

3. Zementationsausrüstungen und -materialien

3.1. Obertägige Zementageausrüstungen

3.1.1. Pumpausrüstungen

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß im Zementationsprozeß nur Flüssigkeiten zu verpumpen sind. Die Art der Flüssigkeit schwankt von reinem Wasser bis zu hochviskosen Suspensionen. Ein entscheidendes Kriterium für die Pumpausrüstungen ist der Arbeitsdruck in Verbindung mit der jeweiligen Schüttmenge. Diese Kriterien bestimmen die zum Einsatz kommende Pumpenart. Der Bohrbetrieb ist kein stationärer Betrieb; die hohe Flexibilität der Bohranlagen verlangt von den erforderlichen Serviceleistungen eine gleichfalls hohe Beweglichkeit. Aus diesem Grunde wurden und werden alle Zementageausrüstungen transportabel ausgeführt, d. h. auf Selbstfahrgestellen oder auf Rahmen zum Hubschraubertransport montiert. Der Zementierbetrieb verwendet Fahrzeuge der Typen KRAS 219 und KRAS 257. Die Fahrzeuge sind mit Pumpen für Drücke bis maximal 400 kp cm^{-2} ausgerüstet.

3.1.1.1. Ausrüstungen zum Verpumpen der Schlämme

Zum Verpumpen von Schlämmen (Zementschlämme, Schäume aus Gemischen, andere hochviskose Suspensionen) werden derzeit nur Kolbenpumpen eingesetzt. Diese Pumpen werden als Zementierpumpen bezeichnet, die in Verbindung mit Antrieben (Dieselmotor) auf die obengenannten Fahrzeuge montiert sind. Diese Einheiten werden mit Zementieraggregat (ZA) bezeichnet.

Die Bezeichnung macht deutlich, daß diese Aggregate im wesentlichen zu Zementierungsarbeiten eingesetzt werden. Ihr Einsatz erfolgt aber auch bei bohrtechnischen Hilfsarbeiten (Abdrückarbeiten, Spülungswechsel, Totpumptarbeiten usw.).

Folgende Zementieraggregate kommen in der DDR zum Einsatz: ZA 320 M (s. Bild 6) und 3 ZA 400 A (s. Bild 7).

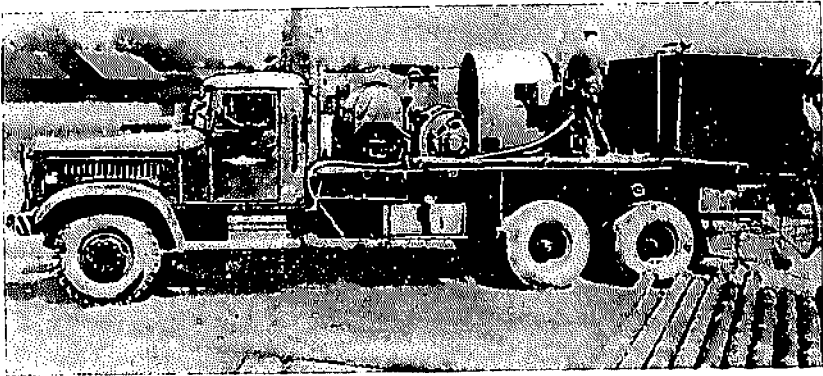


Bild 6. Zementieraggregat ZA 320 M /1/

Bei den Zementieraggregaten ZA 320 M und 3 ZA 400 A handelt es sich um sowjetische Fabrikate.

Das ZA 320 M ist auf dem Fahrgestell des 3-Achsen-Lastkraftwagens vom Typ KRAS 219 aufgebaut. Es ist mit einer Hochdruckpumpe 9 T mit den in Tabelle 1 dargestellten Kennwerten, der Wasserpumpe 1 W mit dem Motor Gas 51 und dem 6 m³ fassenden Meßbehälter ausgerüstet. Weiterhin gehört zu jedem Zementieraggregat das Manifold. Als Manifold werden Hochdruckrohre, die mit Schnellkupplungen versehen sind, sowie Hochdruckkniee und andere Formstücke (ebenfalls aus HD-Rohr) bezeichnet. Zum Manifold gehören:

- Saugleitung der Kolbenpumpe (9 T)
- Druckleitung der Kolbenpumpe (9 T)

Tabelle 1. Fördermenge und Drücke der Hochdruckzementierpumpe 9 T

Arbeits- regime	min ⁻¹	Gang	Doppel- hub	Durchmesser der Zylinderbuchsen in mm							
				90 mm		100 mm		115 mm		127 mm	
				Förder- menge m ³ min ⁻¹	Druck kp cm ⁻²	Förder- menge m ³ min ⁻¹	Druck kp cm ⁻²	Förder- menge m ³ min ⁻¹	Druck kp cm ⁻²	Förder- menge m ³ min ⁻¹	Druck kp cm ⁻²
Maxi-	2000	2	28	0,143	390	0,182	305	0,247	225	0,306	182
male	2000	3	54	0,276	202	0,350	159	0,475	117	0,590	95
Förder-	2000	4	97	0,495	113	0,627	0,855	0,855	65	1,060	52
menge	2000	5	125	0,640	87	0,811	69	1,100	50	1,370	40
Maxi-	1880	2	27	0,138	400	0,175	320	0,238	230	0,296	185
maler	1500	3	41	0,210	231	0,266	182	0,362	134	0,447	109
Druck	1500	4	73	0,372	130	0,472	109	0,644	75	0,800	61
	1500	5	94	0,480	102	0,610	80	0,830	59	1,030	47

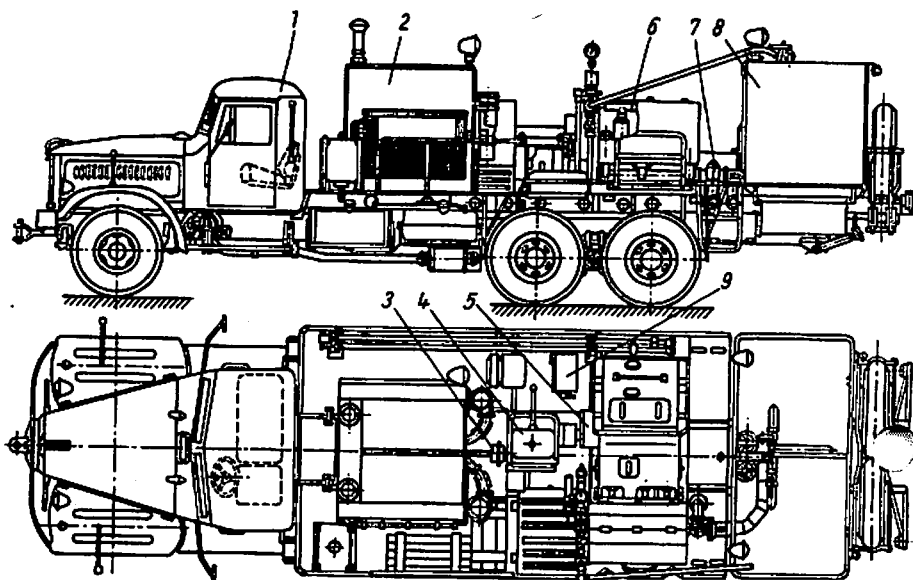


Bild 7. Zementieraggregat 3 ZA 400 A /2/
 1 Fahrgestell KRAS 257, 2 Antriebsmotor-HD-Pumpe, 3 - Zwischenwelle, 4 Schaltgetriebe, 5 Kupplung, 6 Hochdruckpumpe, 7 Saugsystem, 8 Meßbehälter, 9 Schaltpult

- Saugleitung der Wasserpumpe (W 1)
- Druckleitung der Wasserpumpe (W 1)

und das bewegliche Manifold bestehend aus

- Hochdruckstangen
- Hochdruckkinee
- Hochdruckformstücke
- Saugschläuche

Das ZA 320 M kann zu den Arbeiten

- Anmischen von Suspensionen
- Pumpen von Flüssigkeiten in das Bohrloch
- Verpressungs- und Abdrückarbeiten

eingesetzt werden. Das 3 ZA 400 A arbeitet ebenfalls mit einem maximalen Arbeitsdruck von 400 kp cm^{-2} . Folgende Unterschiede zum ZA 320 M bei der kraft- und arbeitsmaschinellen Ausrüstung sind festzustellen:

Tabelle 2. Fördermenge und Drücke der Hochdruckzementierpumpe

Gang	Doppelhöhe	Durchmesser der Zylinderbuchsen					
		110 mm		125 mm		140 mm	
		Fördermenge $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$	Druck kp cm^{-2}	Fördermenge $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$	Druck kp cm^{-2}	Fördermenge $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$	Druck kp cm^{-2}
1	43,2	0,396	400	0,528	300	0,673	235
2	62	0,570	275	0,756	210	0,966	162
3	91,8	0,845	185	1,110	140	1,430	110
4	127	1,170	135	1,550	100	1,980	80

1. Das 3 ZA 400 A besitzt keine eigene Mischerpumpe zum Herstellen von Suspensionen
2. die Hochdruckpumpe des ZA wird durch einen gesonderten Motor, der ebenfalls auf das Fahrgestellt montiert ist, angetrieben

Diese Maßnahme des Herstellers wurde erforderlich durch die höhere Leistungsanforderung an die HD-Pumpe, die die mögliche Leistungsabgabe des Fahrmotors übersteigt. Das 3 ZA 400 A ist mit einer 11 T-HD-Pumpe ausgerüstet. Die Parameter dieser Pumpe sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Mit der aufgeführten Ausrüstung ist das 3 ZA 400 A in der Lage, folgende Arbeiten auszuführen:

- Pumpen von Flüssigkeiten in das Bohrloch
- Verpressungs- und Abdrückarbeiten

Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile beider Typen der zum Einsatz kommenden Zementieraggregate:

Vorteile

Nachteile

ZA 320 M

- eigene Mischerpumpe
- geringere Lärmentwicklung

- räumliche Trennung des Pumpenantriebs von der HD-Pumpe
- hoher Verschleiß am Fahrbzw. Pumpenantriebsmotor

3 ZA 400 A

- bei vergleichbarem Druck höhere Fördermenge
- unabhängiger Pumpenantrieb
- geringere Störanfälligkeit des Pumpenantriebsmotors
- bessere Kontrollmöglichkeit während des Pumpens

- keine eigene Mischerpumpe
- größere Lärmentwicklung während des Pumpens

Aus der Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der ZA-Typen lassen sich optimale Einsatzbedingungen ableiten.

3.1.1.2. Ausrüstungen zum Verpumpen der Anmischflüssigkeiten
Die Ausrüstungen zum Verpumpen der Anmischflüssigkeiten oder anderer niedrigviskoser Flüssigkeiten sind Hilfseinrichtungen,

die die Zementationen in der Dauer und in der Qualität wesentlich beeinflussen. Da der Grad der Anforderungen in den letzten Jahren immer größer wurde, wurden neue Typen von Kolben- und Kreiselpumpen zum Einsatz gebracht. Gerade in diesem Bereich wurde in der vergangenen Periode eine umfangreiche Rationalisierung und Bedingungsanpassung durchgeführt.

Plungerpumpe W 1 (Wasserpumpe)

Die W 1-Pumpe ist eine Pumpe für niedrige bis mittlere Drücke - bei Anmischarbeiten werden meistens Drücke bis 15 kp cm^{-2} benötigt -. Sie ist ausgeführt als Plungerpumpe und besitzt drei Plunger. Die Pumpe hat eine Schüttmenge von 13 l s^{-1} und wird für das Zupumpen der Anmischflüssigkeit zum hydraulischen Mischer verwendet.

