

Tiefbohrtechnik

Zementation von Bohrlöchern

Von Dipl.-Ing. Uwe Matzdorf

Dipl.-Ing. Günter Ruloff

Dipl.-Ing. Dieter Pietsch

Ing. Erhard Heinrich

Mit 26 Bildern und 2 Tabellen



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie
Leipzig

Herausgegeben von der VVB Erdöl-Erdgas, Gommern
Leitung und Organisation: Abt. Bildung

Nur für die Qualifizierung im Bereich des Ministeriums
für Geologie bestimmt

Gutachter:

Ing. Erhard Heinrich

Dipl.-Ing. Dieter Pietsch

1. Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1976

VLN 152-915/51/76

LSV 3183

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: VEB Druckerei "Thomas Müntzer",
Bad Langensalza

Redaktionsschluß: 30. 10. 1975

Bestell-Nr. 541 230 8

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Zementationsverfahren	7
2.1.	Aufgaben der Zementation	7
2.2.	Bohrlochkonstruktion - bestimmender Faktor bei der Wahl der Zementationsart	8
2.3.	Verfahren	12
2.3.1.	Primärzementation	14
2.3.1.1.	Stopfenzementation	14
2.3.1.2.	Linerzementation	18
2.3.1.3.	Sektionszementation	21
2.3.1.4.	Mehrstufenzementation	22
2.3.1.5.	Ringraumzementation	27
2.3.2.	Sekundärzementation	29
2.3.2.1.	Druckzementation	29
2.3.3.	Setzen von Zementbrücken	31
2.3.4.	Bohrlochverfüllungen	34
2.4.	Vorbereitung der Zementation	34
2.5.	Anmischen der Zementschlämme	36
2.5.1.	Verzögerte Mischtechnologie	37
2.5.2.	Anmischen unter Einsatz leistungsstarker Zementieraggregate	39
2.6.	Qualitätsbestimmungen von Rohrzementationen	39
2.6.1.	Methoden zur Zementkopfbestimmung	40
2.6.2.	Dichtheitsprüfung	42
2.7.	Ursachen von Fehlzementationen und Maßnahmen zu ihrer Verhütung	42
2.8.	Berechnung der Zementation	51
3.	Zementationsausrüstungen und -materialien	57
3.1.	Obertägige Zementageausrüstungen	57
3.1.1.	Pumpausrüstungen	57
3.1.1.1.	Ausrüstungen zum Verpumpen der Schlämme	57
3.1.1.2.	Ausrüstungen zum Verpumpen der Anmisch- flüssigkeiten	62

3.1.2.	Mischausrüstungen	66
3.1.2.1.	Ausrüstungen zur Primärmischung	66
3.1.2.2.	Ausrüstung zur Sekundärmischung	69
3.1.3.	Ausrüstungen zum Speichern der Bindebaustoffe, Zusätze und Zuschläge	72
3.1.4.	Transportausrüstungen für Bindebaustoffe	72
3.1.5.	Verbindungs- und Verteilungsausrüstungen	73
3.1.5.1.	Hochdruckausrüstungen	73
3.1.5.2.	Niederdruckausrüstungen	74
3.2.	Untertägige Zementationsausrüstungen	74
3.2.1.	Ausrüstungen für Primärzementationen	75
3.2.1.1.	Ausrüstungen zur Qualitätssicherung	75
3.2.1.2.	Ausrüstungen zur Berücksichtigung besonderer Bedingungen	82
3.2.2.	Ausrüstungen für Sekundärmaßnahmen	85
3.3.	Zementationsmaterialien	88
3.3.1.	Bindebaustoffe	88
3.3.2.	Zuschlagstoffe	88
3.3.3.	Zusatzstoffe	94
3.4.	Meß- und Kontrollgeräte	97
3.4.1.	Meß- und Kontrollgeräte zur Überwachung des technologischen Prozesses	97
3.4.2.	Meß- und Kontrollgeräte für die Fließ- und Abbindeigenschaften	103
3.5.	Aufgaben der technischen Weiterentwicklung	105
	Quellenverzeichnis	107
	Bildquellenverzeichnis	107

1. Einleitung

Der ständig wachsende Bedarf an Energieträgern erfordert die Erkundung und den Aufschluß neuer Kohlenwasserstofflagerstätten, bedingt den Vorstoß in ältere geologische Formationen. In der DDR ist, wie überall in der Welt, in den letzten Jahren die Tendenz des Abteufens von tiefen und Übertiefen Bohrungen in verstärktem Maße hervorgetreten. Das Niederbringen von Bohrungen bis zu einer Teufe von 5000 m und tiefer verlangt sowohl ein hohes Niveau auf technischem als auch auf technologisch-organisatorischem Gebiet. Solche Bohrungen sind mit einem gewaltigen Kostenaufwand verbunden.

Durch die enge Zusammenarbeit mit der Sowjetunion und dank ihrer Unterstützung in Form von technologisch-technischen Hilfeleistungen und der direkten Zusammenarbeit wurden die Voraussetzungen für den Aufbau eines leistungsfähigen Industriezweiges Erdöl-Erdgas geschaffen, der eine maßgebliche Rolle bei der Versorgung unserer Volkswirtschaft mit Energieträgern spielt. Mit Hilfe der Sowjetunion wurden die Bedingungen zur Realisierung der breiten Palette der Bohrtätigkeit in der DDR - von der Flachbohrtechnik bis zur Tiefbohrtechnik - geschaffen. Die Such- und Erkundungsarbeiten sowie die volkswirtschaftliche Nutzung erschlossener Lagerstätten erfordern ein hohes Niveau an wissenschaftlich-technischen Arbeiten. Dies führte zu einer Zusammenarbeit mit den entsprechenden Institutionen der Sowjetunion und den anderen Mitgliedsländern des RGW. Der geologische Untergrund der DDR zählt mit zu den schwierigsten. Seine Erdkundung und sein Aufschluß verlangen ein komplexes Herangehen an die Spezialgebiete "Geophysikalische Erkundung" - "Bohrtechnik und Fördertechnik". Das Teilgebiet "Bohrlochzementierung" hat seinen speziellen Beitrag bei der Erschließung von Lagerstätten, der Errichtung von Untergrundspeichern sowie bei Bodenverfestigungen und anderen Spezialarbeiten in unterschiedlichen Teufen zu leisten. Zur Realisierung dieser Auf-

gaben bedarf es einer engen Kooperation mit anderen Industriezweigen innerhalb der DDR und mit den sozialistischen Ländern. Das technologische Niveau der Zementationsarbeiten wird geprägt durch die mannigfaltigsten Anforderungen bei der Erschließung von Kohlenwasserstofflagerstätten und der Einrichtung von Untergrundspeichern.

In einer Reihe von wissenschaftlich-technischen Arbeiten wurden gute Ergebnisse bei Zementationsarbeiten auf Gaslagerstätten erzielt. Die Schaffung von gasdichten Zementationen zählt zu den kompliziertesten und wissenschaftlich-technisch-technologisch aufwendigsten Arbeiten auf dem Zementagebiet. Diese Aufgabenstellung bestimmt das zementage-technische Niveau hinsichtlich Forschung und Entwicklung, Technologie, Ausrüstungsstand und Materialeinsatz. Im Gegensatz zu den grundfondsintensiven Zementationsausrüstungen werden die erforderlichen Bindemittel weitestgehend durch heimische Materialien abgedeckt.

Für die Durchführung von Zementationsleistungen gibt es auf Grund der unterschiedlichen Bohrlochbedingungen keine Standardlösungen. Die zu zementierenden Bohrungen sind unter Beachtung ihrer spezifischen Bedingungen und Aufgabenstellungen zu bearbeiten. Die Probleme der Zementagetechnik sind sehr vielfältig. In dieser Broschüre kann nur ein allgemeiner Überblick über den Ablauf der Zementation sowie die erforderlichen Ausrüstungen und Materialien gegeben werden, ohne tiefgründig auf spezielle Verfahren und Probleme einzugehen. Die ständig steigenden Anforderungen der Bohr- und Förder-technik sowie die gewonnenen Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik im Rahmen der sozialistischen ökonomischen Integration - besonders bei der Übernahme sowjetischer Erfahrungen - bedingen eine kontinuierliche Entwicklung der Technologien sowie der unter- und obertägigen Zementationsausrüstungen, wobei die Senkung des Arbeitszeitaufwandes, des technischen Aufwandes, die Steigerung der Qualität sowie die Reduzierung an Erkundungsmitteln vorrangig zu bewerten sind.

2. Zementationsverfahren

2.1. Aufgaben der Zementation

In der Tiefbohrtechnik nimmt der Komplex der Bohrlochbefestigung bei der Bohrlochkomplettierung eine Schlüsselposition ein. Zu diesem Komplex zählen die Festlegung der Bohrlochkonstruktion und die Zementation der Futterrohtouren. Beim Abteufen von Bohrungen nimmt die Zementation eine nicht zu unterschätzende Rolle ein. Oftmals hängt von der qualitätsgerechten Zementation der ökonomische Nutzen und die Effektivität einer Bohrung ab. Die Zementation ist ein unwiederholbarer Arbeitsprozeß. Eventuell erforderliche Reparaturarbeiten, d. h. Nachzementationen, gestalten sich sehr kompliziert und sind mit einem hohen Maß an Zeit und einem noch größeren Kostenaufwand verbunden. Schwere Bohrlochkonstruktionen erfordern eine exakte Durchführung der Zementagearbeiten und eine leistungsfähige Zementageausrüstung. Unbekannte und sehr wechselhafte geologische Verhältnisse stellen neue Probleme an die Zementagetechnik. Genaue Kenntnisse der geologischen Beschaffenheiten des Untergrundes und die daraus resultierende richtige Auswahl der Futterrohre sowie ihrer Zementkopfhöhen schaffen ihrerseits die Voraussetzungen, daß die Zementation die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.

Von der Planung und Durchführung einer Bohrlochzementation muß der Zweck der Zementation zur Festlegung der Zementationstechnologie klar herausgestellt sein. Gründe für die Zementation von Rohrtouren sind:

1. Verstärkung und Schutz der eingebauten Rohrtouren
2. Sicherheit beim Weiterbohren
3. Isolierung von Produktionshorizonten
4. Ermöglichung selektiver Formationsbehandlung
5. Sicherstellung einwandfreier Produktion

Die Wertigkeit der Gründe für die Zementation entspricht nicht der genannten Reihenfolge, sondern sie wird von der spezifischen Aufgabenstellungen der eingebauten und zu zementierenden Rohrtour bestimmt. Durch das Auskleiden des Ringraumes

zwischen Bohrlochwand und Rohren, durch das Umkleiden der Rohrtour mit einem Zementmantel wird die Rohrtour sowohl mechanisch fixiert als auch ein flüssigkeits- und gasdichter Verschluss des Ringraumes gewährleistet. Demzufolge leiten sich folgende Aufgabenstellungen für die Zementation ab:

- feste Verankerung der Futterrohr Touren im Bohrloch durch gute Haftung des Zementsteines sowohl mit den Rohren als auch mit dem Gebirge
- mechanische Versteifung der Rohrtouren zum Schutz vor zu hohen Schichtdrücken und Belastungen
- Schutz der Futterrohrkolonnen vor Korrosionen gegenüber den im Bohrloch befindlichen aggressiven Schichtwässern
- Abdichtung des Ringraumes nach Übertage
- Schichtentrennung zur Vermeidung von Hinterrohrzirkulationen von Flüssigkeiten und Gasen aus druckstärkeren in druckschwächere Horizonte
- Isolation von kohlenwasserstoffhaltigen Speicherhorizonten zum selektiven Aufschluß

Entsprechend der Aufgabenstellung der Zementation sind die Kriterien des Zementationsverfahrens und der Zementrezeptur so zu wählen, daß der sich im Ringraum bildende Zementmantel den Zweck der Zementation erfüllt.

2.2. Bohrlochkonstruktion - bestimmender Faktor bei der Wahl der Zementationsart

Beim Niederbringen von tiefen Bohrungen kommen die verschiedenartigsten Bohrlochkonstruktionen zur Anwendung. In der Bohrpraxis der DDR wird überwiegend ein fünfteiliges Verrohrungsschema angewandt. Die Auswahl dieser Bohrlochkonstruktion wird auf Grund des geologischen Profils der Bohrung, der Bohrtechnologie beim Abteufen des Bohrloches und der anschließenden Fördertechnik bestimmt. Unter dem Ausdruck der Bohrlochkonstruktion versteht man die Gesamtheit der einzubauenden Rohrkolonnen mit den Angaben ihrer Dimension, Güte und Wanddicke, ihrer Einbauteufen, der Zementkopfhöhen und der Bohrlochdurchmesser, d. h. der Dimension der Meißel,

mit denen das jeweilige Intervall erschlossen wurde. Von der richtigen Wahl dieser genannten Parameter hängt der mit einer Bohrung verbundene Kostenaufwand ab. Es liegt klar auf der Hand: je kleiner die Bohrlochdurchmesser, desto geringer ist der Materialbedarf und Zeitaufwand, um so wirtschaftlicher das Abteufen der Bohrung. Bei Produktionsbohrungen wird die Dimension der Förderrohrtour auf die zu erwartende Förderrate der Bohrung ausgelegt. Eine größere Fördermenge verlangt eine größere Dimension, um den hohen Druckverlusten in einem kleinen Rohrquerschnitt entgegenzuwirken. Es macht sich oftmals notwendig, mehrere Zwischenrohr Touren einzubauen und den Futterrohren größere Radialspele im Bohrloch zu geben, um bei eventuellen Komplikationen die Möglichkeit des Einbaues einer Reserverohr tour zu schaffen. Hohe Schichttemperaturen und Schichtdrücke gestalten die Auswahl der Zementrezepturen problematisch. Hohe Drücke setzen dem Leistungsvermögen der vorhandenen Zementieraggregate Grenzen, denen durch entsprechende Zementationstechnologien und den Einsatz von leichten Zementschlämmen zu begegnen ist. Die Gebirgstemperaturen sind eines der Hauptauswahlkriterien für die einzusetzenden Zementrezepturen. Wesentlich kritischer ist eine Zementation in wechselnden druckstarken und druckschwachen Horizonten.

