890, 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 Linksspülbohrgarnitur 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 Linksspülbohrgarnitur 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.

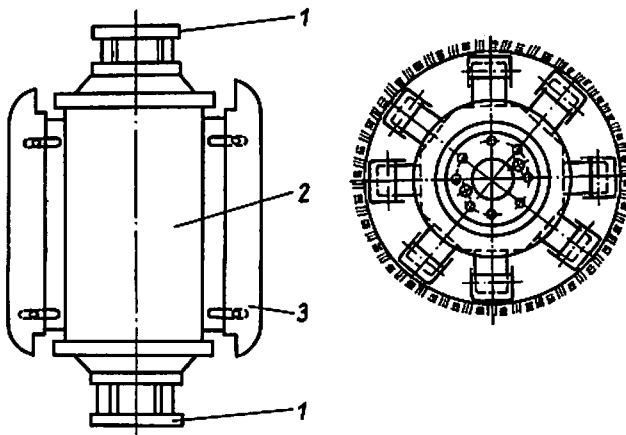


Bild 17
Stabilisator
1 Gestänge-
übergang
2 Grundkörper
3 Gleitbacken

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).

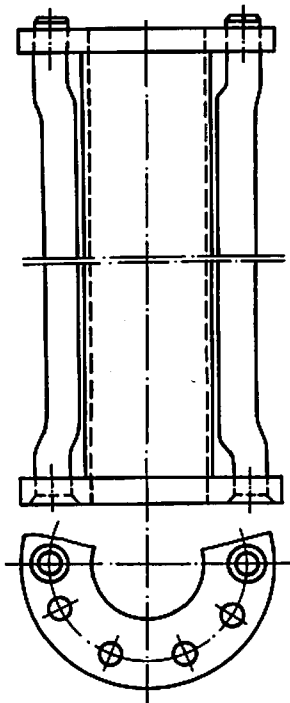


Bild 18
Lufthebebohrgestänge
(Flanschverbindung)

| | | |
|--|------------------|------------------|
| Nenngröße | 150 | 100 |
| Lichter ϕ in mm | 147 | 96 |
| Lochkreis ϕ in mm | 240 | 160 |
| Flanschaußen ϕ in mm | 280 | 200 |
| Schraubenverbindung | 4xM20x70 (8G) | 4xM16x60 (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.

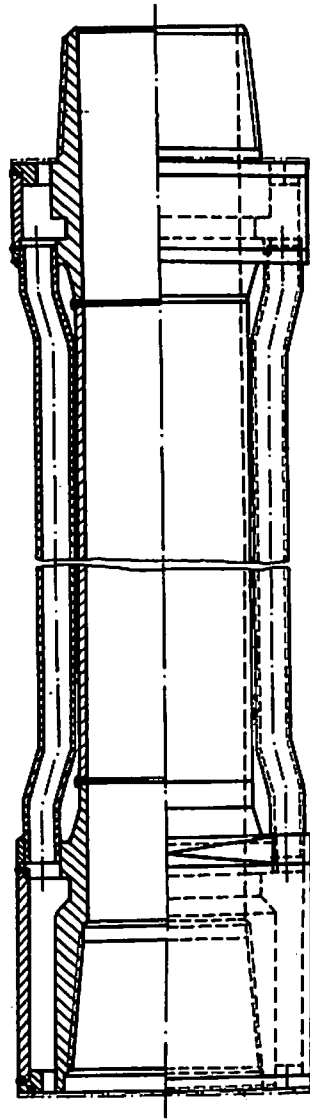


Bild 19
Lufthebebohrgestänge
(Schraubverbindung)

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 Einsatzkomplifikationen. 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⁻¹ (0 bis 60 min⁻¹) 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 Spülführung 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

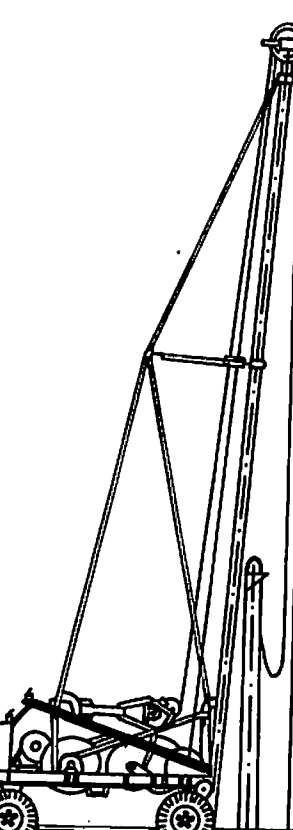
hohen technologischen Stand und wird ständig weiterentwickelt. Dabei treten im Bereich der Gesteine mit den Bohrbarkeitsgruppen V bis VII und im Bohrdurchmesserbereich von 445 bis 790 mm mechanische Bohrgeschwindigkeiten von $0,139 \cdot 10^{-3}$ bis $0,556 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($0,5$ 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 Luftthebebohrverfahrens wesentlich erweitern und rationalisieren.