Dabei können neben Wasser auch andere Suspensionen als Anmischflüssigkeiten zur Anwendung kommen. Der Antrieb der W 1-Pumpe erfolgt durch einen separaten Motor. Pumpe und Motor bilden, auf einen Rahmen montiert, eine Einheit. Mit dieser Einheit sind das ZA 320 M und das Anmischaggregat ausgerüstet. Die Ausrüstung ist auf dem ZA 320 M als selbständige Einheit installiert. Das Anmischaggregat (s. Bilder 8 und 9) ist mit

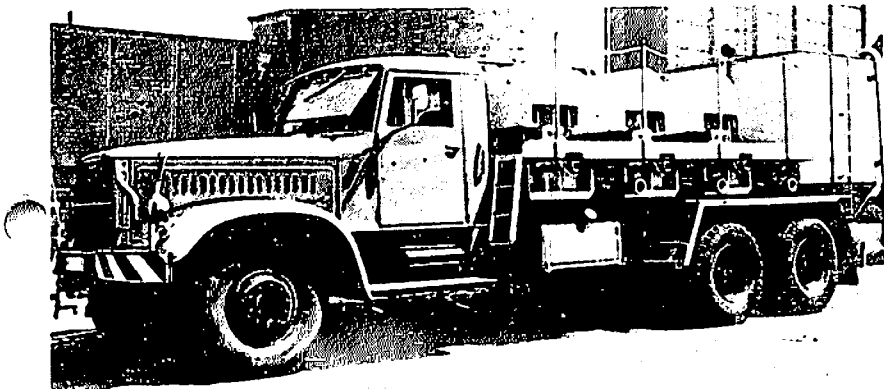
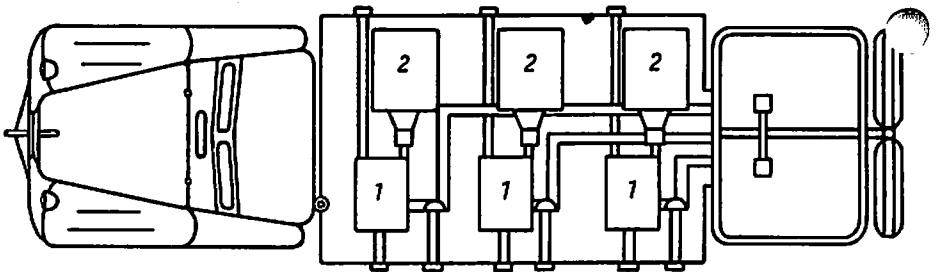
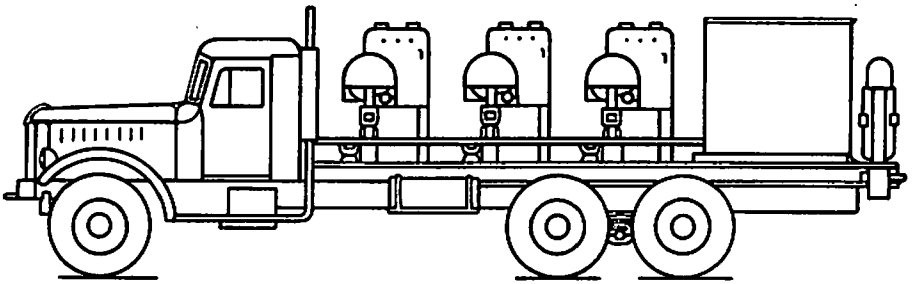


Bild 8. Anmischaggregat AM 3 P, pumpenseitig /1/



**Bild 9. Anmischaggregat AM 3P, motorseitig /1/
 1 Plungerpumpe Typ W 1
 - Schüttmenge je Wasserpumpe 13 l s^{-1}
 - Druck je Wasserpumpe 15 kp cm^{-2}
 -Arbeitsleistung je Wasserpumpe 35 PS
 2 Antriebsmotor**

drei Pumpeneinheiten ausgerüstet, die sowohl getrennt als auch gemeinsam eingesetzt werden können. Das Fahrzeug dieses Spezialaggregates kann ein KRAS 219 oder ein KRAS 257 sein. Die Bedienung erfolgt separat für jede Pumpeinheit. Damit wurde die Grundausrüstung, die vom ZA 320 M übernommen wurde, nicht wesentlich geändert. Die Montage von drei Einheiten hat zur Folge, daß eine geringere Anzahl von ZA sich im Falle einer Zementation im Einsatz befinden bzw. einen rationellen Einsatz der 3 ZA 400 A ermöglichen.

Kreiselaggregat

Das Kreiselaggregat besteht aus einer 6stufigen Kreiselpumpe und einem Antriebsmotor. Als Antriebsmotor kann der Fahrmotor oder ein separater Motor verwendet werden. Zum Einsatz kamen bisher solche Aggregate, deren Pumpen mit dem Fahrmotor angetrieben wurde. Der Antrieb durch einen separaten Motor hat jedoch Vorteile, wie

- geringer Störanfälligkeit
- weniger Zwischenelemente (Zwischengetriebe, Kardanwellen, Kupplungen)
- höhere Anpassungsfähigkeit an die Einsatzbedingungen

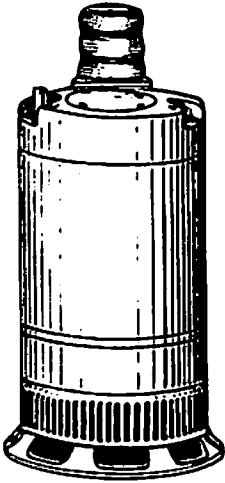
Die Leistungsfähigkeit einer Kreiselpumpe ist mit der dreier W 1-Pumpen zu vergleichen. Damit vereinfacht sich die Bedienung bei der Notwendigkeit der Nutzung der Gesamtleistung im Vergleich zu den drei W 1-Pumpen. Nachteilig wirkt sich aus, daß bei einem Ausfall dieser Pumpen-Motor-Einheit alle Ausrüstungen nicht mehr versorgt werden können. Die Einheit hat folgende Parameter:

- $\dot{V} = 36 \text{ l s}^{-1}$ bei $p = 15,0 \text{ kp cm}^{-2}$
- $n = 1450 \text{ min}^{-1}$

Söffelpumpe

Die Söffelpumpe (s. Bild 10) ist eine transportable Tauchkreiselpumpe. Die Pumpe wird genutzt zum Zupumpen von Wasser zu dem Zementieraggregat bzw. zu den Anmischfahrzeugen. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor, der mit der Kreiselpumpe eine kompakte Einheit bildet. Der Versuch, hochviskose Schlämme mit dieser Ausrüstung zu pumpen, um damit das Einsatzgebiet zu erweitern, konnte bisher nicht mit Erfolg durchgeführt werden.

Bild 10
Söffelpumpe /1/



3.1.2. Mischausrüstungen

Unter dem Begriff "Mischen" ist hier das Vermischen der Bindebaustoffe mit der Anmischflüssigkeit zu verstehen. Das Herstellen von Trockengemischen, d. h. Vermischen der Bindebaustoffe mit den Zusätzen und Zuschlägen im trockenen Zustand, wird hier nicht beschrieben.

3.1.2.1. Ausrüstungen zur Primärmischung

Die Ausrüstungen für die Herstellung von Primärmischungen haben alle das gleiche Prinzip. Unterschiedlich ist ihre Leistungsfähigkeit und der Grad der Mechanisierung der Zuführung der Bindebaustoffe, Zusätze und Zuschläge.

Nachstehend eine Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der beschriebenen Aggregate:

W 1-Einheit

Vorteile

- gehört zur traditionellen Ausrüstung
- variabler Kapazitätseinsatz
- geringe Ausfallgefahr

Nachteile

- schlechte Arbeits- und Lebensbedingungen durch Luftverschmutzung
- Import aller Ersatzteile

Vorteile

- leistungsfähig auch bei ungünstigen rheologischen Werten
- Antrieb durch Verbrennungsmotor

Kreiselaggregat

Vorteile

- ruhiger Lauf
- übersichtliche Bedienung
- hoher Grad der Arbeits- und Lebensbedingungen
- gleichmäßiger Förderstrom
- kein Import von Ersatzteilen erforderlich
- Antrieb durch Verbrennungsmotor

Nachteile

- nicht selbstansaugend
- Ausfall erhöht die Havariegefahr

Söffelpumpe

Vorteile

- einfacher Transport

Nachteile

- geringer Arbeitsdruck
- die Leistung ist stark rheologieabhängig
- Antrieb durch Elektromotor

Handmischung

Die Handmischung erfolgt mit Hilfe des Handmischers. In den Mischtrichter wird der Bindebaustoff manuell eingefüllt. Das Anmischwasser wird mit der Wasserpumpe W 1 oder der Kreiselpumpe durch die Düsen-Diffusor-Kombination des hydraulischen Mischers gepumpt. Zwischen der Düse und dem Diffusor erfolgt das erste Vermischen des Bindebaustoffes mit dem Wasser. Die weitere Mischung erfolgt dann in der anschließenden Ausrüstung. Bei dieser Mischart können Luftblaseneinschlüsse, die die Dichtigkeit des Zementsteines negativ beeinflussen und die wahre Dichte der Suspension verfälschen, nicht vermieden werden. Zur Gewährleistung der Qualität der Suspensionen ist beim Anmischprozeß auf eine ständige Trichterfüllung zu achten.

Die manuelle Arbeit ist bei der Handmischung groß. Dieses Verfahren kommt nur noch in Ausnahmefällen zur Anwendung.

Mechanisiertes Mischen

Für das mechanisierte Anmischen wird die Zementmischmaschine 2 SmN 20 (s. Bild 11) auf dem Fahrgestell eines KRAS 219

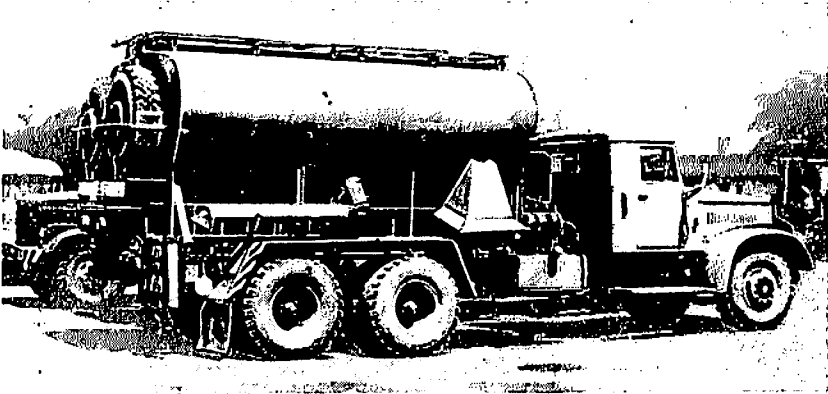


Bild 11. Zementmischmaschine 2 SMN 20 /1/

bzw. KRAS 257 eingesetzt. Der Fahrmotor dient gleichzeitig als Antrieb für die Förderschnecken im Inneren des Bunkers der Zementmischmaschine. Der kegelförmige Querschnitt des Bunkers sichert den vollkommenen Austrag des Zementes oder des Gemisches. Der Bunkerboden besteht aus zwei Förderrinnen, die in Längsrichtung über die gesamte Länge des Bunkers verlaufen. In den Förderrinnen rotieren die Förderschnecken. Über die Motorendrehzahl und die Möglichkeit der Abschaltung einer Förderschnecke mit Hilfe des Aufsatzgetriebes wird die Fördermenge der Schnecken gesteuert. Der Zement oder das Gemisch wird von den Förderschnecken direkt dem Mischerkopf zugeführt. Der Mischerkopf (oder hydraulischer Mischer) besteht aus einem Düsenstock mit einem Düsenystem, der Mischerkammer und dem Austritt, der als Diffusor ausgebildet ist. Mit den verschiedenen Düsendurchmessern wird

die Einhaltung des Wasser-Zement-Faktors und der Benetzungsgrad gesteuert. Deshalb bestimmt das zum Einsatz kommende Trockengemisch den Düsendurchmesser. Das Wasser tritt durch die Düse in die Mischkammer ein, vermischt sich dort mit dem zugeführten Bindebaustoff zu der Suspension und wird durch den Diffusor und ein Verlängerungsrohr in den Mischerbottich des Zementieraggregates transportiert. Das Fassungsvermögen des Bunkers beträgt bei Zement 20 t. Im Fahrbetrieb würde das zu einer Überlastung des Fahrgestelles führen und die zulässige Radlast überschreiten. Deshalb wird die Mischmaschine mit 9,6 t gefüllt. Die Differenz zur vollkommenen Füllung wird am Einsatzort mit Hilfe von Silofahrzeugen ergänzt. Das Auffüllen erfolgt erst nach dem Abstützen des Fahrgestelles mit den am Rahmen befestigten Stützen.

3.1.2.2. Ausrüstung zur Sekundärmischung

Unter Sekundärmischung versteht man das Nachmischen der durch Handmischung bzw. mechanisches Mischen hergestellten Suspensionen. Durch die Nachmischung wird ein höherer Benetzungsgrad der Bindemittelpartikel erreicht. Das wiederum führt zu einer Qualitätsverbesserung der rheologischen Eigenschaften der Suspensionen durch Homogenisierung und Ausscheiden der durch das Mischen eingeschlossenen Luft. Dies führt zu einer Senkung der Durchlässigkeit (Permeabilität) des Zementsteines. Aus diesen Gründen sind Nachmischeinrichtungen unbedingt zur Sicherung qualitätsgerechter Zementationen erforderlich. Der Mehraufwand ist mit der Qualitätsverbesserung der Suspension und des Zementsteines gerechtfertigt.