Standrohr

Die erste Rohrtour, die zum Einsatz gelangt, ist das Standrohr. Es soll dem Bohrloch den genügenden Halt gegenüber den sehr lockeren oberen Sand-, Kies- und Geröllschichten verleihen. Das Standrohr hat gewöhnlich eine Länge von 10 bis 30 m. Der Durchmesser dieser Rohrtour schwankt in der Regel zwischen 18 3/4" und 24", in Ausnahmefällen bis 32" und mehr, und er richtet sich nach der Anzahl und Dimension der projektierten Rohrtouren. Um den Bohrprozeß beginnen zu können, um den Zyklus des Spülungsumlaufes vom Bohrkeller bis zur Spülrinne zu schließen, ist ein großkalibriges Schachtrohr, das sogenannte Hilfsstandrohr, bis zu einer Teufe von 2 bis 10 m zu setzen. Das Standrohr wird in streng vertikaler Lage über seine ganze Länge mit reinem Zement (SPZ, HOZ)

von hoher Festigkeit zementiert, um den erforderlichen festen Sitz zu gewährleisten und ein mögliches Unterspülen im weiteren Bohrprozeß zu verhindern.

Leitrohrtour

Die Leit- oder Ankerrohrtour hat die Aufgabe, das Bohrloch vor dem Zufluß von häufig in dieser Teufe anzutreffenden Schichtwässern zu schützen, lockere Gesteinsschichten abzudecken und dem Bohrloch ein festes Gefüge in den oberen Intervallen zu verleihen. Die Leitrohrtour schafft die Voraussetzung, weiter aus dem Rohrschuh des Standrohres herauszubohren. Die Leitrohrtour wird hauptsächlich als 13 3/4"- bis 16 3/4"-Rohrtour bzw. auch als 18 3/4"-Rohrtour gesetzt. Die Einbauteufe ist sehr unterschiedlich; sie schwankt zwischen 200 und 800 m. Sie wird bestimmt von der geologischen Beschaffenheit des Untergrundes und von der projektierten Endteufe der Bohrung. Die Ankerrohrtour wird ausschließlich bis über Tage zementiert. Als Zementationsmaterialien werden reine SPZ-Rezepturen oder bei druckschwachen Horizonten Bentonit-zemente verwendet. Auf die Ankerrohrtour werden die weiter einzubauenden Rohrtouren abgesetzt. Außerdem soll der Zementmantel den an und für sich schwachen großkalibrigen Rohren eine genügende Druckfestigkeit verleihen.

Technische Rohrtour

Da ein unbegrenzter Austritt aus der Leitrohrtour nicht möglich ist, macht sich der Einbau von sogenannten Zwischenrohr-touren erforderlich. Die Aufgabe der Zwischenrohr-touren bestehen in der

- Isolierung der wasserführenden Schichten und Verhinderung eines Zuflusses der aggressiven Mineralwässer ins Bohrloch
- Abdichtung von druckschwachen Horizonten, die die Gefahr von Zirkulationsverlusten in sich bergen
- Oberdeckung von drückenden und quellenden Schichten, die die Fortsetzung des Bohrprozesses durch Festwerden des Instrumentes behindern können

- Absperrung von Salzhorizonten, um einen Spülungswechsel zu normaler, unausgesalzener Spülung vornehmen zu können

Da auf weiten Teufenbereichen Schichten mit den verschiedenartigsten und gegensätzlichsten Merkmalen angetroffen werden, macht sich der Einbau von mehreren Zwischenrohr Touren unumgänglich. Die erste technische Rohrtour in der Dimension von 9 5/8" bis maximal 13 3/4" wird bis übertage eingebaut. Eine Zementation über ihre gesamte Länge sollte in jedem Falle angestrebt werden.

Die zweite technische Rohrtour findet ihre häufigste Anwendung in Form eines Liners. Der Liner ist eine Teilrohrtour, die nicht bis übertage hochgezogen ist. Der Liner wird am Bohrgestänge ins Bohrloch eingelassen und ragt bis etwa 100 bis 200 m in die vorhergehende Rohrtour. Der Liner ist über seine gesamte Länge von Rohrschuh bis Oberkante der Rohrtour (Linerkopf) zu zementieren.

Endrohrtour bzw. Produktionsrohrtour

Wenn das Bohrloch bis zur Endteufe niedergebracht wurde, erfolgt der Einbau der letzten Kolonne - der Einbau der Produktionsrohrtour. Diese Förderrohrtour ist der Dimension nach die kleinste und längste Rohrtour im Verrohrungsschema. Nicht jede Endrohrtour ist eine Förderrohrtour. Die Definition hängt von der Aufgabenstellung der Bohrung (Erkundungs- oder Produktionsbohrung) ab. Die gebräuchlichsten Dimensionen für Endverrohrungen bzw. Produktionsrohr Touren liegen zwischen 5" und 7"; je nach Teufe sind auch die verschiedensten kombinierten Rohrstränge (z. B. 5" x 7", 5 3/4" x 6 5/8") möglich. Die Auswahl der Produktionsrohrtour und die Festlegung der Zementkopfhöhen ist von der Spezifik der Bohrung - Erdölbohrung oder Gasbohrung - getrennt festzulegen. In der Vergangenheit wurde der Ringraum der Förderkolonne über ein langes Intervall zementiert, um einmal die Kolonne vor Korrosion zu schützen und das Bohrloch somit zu konservieren und um zum anderen die sehr lange Förderrohrtour vor der Zerstörung durch Temperaturspannungen zu schützen. Für den Halt der Kolonne und die Abdichtung des Speicherhorizontes nach oben hin ist eine

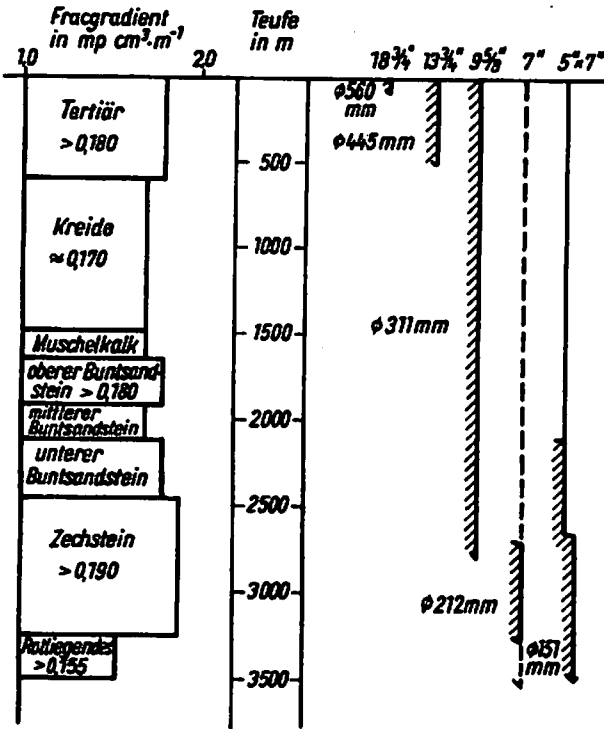


Bild 1. Beispiel einer Bohrlochkonstruktion

dichte Zementsäule von einigen hundert Metern völlig ausreichend. Das Beispiel einer Bohrlochkonstruktion zeigt Bild 1.

2.3. Verfahren

In Erfüllung der Aufgabenstellung von Bohrlochzementationen wurden die verschiedensten Zementationsverfahren entwickelt mit dem Ziel, die in den Ringraum einzuzirkulierende Zementschlämme ungeschädigt, möglichst unvermischt und in hoher Qualität in das projektierte Bohrlochintervall zu placieren. Die Qualität der Zementation wird durch die vollständige Auskleidung des Ringraumes zwischen Bohrlochwand und Rohrtour mit einem dichten Zementstein, der die Rohre allseitig umschließt, bestimmt. Das Wesen der Zementationsarbeiten besteht darin, die im Ringraum befindliche Flüssigkeit (Bohrspülung)

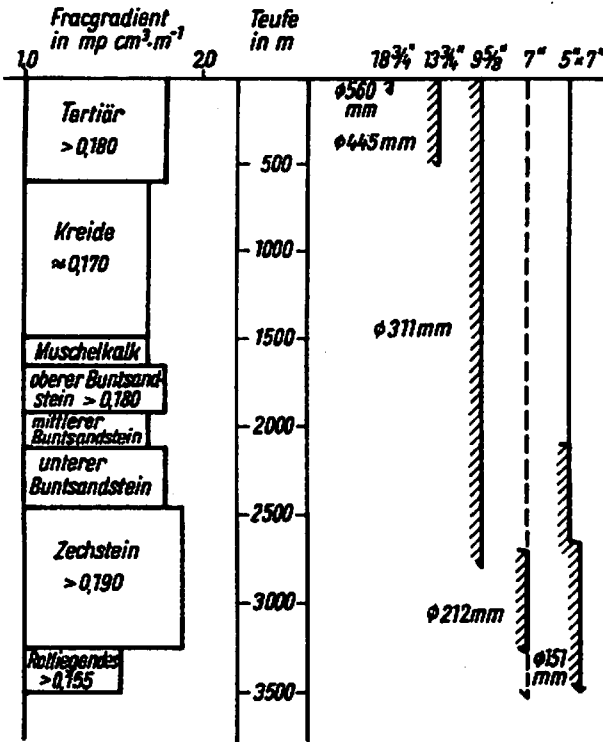


Bild 1. Beispiel einer Bohrlochkonstruktion

dichte Zementsäule von einigen hundert Metern völlig ausreichend. Das Beispiel einer Bohrlochkonstruktion zeigt Bild 1.

2.3. Verfahren

In Erfüllung der Aufgabenstellung von Bohrlochzementationen wurden die verschiedensten Zementationsverfahren entwickelt mit dem Ziel, die in den Ringraum einzuzirkulierende Zementschlämme ungeschädigt, möglichst unvermischt und in hoher Qualität in das projektierte Bohrlochintervall zu placieren. Die Qualität der Zementation wird durch die vollständige Auskleidung des Ringraumes zwischen Bohrlochwand und Rohrtour mit einem dichten Zementstein, der die Rohre allseitig umschließt, bestimmt. Das Wesen der Zementationsarbeiten besteht darin, die im Ringraum befindliche Flüssigkeit (Bohrspülung)

durch das Einpumpen einer flüssigen Zementsuspension zu verdrängen. Die Zementationsverfahren und -technologien sind so auszulegen, daß im projektierten Zementationsintervall sich ein qualitativ guter Zementmantel ausbildet. Als Kriterien für das Zementationsverfahren gelten

- die einzusetzende Zementrezeptur mit ihren Parametern, speziell ihrer Dichte und Thermostabilität in Abhängigkeit von den geologischen Bohrlochverhältnissen
- das Pumpregime zur Zementation unter Beachtung der Druckbalance im Bohrloch zur Vermeidung von Zirkulationsverlusten bzw. Zuflüssen sowie eines maximalen Verdrängungsgrades bei geringster Schädigung der Zementschlämme durch große Mischzonen mit Bohrspülung

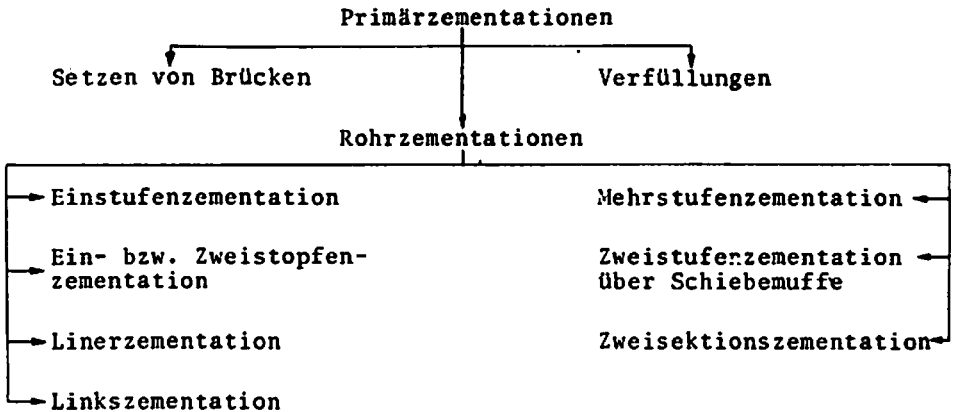
Sämtliche Zementationsarbeiten gliedern sich in

- Primärzementationen und
- Sekundärzementationen

Unter dem Begriff der Primärzementationen sind erstmalige Zementationen zu verstehen. Die Primärzementationen stellen den größten Umfang an Zementationen dar. Zu ihnen zählen vor allem die Rohrmentationen. Bei Sekundärzementationen, d. h. wiederholten Zementationen, handelt es sich um sogenannte Reparaturzementationen. Ein charakteristisches Beispiel für Sekundärzementationen sind die Nachzementationen, wie

- Druckzementation und
- Ringraumzementation

Die Unterteilung der Primärzementationen ist umseitig folgendem Schema zu entnehmen:



2.3.1. Primärzementation

Als zahlenmäßig häufigste Zementation ist die Einstufenrohrzementation zu nennen. Unter diesem Begriff sind hauptsächlich die normalen Stopfzementationen zu verstehen. Im weiteren Sinne können aber solche Zementationsarten, wie

- Linerzementation und
- Ringraumzementation

gezählt werden.