Literaturverzeichnis

- /1/ MILDE, G.: Zur Rationalisierung der Grundwassererkundung mit Hilfe physikalischer und chemischer Methoden. Zeitschrift f. Angewandte Geologie (1973), S. 113 - 119
- /2/ LEHMANN, R.: Bedeutung und Grenzen des Seilbohrens für die hydrogeologische Erkundung und Erschließung im Festgestein in der DDR. Bergakademie Freiberg, Diss. Juli 1975
- /3/ VORTMAN, M.: Seilbohrpraxis beim Brunnenbohren (russ.). Moskau: Verlag Nedra, 2. Aufl. 1971
- /4/ Tabellen Bohrtechnik. Hrsg. von der Bergakademie Freiberg (Tb 7), 1974
- /5/ NBS 401 - Seilbohrstrang. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen
- /6/ NBS 704 - Technologie Seilbohren mit OKS - 30 M. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen
- /7/ TGL 25 012 - Hydrogeologie - Bohranlagenreihe für Erkundungs- und Erschließungsarbeiten - Bohrverfahren - Hauptparameter
- /8/ NBS 202 - Bohrwerkzeuge für Spülbohren-Schneiddurchmesser. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen
- /9/ NBS 203 - Rollbohrwerkzeuge - Universalrollenmeißel. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen
- /10/ NBS 603 - Ausrüstung für Kombinationsbohrgerät K 50. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen

- /11/ NBS 721 - Technologie Linksspülbohren mit KB 400. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen
- /12/ NBS 722 - Technologie Linksspülbohren mit K 50. Werkstandard des VEB Hydrogeologie Nordhausen
- /13/ BERUBE, S. C.: Wie Festgestein mit Schlagwerkzeugen zu bohren ist (engl.). Teil 1: Drilling (1973) 9, S. 46 - 47, 49. Teil II: Drilling (1973) 10, S. 54, 57
- /14/ DENKE, C., und H. NÖTZOLD: Das Bohren mit Versenkhammern bei hoher Druckluftspannung. Neue Bergbautechnik (1971) 8, S. 579 - 582