Nachmischaggregat

Das in der DDR entwickelte und bereits mehrere Jahre zum Einsatz kommende Nachmischaggregat (s. Bild 12) ist gleichfalls auf ein Fahrzeug der Typen KRAS 219 bzw. 257 montiert und damit, wie alle anderen Ausrüstungen, schnell versetzbar. Das Nachmischaggregat, fälschlich als Hydromischer bezeichnet, besteht im wesentlichen aus folgenden Teilen:

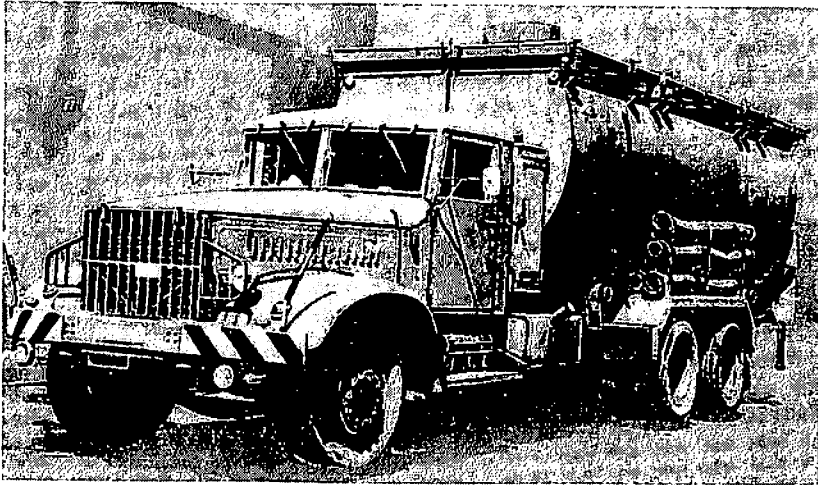


Bild 12. Nachmischaggregat NMA /1/

1. Nachmischbehälter mit einem Fassungsvermögen von etwa 20 m^3
2. Rührwerke, ausgerüstet mit Elektromotor
3. Anschlußarmaturen für das Füllen und die Entnahme

Der Einsatz des Nachmischaggregates kann außerdem zum Herstellen des Anmischwassers benutzt, jedoch nicht zum Wassertransport eingesetzt werden. Das Nachmischaggregat hat folgende Funktionsweise:

Die von der Mischeinrichtung kommende Suspension (Handmischer, Mischmaschine) wird mittels einer Zementierpumpe in das Nachmischaggregat gefördert. Ist der Nachmischbehälter etwa bis zu $1/3$ gefüllt, werden die Rührwerke eingeschaltet. Die Rührwerke mit ihren großen Drehzahlen (etwa 320 bis 350 min^{-1}) wälzen die Suspension ständig bis zum Beginn des Einpumpens um. Die Drehrichtung ist so festgelegt, daß eine in Fahrtrichtung betrachtete rechts gerichtete Umwälzströmung erreicht wird. Ständig werden Proben zur Dichtekontrollmessung entnommen. Durch das Ausscheiden der Luft kann eine Erhöhung der Dichte um etwa $5/100 \text{ kg dm}^{-3}$ erreicht werden. Für das gesamte Nachmischbehältervolumen wird eine konstante Dichte

hergestellt. Diese Erscheinungen dienen der Qualitätssicherung. Nachteilig für die Ökonomie des Mischprozesses wirkt sich der notwendige Einsatz einer zusätzlichen Zementierpumpe zum Transport der Suspension vom Mischer zum Nachmischbehälter aus. Zur weiteren Aufwandsminimierung ist die Rationalisierung des Oberpumpens der Suspension vom Mischer zum Nachmischbehälter erforderlich und vorgesehen.

Nachmischdüsen

Diese Ausrüstung befindet sich noch nicht im Einsatz. Ihre Verwendung ist aber vorgesehen und wird vorbereitet. Die Nachmischdüse ist Teil des Hochdruckmanifolds. Die spezielle Düsenform erzeugt in der Suspension eine Schwingung hoher Frequenz. Diese Schwingung erhöht den Benetzungsgrad, indem es die Lufthülle um die Bindemittelpartikel aufreißt. Die Vorteile der Luftausscheidung und der Dichtekonstanz besitzt diese Düse nicht.

Vorteile

Nachmischaggregat

- Ausscheiden der beim Mischvorgang eingeschlossenen freien Luft als Blasen
- Beseitigung der sogenannten Durchgasung
- Erreichung einer Dichtekonstanz
- gute rheologische Werte nach dem Rühren
- Probenahme während des Prozesses möglich

Nachteile

- großer Aufwand
- Bedarf von Elektroenergie
- Nachmischen erst bei etwa 5 bis 6 m³ möglich

Nachmischdüse

- gute rheologische Werte nach dem Passieren der Düse
- sehr geringer Aufwand
- Einsatz bei kleinsten Mengen möglich
- keine Beseitigung der Durchgasung
- keine Erreichung der Dichtekonstanz
- keine Probenahme möglich

Mit dieser Gegenüberstellung werden die Einsatzgrenzen und -möglichkeiten deutlich. So kann das Nachmischaggregat öko-

nomisch erst bei Einpumpvolumen von etwa 10 m^3 eingesetzt werden. Diese Schlußfolgerung entspricht auch den tatsächlichen Praktiken der Zementationsprojektierung und -einsätze. Der Einsatz der Düse erweitert die Palette der Ausrüstungen, die der Qualitätsverbesserung dienen. Der Einsatz kann bei kleineren Zementationen ($< 10 \text{ m}^3$) erfolgen.

3.1.3. Ausrüstungen zum Speichern der Bindebaustoffe, Zusätze und Zuschläge

Die Speicherung der Bindebaustoffe, Zusätze und Zuschläge richtet sich nach den Lieferungsbedingungen dieser Materialien durch die Hersteller. Im Zementagebereich kommen lose Schüttgüter und abgesackte Materialien zum Einsatz. Als lose Schüttgüter werden Zement und Steinkohlenflugasche verwendet. Die Speicherung erfolgt mit Hilfe der üblichen Siloanlagen. Es werden die Baustellensilos mit Fassungsvermögen von 50 t verwendet. Die unterschiedlichen Schüttgewichte zwischen Zement und Steinkohlenflugasche haben unterschiedliche Füllgewichte zur Folge. Die Entnahme des Zementes und der Steinkohlenflugasche erfolgt pneumatisch oder durch Förderschnecken bekapnter Bauart. Als Speicher im Bohrfeld müssen die bereits beschriebenen Zementmischmaschinen bezeichnet werden. Die anderen Zuschläge und Zusätze (s. 3.3.2. und 3.3.3.) werden in Säcken gelagert. Dazu sind die üblichen Lagermöglichkeiten erforderlich.

3.1.4. Transportausrüstungen für Bindebaustoffe

Der Transport von Zement und Steinkohlenflugasche mit Hilfe der Zementmischmaschinen bis zu einer maximalen Füllung von 9,6 t wurde bereits dargestellt. Dazu sind keine weiteren Ausführungen erforderlich. Die eigentlichen und vor allem nur dafür vorgesehenen Transportausrüstungen sind die bekannten Silozüge (Typ Tatra), bestehend aus der Zugmaschine und dem Silohänger. Der Silozug hat ein Fassungsvermögen von 19,6 t Zement. Diese Silozüge haben die Aufgabe, den Transport der losen Schüttgüter vom Zementwerk oder vom Kraftwerk (bei

Steinkohlenflugasche) zu dem Ort der Zementation zu übernehmen. Die Silozüge fördern pneumatisch den Zement oder die Steinkohlenflugasche mit Hilfe ihrer eigenen Kompressoranlage (Rotationsverdichter) aus dem Silokessel in die Zementmischmaschine. Eine weitere Aufgabe besteht im Transport vom Erzeuger (Zementwerk, Kraftwerk) zur Silostation des Zementierbetriebes. Die Silostationen des Zementierbetriebes werden auch mittels ZKZ-Wagen der Reichsbahn beschickt.

3.1.5. Verbindungs- und Verteilungsausrüstungen

Jeder Arbeitsprozeß, bei dem Flüssigkeiten zu befördern sind, erfordert Fortleitungs-, Verteilungs- und Sammelausrüstungen. Bei Zementierungsarbeiten kommen Hochdruck- und Niederdruck-ausrüstungen zum Einsatz.

3.1.5.1. Hochdruckausrüstungen

Hochdruckausrüstungen sind für einen maximalen Arbeitsdruck von $p = 400 \text{ kp cm}^{-2}$ ausgelegt. Zu diesen Ausrüstungen gehören:

1. Hochdruckrohre und Gelenke - Durchmesser 2"
2. Y-Stücke und
T-Stücke zum Sammeln bzw. Verteilen
3. Zementierkopf mit Schiebern

Hochdruckrohre, Gelenke, Y-Stücke und T-Stücke sind das Hochdruckmanifold, mit dem jedes Zementieraggregat ausgerüstet ist. Zu dieser Ausrüstung müssen auch die zum Einsatz kommenden Hochdruckschieber gerechnet werden. Das Manifold verbindet die Hochdruckkolbenpumpe des Zementieraggregates mit dem Zementierkopf. Da die Anzahl der Zementierkopfanschlüsse oftmals geringer als die Anzahl der eingesetzten Zementieraggregate ist, müssen die Leitungen von zwei Zementieraggregaten zusammengefaßt werden. Dazu dienen die Y- und T-Stücke. Bei der Montage des Manifolds werden die Durchflußkörper der Mengenmeßgeräte in das Manifold eingebunden. Der Zementierkopf ist ein Sammler aller Leitungen der Zementieraggregate. Er schafft die Verbindung zwischen Hochdruckmanifold und Rohr-

tour. Gleichzeitig dient er zur Aufnahme der Stopfen. Der Zementierkopf wird auf das letzte Rohr der Kolonne aufgeschraubt und ist mit 2 bis 9 Anschlüssen für das HD-Manifold versehen. Zwischen jedem Anschluß und dem Zementierkopfkörper befindet sich ein Hochdruckschieber, der nach Bedarf geöffnet oder geschlossen werden kann. Der Zementierkopf besitzt eine Stopfenkammer, die zur Aufnahme der Stopfen dient. Zur Vermeidung eines unkontrollierten Eintrittes der Stopfen in die Rohrtour werden diese mittels Arretierbolzens in der Stopfenkammer gehalten. Das Einlegen der Stopfen erfolgt von oben. Der schraubbare Deckel des Zementierkopfes ist mit einem Anschluß, ebenfalls mit HD-Schieber, zum Anpumpen der Stopfen versehen. Über diesen Anschluß erfolgt das Anpumpen der Stopfen nach dem Lösen der Arretierbolzen. Die genaue Kontrolle des LöSENS der Arretierung ist unbedingt zur Vermeidung von Havarien erforderlich. Zur Aufnahme weiterer Stopfen bei den verschiedensten Zementationsverfahren kann jeder Zementierkopf mit weiteren Kammern versehen werden. Zur Kontrolle des Druckverlaufes während der Arbeitsoperationen befinden sich am Zementierkopf Anschlußmöglichkeiten für Manometer und Druckbandscheiber.

3.1.5.2. Niederdruckausrüstungen

Das Niederdruckmanifold dient als Zupumpleitung zu den Zementieraggregäten und als Saugleitung für die Pumpen. Zum ND-Manifold gehören

1. Saugleitung für die Zementierpumpen
2. Saugleitung für die Wasserpumpen
3. Druckleitung der Zementmischmaschine
4. Spülungsverteiler und Schläuche zur Versorgung der ZA mit Nachpumpflüssigkeiten

3.2. Untertägige Zementationsausrüstungen

Untertägige Zementationsausrüstungen, im Sprachgebrauch UZ-Materialien, ermöglichen

1. die Durchführung des Rohreinbaues
2. die Zementation der Rohrtour
3. die Qualität der Zementation
4. Reparaturarbeiten im Bohrloch

3.2.1. Ausrüstungen für Primärzementationen

Diese Ausrüstungen dienen der qualitätsgerechten Zementation von Rohrtouren nach dem Bohrprozeß bzw. ermöglichen die Zementation unter Berücksichtigung der Bohrlochbedingungen.

3.2.1.1. Ausrüstungen zur Qualitätssicherung

Rohrschuh

Der Rohrschuh (s. Bild 13) hat die Aufgabe, das erste Rohr beim Rohreinbau vor Deformierung zu schützen. Man unterscheidet zwei Arten von Rohrschuhen

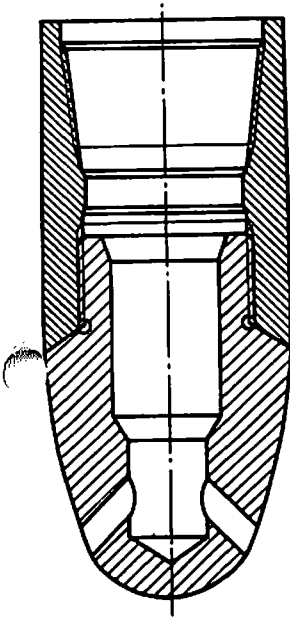


Bild 13
Rohrschuh mit gußeiserner Führungsbirne /1/

1. den offenen Rohrschuh
2. den Rohrschuh mit Anschlußgewinde für die Führungsbirne

Der offene Rohrschuh besitzt nur den Futterrohrgewindeanschluß und ist am freien Ende angefast. Der Außendurchmesser des Rohrschuhs entspricht dem Muffenaußendurchmesser.

Führungsbirne

Die Führungsbirne hat die Aufgabe, die Rohrtour beim Rohreinbau zu führen. Aus dieser Aufgabe resultiert die Form eines Konus bzw. einer Halbkugel. Besonders wichtig ist, daß die Führungsbirne aus aufbohrbarem Material besteht. Die häufigsten Materialien sind Aluminium, Grauguß und Beton. Die Zementschlämme bzw. Spülung kann die Führungsbirne durch eine mittige kreisförmige Bohrung und durch seitliche Öffnungen passieren. Bei den Materialien Aluminium und Grauguß wird die Führungsbirne in den Rohrschuh eingeschraubt. Betonführungsbirnen werden in den Rohrschuh eingegossen.