2.3.1.1. Stopfzementation

Die Stopfzementation ist eines der Zementationsverfahren, durch das die anfangs genannten Aufgaben einer Zementation praktisch realisierbar sind. Rein technisch und verfahrensmäßig handelt es sich um die einfachste Art der Rohrzementation. Die Stopfzementation ist aus diesem Grunde das am meisten verbreitete und praktizierte Verfahren. Die Stopfzementationen sind in

- Einstopfen- und
- Zweistopfzementationen (s. Bild 2)

zu unterteilen. Einstopfzementationen werden in den Fällen angewandt, wo der Einsatz von zwei Trennstopfen technisch

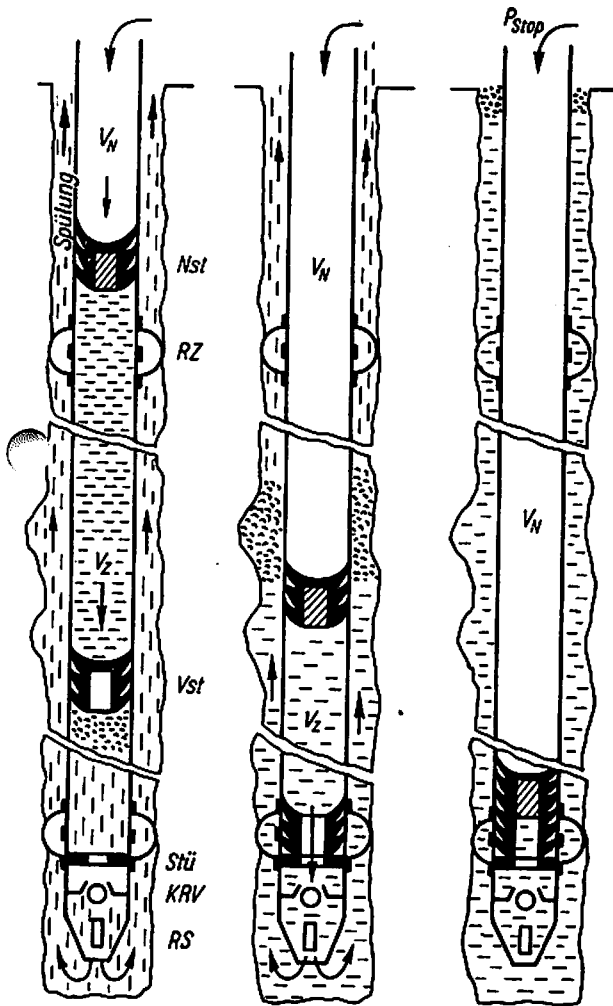


Bild 2
Prinzip der Zwei-
stopfenzementation
VN Volumen-Nachpump-
flüssigkeit
Nst Nachstopfen
RZ Rohrzentralisator
Vz Volumen-Zement-
trübe
Vst Vorstopfen
Stü Stopfübergang
KRV Kugelrückschlag-
ventil
RS Rohrschuh

nicht möglich ist, wie z. B. bei Rohrtouren unterschiedlicher Dimension (kombinierte Rohrtouren) und bei großkalibrigen Rohrtouren mit geringer Einbauteufe. Bei der Einstopfenzementation gelangt nur ein Nachstopfen zum Einsatz, der die Zementschlämme von der Nachpumpflüssigkeit in der Rohrtour trennt und eine Vermischung beider Flüssigkeiten bzw. Suspensionen im Bereich der Futterrohre verhindert. Durch die Stopfentrennung steht im Rohrschuhbereich kein durch Spülung geschädigter Zement an. Die sich zwischen der Bohrspülung und

der Zementschlämme bildenden Mischzonen im Bereich des Zementkopfes sollten nach Möglichkeit übertage auszirkuliert werden oder sind durch Einsatz spezieller Trennpuffer auf ein Minimum zu reduzieren. Die Zementschlämme vermischt sich schon zu Beginn des Einpumpens mit der in der Rohrtour befindlichen Spülung in starkem Maße. Die Entstehung der Mischzone ist, wie aus der Strömungslehre bekannt, durch die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten im Rohrquerschnitt theoretisch begründet, die u. a. auf die unterschiedlichen Eigenschaften der Zementschlämme von der zu verdrängenden Bohrspülung zurückzuführen sind. Der Unterschied der Zweistopfenzementation zur Einstopfenzementation besteht darin, daß durch den Einsatz zweier Stopfen, ein Vor- und ein Nachstopfen, die Zementschlämme innerhalb der Rohrtour völlig getrennt von anderen Flüssigkeiten niedergepumpt wird. Dies hat vor allem den Vorteil, daß durch die Stopfentrennung der Entstehung von Mischzonen zwischen der in der Rohrtour befindlichen Spülung und der Zementschlämme durch den Vorstopfen und der Entstehung von Mischzonen zwischen der Zementschlämme und der sie verdrängenden Nachpumpmenge durch den Nachstopfen entgegengewirkt wird. Da die Zementschlämme unvermischt bis zum Rohrschuh gelangt, können sich Mischzonen nur in der 2. Phase der Zementation - beim Austritt der Zementschlämme aus der Rohrtour in den Ringraum - bilden. Die Rohrtour ist in der Regel für die Durchführung von Stopfenzementationen mit folgenden untertägigen Zementationsausrüstungen (UZ-Materialien) vom Rohrschuh bis Kolonnenkopf zu komplettieren:

- 1 Rohrschuh mit Führungsbirne
- 1 bis 2 Kugelrückschlagventile
- 1 Stopfübergang

Die Rohrtour ist in festgelegten Intervallen mit Rohrzentralisatoren und ggf. mit Kratzern zu bestücken.

Ablauf der Zweistopfenzementation

Für den Ablauf einer Zweistopfenzementation sind folgende Arbeitsstufen charakteristisch:

- Aufstellung und Aufbau der Zementiereinrichtungen
 - Aufstellen der Zementieraggregate in Gruppen
 - das Verlegen des Manifolds und des Niederdrucksystems
 - der Anschluß aller Kontroll- und Meßgeräte
 - das Speichern von Pufferflüssigkeiten, Anmischwasser und z. T. Nachpumpmenge
 - der Probelauf der Aggregate
 - Abdrücken des Manifolds
- Herstellen der Zirkulation im Bohrloch
- Vorpumpen einer Pufferflüssigkeit

Das Vorpumpen einer Pufferflüssigkeit in der Größenordnung von 3 bis 15 m³ hat zur Aufgabe, dem direkten Kontakt zwischen Spülung und Zementschlämme beim Austritt in den Ringraum entgegenzuwirken und somit die Bildung von Mischzonen zu reduzieren. Als Pufferflüssigkeiten eignen sich speziell bearbeitete Spülungen bzw. Wasser.
- Einbringen des Vorstopfens in die Rohrtour
- Anmischen der Zementschlämme

Das Anmischen der Zementschlämme erfolgt über die Anmischgruppen, bestehend aus Zementmischmaschinen mit Mischerkopf und Anmischaggregaten. Zur Verbesserung der Qualität der Zementschlämme erfolgt das Anmischen der Zementschlämme über einen Sammelbehälter mit Rührwerken (siehe "verzögerte Anmischtechnologie").
- Einpumpen der Zementschlämme

Die Zementschlämme wird mittels der Hochdruckpumpe der Zementieraggregate in die Rohrtour eingepumpt. Beim Einpumpen schiebt die Zementschlämme den Vorstopfen vor sich her und verdrängt die Spülung aus der Rohrtour. Eine mechanische Trennung beider Medien ist durch den Vorstopfen gewährleistet. Das Einpumpen kann ohne Gegendruck mit großer Förderleistung der Zementieraggregate erfolgen, ist aber den jeweiligen Bohrlochbedingungen anzupassen
- Lösen des Nachstopfens

Vor der Montage des Zementierkopfes auf die Rohrtour ist der Nachstopfen in den Zementierkopf einzulegen und mittels zweier Arretierbolzen fest zu arretieren.

Nach dem Einpumpen der gesamten Zementmenge erfolgt durch beiderseitiges und gleichmäßiges Herausdrehen der Arretierbolzen das Lösen des Nachstopfens. Zum Anpumpen des Nachstopfens wird ein gesondert am Zementierkopfdeckel angeschlossenes Zementieraggregat verwendet.

- Nachpumpen

Hat der Nachstopfen den Zementierkopf passiert und befindet sich in der Rohrtour, wird mit den Zementieraggregaten der Nachpumpvorgang fortgesetzt. Die Fördermenge der Aggregate ist so zu wählen, daß eine effektive Spülungsverdrängung im Ringraum gewährleistet ist.

- Stopdruck

Beim Auftreffen des Nachstopfens auf den Stopfübergang bzw. auf den Vorstopfen tritt infolge des plötzlichen Staus ein Druckanstieg auf. Dieser Druckanstieg zeugt vom Ende des Nachpumpprozesses und somit vom Ende der Zementation, d. h., die Zementsäule muß die vorgegebene Höhe erreicht haben. Der Stopdruck soll 30 bis 40 at über dem Arbeitsdruck am Ende der Zementation liegen.

- Beendigung der Zementation

Der Stopdruck ist am Ende der Zementation abzulesen. Die Kolonne ist auf einen vorgegebenen Wert zu entlasten (maximal bis auf den hydrostatischen Differenzdruck zwischen Steig- und Ringraum). Bei Dichtheit des Kugelrückschlagventiles kann die Rohrtour völlig entlastet werden. Nach der Zementierhärtung (nach etwa 12 bis 48 Stunden) ist mit den Nachfolgearbeiten an der Rohrtour zu beginnen (Dichtheitskontrolle, Aufbohren der UZ-Ausrüstungen u. a.)

2.3.1.2. Linierzementation

Unter einer Linierzementation ist die Zementation einer nicht bis übertage hochgezogenen sogenannten verlorenen Rohrtour zu verstehen. Der Liner wird an einem Gestängestrang hängend in das Bohrloch bis zur projektierten Teufe eingebaut und so zementiert. Als Verbindungselement zwischen dem Liner mit dem Gestängestrang dient eine spezielle Zementiertein-

richtung - die Zementiermuffe. Ein Absetzen des Liners unmittelbar nach der Zementation auf die Bohrlochsohle kann infolge des Eigengewichtes des Rohrstranges zum Ausknicken der Rohrtour führen und ist deshalb nur bei kurzen Linern möglich. Der Liner hängt während der Wartezeit auf Zement erhärtung am Gestänge, wenn der Linerkopf nicht mit einem speziellen Linerhänger ausgerüstet ist. Durch diese spezielle Absetzvorrichtung, den Linerhänger, kann der Liner in der vorhergehenden Rohrtour etwa 100 bis 200 m oberhalb des Rohrschuhes der vorhergehenden Rohrtour abgesetzt bzw. eingehängt werden.

Eine verbesserte Ausführung der Zementiermuffe ist die Duo-Muffe. Der Einsatz der Duo-Muffe setzt den Einbau des Liners an einem Gestängestrag mit einheitlichem Innendurchmesser voraus. Zum Lösen des Nachstopfens für den Liner ist ein Gestängestopfen erforderlich. Der Einsatz eines Nachstopfens hat eine wesentliche Qualitätsverbesserung in der Form zur Folge, daß die Mischzonen beim Nachpumpen in der Rohrtour vermieden werden können und somit am Rohrschuh eine qualitative Zementschlämme ansteht. Die Rohrtour (Liner) ist für die Zementationsarbeiten folgendermaßen auszurüsten:

- 1 Rohrschuh mit Führungsbirne
- 1 bis 2 Kugelrückschlagventile
- 1 Zementiermuffe
- div. Rohrzentralisatoren
- Gestänge mit Zementierkopf

Vorteilhaft ist die Bestückung des Liners mit Kratzern.