Technisches System "Seilbohren im Festgestein" in der Brunnenbohrtechnik

| Systemdarstellung | Geologisch-hydrogeologische Einflußgrößen | Technische, technologische und hydrogeologisch-methodische Systembestandteile | Einflußgrößen der wichtigsten Systembestandteile | | |
|---|---|--|---|---|--|
|  | GH 1. - Auswahl des Bohrverfahrens, damit Bestimmung des Bohrgerätes und der dazugehörigen bohrtechnischen Ausrüstung | T 1. - Bohrgerät T 1.1. - Antrieb T 1.2. - Schlagwerk T 1.3. - Hebewerk T 1.4. - Bohrseil T 1.5. - Bohrmast T 1.6. - Fahrgestell T 1.7. - Unterbau beim Bohren T 2. - Konter- und Brechvorrichtung T 3. - Schlammwerkzeug | T 1. - <u>Bohrgerät</u> - Hauptabmessungen - Transportmasse T 1.1.- <u>Antrieb</u> - Elektro oder Diesel - Leistung - Gesamtkinematik - Regelbarkeit T 1.2.- <u>Schlagwerk</u> - Schlagkurbel oder Schlagschwinge - Schlaghöhe - Schlagzahl - maximale Masse der Bohrgarnitur - Stoßdämpferausführung T 1.3.- <u>Hebewerk</u> - Anzahl der Seiltrommeln - Leistung der Trommeln - Steuerung - Nachlaßvorrichtung T 1.4.- <u>Bohrseil</u> - Bruchlast - Drallverhalten - Machart und Schlagart - Elastizität T 1.5.- <u>Bohrmast</u> - Höhe - Anzahl der Seilrollen - Stoßdämpferausführung T 1.6.- <u>Fahrgestell</u> - anhängefahrbar oder selbstfahrbar - Manövrierfähigkeit T 1.7.- <u>Unterbau</u> - sichere Ausführung für | T 4.2.- <u>Rutschschere</u> - Einsatznotwendigkeit T 4.3.- <u>Schwerstange</u> - Anpassung an Bohrdurchmesser - Formgestaltung zur Beseitigung von Spannungskonzentrationen T 4.4.- <u>Bohrwerkzeug</u> - Schneiddurchmesser - Schneidenwinkel - Gesamtschlagmasse - Nachrücker - Verschleißverhalten - Regenerierung t 1. - <u>Bohrregime</u> bis t 4. - Schlagmasse - Schlagzahl - Schlaghöhe - Meißelüberhang - Wechselfolge Bohren und Schlämmen tg 1. - <u>Bohrkleinsäule</u> - Höhe über der Bohrlochsohle - Dichteverteilung in der Bohrkleinsäule - Form des Bohrkleins - Viskositätsverteilung in der Bohrkleinsäule - viskositätserhöhende Zugaben - Häufigkeit des Schlammvorganges gh - Erkundungsmethodik 1. - Entwicklungsstand gh - Brunnenbemessung 1.1. - Hydrogeologie der Klüftwasserlagerstätten - Kiesschüttung (Notwendigkeit) - Brunnenausbaumaterialien (Filter- und Vollwandrohre) gh 1.2. - <u>Hydrogeologische Testarbeiten</u> - Art des Pumpversuches - Zeitdauer - Zeitverhältnis zu den Bohrarbeiten - Durchführung mit Einsatz oder ohne Einsatz eines Bohrgerätes | |
| | 1. - Lockergestein | G 1.1. - Mächtigkeit G 1.2. - Standfestigkeit | t 1. - Bohrregime für G 1. | T 1.6.- <u>Fahrgestell</u> - anhängefahrbar oder selbstfahrbar - Manövrierfähigkeit | gh 1. - Entwicklungsstand |
| | | G 2.1. - Mächtigkeit G 2.2. - Art der Wechsel- | t 2. - Bohrregime für G 2. | T 1.7.- <u>Unterbau</u> - sichere Ausführung für | gh - Brunnenbemessung |
| | 2. - Sandstein-Tonstein-Wechselagerung | G 2.3. - Festigkeit G 2.4. - Art des Bindemittels G 2.5. - Klüftigkeit G 2.6. - Hydrationsverhalten des Tonsteins | | T 2. - <u>Konter- und Brechvorrichtung</u> - mechanisch oder hydraulisch - maximales Drehmoment - Drehmomentenkontrolle | 1.1. - Hydrogeologie der Klüftwasserlagerstätten - Kiesschüttung (Notwendigkeit) - Brunnenausbaumaterialien (Filter- und Vollwandrohre) |
| | 3. - Kalkstein-Tonstein-Wechselagerung | G 3.1. - Mächtigkeit G 3.2. - Art der Wechselagerung G 3.3. - Festigkeit G 3.4. - Klüftigkeit und Verkarstung G 3.5. - Hydrationsverhalten des Tonsteins | t 3. - Bohrregime für G 3. | T 3. - <u>Schlammwerkzeug</u> - konstruktive Ausführung - Durchmesserabstufung zum Bohrdurchmesser - Entleerung - Masse, Länge | gh 1.2. - <u>Hydrogeologische Testarbeiten</u> - Art des Pumpversuches - Zeitdauer - Zeitverhältnis zu den Bohrarbeiten - Durchführung mit Einsatz oder ohne Einsatz eines Bohrgerätes |
| | 4. - Magmatit-Metamorphit-Wechselagerung | G 4.1. - Mächtigkeit G 4.2. - Art der Wechselagerung G 4.3. - Festigkeit G 4.4. - Klüftigkeit | t 4. - Bohrregime für G 4. | T 4. - <u>Bohrgarnitur</u> - Gesamtschlagmasse - Länge - Durchmesser Verhältnis zum Bohrdurchmesser T 4.1.- <u>Seilmuffe mit Seilhülse</u> - sichere Verbindung zwischen Bohrseil und Bohrgarnitur - sicheres Umsetzen der Bohrgarnitur - Möglichkeit des Bohrseillängenausgleichs | |
| | | H 2. - Ruhewasserspiegel H 3. - Hydrochemie H 4. - Förderleistung | T 4. - Bohrgarnitur T 4.1. - Seilmuffe mit Seilhülse T 4.2. - Rutschschere T 4.3. - Scherstange T 4.4. - Bohrwerkzeug tg 1. - Bohrkleinsäule gh 1. - hydrogeologische Erkundungsmethodik gh 1.1.- Brunnenbemessung gh 1.2.- hydrogeologische Testarbeiten | | |

ld 3. Technisches System "Seilbohren im Festgestein"