Kugelrückschlagventil

Kugelrückschlagventile (s. Bild 14) ermöglichen, wie jedes Ventil, eine Zirkulation nur in eine Richtung.

Sie haben die Aufgabe,

1. den schwimmenden Einbau der Rohrtour bis zur Endteufe zu ermöglichen
2. den Rücklauf der im Ringraum befindlichen Zementschlämme zu verhindern. Damit wird ein Gewichtsausgleich auf Grund der unterschiedlichen statistischen Drücke verhindert.

Das Kugelrückschlagventil besteht aus einem Gehäuse, einem Kugelsitz und einer Kugel. Der Einbau des Kugelrückschlagventils erfolgt etwa 20 m oberhalb des Rohrschuhes. Die Konstruktion des Kugelrückschlagventils verlangt zum funktions-sicheren Schließen einen Differenzdruck. Ein pfleglicher Umgang beim Transport, Verschrauben und Einbau ist unbedingt erforderlich.

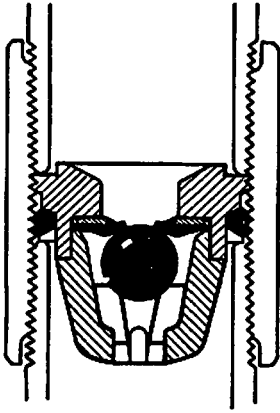


Bild 14. Kugelrückschlagventil /3/

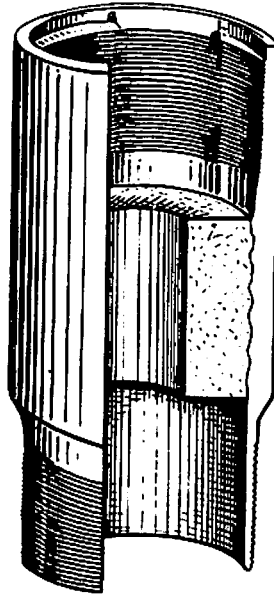


Bild 15. Stopübergang /2/

Stopübergang

Der Stopübergang (s. Bild 15) hat die Aufgabe, als Anschlag für die Stopfen zu dienen. Er besteht aus einem Stahlkörper in Form eines Überganges mit einer Einschraubbuchse mit einem Durchlaß von 50 bis 100 mm. In der älteren Ausführung wurde der Muffenkörper mit einer Betonfüllung mit gleichem Durchlaß ausgegossen. Zur Rationalisierung der Fertigung dieser Ausrüstungen werden Einschraubteile der Rückschlagventile verwendet. Der Stopübergang wird zwischen zwei Rohren eingeschraubt oder verschweißt. Ein defekter Stopübergang birgt die Gefahr in sich, daß die Zementschlämme über den Rohrschuh hinausgepumpt wird, da der Nachstopfen ein Weiterpumpen nicht verhindert.

Stopfen

Die Stopfen bestehen aus Gummi und haben die Aufgabe, die Zementschlämme von der Spülung oder Nachpumpflüssigkeit zu trennen. Wie bereits in der Technologie zur Zweistopfenze-

mentation beschrieben wurde, werden zwei Typen von Stopfer eingesetzt.

1. Vorstopfen

Der Einsatz erfolgt, um eine Trennung zwischen Spülung bzw. Vorpuffer und der Zementschlämme in der Rohrtour zu erreichen. Er wird unmittelbar vor der Zementschlämme eingepumpt. Der Vorstopfen reinigt gleichzeitig die Rohrwand von Spülungsresten. Die Stabilität erhält der Gummistopfen durch ein evulkanisiertes Aluminiumrohr. Der Gummikörper verschließt das Alu-Rohr am oberen Teil in Form einer Gummimembrane. Beim Aufschlag auf den Stopübergang wird die Gummimembrane zerstört; die Zementschlämme strömt dann durch den Vorstopfen.

2. Nachstopfen

Er trennt die Zementschlämme von der Nachpumpflüssigkeit und reinigt die Rohrtour von Zementschlämmerückständen. Der Nachstopfen besteht aus dem Gummikörper und einem evulkanisierten Aluminiumkern. Beim Auftreffen des Nachstopfens auf den Vorstopfen bzw. auf den Stopübergang wird der Durchlaß geschlossen. Dieser Vorgang ergibt einen Druckanstieg und zeigt den Schluß des Nachpumpens an. Es ist der Stopdruck.

Rohrzentralisatoren

Rohrzentralisatoren (s. Bilder 16, 17, 18) haben die Aufgabe, die Rohrtour im Bohrloch zu zentrieren und die Bildung eines in seiner Dicke einheitlichen Zementmantels im Ringraum zu gewährleisten. Die Zentrierung der Rohrtour ist auf den mechanischen Druck der Zentralisatorbügel aus hochwertigem Federstahl gegen die Bohrlochwand zurückzuführen.

Die Rohrzentralisatoren sind mittels Halteringen auf der Rohrtour befestigt oder werden über die Muffen der Rohre geklappt. Die Konstruktion der Rohrzentralisatoren ist sehr verschiedenartig. Sie werden in klappbarer und geschlossener Ausführung für die unterschiedlichsten Rohrdimensionen gefertigt. Sie sind im zu zementierenden Bereich in Abständen von 10 bis 15 m in Abhängigkeit von den konkreten Bohrlochbedingungen zu setzen.

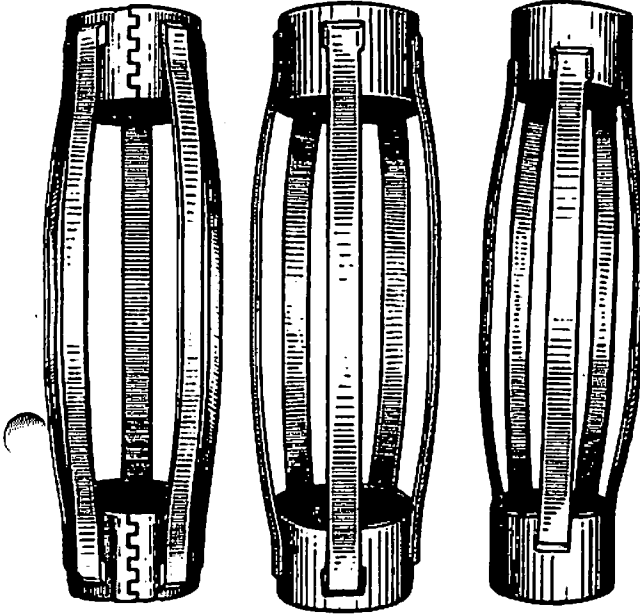


Bild 16
Zentralisator typen
/2/

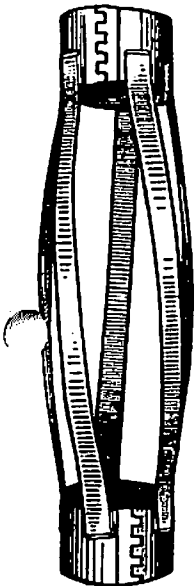


Bild 17
Zentralisator
mit spiralför-
migen Federn
/3/

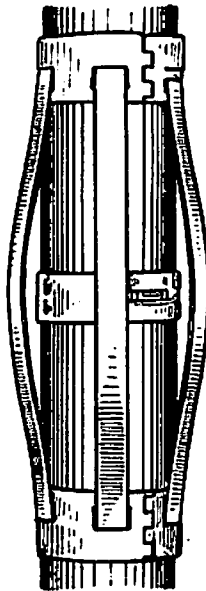
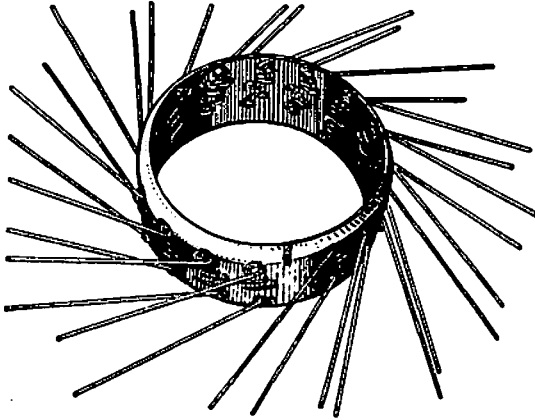


Bild 18
Klappbarer
Zentralisator
/3/

Bild 19
Rohrkratzer /3/



Rohrkratzer

Kratzer dienen zur Säuberung der Bohrlochwand vom Filterkuchen; sie dienen im Endeffekt einer guten Bindung des Zementsteines mit dem Gebirge. Kratzer haben die Form einer ringförmigen Stahlbürste (s. Bild 19). Sie werden in Abständen von etwa 5 m auf die Rohrtour mittels Halteringen befestigt. Bei der Bestückung der Rohrtour mit Kratzern ist die Rohrtour um den Mindestabstand zwischen den Kratzern während der Zementation zu fahren. Wird die Rohrtour nicht gefahren, d. h. nicht bewegt, dann können die Kratzer ihre eigentliche Aufgabe des Säuberns der Bohrlochwand nicht mehr erfüllen. Sie erhöhen den Metallanteil im Zement, und in einer Vielzahl geben sie die Möglichkeit für die Bildung von sogenanntem Stahlbeton hinter den Rohren. Außerdem dienen sie als zusätzliche Turbulenzerreger. Ist ein Fahren der Rohrtour aus technischen Gründen nicht möglich, dann kann die Rohrtour mit sogenannten Kammkratzern (s. Bild 20), versetzt um 120° längs der Rohrtour, bestückt werden. In dem Fall ist die Rohrtour während der Zementation zu rotieren.

Bild 20
Kammkratzer /5/

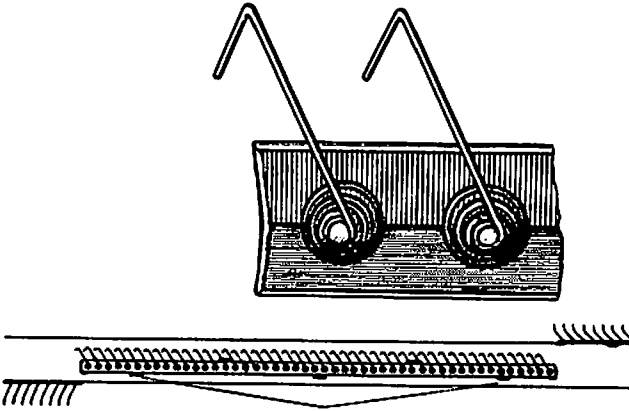
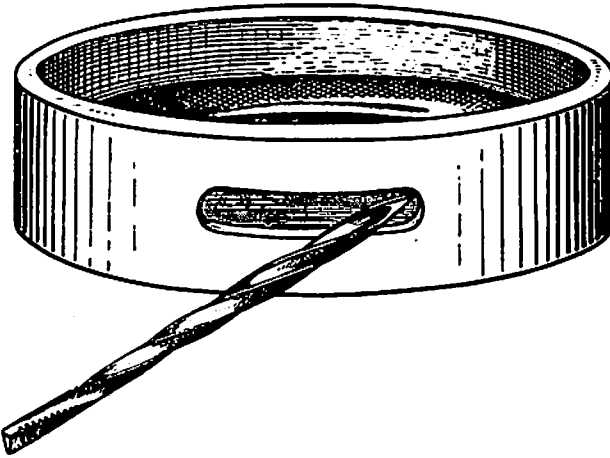


Bild 21
Haltering /3/



Halteringe

Halteringe (s. Bild 21) haben die Aufgabe,

1. die Bewegungsfreiheit von Kratzern und Zentralisatoren auf der Rohrtour einzuschränken bzw. die Bewegung vollkommen zu verhindern
2. die Montage von Kratzern und Zentralisatoren (bei Verwendung von muffenlosen Rohren) ohne Schweißen zu ermöglichen

Die Befestigung erfolgt durch das Einschlagen eines oder mehrerer gedrillter Stahlnägel in den Ringraum zwischen dem Ringkörper und der Rohrtour. Zur Führung der Stahlnägel im Interesse der Erreichung einer hohen möglichen Abstreifbelastung ist im Ringkörper eine Nut vorhanden.

3.2.1.2. Ausrüstungen zur Berücksichtigung besonderer Bedingungen

Die verschiedenen und oftmals in ihrer Erscheinung stark differenzierenden geologischen und technischen Bedingungen verlangen eine Vielzahl von Zementageausrüstungen, die oftmals die Zementation erst ermöglichen.

Einrichtung zur Stufenzementation

Wie bereits in der Technologie der Stufenzementation dargestellt wurde, wird dazu eine Schiebemuffe eingesetzt. Die Schiebemuffe (s. Bild 22) ist eine mechanische Zementationsausrüstung zum kontinuierlichen oder diskontinuierlichen stufenweisen (zwei und mehr) Zementieren einer Rohrtour. Nach dem Einbau der Schiebemuffe ist das Drehen der Rohrtour nicht wünschenswert, da eine Drehbewegung den komplizierten Mechanismus in seiner Funktionstüchtigkeit negativ beeinflusst; die Havariegefahr steigt.