Technologischer Ablauf der Linerzementation

- Spülen der Rohrtour

Die Rohrtour ist nach dem Einbau des Liners nicht weniger als mit dem 2- bis 3fachen Bohrlochvolumen zu spülen, um ein einwandfreies Austragen des restlichen Bohrkleins und der Filterkruste (besonders beim Einsatz von Kratzern) zu gewährleisten. Die beim Auffüllen der Rohrtour auftretenden Lufteinschlüsse in der Spülung sind durch weiteres Einpumpen von Spülung auszukürieren. Die Dichte der eingepumpten Spülung muß der austretenden Spülung entsprechen.

- Vorpumpen der Pufferflüssigkeit

Bei Linerzementationen ist das Setzen von Vorpuffern sehr empfehlenswert, da auf Grund der Konstruktion des kombinierten Rohrstranges (Rohrtour-Gestänge) eine Stopfen-trennung nicht möglich ist.

- Anmischen und Einpumpen der Zementschlämme

Das Schlammvolumen ist so zu bemessen, daß die Zementsäule etwa 300 m oberhalb der Zementiermuffe im Ringraum ansteht. Die zusätzliche Sicherheit ist erforderlich, damit sich im Bereich des Linerkopfes qualitativer Zement befindet. Die Mischzonen, die über dem Liner stehen, werden über die Zementiermuffe abgespült und ausgetragen.

- Nachpumpen der 1. Nachpumpmenge

Das Nachpumpen wird mit allen dafür bestimmten Zementier-aggregaten vorgenommen. Die 1. Nachpumpmenge entspricht dem theoretischen Innenvolumen des Liners zwischen Rückschlag-ventil und Zementiermuffe.

Als Nachpumpflüssigkeit wird Spülung mit einer Dichte eingepumpt, die annähernd der der Zementschlämme im Ringraum entspricht, um ein statisches Gleichgewicht zwischen Ring- und Steigraum im Linerbereich herzustellen.

- Lösen des Öffnungsstopfens für die Linermuffe

Nach dem Einbringen der 1. Portion Nachpumpflüssigkeit ist der Öffnungsstopfen zum Betätigen der Zementiermuffe im Gestängezementierkopf zu lösen.

- Nachpumpen der 2. Nachpumpmenge

Das Volumen der 2. Nachpumpmenge entspricht dem theoretischen Innenvolumen des Gestängestranges. Im 2. Nachpump-vorgang wird der Öffnungsstopfen im Gestänge herunterge-pumpt. Vor dem Ende des Einpumpens der 2. Portion befindet sich der Öffnungsstopfen unmittelbar über der Schiebehülse der Zementiermuffe.

- Öffnen der Zementiermuffe

Das Öffnen der Zementiermuffe geschieht durch das Aufsetzen des Öffnungsstopfens auf die Schiebehülse. Beim weiteren langsamen Pumpen kommt es zum Druckanstieg. Bei etwa 50 kp cm^{-2} scheren die Abscherstifte der Zementiermuffe

ab, die Schiebehülse wird gelöst und gibt die Austrittsöffnungen der Zementiermuffe frei.

- Abspülen des überschüssigen Zementes

Nach der Betätigung der Muffe erfolgt das Abspülen der überschüssigen Zementmenge oberhalb des Linerkopfes, oberhalb der Zementiermuffe. Das Abspülen erfolgt generell rechts herum (Über den Steigraum in den Ringraum) mit dem 1,5-fachen Ringraumvolumen.

- Ende der Zementation

Nach dem Austragen der überschüssigen Zementmenge nach Über- tage beginnt die Wartezeit auf Zementerhärtung. Der Liner bleibt während dieser Zeit am Gestänge hängen. Zum Abschrauben des Gestängestranges vom Liner ist im Bereich der Schraubverbindung der Zementiermuffe durch Entlastung eine Nullspannung einzustellen. Dazu wird vor dem Linereinbau das Eigengewicht des Gestängestranges in der Spülung (sog. Nullpunktbestimmung) ermittelt.

2.3.1.3. Sektionszementation

Bei der Sektionszementation handelt es sich um eine besondere Art der Zementation. Während bei der Zweistufenzementation beide Stufen der Rohrtour, verbunden durch die Schiebehülse, gleichzeitig eingebaut werden, erfolgt die Zementation der in zwei Sektionen eingebauten Rohrtour getrennt in zwei verschiedenen Phasen. Der Einbau der Rohrtour in zwei einzelnen Sektionen geschieht aus Gründen der maximalen Auslastung der Zugfestigkeit der Rohre und der Hakenlasten der Bohrtürme.

Die 1. Sektion wird an einem Gestängestrang in das Bohrloch eingebaut und wie ein Liner zementiert. Die Zementiermuffe der 1. Sektion ist mit einem Konus versehen. Nach dem Aushärten des Zementes der 1. Sektion und dem Ausbau des Gestänges wird nach etwa 48 Stunden die 2. Sektion eingebaut und in den Konus der 1. Sektion mit einem speziellen Rohrschuh, dem Nachsetzschuh, eingepaßt.

Die 2. Sektion ist leicht anzuheben, jedoch nicht aus dem Konus herauszufahren. Die 2. Sektion wird nach dem Prinzip einer normalen Einstufen-Stopfenzementation zementiert.

Nach Beendigung der Zementation ist die 2. Sektion wieder in den Konus der unteren Sektion einzufahren, jedoch nicht völlig zu entlasten, um die Rohrtour vor Deformationen durch Ausknicken zu schützen. Die 2. Sektion ist ohne Kugelrückschlagventil ausgerüstet, um nach Beendigung der Zementation und Absetzen der 2. Sektion in den Konus der 1. Sektion durch möglichen Rücklauf eine Dichtheitskontrolle der Steckverbindung zu ermöglichen.

Auf Grund der zunehmenden Bohrlochteufe und der damit verbundenen maximalen Auslastung der zulässigen Einbauteufen der vorhandenen Rohrtouren findet die Sektionszementation immer stärkere Anwendung bei der Zementation von technischen Kolonnen. Ein wesentlicher Mangel dieser Methode liegt in der fehlenden mechanischen und homogenen Verbindung beider Sektionen. Für die Verbindung der beiden Sektionen vor der Zementation wurde ein Nachsetzschieberrohrsuh entwickelt. Seine Aufgabe besteht darin, daß beide Sektionen (auch für Einsatz im unverrohrten Bohrlochabschnitt geeignet) miteinander verschraubt werden. Die Zementation erfolgt über einen Schiebemechanismus im Rohrschuhkörper.

2.3.1.4. Mehrstufenzementation

Die Erschließung immer größerer Bohrlochteufen stellt auch an die Bohrlochzementierung wachsende Anforderungen. Wenn es gilt, dem Problem stark schwankender und wechselhafter Gebirgsdrücke zu begegnen, teufenbedingte hohe Arbeitsdrücke zu reduzieren, dann findet das Mehrstufenzementationsverfahren sein Anwendungsgebiet. Die Mehrstufenzementation charakterisiert eine in mehreren Etappen durchführbare Rohrzementation. Der internationale Stand beschränkt sich hauptsächlich auf Zweistufenzementationen. Auf Drei- und Mehrstufenzementationseinrichtungen wurde bisher verzichtet, da zur Zeit noch nicht die Erfordernis solcher Ausrüstungen besteht und die gestellten Aufgaben mit den bekannten Zweistufenzementationsausrüstungen bewältigt werden konnten. Eine Zweistufenzementation kommt dann zur Anwendung, wenn es gilt

- lange Rohrtouren über ihre gesamte Länge zu zementieren
- den hydrostatischen Druck auf anstehende druckschwache Horizonte zu mindern
- Zementationen in festgelegten Intervallen mit unterschiedlichen Zementrezepturen durchzuführen

Bei der Entwicklung der Zweistufenzementationsausrüstungen wurde darauf Wert gelegt, die Vorteile einer Einstufenzementation auch auf die Zweistufenzementation zu übertragen. Hierzu zählt hauptsächlich der Effekt der Stopfentrennung.

Bei der Zweistufenzementation wird ein spezielles Zwischenstück - Schiebemuffe - auf eine vorher festgelegte Teufe in die Rohrtour eingebaut. Die Konstruktion der Schiebemuffe weist die vielfältigsten Variationsmöglichkeiten auf, die im Kap. 3 Zementationsausrüstungen näher beschrieben werden. Bei der Zweistufenzementation ist zu unterscheiden in

- diskontinuierliche Zweistufenzementation und
- kontinuierliche Zweistufenzementation

In der DDR wurden bisher fast ausschließlich alle Zweistufenzementationen über eine Schiebemuffe nach dem Prinzip der diskontinuierlichen Zweistufenzementation durchgeführt, d. h., die Zementation erfolgte zeitlich getrennt in zwei Stufen. Die überschüssige Zementmenge der 1. Stufe wurde zuerst abgespült, und nach dem Abbinden der 1. Stufe wurde die 2. Stufe zementiert. Dies ist der wesentlichste Unterschied zur kontinuierlichen Zweistufenzementation, bei der die 2. Stufe unmittelbar auf die 1. Stufe zementiert wird.

Die diskontinuierliche Stufenzementation hat in erster Linie zur Aufgabe, den hydrostatischen Druck auf die Formationen zu reduzieren. Sie findet im Gegensatz zum kontinuierlichen Zweistufenzementationsverfahren, das nur eine Senkung des Arbeitsdruckes bewirkt und den Einsatz von verschiedenartig verzögerten und in ihrer Thermostabilität unterschiedlichen Zementrezepturen ermöglicht, die vorrangigste Anwendung.

Technologischer Ablauf der Zweistufenzementation

Diskontinuierliches Verfahren

- Vorbereitung der Rohrtour

Die Rohrtour ist mit folgenden untertägigen Zementationsausrüstungen zu versehen:

- 1 Rohrschuh mit Führungsbirne
- 1 bis 2 Kugelrückschlagventile
- 1 Schiebemuffe
- div. Rohrzentralisatoren

- Spülen der Rohrtour

In bestimmten Intervallen ist die Rohrtour während des Einbaues und nach dem Einbau kontinuierlich zu spülen, um den Einsatz von Kratzern und Zentralisatoren effektiv zu unterstützen und die im Bohrloch befindlichen Festkörperanteile auszutragen.

- Vorpumpen einer Pufferflüssigkeit

Das Volumen der Pufferflüssigkeit ist so zu dimensionieren, daß wegen fehlender Stopfentrennung zwischen der Zementschlämme und der Spülung bereits in der Rohrtour die Bildung von Mischzonen reduziert wird.

- Anmischen und Einpumpen der Zementschlämme

- Nachpumpen der 1. Nachpumpmenge

Als 1. Nachpumpmenge wird das Volumen der Rohre zwischen Stopring und Schiebemuffe berechnet und eingepumpt. Mit der Nachpumpflüssigkeit wird die Zementschlämme direkt ohne Stopfentrennung aus der Rohrtour verdrängt.

- Lösen des Öffnungsstopfens

Der Öffnungsstopfen zur Bestätigung der Schiebemuffe wird durch das Herausdrehen der Arretierbolzen am Zementierkopf gelöst und durch langsames Anpumpen in die Rohrtour gedrückt.

- Nachpumpen der 2. Nachpumpmenge

Die 2. Portion Nachpumpmenge entspricht dem Rohrvolumen oberhalb der Schiebemuffe bis zum Kolonnenkopf. Durch das Einpumpen dieser 2. Portion wird der Öffnungsstopfen nach unten bewegt, kann aber die Schiebemuffe nicht passieren.

- Öffnen der Schiebemuffe

Durch das Auftreffen des Öffnungsstopfens auf den Sitz der unteren Schiebehülse kommt es zum Druckanstieg. Bei einem Druckaufbau von zusätzlich 50 kp/cm^2 erfolgt das Abscheren der Scherstifte, und die Schiebehülse gibt die Austrittsöffnungen der Schiebemuffe frei.

- Abspülen des überschüssigen Zementes

Der überschüssige Zement wird über die Öffnungen der Schiebemuffe rechtsherum abgespült. Als Abspülmenge ist minimal das 1,5fache Ringraumvolumen oberhalb der Schiebemuffe zu wählen. Ein Rückfluß der Zementschlämme in die Rohrtour der unteren Stufe wird durch das eingebaute Kugelrückschlagventil bzw. durch die -ventile verhindert. In der Regel wird nach 48 Stunden mit der Zementation der oberen Stufe begonnen, d. h., nachdem der Zementmantel der unteren Stufe abgebunden hat.

- Einpumpen der 2. Portion Zementschlämme

Nach dem Setzen eines Vorpuffers wird die Zementschlämme für die 2. Stufe angemischt und eingepumpt.

- Lösen des Nachstopfens der 2. Stufe

Der Nachstopfen der 2. Stufe erfüllt neben der Trennung zweier Medien voneinander gleichzeitig die Funktion eines Schließstopfens der Schiebemuffe. Er wird durch das Lösen der Arretierung am Zementierkopf freigegeben und nach unten gepumpt.