Die Schiebemuffe besteht aus einem Grundkörper, den inneren Scherhülsen (untere und obere) und der äußeren Scherhülse. Die Scherhülsen werden durch Scherstifte gehalten. Im Körper der Muffe befinden sich mehrere Austritts-

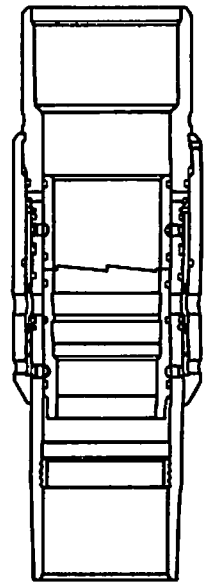


Bild 22
Schiebe-
muffe zur
Zweistufen-
zementation
/3/

öffnungen. Diese Austrittsöffnungen werden von der unteren inneren Schiebehülse während der Zementation der 1. Stufe überdeckt. Setzt der Öffnungsstopfen auf den Sitz der unteren inneren Scherhülse auf, scheren die Abscherstifte die untere Hülse ab, sie bewegt sich nach unten und wird von einem Sprengring gehalten. Die Zirkulation für die 2. Stufe erfolgt jetzt über die frei gewordenen Austrittsöffnungen. Durch das Betätigen der oberen inneren Scherhülse durch den Schließstopfen werden seitliche Kanäle frei. Durch den Überdruck wird die äußere Scherhülse betätigt. Damit sind die Austrittsöffnungen durch die obere innere und äußere Scherhülse verschlossen. Eine Zirkulation über die geschlossene Muffe ist nicht möglich. Die äußere Scherhülse hat die Aufgabe, nach dem Aufbohren der inneren Hülse die Muffe verschlossen zu halten. Der Außendurchmesser der Schiebemuffe liegt über dem Muffendurchmesser der Rohrtour. Es sind nur Schiebemuffen in den Rohrstrang einzubauen, deren Funktionstüchtigkeit nachgewiesen ist. Den Öffnungs- und Schließvorgang bei der Stufenzementation zeigt Bild 23.

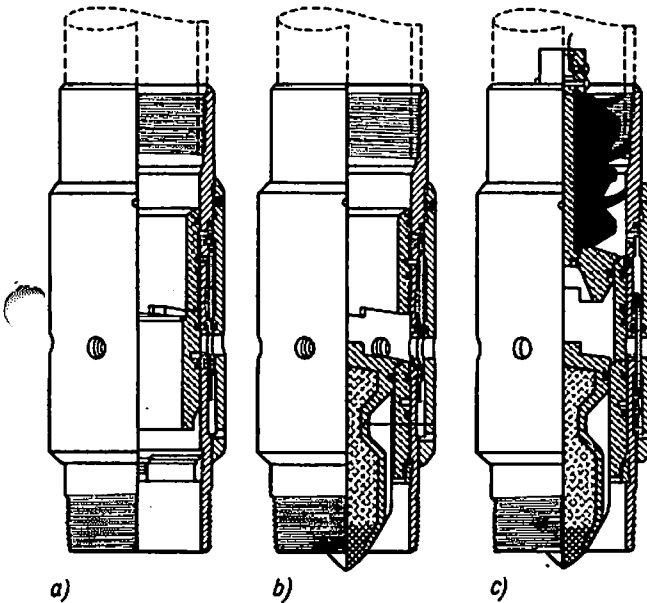


Bild 23
 Öffnungs- und
 Schließvorgang
 bei der Stufen-
 zementation /3/

Einrichtung zur Liner- und Sektionszementation

Zum Einsatz kommt eine Zementiermuffe, auch Linermuffe genannt, in einfacher oder Duor-Ausführung und der Linerhänger. Die Kombination Linermuffe mit Nachsetzschuh ist eine komplette Zementiereinrichtung zur Durchführung von Sektionszementationen. Die Linermuffe besteht aus zwei Hauptteilen, dem äußeren und dem inneren Verbindungsstück. Das äußere Verbindungsstück hat an der unteren Seite Futterrohranschluß und an der oberen Seite einen Innenkonus. Unterhalb des Innenkonus befindet sich ein Trapezlinksgewinde (Mutter). Das innere Verbindungsstück hat unten den Trapezlinksgewindeanschluß (Vater), darüber folgt der Schersitz der Linermuffe und oben ein Gestängeanschluß.

Die Funktionsweise der Linermuffe

Die Linermuffe wird mit der Rohrtour verschraubt und am Gestänge in das Bohrloch eingebaut. Nach Erreichen der Einbautiefe wird die Rohrtour über das Gestänge zementiert. Durch das Aufsetzen eines Öffnungsstopfens bzw. einer Öffnungsbombe wird der innere Schersitz der Linermuffe betätigt und die Linermuffe geöffnet. Über diese Öffnungen wird die oberhalb der Linermuffe stehende Zementsuspension auszirkuliert. Nach dem Erhärten des Zementes wird das Innenteil der Linermuffe am Trapzegewinde rechts abgeschraubt und am Gestänge wieder ausgebaut.

Die 2. Futterrohrsektion ist mit einem Nachsetzschuh, bestehend aus einer Führungsbirne und einem Außenkonus, ausgerüstet. Nach der Zementation wird der Außenkonus des Nachsetzschuhes (2. Sektion) in den Innenkonus der Linermuffe (1. Sektion) abgesetzt.

Eine technische Weiterentwicklung der Linermuffe ist die Duo-Muffe. Sie gestattet es, den Liner mit einem Trennstopfen zu zementieren. Unterhalb des Schersitzes der Linermuffe wird ein Trennstopfen der Dimension der Rohrtour durch Scherstifte gehalten. Die Zementschlämme strömt durch einen zentrischen Durchlaß (analog Vorstopfen). Die Zementschlämme wird durch einen kleinen Gestängestopfen von der Nachpumpflüssigkeit getrennt.

Der Gestängestopfen setzt auf den Trennstopfen des Liners auf und verstopft den Durchlaß. Durch den auftretenden Druckanstieg wird der Trennstopfen abgeschert und gemeinsam mit dem in ihm sitzenden Gestängestopfen durch den Liner gepumpt. Das Öffnen der Duo-Muffe erfolgt analog der Linermuffe.

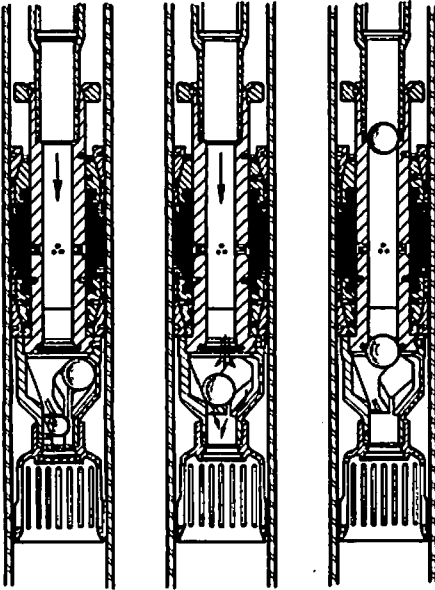
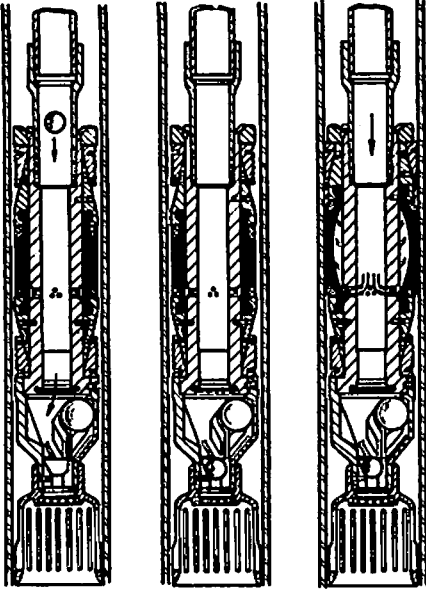
3.2.2. Ausrüstungen für Sekundärmaßnahmen

Unter Sekundärmaßnahmen im Zementagebereich versteht man Havariebeseitigungsarbeiten, Arbeiten zur planmäßigen Reparatur der Fördersonden oder Arbeiten zur Beseitigung von Spülverlusten und ähnlichen Erscheinungen. Für derartige Zwecke wurden eine Reihe von Ausrüstungen entwickelt, die in der DDR bisher nur begrenzt zum Einbau kamen, deren Einsatz in der Folgezeit aber wesentlich zunehmen wird.

Zementretainer, Zementer

Zementretainer und Zementer werden eingesetzt zur tiefenkontrollierten Verpressung von Zementschlämmen oder anderer Behandlungsfliessigkeiten in ausgewählte Horizonte. Der Zementretainer (s. Bild 24) ist ein Zementationspacker, der am Gestänge in die Rohrtour eingebaut wird und nicht wiedergewinnbar ist (s. Bild 25). Das verwendete Material ist im wesentlichen, bis auf die Klemmbacken, bohrbar. Der Retainer besteht aus dem Grundkörper, dem Gummielement und den oberen und unteren Klemmbacken. Das Setzen des Retainers erfolgt, indem hydraulisch die oberen Backen an die Bohrlochwand gedrückt werden. Der Retainer wird dann angezogen, bis die unteren Klemmbacken an der Rohrwand verkeilt sind. Das Anpressen des Elementes, das die Funktion des Abdichtens hat, wird auf zwei Arten erzielt. Die Art unterscheidet auch die Typen der Retainer. Das Gummielement wird beim Gegenziehen auseinandergedrückt oder mit Hilfe von Spülung über das Gestänge aufgepumpt. Nach dem Setzen wird mit Hilfe einer Kugel der Durchgang nach unten freigedrückt, indem ein Kolben nach unten abgeschert wird. Bei allen Operationen, insbesondere bei den späteren Verpressungsarbeiten, wird das Bohrloch, und das ist beabsichtigt, oberhalb des Retainers nicht

Bild 24. Zementretainer /3/



hydraulisch belastet. Der Einbau des Retainers muß sehr langsam erfolgen, da der freie Ringraum zwischen Rohrrinnendurchmesser und Retaineraußendurchmesser sehr gering ist. Zum Setzen der oberen Backen wird ein Federkorb verwendet, der die erforderliche Reibkraft aufbringt. Der Zementer hat die gleiche Aufgabe wie der Retainer. Die zwei wesentlichen Unterschiede sind:

- Das Setzen erfolgt durch Drehen des Gestänges
- Der Zementer ist nach erfolgter Operation wieder ausbaubar und kann mehrfach, sofern keine mechanischen Beschädigungen vorliegen, eingesetzt werden

Brückenstopfen (s. Bild 25)

Für eine Reihe von bohrtechnischen Arbeiten, wie Konservierung, Abschluß des Bohrloches, Testdurchführung usw., ist das Schaffen einer neuen Bohrlochsohle erforderlich. Zur Zeit wird das Setzen von Zementbrücken in allen Fällen praktiziert. Im Zuge der Weiterentwicklung der Ausrüstungen zur Beschleunigung der Bohrtätigkeit und zur Vermeidung von Fehlleistungen wurde der Brückenstopfen entwickelt und in anderen Ländern mit Erfolg eingesetzt. Der Brückenstopfen arbeitet nach dem Prinzip des Retainers (Klemmbacken, Gummielemente). Wie bereits dargestellt, hat er aber die Aufgabe, das Bohrloch so zu trennen, daß der untere Teil nicht belastet wird. Durch das Fehlen der Innenbohrung schließt er nach erfolgreichem Setzen beide Bohrlochteile hermetisch voneinander ab. Der Brückenstopfen ist nicht wieder ausbaubar. Sein Einsatz erfolgt nur, wie der Retainer und Zementer, im verrohrten Bohrloch.

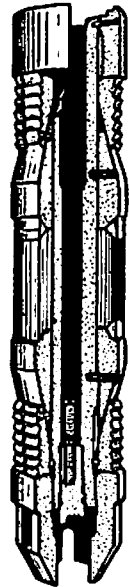


Bild 25
Brücken-
stopfen
/3/

3.3. Zementationsmaterialien

Unter Zementationsmaterialien sind alle die Materialien zu verstehen, die entsprechend der vorgegebenen Rezeptur benötigt werden. In den vergangenen Jahren haben sich Zementschlämmen herausgebildet, die durch das Zement-Zuschlagstoff-Zusatz-Verhältnis so modifiziert sind, daß sie konkreten Bohrlochbedingungen gerecht werden.

3.3.1. Bindebaustoffe

Als Bindebaustoffe kommen im wesentlichen Zemente der verschiedensten Güten zum Einsatz. Für den Einsatz in der Tiefbohrtechnik wurde ein spezieller Zement, der sogenannte Tiefbohrzement (Kurzzeichen PZ 2/325), entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Der Einsatz gemahlender Schlacken ist möglich. Unter den jeweiligen Bohrlochbedingungen sowie auf Grund der geologischen und technischen Situation werden an den Zement sehr verschiedenartige Anforderungen gestellt, wie

- ausreichende Abbindezeiten unter den jeweiligen Bohrlochbedingungen
- Bildung eines dichten und festen Zementsteines
- hohe Beständigkeit gegenüber aggressiven Medien
- niedrige Viskosität der Zementschlämme
- gute Perforationscharakteristik
- lange Lagerungsfähigkeit

3.3.2. Zuschlagstoffe

Unter Zuschlagstoffen zum Zement sind solche Stoffe zu verstehen, die dem Zement in größeren Mengen zugesetzt werden und im strukturellen Gefügebau des Zementverbandes eingelagert werden, z. B. Flugasche, Quarzmehl, Quarzsand.

Steinkohlenflugasche

Die Steinkohlenflugasche ist ein Abfallprodukt von Kraftwerken. Der Einsatz von Steinkohlenflugasche in Verbindung mit Zement als Schlämme hat eine Reihe von Vorteilen. Diese sind:

- Die Rezepturen besitzen ein größeres Quellvermögen und ergeben eine größere Schlammausbeute. Die Viskosität der Schlämme nimmt mit steigendem Aschegehalt zu, wenn die Asche feiner ist als der Zement.
- Der Zementstein erlangt auch bei hohen Temperaturen relativ schnell die geforderte Druckfestigkeit. Der Zementstein ist nicht spröde, besitzt gute Perforationseigenschaften und ist auch verhältnismäßig beständig gegenüber aggressivem Schichtwasser.
- Mit steigendem Aschegehalt ist eine Zunahme der Abbindezeiten von SPZ-FA-Gemischen zu verzeichnen.
- Die Permeabilität des Zementkörpers ist niedrig, und er kann in der Regel nach 3 Tagen als dicht bezeichnet werden.
- Da die Flugasche ein Abfallprodukt ist, ergeben sich durch ihren Einsatz Kosteneinsparungen.

Die relativ kleine Dichte der Steinkohlenflugasche von 2,0 bis 2,1 kg dm⁻³ trägt hauptsächlich zur Reduzierung der Schlammichte bei. Nachteilig ist bei diesen Schlämmen, daß bei geringen Temperaturen und einem größeren Ascheanteil kein Abbinden mehr vorhanden ist. Das Mischen beider Komponenten erfolgt in trockenem Zustand.

Bentonit

Eine der ältesten Methoden zur Herstellung von Leichtzementen ist der Zusatz von Bentonit zum reinen Zement. Diese Rezeptur ist allgemein unter dem Begriff Gel-Zement bekannt. Hierbei wird Bentonit in Mengen von 4 bis 16% dem Zement beigegeben. Die wesentlichen Vorteile von Gel-Zementen auf der Basis von Bentonit sind folgende:

1. niedrige Schlammichte
2. größeres Schlammvolumen

3. gute Haftung
4. durch geringe Festigkeiten gute Perforationseigenschaften
5. niedrige Kosten
6. starke Reduzierung der Wasserabgabe der Zementschlämme

Diatomeenerden

Geeignete Diatomeenerden weisen eine Reihe von guten Eigenschaften auf. Durch den Zusatz von Diatomeenerde zum Zement (auch unter dem Namen Kieselgur bekannt) läßt sich die Dichte stark reduzieren. Nach den praktischen Erfahrungen kann sie zwischen 1,5 bis 1,7 kg dm⁻³ variiert werden. Diatomeenendemente weisen eine hohe Sulfatbeständigkeit auf und eignen sich ferner gut zur Zementation von Salzhorizonten. Der sehr große Wasserbedarf von Diatomeenerde bewirkt eine sehr hohe Schlammausbeute. Gegen den Einsatz von Diatomeenerden-Zemente sprechen die langen Abbindezeiten und die geringen Festigkeiten. Dies hat seine Ursache in dem zu hohen Anteil an ungebundenem Wasser in der Schlämme, die dann leicht zur Sedimentation neigt.

Perlit

Perlit kommt in Form von granulierten Hohlkörperchen zum Einsatz. Dieses geblähte Perlit eignet sich auf Grund der geringen Dichte sehr gut zur Senkung der Schlamm-dichte. Bei Zusätzen von 5 bis 10% geblähtem Perlit ist eine Schlamm-dichte von 1,33 bis 1,70 kg dm⁻³ zu erreichen. Da das Perlit sehr großkörnig ist, eignet es sich zur Isolierung von Verlusthorizonten. Perlit ist ein Material, das sich nicht unmittelbar am Abbindeprozeß beteiligt. Es erfüllt die Funktion eines Dämmstoffes. Das Perlit ist auf Grund seiner Struktur und Festigkeit wenig druckstabil. Bei höheren Drücken werden die geblähten Hohlkörperchen des Perlits zusammengedrückt, der Effekt einer Verminderung der Schlamm-dichte bleibt aus und die Viskosität der Schlämme steigt stark an. Der Einsatz von Perlit ist nur auf geringe Teufen begrenzt. Das Perlit findet in der DDR als Zuschlagstoff wenig Anwendung. Es ist sehr kostenaufwendig und ein Importmaterial. Sein Einsatz bleibt Extremfällen vorbehalten.

Beschwerungsmittel

Beschwerte Zemente dienen zum Abdichten druckstarker Horizonte. Wenn die Dichte der im Bohrloch befindlichen Spülung die einer normalen Zementschlämme von $1,90 \text{ kg dm}^{-3}$ übersteigt, so macht sich eine Beschwerung letzterer unbedingt erforderlich. Nur eine schwere Zementschlämme verhindert eine mögliche Eruption und kann die Spülung weitestgehend aus dem Ringraum verdrängen. Die Dichte der Zementschlämme muß mindestens $0,1 \text{ kg dm}^{-3}$ über der Spülung liegen, um die Voraussetzung für eine einwandfreie Spülungsverdrängung zu schaffen. Im umgekehrten Falle wäre nur eine Kanalbildung das Resultat, und ein qualitätsgerechtes Abdichten des Ringraumes wäre nicht gewährleistet. Zum Beschweren von Zementschlämmen werden spezifisch schwere Materialien eingesetzt. Als Beschwerungsmittel dienen

- Kristallquarzsand
- Baryt
- Hämatit
- Eisenpulver
- Magnetit

Durch den Zusatz von Kochsalz, d. h. durch das Anmachen der Schlämme mit ausgesalzenem Wasser, erfolgt eine geringe Erhöhung der Schlammichte. In einem solchen Fall ist eine maximale Schlammichte von $\rho = 2,0 \text{ kg dm}^{-3}$ auf der Basis von reinem SPZ möglich.

Baryt

Der Einsatz von Baryt erweist sich nicht als sehr vorteilhaft, da er meistens in stark verunreinigter Form die Viskosität der Schlämme enorm heraufsetzt und durch den folglich hohen spezifischen Wasserbedarf die Festigkeiten des Zementsteines beträchtlich vermindert.

Hämatit

Mit Hämatit ist eine Beschwerung der Schlämme bis zu $2,24 \text{ kg dm}^{-3}$ möglich, was jedoch auf Grund einer zu hohen Viskosität ein Verpumpen der Schlämme nur unter großen Schwierigkeiten gestattet. Maximal ist der Einsatz von 50% Hämatit

im Gemisch Zement-Hämatit bei einem Wasser-Zement-Faktor von 0,70 möglich. Die Schlammdichte erreicht dabei einen Wert von 2,15 bis 2,18 kg dm⁻³. Hämatit ist ein inerter Zuschlagstoff. Er beeinflusst nicht die Abbindeigenschaften der Schlämme. Die Abbindezeiten und die Festigkeiten hängen hauptsächlich von der Wahl des Wasser-Zement-Faktors ab.

Fe-Pulver

Durch Fe-Pulver ist man in der Lage, die Zementschlämme bis auf eine Dichte von 2,3 bis 2,5 kg dm⁻³ zu beschweren. Es werden die normalen Festigkeitswerte beibehalten, und die Schlämme ist relativ gut verpumpbar. Fe-Pulver ist oft ein Abfallprodukt und daher auch vom ökonomischen Gesichtspunkt her besonders für den Einsatz geeignet.

Sand

Sand eignet sich gut als Beschwerungsmittel. Dem Zement kann Sand bis etwa 70% zugesetzt werden. Die Dichte der Zementschlämme bei diesem Prozentgehalt beträgt 2,15 kg dm⁻³ bei einem Wasser-Zement-Verhältnis von 0,5. Bei der Auswahl des Sandes geht man von der Korngröße aus. Je feinkörniger der Quarzsand, desto besser dispergiert er mit der Zementschlämme und setzt sich nicht ab. Eine Korngröße des Quarzsandes von 0,1 bis 0,3 mm erweist sich als ideal. Eine gute Pumpbarkeit der Schlämme ist gewährleistet, da der Sand dem Zement nur als inerter Stoff beigemischt ist; er nimmt nicht unmittelbar am Abbindeprozeß teil. Eine ausreichend hohe Festigkeit des Zementsteines ist auf jeden Fall gegeben. Quarzsand wird dem Zement auch dann beigemischt, wenn die Thermostabilität der Zementrezeptur von reinem SPZ nicht mehr gewährleistet ist. Zement-Sand-Gemische finden wegen ihrer hohen Festigkeitswerte große Anwendung beim Setzen von Zementbrücken für das Ablenkungsbohren.

Quarzmehl

Der Zusatz von Quarzmehl zum Zement bewirkt eine kontinuierliche Entwicklung der Festigkeit des Zementsteines auch bei

hohen Temperaturen. Quarzmehl kann bis zu 50% dem Zement zugesetzt werden. Dabei wird die Schlammdichte um ein geringes Maß herabgesetzt, die Fließgrenzenänderungen belaufen sich in kleineren Grenzen und die Abbindezeit verändert sich nur geringfügig. Bei zu hohem Gehalt an Quarzmehl wird der Zementstein zu spröde, und die Perforationseigenschaften verschlechtern sich. Die besten Resultate erzielt man bei einem Zusatz von 20 bis 30% Quarzmehl zum Zement.

Gips

Zum Setzen von Zementbrücken bewähren sich oft schnellabbindende Gipszemente. Der Nachteil der Gipszemente ist der, daß nach einem relativ kurzen Zeitraum sich die Anwesenheit von freiem Wasser störend auf seine Struktur auswirkt. Deshalb ist sein Einsatz nur von begrenzter Zeitdauer. Er ist solchen Fällen vorbehalten, in denen eine hohe Anfangsfestigkeit binnen 1 bis 2 Stunden gefordert wird.

Latex

Zur Liquidierung von Spülungsverlusthorizonten, zum Abdichten von Wasserzuflüssen und zum Isolieren der Futterrohre kann man ein Gemisch von synthetischem Latex, Zement und oberflächenaktiven Stoffen, angemischt mit Wasser, zur Anwendung bringen. Die wesentlichen Vorteile dieses Latexzementes sind:

- ähnliche Abbindezeiten wie bei anderen Zement-Rezepturen
- sehr gute Haftfähigkeiten zum Gebirge und zum Rohr
- geringe Permeabilität
- Beständigkeit gegenüber aggressiven Schichtwässern
- geringe Wasserabgabe
- gute Festigkeiten
- hohe Elastizität und deshalb eine gute Perforationscharakteristik; Rißbildung ist ausgeschlossen

Latex-Zemente eignen sich vorwiegend für Linierzementationen, zur Isolierung produktiver Schichten sowie für Reparaturarbeiten. Der prozentuale Gehalt von Latex im Zement beträgt in der Regel 10%. Versuche zeigten, daß normale Tiefbohr-

zemente etwa 60% der Haftfähigkeit von Latexzementen erreichen. Der Verwendungszweck von Latex-Zementen kann auf kleinere Portionen beschränkt bleiben. Diese kleineren Mengen werden nach der eigentlichen Zementportion eingepumpt. Sie haben zur Aufgabe, die oberhalb des Rohrschuhes stehenden Speicherhorizonte abzudichten.

Diesel-Öl-Zemente

Diesel-Öl-Zemente erhält man, indem dem Zement Dieselöl oder Kerosin beigesetzt wird, d. h. ihn damit anmischt. Die Besonderheiten dieses Gemisches bestehen darin, daß Diesel-Öl-Zemente in produktiven Horizonten nicht abbinden. Beim Vermischen des Zementes mit Wasser verdrängt das Wasser das Öl aus dem Gemisch, und der Zement bindet ab. Somit werden nur die wasserführenden Horizonte unterhalb und oberhalb des Speichers zementiert. Der noch ungebundene Diesel-Öl-Zement kann aus der ölführenden Formation ausgewaschen werden.

3.3.3. Zusatzstoffe

Als Zusätze zum Zement bezeichnet man geringe Mengen von Stoffen zur Regulierung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Zementschlämme, z. B. CMHEC-Produkte, Weinsäure, CaCl_2 , Calciumlignosulfonat.