- Nachpumpen

Der Nachstopfen bzw. Schließstopfen wird mit einer Nachpumpmenge, die dem Volumen der oberen Stufe zwischen Schiebemuffe und Kolonnenkopf entspricht, in die Rohrtour eingepumpt.

- Schließen der Schiebemuffe

Am Ende des Nachpumpvorganges setzt der Schließstopfen auf dem Sitz der oberen Schiebehülse auf. Bei einem Druckanstieg von 50 kp cm^{-2} werden die Scherstifte, die die Schiebehülsen halten, abgeschert, und die Schiebehülse schiebt sich über die Öffnungen der Schiebemuffe. Diese werden somit mechanisch abgedichtet, und das einheitlich dicke Gefüge der gesamten Rohrtour wurde wieder hergestellt.

- Ende der Zementation

Nach dem Druckanstieg ist der Überlauf eines der Zementieraggregate zu öffnen und der Rücklauf zu kontrollieren. Ist neben dem Entlasten der Rohrtour kein Rücklauf zu verzeichnen, ist die Schiebemuffe dicht.

Anschließend kann eine Belastung der Rohrtour auf einen vorgegebenen Wert erfolgen. Es beginnt eine 48stündige Wartezeit auf Zementerhärtung. Nach 48 Stunden werden die Schiebemuffe, die Stopfen, der Stopring und die Rückschlagventile aufgebohrt. Die Kolonne wird durch Abdrücken auf ihre Dichtigkeit überprüft.

Kontinuierliches Verfahren

Der Ablaufplan des kontinuierlichen Zweistufenzementationsverfahrens unterscheidet sich insofern von dem diskontinuierlichen Verfahren, als die 2. Portion Zementschlämme unmittelbar nach der 1. Portion erfolgt. Das bedeutet, daß der überschüssige Zement der 1. Stufe nicht abgespült wird, sondern der Öffnungsstopfen durch die nachfolgende 2. Portion Zementschlämme niedergepumpt wird. Unmittelbar mit dem Öffnen der Schiebemuffe tritt die Zementschlämme in den Ringraum aus. Der Ablauf einer kontinuierlichen Zweistufenzementation läßt sich grob in folgenden Punkten festhalten:

- Vorbereitung der Rohrtour
- Spülen der Rohrtour
- Vorpumpen einer Pufferflüssigkeit
- Einpumpen der Zementschlämme für die 1. Stufe
- Einpumpen der 1. Nachpumpmenge
- Lösen des Öffnungsstopfens
- Einpumpen der Zementschlämme für die 2. Stufe
- Öffnen der Schiebemuffe
- Lösen des Schließstopfens
- Nachpumpen der 2. Nachpumpmenge
- Schließen der Schiebemuffe
- Entlastungen der Leitungen

Wie aus dem Beschriebenen hervorgeht, wird für die Zementation der 2. Stufe kein spezieller Vorstopfen eingesetzt. Der Öffnungsstopfen für die Schiebemuffe dient gleichzeitig als Trennstopfen zwischen der Nachpumpmenge der 1. Stufe und der Zementschlämme der 2. Stufe. Mit dem Öffnen der Schiebemuffe tritt die Zementschlämme in den Ringraum aus.

2.3.1.5. Ringraumzementation

Ringraumzementation zählen mit zu den Ausnahmefällen der Rohr- zementationen. Sie finden nur dann ihre Anwendung, wenn eine normale Rohr- zementation rechtsherum über den Steigraum technisch nicht durchführbar ist. Unter einer Ringraumzementation als Primärzementation ist

- eine Zementation bei geschlossenem Ringraum und offenem Steigraum
- eine Zementation über in den Ringraum eingelassene Fallrohre bei geschlossenem Steigraum

zu verstehen. Von diesen beiden Varianten der Ringraumzementation findet die erste Methode in Form der Linkszementation breite Anwendung. Das Zementieren über Fallrohre bleibt ausnahmslos überdimensional großen Futterrohren (Hilfsstandrohr, Standrohre) mit großem Ringraumspiel vorbehalten.

Linkszementation

Das Prinzip der Linkszementation besteht darin, daß der Pumpvorgang beim Zementieren über den Ringraum in den Steigraum

- im Gegensatz zur normalen Stopfenzementation - erfolgt.

Die Linkszementation wird dann angewendet, wenn es gilt, Rohrtouren unter besonders schwierigen Bedingungen zu zementieren. Die Vorteile einer Linkszementation sind:

- Druckschwache Horizonte bzw. Speicherhorizonte werden bei der Zementation weniger belastet. Die hydrodynamischen Druckverluste, die auf das Gebirge übertragen werden, sind wesentlich geringer. Nur die sehr geringen hydrodynamischen Druckverluste des Steigraumes werden auf die Horizonte übertragen.

Dieser Fakt gewinnt bei der Zementation unter engstem Ringraumspiel besondere Bedeutung.

- Hinter den Rohren kann sich ein qualitativ besserer und einheitlicher Zementstein bilden. Die gesamte Zementschlämme wird nicht über den Rohrschuh am Gebirge vorbeigepumpt, d. h., nicht die gesamte Zementschlämme der maximalen Bohrlochtemperatur wird ausgesetzt. Die Abbindezeiten der Zementschlämme können entsprechend der in dem jeweiligen Teufenintervall herrschenden Bohrlochtemperaturen ausgelegt, verzögert werden. Der Abbindeprozeß läßt sich über die gesamte Rohrlänge regulieren. Durch die geringe Kontaktzeit einer geringen Teilmenge der Zementschlämme mit dem offenen Gebirge kann nur dieser Teil der Zementschlämme durch evtl. Laugen, durch Schichtwasser und dergleichen geschädigt werden und nicht das gesamte Volumen.
- Die Zementationszeiten bei der Linkszementation sind weit- aus geringer als bei der Rechtszementation. Das Nachpumpen, das eigentliche Verdrängen der Zementschlämme in den Ringraum, entfällt. Die Zementschlämme wird nur in der geforderten Menge über den Ringraum eingepumpt. Über eine Blende (z. B. Schieber des Zementierkopfes) ist der Arbeitsdruck beim Einpumpen der Zementschlämme über den Ringraum entsprechend zu drosseln (Gegendruck von etwa 30 kp cm^{-2}), um ein Durchfallen der Zementschlämme zu vermeiden.

Der wesentlichste Nachteil dieses Zementationsverfahrens ist, daß der Zementkopf in den Rohren nicht genau bestimmt werden kann (z. B. durch Mengemessungen, Einmessen durch geophysikalische radioaktive Meßmethoden; Druckgleichgewicht zwischen Ring- und Steigraum nur bedingt möglich). Die Größe der Mischzone zwischen Spülung und Zementschlämme läßt sich schwer feststellen. Um am Rohrschuh eine qualitative Zementschlämme anstehen zu haben, sind größere Mengen Zementschlämme (die gesamte Mischzone) in die Rohre zu drücken. Dieser Zementstein ist anschließend aufzubohren. Es wurde eine Reihe von Technologien zur Durchführung der Linkszementation ausgearbeitet, die alle zum Ziel haben, den in der Rohrtour befindlichen Zement bzw. die Mischzone

auf ein Minimum zu reduzieren. Eine Linkszementation ist generell nur dann möglich, wenn die Rohrtour ohne Kugelrückschlagventile eingebaut wurde bzw. über diesen ein zu öffnender Zirkulationsmechanismus (evtl. Schiebemuffe) eingebaut ist.

2.3.2. Sekundärzementation

Bei den Sekundärzementationen soll hier nur auf eine Zementationsart - die Druckzementation - besonderer Wert gelegt werden. Alle übrigen Sekundärzementationen dienen hauptsächlich zur Beseitigung eventueller Fehlzementationen und tragen deshalb unterschiedlichen Charakter - ausgehend von der jeweils gegebenen Situation. So können, um ein Beispiel zu nennen, Rohrtouren, bei denen der Zementmantel die projektierte Höhe nicht erreichte, über Perforationen oder im anderen Fall über den Ringraum nachzementiert werden.

2.3.2.1. Druckzementation

Die Aufgabe einer Druckzementation besteht darin, durch das Verpressen von Zementschlämmen Hohlräume, Risse und andere permeable Zonen im verrohrten oder im offenen Gebirge auszufüllen und abzudichten. Durch Druckzementationen können Lecks in der Rohrtour, Zirkulationsverlusthorizonte oder Migrationszonen entsprechend behandelt werden. Druckzementationen finden z. B. bei der Bekämpfung von Laugenzuflüssen und dgl. in Form von Kunststoffverpressungen ein neues Anwendungsgebiet. Zur Durchführung von Druckzementationen steht eine Reihe von speziellen Zementationsausrüstungen, wie Retainer, Zementter, Brückenstopfen, zur Verfügung.

Technologischer Ablauf der Druckzementation

- Vorbereitung

Die Vorbereitungsarbeiten für eine Druckzementation müssen unter besonderer Sorgfalt durchgeführt werden. Das gesamte Drucksystem ist zu überprüfen und auf seine Einsatzfähigkeit zu kontrollieren. Die Kolbendurchmesser der Hochdruck-

Zementierpumpe sind auf den zu erwartenden Arbeitsdruck auszulegen. Bei Druckzementationen ist prinzipiell ein Druckbandschreiber einzusetzen. Druckzementationen werden in der Regel über Tubinge oder über Gestänge durchgeführt. Aus diesem Grunde ist der Strang vor Beginn der Zementation bis zur Oberkante des zu zementierenden Intervalls einzubauen.

- Absorptionsdruckprobe

Vor jeder Druckzementation ist mit Hilfe einer Absorptionsdruckprobe die Aufnahmefähigkeit des Horizontes bzw. des Intervalles bei entsprechendem Druck zu überprüfen und zu registrieren. Das Verpressen der Absorptionsflüssigkeit erfolgt bei geschlossenem Ringraum. Der anstehende Absorptionsdruck darf den zulässigen Innendruck der Rohrtour nicht überschreiten. Nach 3 bis 4 Minuten ist die Leitung zu entlasten und die Rücklaufmenge zu messen.

- Anmischen und Einpumpen der Zementschlämme

Die Schlämme ist nach den vorgegebenen Parametern anzumischen. Das erforderliche Schlammvolumen liegt in der Regel zwischen 1 bis 5 m³ und wird im wesentlichen von der Aufnahmefähigkeit des Horizontes bestimmt. Die Zementschlämme wird bei offenem Ringraum über den Tubing- bzw. Gestängestrang eingepumpt.

- Nachpumpen

Die Zementschlämme wird durch das Einpumpen der Nachpumpflüssigkeit aus dem Strang verdrängt. Es ist eine solche Menge nachzupumpen, daß die Höhe des Spiegels der Zementschlämme im Ringraum mit dem der im Steigraum übereinstimmt.

- Ausbau des Stranges

Der gesamte Strang ist um einen Sicherheitsabstand von etwa 100 m über der im Bohrloch stehenden Zementschlämme anzuheben. Dieser Abstand ist aus Gründen der Sicherheit (Verhindern des Einzementierens des Stranges) unbedingt einzuhalten.

- Verpressen

Der Ringraum ist zu schließen, und das Verpressen erfolgt über den Steigraum (ggf. gleichzeitig auch über den Ringraum). Die Flüssigkeitsmenge zum Verpressen der Zementschlämme in den Horizont darf hierbei maximal das Volumen

dieser Zementschlämme nicht überschreiten. Es ist nur das Volumen übertage einzupumpen, das der Horizont aufnehmen soll. Der Druck beim Verpressen soll den Absorptionsdruck, auf keinen Fall aber den kritischen Innendruck der Rohrtour überschreiten. In gegebenem Fall ist der Verpreßvorgang abubrechen.

- Ende der Druckzementation

Nach Beendigung der Verpreßarbeiten sind Ring- und Steigraum zu schließen. Der anstehende Verpreßdruck ist nicht abzulassen. Eine Entlastung der Rohrtour erfolgt erst nach dem Abbinden des Zementes. Schlußfolgernd aus dem technologischen Ablaufplan ist eine Grundvoraussetzung für das Gelingen von Druckzementationen, daß das zu behandelnde Intervall von anderen unter oder über ihm lagernden druckschwachen Horizonten isoliert ist. Um ein Verpressen der Zementschlämme in untere aufnahmefähige Schichten oder ins offene Bohrloch zu unterbinden, ist der zu behandelnde Horizont durch eine Zementbrücke abzugrenzen. Eine mechanische Absperrung des zu zementierenden Intervalles nach oben ist durch Retainer bzw. Zementer anzustreben.

2.3.3. Setzen von Zementbrücken

Beim Setzen von Zementbrücken handelt es sich um eine Art Gestängezementation (über Gestänge oder Tubinge). Zementbrücken können aus den verschiedensten Gründen im offenen als auch im verrohrten Bohrloch gesetzt werden.