Abbindebeschleuniger

Zur Forcierung des Bohrlochprozesses ist es notwendig, die Wartezeiten auf Zementerhärtung wesentlich zu verkürzen. Dies trifft besonders für Zementationen in geringen Teufbereichen ohne hohe Gebirgstemperaturen zu. Zu diesem Zweck mischt man dem Zement bzw. dem Anmischwasser sogenannte Abbindebeschleuniger bei. Die Funktion der Abbindebeschleuniger liegt darin, die Abbindezeiten der Zementschlämme auf das möglichste Minimum zu reduzieren und dabei die erforderlichen Anfangsfestigkeiten des Zementes schon nach einer relativ kurzen Zeitspanne zu gewährleisten. So ist bei einem Zusatz von Abbindebeschleunigern mit einem starken Festig-

keitsanstieg zu rechnen, der mit fortschreitender Hydratation abnimmt, um sich dann dem von Zementen ohne Zusätze anzupassen. Das Mindestmaß der Anfangsdruckfestigkeit des Zementsteines, das eine Fortsetzung des Bohrprozesses zuläßt, liegt bei etwa 35 bis 50 kp cm⁻². In der DDR kommt speziell Calciumchlorid (CaCl₂) zur Anwendung. Calciumchlorid wird bis zu 3% des Zementgewichtes dem Anmischwasser zugesetzt. Ein Einfluß auf die Dichte und eine prinzipielle Zunahme der Endfestigkeit ist nicht festzustellen. Lediglich durch die Zugabe von CaCl₂ tritt eine leichte Steigerung der Viskosität der Schlämme ein. Die Dosierung von CaCl₂ muß sorgfältig ausgewählt werden, um ein frühzeitiges Abbinden der Zementschlämme während des Zementationsprozesses zu vermeiden. Calciumchlorid wird hauptsächlich in einem Teufenintervall bis etwa 1000 m eingesetzt, jedoch muß der Prozentgehalt an CaCl₂ der jeweiligen Teufe angepaßt werden. Reduzierend auf die Abbindezeiten der Zementschlämme wirken fernerhin:

- Natriumchlorid
- Magnesiumlaugen
- Soda (Schnellstabbinder)

Ein unkontrollierter Zufluß von Magnesiumlaugen in das Bohrloch führt zum unkontrollierten vorzeitigen Abbinden der Zementschlämme. Durch die Zugabe von Soda ist ein spontanes Abbinden der Zementschlämme zu erwarten.

Verzögerer

Zementationen in tiefen Bohrungen sind sehr zeitaufwendig. Sie übersteigen die normalen Abbindezeiten des Zementes. In großen Teufen, bei erhöhten Temperaturen und hohen Drücken verkürzen sich die Abbindezeiten des Zementes. Für die Zementation wirkt sich dieses schnelle Abbinden sehr nachteilig aus und kann zu einem frühzeitigen Erhärten der Schlämme noch während des Einpumpens bzw. Verpressens der Schlämme führen, was andererseits schwerwiegende Havarien zur Folge hätte. Durch den Einsatz von entsprechenden Abbindeverzögerern lassen sich die Abbindezeiten der Zementschlämme in den er-

forderlichen Zeitspannen regulieren. Als Verzögerer finden in der Praxis folgende Materialien Anwendung:

- CMHEC (CH 50 und H 20)
- SSA
- Weinsäure
- ausgesalzenes Wasser

CMHEC (Carboxylmethylhydroxathylcellulose) eignet sich sehr gut als Verzögerungsmittel, da es auch die anderen Parameter der Schlämme in positivem Sinne verbessert. CMHEC garantiert bei entsprechender Dosierung (0,2 bis 0,5%) eine Abbindeverzögerung auch für große Teufenintervalle. In der DDR wird vorwiegend das Tyloseprodukt CH 50 (auch H 20) eingesetzt, um die Abbindezeiten der Zementschlämme zu verzögern. Durch den Zusatz von Tylose (CH 50) ist mit einer Zunahme der Viskosität der Schlämme zu rechnen, was sich nachteilig auf den Anmischprozeß auswirkt. Dem Anmischwasser wird nur maximal 0,1% CH 50 beige mischt. Höherer Prozentgehalt CH 50 werden dem Zement in trockenem Zustand gleichmäßig zugesetzt.

Zement-Flugasche-Gemische werden erst in Teufen über 2500 m verzögert. Salzhorizonte werden hauptsächlich nur mit ausgesalzenen Zementschlämmen zementiert, und nur in großen Teufen (> 2500 m) ist eine zusätzliche Verzögerung notwendig. Der Verzögerungseffekt von H 20 liegt um etwa 50% unter dem von CH 50. H 20 bewirkt neben der Verzögerung des Abbindebeginns eine Bindung des freien Wassers der Zementschlämme (Regulierung der Wasserabgabe).

SSA (Sulfitapritablauge) erweist sich durch sehr starke Schaumbildung nicht als idealstes Verzögerungsmittel.

Calciumlignosulfonat, ein Abfallprodukt bei der Zelluloseherstellung, dient in Form einer 30%igen Lösung als Verzögerer und Verflüssiger.

Weinsäure wird dem Zement bis maximal 0,8% zugegeben. Im Anmischwasser gelöst, bewirkt sie sehr unterschiedliche Resultate, speziell bei Zementschlämmen auf Süßwasserbasis. Ihre Verwendung bleibt hohen Bohrlochtemperaturen vorbehalten und wirkt darüber hinaus auch als Verflüssiger. Die genauen Dar-

legungen der Zusätze sind den Laboranalysen an Hand der erzielten und geforderten Abbindezeiten zu entnehmen.

3.4. Meß- und Kontrollgeräte

3.4.1. Meß- und Kontrollgeräte zur Überwachung des technologischen Prozesses

Die Überwachung des technologischen Ablaufes bei Primär- und Sekundärzementationen sowie der bohrtechnischen Hilfsarbeiten ist bei exakter Messung und Kontrolle der Parameter

- Volumen (und Volumenstrom)
- Dichte
- Druck

gewährleistet. Der zeitliche Verlauf dieser drei Parameter gibt Auskunft über

- die exakte Einhaltung der projektierten technologischen Kriterien
- die Erscheinungsformen (evtl. auch die Ursachen) von Havarieumständen
- die Funktionsfähigkeit der eingesetzten übertägigen Ausrüstungen
- die Funktionstüchtigkeit untertägiger Ausrüstungen

Damit dienen die verwendeten Geräte der Qualitätssicherung im weitesten Sinne und der technischen und technologischen Weiterentwicklung. Durch diese kontrollierende Funktion werden sie zu einem ökonomisch wichtigen Faktor bei Zementationen und bohrtechnischen Hilfsarbeiten. Somit ist die Notwendigkeit messender, kontrollierender und registrierender Meßgeräte hinreichend begründet.

Mengen- und Volumenstrommessung (s. Bild 26)

Die Mengen- und Volumenstrommessung dient der Kontrolle der Einhaltung der Technologie. Sie ermöglicht die Feststellung von Spülverlusten oder Zuflüssen. Notwendig dazu sind die verschiedensten Gerätekombinationen. Der derzeitige Grund-

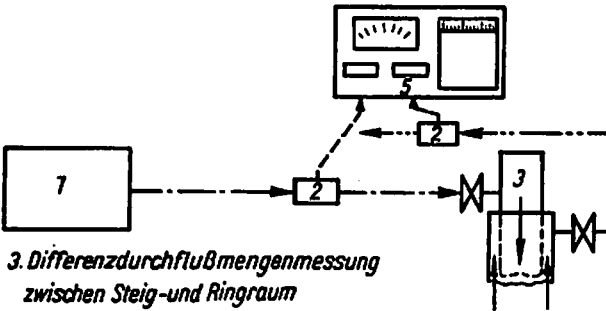
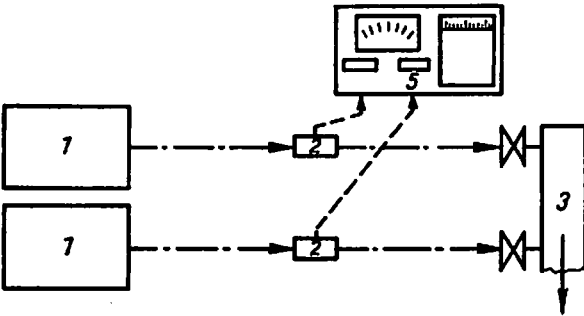
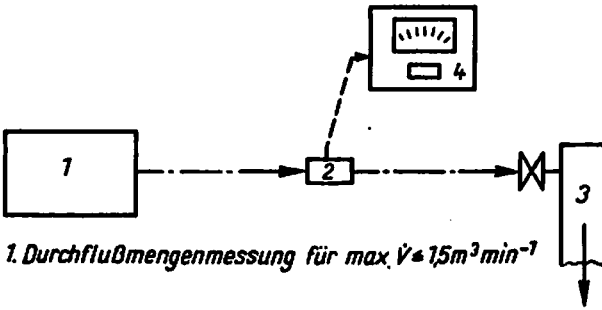


Bild 26. Meßprinzip für Durchflußmengenmessungen

- | | |
|------------------------|---|
| 1 Zementieraggregat | 4 Anzeigegerät |
| 2 Durchflußkörper DFMM | 5 Vierkanalzähler mit
Anzeige und Punktschreiber |
| 3 Zementierkopf | |

typ der eingesetzten Meßgerätes ist ein Turbinenzähler mit einer Analog- und Digitalanzeige.

Die Abmessungen der Durchflußkörper entsprechen denen des Zementationsmanifolds (Durchmesser, Schnellkupplungen).

Im Durchflußkörper befinden sich den Rotor und die Statoren. Die Drehbewegung des Rotors wird berührungslos (induktiv) durch den Aufnehmer abgenommen. Die Analog-Digitalanzeige ist ein volltransistorisiertes Gerät. Die Betriebsspannung beträgt 12 V Gleichstrom. Die Geräte wurden damit auf die im Fahrzeugpark vorhandene Kfz-Batterien ausgelegt. Der Gesamtvolumenstrom übersteigt in den meisten Fällen den Maximalausschlag eines Anzeigegerätes. Aus diesem Grund wurde ein Vierkanalimpulszähler entwickelt und eingesetzt, mit dem die Mengen von vier Durchflußmengenmessern addiert und angezeigt werden. Gleichzeitig wurde ein Zweifarbenpunktschreiber an den Vierkanalimpulszähler zum Zwecke der graphischen Darstellung der Volumenströme gekoppelt. Die vorhandenen Ausrüstungen gestatten folgende Messungen:

1. Mengen- und Volumenstrommessung bei Primärzementationen in der Phase des Einpumpens der Zementschlämme, des Nachpumpens und des Abspülens bis zu einem Volumenstrom von maximal $V = 6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ mit Hilfe des Vierkanalimpulszählers, wobei die vorhandenen Manifoldleitungen auf maximal vier zusammengefaßt werden müssen
2. Mengen- und Volumenstrommessung bei Sekundärzementation mit einem Meßgerät bis zu einem Volumenstrom von maximal $V = 1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$
3. Differenzmessung zwischen Steig- und Ringraum mit Hilfe des Vierkanalimpulszählers und des gekoppelten elektronischen Zweifarbenpunktschreibers zur Darstellung von Differenzen zwischen dem eingepumpten und austretenden Volumenstrom.

Das Durchflußmengenmeßgerät mit den Nachfolgeeinrichtungen hat folgende Einsatzparameter:

- Volumenstrom maximal $V = 1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ (für ein Gerät)
- Arbeitsdruck maximal $p = 400 \text{ kp cm}^{-2}$
- Betriebsspannung $U = 12 \text{ V}$

bei Verwendung des Vierkanalimpulszählers:

- Volumenstrom maximal $V = 6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$

Druckmessung und -registrierung

Eine Druckmessung und -registrierung erfolgt bei allen Primär- und Sekundärzementationen. Sie dienen der Sicherheit des Bohrloches und der eingesetzten bohr- und zementagetechnischen Ausrüstungen. Damit ist diese Meßart die Entscheidungsgrundlage bei Abweichung vom geplanten Ablauf. Die Registrierung des Druckverlaufes ermöglicht die Kontrolle der technologischen Treue und unter Umständen die Fixierung von eventuellen Havarieursachen.

Zum Einsatz kommen

1. Feinmeßmanometer mit einem Meßbereich von 0 bis 400 kp cm⁻²
2. Druckbandschreiber mit hydraulischer Druckübertragung mit einem Meßbereich 0 bis 400 kp cm⁻²

Diese Geräte registrieren den Druck über die Operationszeit. Die Übertragung des Arbeitsdruckes erfolgt hydraulisch mittels Hochdruckschläuchen, die mit Hydrauliköl, Dieselöl u. ä. gefüllt sind. Die Füllung erfolgt zum Schutz des Meßgerätes, da sonst Zementschlämme oder Spülung in das Meßgerät eindringen und dieses unbrauchbar machen. Eine mechanische Trennung mittels Gummimembrane ist zwischen Hochdruckschlauch und Manifold bzw. Zementierkopf gegeben. Der Schreiber hat folgende Kennwerte:

- Vorschub 20 bis 3600 mm je Std.
- Druckbereich 0 bis 400 kp cm⁻²
- Dokumentation Schreibstreifen

3. Motorkompensator mit Widerstandsferngeber

Diese Kombination registriert ebenfalls den Druck über die Zeit. Außerdem zeigt der Widerstandsferngeber den Druck an, da die Basis dieses Ferngebers ein Hochdruckmanometer ist. Die Entfernung Schreiber-Anzeige ist zwar durch den Eigenwiderstand der Übertragungsleitung begrenzt; die Grenze liegt aber nicht im Funktionsbereich bei Zementationen. Der Anschluß der Geräte ist unkompliziert und robust. Der Motorkompensator ist ein Schreiber auf elektrischer Basis. Die Kombination hat folgende Kennwerte:

- Vorschub 20 bis 3600 mm je Std.
- Druckbereich 0 bis 400 kp cm⁻²
- Dokumentation Schreibstreifen

Auch hier ist eine Trennung gegen die Schlämme zwischen Ferngebermanometer und Manifold bzw. Zementierkopf notwendig.

Dichtemessung

Die Dichte der Zementschlämme und der anderen Flüssigkeiten im Bohrloch spielt die gleiche dominierende Rolle wie der dynamische Druckverlust bei der Stabilität des gesamten Bohrloches. Das trifft besonders in solchen kritischen Situationen wie bei der Gefahr des Spülverlustes, bei druckstarken Zuflußhorizonten oder Durchteufen von Speicherhorizonten zu. Eine Messung der Dichte der eingesetzten Schlämme ist damit unumgänglich. Zwei Methoden der Messung haben sich durchgesetzt.

1. Dichtemessung mittels Senkspindel

Die Senkspindelmessung ist eine manuelle Meßart. Die Registrierung erfolgt ebenfalls manuell. Das Prinzip der Messung ist folgendes:

Die Senkspindel hat im unteren Teil eine verschraubbare Kammer, deren Volumen genau fixiert ist. In diese Kammer wird die Zementschlämme oder werden andere Flüssigkeiten gefüllt. Nach erfolgter Verschraubung mit dem Oberteil wird die Senkspindel in die Vergleichsflüssigkeit (Wasser) getaucht. Die Eintauchtiefe ist ein Maß der Dichte der Flüssigkeit in der Kammer. Abgelesen wird der Wert der Dichte von der sich am Oberteil der Spindel befindenden Skala.

Zu beachten ist dabei, daß das verwendete Wasser Süßwasser ($\rho = 1 \text{ kg dm}^{-3}$) sein muß, da sonst die fixierte Skala nicht mehr verwendet werden kann. Einen Einfluß auf die Meßgenauigkeit haben Ablesungenauigkeiten und die Temperatur der Vergleichsflüssigkeit.

2. Dichtemessung mittels Densometers

Mit Hilfe des Densometers und des Anzeige- und Registriergerätes wird die Dichte automatisch gemessen und registriert.

Im Bohrfeldeinsatz hat sich die Methode der Wägung einer definierten Schlammmenge bewährt. Mit Hilfe dieser Methode wird eine Dichtedifferenz zwischen 1 kg dm^{-3} und der aktuellen Dichte gemessen und registriert. Mit Hilfe der elastischen Aufhängung eines Wägerohres wird durch Hebelübersetzungen eine Durchbiegung des Rohres auf Düsensysteme übertragen. Durch diese Düsensysteme wird ständig Luft geblasen. Die Veränderung des Düsendurchlasses, die durch die Hebelbewegung hervorgerufen wird, ist ein Maß der Dichtedifferenz. Die Veränderung des Luftdruckes im Leitungssystem der Düsen ist damit äquivalent der Dichte. Diese Luftdruckveränderungen werden mittels Manometers angezeigt, dessen Skala zur Dichteskala verändert wurde. Mit Hilfe eines Widerstandsferngebers kann dann der Manometerstand auf einen Motorkompensator fernübertragen werden. Bekannt sind solche Geräte für das Bohrfeld aus den USA. Wird das Gerät gewartet, so ist die Meßgenauigkeit gut. Folgende Kennwerte hat das beschriebene System:

- Meßbereich $1,23 \text{ bis } 2,52 \text{ kg dm}^{-3}$
- Durchflußmenge max. $V = 0,114 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$
- Druck max. $p = 3,5 \text{ kp cm}^{-2}$

Meßgerätekombinationen

In den vergangenen Jahren wurde eine Meßkombination hergestellt, die eine bessere Übersicht über den gesamten Zementationsverlauf sichert. Zu dieser Kombination gehören

1. Druckmessung mittels Motorkompensators und Widerstandferngebers
2. Durchflußmengenmesser mit Vierkanalimpulszähler und Zweifarbenfallbügelpunktschreiber

Dazu wurde die Möglichkeit der optischen Signalisierung der vorgewählten und erreichten Einpumpmenge geschaffen. Sie unterstützt die Kontrollmöglichkeit des Leiters der Zementation.

3.4.2. Meß- und Kontrollgeräte für die Fließ- und Abbindeigenschaften

Im Rahmen dieses Lehrmaterials sollen nur Feldgeräte für die Zementschlämme dargestellt werden. Zu diesen gibt es noch eine Reihe von Geräten, die weitere physikalische Eigenschaften der Schlämme messen und registrieren. Spülungsmeß- und Kontrollgeräte werden hier nicht beschrieben. Diese müssen dem Lehrmaterial über Spülung entnommen werden.

Bestimmung des Erstarrens

Gemessen wird der Erstarrungsbeginn und das -ende von Zementschlämmen. Für Felduntersuchungen wird das Meßgerät nach VICAT verwendet. Es ist ein Nadelgerät, bestehend aus Gerät, Nadel und Hartgummiring. Unmittelbar nach dem Anmischen der Schlämme wird der Hartgummiring, der eingefettet und auf eine Glasplatte gelegt wird, bis zum oberen Rand mit Schlämme gefüllt. Zur Prüfung des Erstarrens wird die Zementschlämme unter Wasser entsprechend den Untersuchungsbedingungen bei Normaltemperaturen ($t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) oder bei erhöhten Temperaturen (max. $t = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$) gelagert. Die auf Null geeichte Nadel wird auf die Zementprobe aufgesetzt. Mit "Erstarrungsbeginn" wird der Zustand bezeichnet, bei dem die Nadel 3 bis 5 mm über der Glasplatte in der Zementschlämme zum Stehen kommt. Mit "Erstarrungsende" wird der Zustand bezeichnet, bei dem die Nadel maximal 1 mm in die Zementschlämme eindringt. Zur Bestimmung des Erstarrungsendes wird die Unterseite des Probekörpers verwendet, da die Oberfläche des Körpers aus wasserreicher Schlämme besteht.

Bestimmung der Versteifungszeit

Das zum Einsatz kommende Hochdruckkonsistometer ist kein eigentliches Feldgerät, sondern ein sehr kompliziertes Meßgerät. Entgegen den einleitenden Betrachtungen wird hier das Gerät dargestellt, da die Versteifungszeit ein wichtiges Kriterium für die Einsatzfähigkeit der Rezeptur der Zementschlämme ist. Das Hochdruckkonsistometer besteht aus einem rotierenden Schlämmbehälter, in dem sich ein festste-

hendes Rührwerk befindet. Der Behälter ist in einem Autoklaven eingeschlossen, dessen Innendruck und Temperatur entsprechend den aktuellen Bohrlochbedingungen einstellbar ist. In dem Hochdruckkonsistometer können die technologischen Abläufe der Zementationen simuliert werden (Temperaturverlauf, Druckverlauf, technologisch bedingte Stillstände).

Bestimmung der Fließeigenschaften

Die Fließeigenschaften von Schlämmen werden charakterisiert durch die Größen der scheinbaren Viskosität, der plastischen Viskosität, der Fließgrenze, und sie stellen sich in der Fließkurve dar. Zur Messung werden das Fann-VG-Viskosimeter oder das Rotationsviskosimeter verwendet. Die Fließeigenschaften geben Auskunft über den Widerstand, den die Flüssigkeit oder Schlämme einer erzwungenen Bewegung entgegensetzt. Die Feststellung der Fließeigenschaften der Zementschlämme entspricht im wesentlichen den bei Bohrspülungen.

Bestimmung der Wasserabgabe

Die Eigenschaft der Wasserabgabe von Zementschlämmen ist von großer Wichtigkeit für den Erfolg der Arbeiten. Eine große Wasserabgabe bei Rohrzentrationen führt zum Eindicken der Schlämme (unangenehme Veränderung der Fließeigenschaften), damit zur Nichtpumpbarkeit und schließlich zur Havarie. Verwendet werden die Geräte:

- Normalzelle

sie wird verwendet bei Normaltemperatur ($t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) und eine Druck $p = 7 \text{ kp cm}^{-2}$

- Hochdruckzelle

sie wird verwendet bei hohen Temperaturen (max. $t = 220 \text{ }^{\circ}\text{C}$) und einem Druck $p = 70 \text{ kp cm}^{-2}$

Die Zelle besteht aus einem Zylinder, der unten durch Filter und oben durch einen Deckel, der mit einer Handspindel auf den Zylinder gepreßt wird, verschlossen ist. Die Filterzelle wird oben mit Druckluft oder Stickstoff mit dem entsprechenden Druck belastet. Die Registrierung der abgepreßten Wassermenge erfolgt in festgelegten Zeitabständen.

Bestimmung des Schlammvolumens

200 g des jeweiligen Trockengemisches werden abgewogen und entsprechend dem festgelegten Wasser-Feststoff-Verhältnis mit der erforderlichen Wassermenge gemischt. Die erhaltene Zementschlämme wird in einen Meßzylinder gegossen und das erhaltene Volumen abgelesen. Aus dem ermittelten Schlammvolumen werden die Einzelkomponenten der Zementschlämme bestimmt.

Bestimmung des Ausbreitmaßes

Das Ausbreitmaß gibt Auskunft über die Konsistenz der Zementschlämme. Auf einer vollkommen horizontalen Glasplatte wird der ASNII-Kegel gestellt und bis zum oberen Rand mit Zementschlämme gefüllt. Der Kegelstumpf ist oben und unten offen. Nach der vollkommenen Füllung wird der Kegel gleichmäßig angehoben. Nach dem Ausbreiten der Schlämme wird zweimal, der Druckmesser um 90 °C versetzt, gemessen. Der Mittelwert von beiden ist das Ausbreitmaß.

Weitere Bestimmungen

Laborativ werden weiterhin festgestellt:

- die Biegezug-, Druck- und Hartscherfestigkeiten
- die Permeabilität
- die Sedimentation
- das Schwundmaß (trocken- und wassergelagert)

3.5. Aufgaben der technischen Weiterentwicklung

Die wachsenden Erkenntnisse bei der Beherrschung der Zementationsprozesse und die steigenden Anforderungen an Qualität, Sicherheit und Senkung der Aufwendungen sind die Triebkräfte der zukünftigen Weiterentwicklung der Zementagetechnik in all ihren Bereichen. Die wachsenden Erkenntnisse ermöglichen es im zunehmenden Maße, den Zementationsprozeß so gut wie nötig zu beherrschen. Diese Erkenntnisse müssen allen im erforderlichen Maß übergeben und durch alle genutzt werden. Wie wird sich die Zementagetechnik unter Berücksichtigung des

gegenwärtigen Standes und den Zielen der Bohrtechnik weiterentwickeln? Zur Senkung der Havariegefahr und Erhöhung der Sicherheit wird sich die Qualität der untertägigen Zementageausrüstungen weiter verbessern. Es ist erforderlich, die Zentrierung der Rohre im Bohrloch zu verbessern und die Funktionssicherheit der mechanischen untertägigen Zementageausrüstungen zu erhöhen. Die Verbesserung der Ökonomie der Zementageleistungen ist ein wichtiges Rationalisierungsvorhaben, das mit einer Neuschaffung technischer Ausrüstungen verbunden ist. Das betrifft die Phase des Mischens der Bindemittel, der Zuschlagstoffe, der Zusätze und des Wassers.

In den nächsten Jahren werden sich neue Mischausrüstungen durchsetzen, deren Betreiben wesentlich energieärmer sein und eine höhere Qualität der Zementschlämme sicher wird. Der Transport der Bindemittel, Zuschlagstoffe und Zusätze wird in Zukunft durch Großraumtransporter durchgeführt werden, was die Verringerung der Transportkosten zur Folge haben wird.

Die Typen der Zementieraggregate werden eingeordnet nach Druckstufen, maximalem Druck und maximalen Fördermengen. Unter Berücksichtigung dieser Einordnung der Bohrlochteufen und der Bohrlochverteilung in einem abgeschlossenen Gebiet hat die Auswahl des Typs und der Anzahl von Zementieraggregaten zu erfolgen. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse macht sich der Einsatz leistungsfähiger Hochdruckzementieraggregate in begrenztem Maß erforderlich.

Eine wichtige Rolle im Zementationsprozeß spielen die Bindemittel, Zuschläge und Zusätze. Die Weiterentwicklung wird zu einer immer besseren Anpassung der Gemische an die Bohrlochbedingungen bei gleichzeitiger Senkung der Aufwendungen führen. Dabei kommt es darauf an, im zunehmenden Maße einheimische Rohstoffe zu verwenden.