Dies können sein:

1. Brücken für Teste

Diese werden notwendig,

- wenn verschiedene Horizonte voneinander abgeriegelt werden müssen
- wenn Stützanker auf ihnen abgesetzt werden müssen
- wenn es nicht möglich ist, einen Gummipacker zu verwenden

2. Brücken für Ablenkungen

3. Brücken als Sperren im Bohrloch für Druckzementationen, für Isolation druckschwacher Horizonte, als künstliche Bohrlochsohle für Verrohrungsarbeiten
4. Brücken zur Konservierung der Bohrung

Technologischer Ablauf der Brückenzementation

- Vorbereitung

Einzubauen sind nur Gestänge bzw. Tubinge mit kalibriertem Innendurchmesser. Dieser Strang ist bis zur Unterkante der zu setzenden Brücke einzufahren. Vor Zementationsbeginn ist der Strang zu manövrieren und Zirkulation zu pumpen, um das Freisein des Stranges zu kontrollieren. Außerdem dient es dazu, sich von der erforderlichen einheitlichen Dichte der Spülung im gesamten Bohrloch (Ringraum und Steigraum) zu überzeugen.

- Anmischen und Einpumpen der Zementschlämme

Das Zementieraggregat bzw. die -aggregate werden über einen Tubinganschlußkopf oder einen Gestängezementierkopf mit dem eingebauten Strang verbunden. Das benötigte Schlammvolumen zum Setzen von Zementbrücken schwankt in den Bereichen zwischen $1,5$ bis 5 m^3 , in Einzelfällen auch darüber. Die Zementschlämme kann aus Gründen einer genaueren Dosierung und einer einheitlichen Dichte über Behälter angemischt werden.

- Nachpumpen

Als Nachpumpmenge gilt das Volumen des Tubinge- bzw. Gestängestranges von Oberkante der Zementbrücke bis über-tage. Es ist zweckmäßig, nach dem Einbringen der Nachpumpmenge den Überlauf am Zementieraggregat kurz zu öffnen, um den Gleichgewichtszustand zwischen Ring- und Steigraum zu korrigieren. Zur Trennung der Zementschlämme von der Spülung und zur Vermeidung von Mischzonen sind Puffer (Wasser) oder Gestängestopfen einzusetzen.

- Ausbau und Abspülen

Die Tubinge bzw. das Gestänge ist unmittelbar nach dem Nachpumpen bis zur projektierten Oberkante der Zementbrücke langsam auszubauen. Dabei ist darauf zu achten, daß durch einen zu schnellen Ausbau ein "Hochreißen" der Ze-

mentschlämme vermieden wird. Die überschüssige Zementmenge ist links herum mit dem anderthalbfachen Steigraumvolumen abzuspülen. Die beim Abspülen der Zementbrücke aus dem Bohrloch austretende Menge von Zementschlämme ist zu messen. Die Differenz zur eingepumpten Menge gibt Rückschlüsse darüber, wieviel Zementschlämme in der Bohrung verblieben ist. Aus Sicherheitsgründen ist der Strang nach dem Abspülen ganz, aber mindestens jedoch um etwa 100 m auszubauen, um so eine ausreichende Sicherheitszone zwischen Zementbrücke und Gestängestrag zu schaffen und ein Festzementieren des Stranges zu vermeiden. Das Bohrloch ist 48 Stunden nach dem Setzen der Zementbrücke nicht zu befahren. Bei Brücken, die zur Ablenkung dienen, ist die Wartezeit auf Zementerhärtung auf mindestens 72 Stunden festzulegen. Gewisse Schwierigkeiten bereitet das Setzen von Zementbrücken in einem engbegrenzten Teufenbereich. Zementbrücken sind nach dem Abtasten oftmals gar nicht oder aber in größerer Teufe anzutreffen, d. h., sie fallen durch.

Für das Absacken gibt es zwei Ursachen. Einmal, wenn unterhalb der Zementbrücke druckschwache Schichten anstehen (Spülverlust), und zum anderen, wenn unterhalb der Zementschlämme sich ein Bohrlochmedium geringer Viskosität (z. B. Wasser) befindet.

Hier kann es passieren, daß die Brücke "durchtropft". Im ersten Fall ist der Spülverlust zu beseitigen oder der druckschwache Horizont nur gering zu belasten (geringmächtige Brücken).

Im zweiten Fall ist unterhalb der Zementbrücke eine Spülungsbrücke aus hochviskoser Spülung mit hoher Thixotropie zu setzen. Ein Vor- und Nachpuffer von 1 bis 2 m³ Pufferflüssigkeit ist völlig ausreichend, um die Vermischung der Zementschlämme mit der Bohrlochspülung zu vermeiden. Zum Setzen von Zementbrücken in einer vorgegebenen Teufe wurden Manschetten und Brückenstopfen entwickelt und erfolgreich eingesetzt.

2.3.4. Bohrlochverfüllungen

Bohrlochverfüllungen sind ein spezielles Anwendungsgebiet der Gestängezementation. Das Verfüllen von niedergebrachten Bohrungen geschieht in der Weise, daß das Bohrloch von Sohle aufwärts mit Zementschlämme aufgefüllt wird. Ein Gestänge- bzw. Tubingstrang ist bis zur Endteufe der Bohrung einzubauen, und über diesem wird die Zementtrübe eingepumpt. Die verdrängte Spülung tritt über dem Ringraum übertage aus. Die Bohrungen können nach zwei Verfahrensweisen verfüllt werden:

1. Die im Bohrloch vorhandene Spülung wird von Sohle bis übertage durch Zementschlämme ausgewechselt. Um hierbei den Gestängestrang nicht einzuzementieren, ist nach jedem Zementationsintervall von 150 bis 200 m (je nach Anlagenkapazität) der Strang um diese Länge anzuheben und somit stufenweise auszubauen. Im Sonderfall kann die im Bohrloch befindliche Spülung in einen unteren offenen Horizont durch die übertage eingepumpten Zementschlämme verpreßt werden. Diese Variante des Verfüllens ist nur in solchen Fällen vorzunehmen, in denen ein Einbau des Gestänges oder der Tubinge nicht möglich ist und im unteren Profil der Bohrung ein aufnahmefähiger Horizont ansteht.
2. Das Bohrloch wird durch einzelne Zementbrücken in festgelegten Abständen abgesichert. Die Mächtigkeit solcher Brücken liegt gewöhnlich in der Größenordnung von 50 bis 70 m. Sie sind nur mit sulfatresistentem Portlandzement zu setzen. Zwischen den Zementbrücken wird die Bohrung mit anderen Materialien verfüllt. Dies sind oftmals ausgesalzene, beschwerte Spülungen.

2.4. Vorbereitung der Zementation

Die Vorbereitungsmaßnahmen für Zementagearbeiten gliedern sich in zwei Hauptgebiete:

- a) organisatorisch-technologische Vorbereitungsarbeiten
- b) technische Überprüfung zur Ermittlung der Einsatzfähigkeit des Geräteparkes

Vor jeder Zementation ist ein Arbeitsplan aufzustellen, der die durchzuführende Arbeit in ihren einzelnen Punkten zum Inhalt haben muß. Nur ein genau detaillierter Arbeitsplan, eine klare Vorstellung über auszuführende Arbeitsoperationen garantiert einen guten organisatorischen und technologischen Ablauf der Zementation.

Der Arbeitsplan für die Zementation beinhaltet:
alle zum Einsatz kommenden Geräte und Materialien nach Art und Menge, wie

- Zusammensetzung der Zementrezeptur
- Anzahl der benötigten Zementieraggregate, Mischmaschinen und Zementtransporter
- erforderliche Zementageausrüstung, wie Zementierkopf, Stopfen, HD-Schieber, Verteilerstücke, Meßgeräte, UZ-Materialien, Behälter
- Menge an Anmischwasser und Nachpumpmenge mit Güteangabe

An Hand der erhaltenen Ausgangsdaten bei der Auftragserteilung zur Zementation, wie

- Bohrlochdurchmesser laut Kaliberkurve
- Dimension der Rohrtour mit Wanddicke
- Einbauteufe
- Höhe des Stopüberganges
- Druck-, Verlust- und Fracgradienten
- Dichte der im Bohrloch befindlichen Spülung
- Dichte der Nachpumpmenge
- Angaben zur Geologie des Bohrlochprofils

werden

- das Volumen der benötigten Zementschlämme
- Trockenmenge des Zementationsmaterials
- Menge des Anmischwassers
- erforderliche Nachpumpmenge
- Druckberechnung
- Zementationsdauer und Pumpregime

errechnet und wird der technologische Ablaufplan erarbeitet sowie eine Laboranalyse über die einzusetzende Zementrezeptur gefahren. Die Analysenwerte der Laborprüfung der Zementre-

zeptur weisen die Zusammensetzung der Rezeptur nach Gewichtsanteilen, ihre Dichte, ihr W:F-Verhältnis, den Fließkegel, die Thermostabilität, die Festigkeitsentwicklung, das Sedimentationsverhalten, das Abbindeverhalten unter Bohrlochbedingungen sowie Art und Menge der Zusätze zur Regulierung der Parameter der Zementschlämme aus. Bei der Durchführung der Zementationsarbeiten kommt es darauf an, die Projekt- und Analysenwerte voll in der Praxis durchzusetzen. Für das Gelingen der Zementationsarbeit ist eine gründliche Vorbereitung des Bohrloches zum Rohreinbau und zur Zementation Grundvoraussetzung. Die Qualität des Bohrloches und des Rohreinbaues (Qualität der Spülung, Beherrschung der bohrtechnischen Schwierigkeiten, Belastbarkeit des Bohrloches, zentrischer Einbau der Rohrtour u. a.) beeinflussen direkt die Qualität der Zementationsarbeiten. Zu einem kontinuierlichen Arbeitsprozeß gehört die zuverlässige Funktionstüchtigkeit und Sicherheit aller eingesetzten Aggregate und Ausrüstungen. Wesentlichen Anteil an einer qualitätsgerechten Zementation hat die einzusetzende Zementrezeptur, die ihrerseits in ihrer Qualität von der richtigen Zusammensetzung und dem Anmischprozeß im Bohrfeld bestimmt wird.

2.5. Anmischen der Zementschlämme

Der Anmischprozeß zur Herstellung der Zementschlämme erfolgt dadurch, daß dem trockenen Zement eine bestimmte Menge Wasser zugegeben wird. Zu diesem Zweck saugt ein Zementieraggregat mit einer speziell für diese Aufgabe montierte Dreiplungerpumpe das Anmischwasser aus dem Saugbehälter des Zementieraggregates und drückt es über eine Schlauchverbindung in den hydraulischen Mischer der Mischmaschine. Der maximale Wasserdruck wurde auf 15 at festgelegt. Über eine Düse strömt das Wasser in das Abflußrohr und aus diesem in den Saugbottich. Durch das Öffnen des Schiebers am Mischerkasten und die Betätigung der Förderschnecken wird das Zementationsmaterial aus dem Bunker zum hydraulischen Mischer der Mischmaschine transportiert und dort mit dem Wasser vermischt. Durch das Abflußrohr strömt die Zementschlämme in den Saugbottich

und wird aus diesem über den Saugschlauch der angeschlossenen HD-Pumpe der Zementieraggregate in das Manifold und dann in das Bohrloch gepumpt. Die Förderleistung der Mischmaschine wird entscheidend durch die Fördermenge der Plungerpumpe, der Wahl des Düsendurchmessers und somit des Arbeitsdruckes bestimmt. Einen wesentlichen Einfluß auf die Qualität der herzustellenden Zementschlämme übt die Konstruktion des hydraulischen Mischers der Mischmaschine aus. Sie beeinflusst entscheidend den Benetzungsgrad der Zementpartikelchen mit Wasser und den Durchlüftungsgrad der Zementschlämme. Die Dimension und die Form der Düsen ist so zu wählen, daß eine optimale Benetzung unter Berücksichtigung eines hohen Arbeitsdruckes gegeben ist. Im Ausflußrohr wird die Zementschlämme durch ein optimales Fließregime zusätzlich gemischt, z. B. durch Änderung der Strömungsrichtung. Ein Mitreißen von Luft durch die Zementschlämme führt zu ihrer Durchgasung und zur Qualitätsminderung. Die Fallhöhe vom Ausflußrohr zum Saugbottich ist hierbei neben der Dichtheit des hydraulischen Mischers der Mischmaschine zu berücksichtigen. Die Qualität der Zementschlämme kann durch einen weiteren Mischprozeß weitgehend verbessert werden. Bei dieser Methode handelt es sich um die sogenannte "verzögerte Mischtechnologie".

2.5.1. Verzögerte Mischtechnologie

Das Prinzip der verzögerten Mischtechnologie (s. Bild 3) besteht darin, daß die angemischte Zementschlämme aus dem Saugbottich in einen Behälter von etwa 20 m^3 , dem Nachmischaggregat, gepumpt wird. Im Nachmischaggregat erfolgt die Sekundärmischung durch intensives Umwirbeln der Zementschlämme mittels zweier Rührwerke. Durch das intensive Umwirbeln der Zementschlämme werden die Zementpartikelchen besser benetzt, eine Verbesserung der rheologischen Eigenschaften (Senkung der Viskosität) ist die Folge. Dieses bewirkt andererseits einen qualitativ besseren Zementstein bezüglich seiner Festigkeit und Dichtheit. Der Einsatz von mechanischen Rührwerken ist in jedem Fall bei viskosen und schwer verpumpbaren Zementschlämmen sowie beim Einsatz von Gemi-

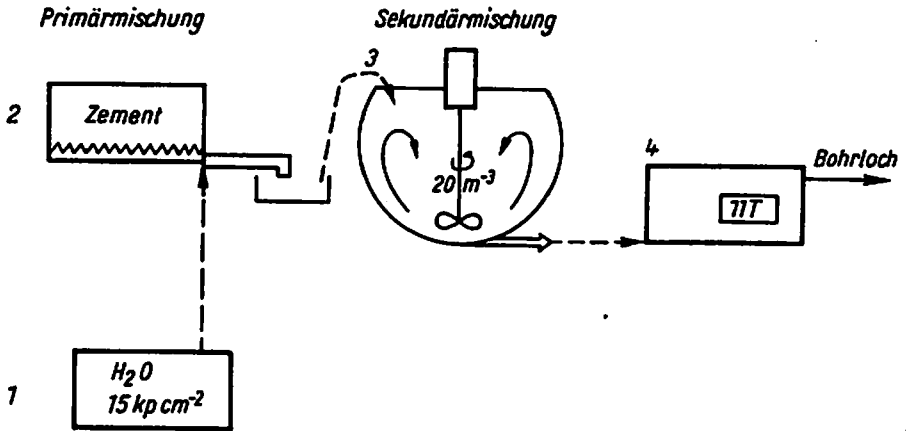


Bild 3. Prinzip der verzögerten Mischtechnologie

1 Anmischfahrzeug 3 W 1 3 Nachmischaggregat
 2 Mischmaschine 2 SMN 20 4 Leistungsstarkes 3 ZA 400 A

schen aller Art (Schlacke, Quarzmehl, Flugasche, Bentonit und beschwerte Zemente) vorzusehen. Der Einsatz von Nachmischaggregaten zur Zementation von technischen und Produktionsrohrturen ist Bestandteil der Zementationstechnologie.

Die Anwendung der verzögerten Mischtechnologie wirkt sich unmittelbar positiv auf den Zementationsprozeß aus. Die wesentlichen Beweggründe für die verzögerte Mischtechnologie sind

- a) qualitative und homogene Eigenschaften der Schlämme
 - einheitliche Dichte des gesamten Schlammvolumens
 - Entlüften der Zementschlämme
 - niedrigere Viskosität der Zementschlämme beim Einpumpen
 - gleichmäßiger Anteil von Zusätzen in der Schlämme
 - qualitativ hochwertiger Zementstein
- b) gute Meß- und Kontrollmöglichkeit
 - die Parameter der Zementschlämme können durch den Anschluß von Meßgeräten erfaßt und aufgezeichnet werden
 - das Volumen der eingesetzten Zementschlämme ist genau registrierbar

c) störfreies Einpumpen der Zementschlämme

Das Einpumpen der Zementschlämme in das Bohrloch kann organisatorisch leichter und übersichtlicher gestaltet werden. Ein Ausfall von einem Zementieraggregat führt nicht zu wesentlichen Komplikationen, da in diesem Falle eine leichtere Umdisponierung ohne merklichen Einfluß auf das Einpumpen möglich ist. Das Einpumpen der Zementschlämme erfolgt mit erhöhter Sicherheit, und das Einpumpen selbst ist als separate Arbeitsoperation zu betrachten.

2.5.2. Anmischen unter Einsatz leistungsstarker Zementieraggregate

In dem Fall, wo die Zementationsarbeiten ausschließlich mit den Zementieraggregaten vom Typ 3 ZA 400 A durchgeführt werden, sind spezielle Aggregate zum Anmischen der Zementschlämme einzusetzen, da dieser Typ von Zementieraggregaten nicht mit Anmischpumpen ausgestattet ist. Es empfiehlt sich, den Aufbau der Gruppen zum Anmischen der Zementschlämme so zu gestalten, daß je ein ZA vom Typ ZA 320 M und ein 3 ZA 400 A zusammenarbeiten. Durch den Einsatz von speziellen Mischfahrzeugen, ausgerüstet mit drei Plungerpumpen vom Typ W 1 oder mit leistungsfähigen Kreiselpumpen, läßt sich der Anmischprozeß rationeller durchführen. Von diesem Anmischfahrzeug wird das Anmischwasser direkt in den hydraulischen Mischer der Mischmaschine gedrückt.

2.6. Qualitätsbestimmung von Rohrzementationen

In der Bohrpraxis kamen bisher die verschiedensten Bohrlochkonstruktionen zur Anwendung. Ziel und Zweck sämtlicher eingebauter und zementierter Futterrohrkolonnen sind neben der festen Verankerung der Rohrtour eine hermetische Isolierung der erdöl- und erdgasführenden Schichten untereinander und zu anderen Migrationshorizonten. Die Zementation von Futterrohrtouren soll ferner garantieren, daß ein gasdichter Abschluß im Ringraum hergestellt wird und einem Ausbruch von Erdöl- und Erdgas über den Ringraum entgegenwirkt. Es kommt

also bei einer Zementation nicht darauf an, daß der Zement den Ringraum vollständig ausfüllt, sondern daß er auch eine gute Bindung zu dem Gebirge und der Kolonne aufweist. Für die Aufstellung bestimmter Qualitätskriterien einer Zementation, wie

- erreichte Zementkopfhöhe
- Bindung zur Kolonne und zum Gebirge
- Dichtheit

wurden entsprechende Kontrollmöglichkeiten in Form verschiedener Meßmethoden entwickelt und eingesetzt.

2.6.1. Methoden zur Zementkopfbestimmung

Temperaturmessung

Eines der ältesten und oft praktizierten Verfahren zur Bestimmung der Zementkopfhöhe nach erfolgter Zementation ist die Temperaturmessung. Das Meßprinzip dieser Verfahrens beruht darauf, die unterschiedlichen Temperaturen zwischen dem zementierten und unzementierten Bereich zu registrieren. Durch die freiwerdende Abbindewärme des Zementes steigt die Temperatur der in der Rohrtour befindlichen Spülung um etwa 1 bis 3 °C im zementierten Bereich an. Diese Temperaturzunahme wird mit Hilfe eines Widerstandsthermometers gemessen und in Form einer teufenabhängigen Temperaturkurve aufgezeichnet. Die Nachteile dieser Methode sind, daß

- die Temperaturmessungen nicht wiederholbar sind, da mit zunehmendem Zeitunterschied der Abbindewärme abgeleitet wird
- die Messungen oft negativ durch die ansteigende und stark differenzierte Gebirgstemperatur beeinflusst werden
- infolge der geringen Abbindewärme von zementarmen Gemischen eine Temperaturzunahme nur schwerlich erkennbar ist

Zementlog

Ein weitaus aussagekräftigeres Verfahren zur Bestimmung der Zementkopfhöhe und der Haftfähigkeiten des Zementmantels an

die Rohrtour ist das Zementlog. Der Aufbau und die Verfahrensweise des Zementlogs ist ähnlich dem des Akustiklogs. Von einem in das Bohrloch hinabgelassenen Ultraschallsender werden Akustikimpulse radial über die Bohrlochspülung, über die Verrohrung und den Zementmantel in das Gebirge abgestrahlt. Die reflektierten Wellen erzeugen mechanische Schwingungen, die in elektrische Spannungen umgewandelt werden und verstärkt über ein Meßkabel auf ein Registriergerät nach übertage gegeben werden. Im zementierten Bereich mit guter Bindung ist infolge der Dämpfung eine starke Energieabnahme des Rohrsignals zu verzeichnen. Das Zementlog läßt keine Schlüsse auf die Permeabilität des Zementsteines zu, da Hohlräume im Zementmantel nicht gedeutet werden können. Es dient zum Nachweis von Zement und seiner Bindung zu den Futterrohren.

Radioaktive Markierung des Zementes

Der Einsatz von radioaktiven Präparaten im Bohrfeld hat sich in den letzten Jahren bewährt. Es bestehen zwei Möglichkeiten zur Aktivierung der Zementschlämme:

- die gesamte Zementschlämme wird durch kurzlebige Radioisotopen aktiviert
- nur eine Teilmenge der Zementschlämme wird durch den Zusatz von Radioisotopen markiert, z. B. die Grenze zwischen Spülung und Zementschlämme, d. h. der Zementkopf

Die Aktivierung des Zementes durch Radioisotope ist besonders bei Sekundärzementationen erfolgversprechend. Hierbei kann der Migrationsweg der Zementschlämme hinter den Rohren oder aber auch im Gebirge mittels anschließender Gammamessung verfolgt werden. Die Gammamessung erlaubt es, die Verteilung des Zementes im Ringraum sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Ebene zu untersuchen.

2.6.2. Dichtheitsprüfung

Druckprobe

Bei der Druckprobe handelt es sich um ein verbreitetes Verfahren zur Dichtheitsbestimmung nach erfolgter Zementation. Die Durchführung der Druckprobe ist zeitlich nicht begrenzt. Sie erfolgt in der Regel 2 bis 3 Tage nach der Zementation. Der erforderliche Prüfdruck ist abhängig vom jeweils zulässigen und zu erwartenden Innendruck der Futterrohre, wird also von der Qualität, der Wanddicke und dem Durchmesser der Futterrohre bestimmt. In der Regel hat die Höhe des Prüfdruckes bei technischen Rohrtouren das 1,2fache des hydrostatischen Druckes bzw. bei Produktionsrohrtouren des Lagerstättendrucks zu betragen. Eine Druckprobe mit solchen extrem hohen Prüfdrücken setzt eine absolute Dichtheit des hydraulischen Drucksystems des Manifolds voraus. Die Dichtheitsprüfung der Futterrohre durch Abdrücken der zementierten Rohrtour führt bei den hohen Prüfdrücken zur Zerstörung der Bindung Zementstein/Rohrtour. Der Zementstein hält im abgebundenen Zustand nur geringfügigen Belastungen von etwa 30 bis 50 kp cm⁻² stand. Es ist deshalb anzustreben, nur die unzementierten Bereiche der Rohrtour, d. h. die Rohrtour nur oberhalb des Zementkopfes über Futterrohrpacker, auf Dichtheit abzudrücken. Dies ist als ausreichend zu erachten, da die Rohre vor ihrem Einbau übertage abgedrückt werden. Wird eine Undichtheit der zementierten Rohrtour festgestellt, dann ist diese im seltensten Falle erfolgreich durch Sekundärmaßnahmen abzudichten.

2.7. Ursachen von Fehlzementationen und Maßnahmen zu ihrer Verhütung

Wie an anderer Stelle schon erwähnt, ist die Rohrzedimentation ein einmaliger, nicht wiederholbarer Arbeitsprozeß. Zeigt es sich, daß die durchgeführte Zementation nicht den erwarteten Qualitätskriterien gerecht wird, dann ist in einigen Fällen eine Nachzedimentation (Sekundärzedimentation) unumgänglich. Diese Reparaturzedimentationen sind mit erheblichen Mehrkosten verbunden und verzögern die anschließenden Arbeiten am Bohr-

loch um ein beträchtliches. Als Fehlzementationen sind solche Zementationen zu bezeichnen, in deren Ergebnis die Qualitätskriterien für die Zementation nicht bzw. nur in einem geringen Maße erfüllt werden. Eine Zementation ist zu beurteilen nach

1. der tatsächlich erreichten Höhe der projektierten Zementsäule
2. der Dichtigkeit des zementierten Intervalls
3. der erzielten Festigkeit des Zementmantels

Durch eingehende Analysen der aufgetretenen Fehlzementationen können die Ursachen für solche mangelhaften Zementationen festgestellt werden. Sind die Ursachen für Fehlzementationen hinreichend bekannt, werden entsprechende Vorbeugungs- bzw. Gegenmaßnahmen getroffen.

Zu 1.

Vorhandene Zirkulationsverlusthorizonte bilden die Hauptursache für das Nichterreichen der projektierten Zementkopfhöhe. Druckschwache Horizonte sind deshalb vor der Zementation genau zu lokalisieren und zu analysieren. Je nach ihren Eigenschaften sind der Zementschlämme dämmende Füllstoffe in Form von Sägespänen, Hobelspänen, Zellophanschnitzeln beizugeben. Die Aufstiegsgeschwindigkeit ist geringzuhalten, um den Horizont nicht zusätzlichen dynamischen Brüchen auszusetzen. Es ist empfehlenswert, bei der Berechnung der Zementschlämme einen gewissen Verlustfaktor mit einzukalkulieren. Die bewährteste Methode für eine anschließende qualitätsgerechte Rohrzementation ist, den Horizont vor der Rohrzementation entsprechend vorzubehandeln und notfalls durch eine Druckzementation abzudichten. Dies reduziert weitestgehend die Möglichkeit einer Nachzementation des Ringraumes infolge Nichterreichens der projektierten Zementkopfhöhe.

Frühzeitiges Abbinden der Zementschlämme

Durch ein frühzeitiges Abbinden bzw. durch eine schnell ansteigende Konsistenz der Zementschlämme ist ein Verpressen der Zementschlämme in den Ringraum nicht mehr voll gewährleistet, und

der Zementkopf erreicht nicht die vorgegebene Höhe. Die Abbindezeiten der Zementschlämme sind so zu wählen, daß sie um mindestens 25% über der errechneten Zementationsdauer liegen. Während dieser Zeitspanne muß die Zementschlämme noch gut verpumpbar sein. Zur Zementationsdauer zählt die Zeit des Einpumpens, des StopfenlöSENS und des Nachpumpens, d. h. des Verpressens der Zementschlämme in den Ringraum. Um ein plötzliches und frühzeitiges Abbinden des Zementes durch Laugenzuflüsse, Salz und andere chemisch-aktive Stoffe zu verhindern, ist die im Bohrloch befindliche Flüssigkeit sowie das Anmischwasser genau zu analysieren und die Zementschlämme, falls erforderlich, zu schützen. Ferner kann es zum Festwerden der Zementschlämme führen, wenn Wasser aus der Zementschlämme ausfiltriert und, bedingt durch einen hohen Differenzdruck (Zementsäule, Gebirge), in hochpermeable Horizonte abgepreßt wird. Ein schnelles Eindicken der Zementschlämme führt zum Abbruch des Pumpprozesses. Dieser Effekt wird durch Schlämmen mit hoher Wasserabgabe und durch eine niedrige Aufstiegs geschwindigkeit unter hohen Differenzdrücken - Gebirge/Bohrloch - begünstigt.

Störungen im Arbeitsablauf

Ein nicht unwesentlicher Faktor für erfolgreiche Rohrzementationen ist ein ununterbrochener, kontinuierlicher Ablauf der Zementation nach Arbeitsplan. Müssen die Zementarbeiten während des Zementationsprozesses, d. h. während der eigentlichen Zementationszeit, infolge zu hoher Arbeitsdrücke oder technischen Ausfalls der Zementiereinrichtungen vorzeitig abgebrochen oder unterbrochen werden, so ist der Erfolg der Zementation von vornherein in Frage gestellt.

Fehlende Festigkeit des Zementsteines

Eine weitere Ursache für das Nichterreichen der projektierten Zementkopfhöhe im Ringraum kann in der Planung und Durchführung der Zementationsarbeiten liegen. Durch den Einsatz ungeeigneter Zementrezepturen ist es möglich, daß unter fehlenden Temperaturbedingungen bzw. bei großer Mischzonenbildung auf Grund der angewandten Technologie die geforderten

Festigkeitswerte des Zementsteines nicht über das gesamte Zementationsintervall erbracht werden.

Zu 2.

Die Dichtheit des Zementmantels über seine gesamte Länge ist ein entscheidendes Kriterium für die Qualität der Zementation. Es kommt nicht nur darauf an, daß der Ringraum hinter der Rohrtour völlig mit Zement ausgefüllt ist. Das Ziel einer Zementation besteht vielmehr in einer undurchlässigen Isolierung der anstehenden Formationen untereinander und nach Überlagerung. Die Zementation hat zur Aufgabe, jegliche Migration von Gasen oder Flüssigkeiten im Ringraum zu unterbinden.

Eine Methode zur Dichtheitsbestimmung der Zementation ist die Druckprobe. Sie liefert keine Aussage über die Permeabilität des gesamten zementierten Intervalls. Die Durchlässigkeit des Zementmantels im Ringraum ist zurückzuführen z. B. auf die Kanalbildung des Zementes in der Spülung,

- kein Aushärten der Zementschlämme
- große Mischzonen zwischen dem Zement und der Spülung
- Zufluß von Gasen, Laugen oder Schichtwasser

Kanalbildung

Die Kanalbildung ist eine der Hauptursachen für einen durchlässigen Zementmantel hinter den Rohren. Eine Kanalbildung liegt vor, wenn die Zementschlämme die Spülung nicht völlig aus dem Ringraum verdrängt, die Rohrtour nicht allseitig umgibt und sich nur in Form von Kanälen durch die Spülung zieht. Es kann auch von Kanalbildung gesprochen werden, wenn der Anteil des Zementes im Ringraum weit über dem der Spülung liegt, der Zementstein aber Spülungseinschlüsse in Form von Schlieren aufweist. Die Kanalbildung hat einerseits ihre Ursache in den vorhandenen rheologischen Parametern der Bohrlochspülung und der Zementschlämme und dem Fließregime der Flüssigkeiten im Ringraum.

Das Ausmaß der Kanalbildung im Ringraum wird weitestgehend von der Lage der Rohre im Bohrloch - von der Geometrie des Ringraumes - bestimmt. Bei Exzentrizität des Rohrstranges im Bohr-

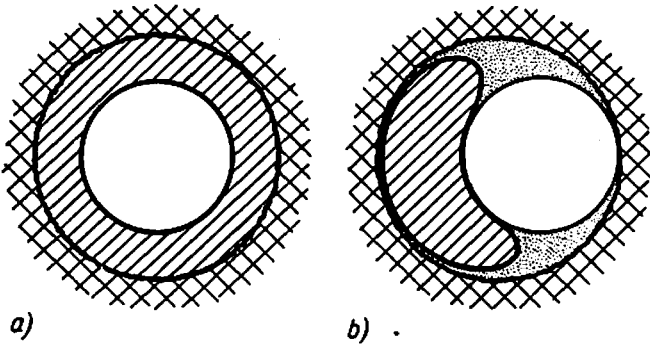


Bild 4. Lage der Rohre im Bohrlochquerschnitt
 a) konzentrische Lage
 b) exzentrische Lage der Rohre

loch ist eine Kanalbildung trotz Anwendung aller möglichen Maßnahmen zur Verbesserung des Verdrängungsregimes unvermeidlich.

Durch die exzentrische Lage der Rohre im Bohrloch (durch fehlende Zentrierungseinrichtungen, große Neigung des Bohrloches u. a.) kann sich kein einheitlicher Zementmantel um die Futterrohre ausbilden. Das entscheidendste Qualitätskriterium der Zementation ist der im Ringraum erreichte Verdrängungsgrad, wobei eine vollständige Verdrängung der Spülung durch die Zementschlämme technisch nicht realisierbar ist. Das Verdrängungsregime im Ringraum ist bei der Zementationsvorbereitung so auszulegen, daß eine maximale Verdrängung erreicht wird. Der erreichte Verdrängungsgrad bei der Zementation wird im wesentlichen vom Fließprofil (s. Bild 5) bestimmt, daß durch das Verhältnis der Maximalgeschwindigkeit einzelner Flüssigkeitsteilchen zur Durchschnittsgeschwindigkeit der gesamten Flüssigkeitsmenge charakterisiert wird. In Abhängigkeit vom Fließprofil wird unterschieden in turbulenten Fluß, laminaren Fluß und Pfropfenfluß. Unterscheidungskriterium ist die Aufstiegsgeschwindigkeit.

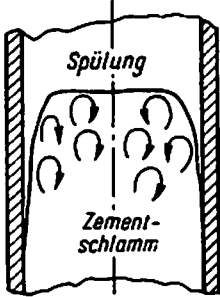
Die Fließgeschwindigkeit für jedes Regime ist in Abhängigkeit von den rheologischen Parametern (Viskosität, Fließgrenze), der Dichte und der Geometrie des Strömungsquerschnittes zu ermitteln. Für Zementationsarbeiten ist nach

Bild 5

Fließprofile bei Zementationsarbeiten

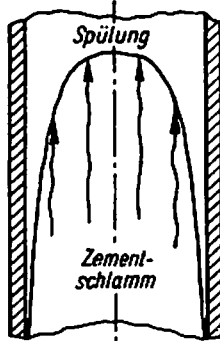
a) turbulentes Störungsprofil

- stark bewegt (wirbelnde Aufstiegs-
geschwindigkeit)
- gerade Verdrängungsfront
- maximale Fließgeschwindigkeit über
den gesamten Querschnitt $V > V_{krit}$
- 90 bis 95% Verdrängung
- Waschwirkung an den Grenzflächen



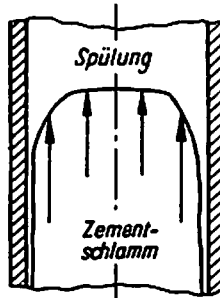
b) laminares Störungsprofil

- ruhiger Fluß, Gleiten paralleler
Schichten aufeinander
- zungenartige Verdrängungsfront
- unterschiedliche Fließgeschwindig-
keiten im Querschnitt $V < V_{krit}$
- 60 bis 65% Verdrängung
- keine Waschwirkung, Rückstände an
Grenzflächen



c) Pfropfenfluß

- gleichmäßiges langsames Ansteigen
der Flüssigkeit
- gerade Verdrängungsfront (stark ab-
hängig von Rheologie)
- paralleles Fließen mit geringer Ge-
schwindigkeit $V < 0,25 V_{krit}$
- 80 bis 85% Verdrängung
- keine Waschwirkung



Möglichkeit Turbulenz anzustreben, um eine maximale Verdrängung aus Kavernen zu erzielen. Ist dies nicht möglich, dann sind die Parameter der Zementschlämme speziell für optimale Fließbedingungen im Pfropfenfluß auszulegen. Ein Laminarfluß ist wegen des schlechten Verdrängungsgrades weitestgehend zu

vermeiden, jedoch auf Grund der Bohrlochverhältnisse nicht völlig auszuschließen.

Hauptkriterien für eine optimale Verdrängung sind

- konzentrische Lage der Rohre im Bohrloch
- maximale Dichtedifferenz der Zementschlämme zur Spülung
- maximale Differenz der Fließgrenze zwischen Zementschlämme und Spülung

Zur Gewährleistung dieser Voraussetzungen sind zur besseren Verdrängung speziell rheologisch bearbeitete Trennpuffer mit guten Fließeigenschaften einzusetzen.

Durch die Bestückung der Futterrohre mit Zentralisatoren, Turbulenzschellen und Kratzern erfährt der aufsteigende Strömungsfluß eine Richtungsänderung. Beide Suspensionen, Spülung wie Zementschlämme, werden zusätzlich bewegt, gequirt. Wesentlich effektiver kann der Kanalbildung begegnet werden, wenn die Rohrtour außerdem während des Zementationsprozesses gefahren bzw. rotiert wird.

Haftfähigkeit des Zementsteines

Der Bindung des Zementsteines zum Gebirge und zur Rohrtour wurde in der letzten Zeit mehr Beachtung geschenkt. Eine hermetische Isolierung der Horizonte ist die vorrangigste Aufgabe einer Zementation speziell für Bohrungen auf Gaslagerstätten. Wenn von Verbesserungen der Haftfestigkeit des Zementgesteines an das Gebirge und an die Rohrtour die Rede ist, dann ist Grundvoraussetzung, daß ein qualitativer Zementstein ohne oder mit geringen Kontraktionseigenschaften im Ringraum ansteht. Auf der Basis dessen sind weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Haftung vorzunehmen (z. B. Salzwasser). Zentralisatoren verleihen der Kolonne einen zentrischen Halt im Bohrloch. Der Zementmantel umschließt die Rohrtour von allen Seiten gleichmäßig. Dieses bewirkt seinerseits eine höhere Dichte der Zementationsintervalle gegenüber einer am Gebirge anliegenden und einseitig zementierten Rohrtour. Um einen besseren Kontakt zwischen dem Zementstein und dem Gebirge zu erzielen, ist es vorteilhaft, den Filterkuchen von der Bohrlochwand zu entfernen bzw. die Spülung so zu be-

arbeiten, daß nur eine geringe Krustenbildung möglich ist. Die Qualität der Bohrspülung beeinflußt die Qualität der Zementationsarbeit wesentlich.

Die Reinigung der Bohrlochwand von Filterkuchen erfolgt auf

- mechanischem bzw. auf
- chemischem Wege

Die mechanische Säuberung der Bohrlochwand vom Filterkuchen beruht im Prinzip darauf, daß durch den Einsatz von Kratzern die Filterkruste abgebürstet wird. Die Rohrtour ist nach Auswertung des anstehenden geologischen Profils in Abständen von 5 bis 10 m mit Kratzern zu bestücken. Beim Einbau der Kolonne wird schon ein großer Teil der Filterkruste im Bohrloch durch die angebrachten Kratzer und Zentralisatoren entfernt. Binnen sehr kurzer Zeit bildet sich erneut eine Filterkruste nach, bedingt durch die im Bohrloch befindliche Tonspülung und unter der Wirkung des hydrostatischen Druckes. Sollen die Kratzer effektiver in ihrer Wirkungsweise eingesetzt werden, dann macht sich ein Fahren der gesamten Rohrtour (mindestens um den Abstand zweier Kratzer voneinander) unmittelbar vor und während des Zementationsprozesses unbedingt erforderlich. Die Filterkruste wird laufend abgebürstet und tritt gemeinsam mit der Spülung übertage aus. Eine erneute Bildung von Filterkuchen kann aus dem Grunde nicht mehr erfolgen, weil die emporsteigende Zementschlämme die Spülung verdrängt und einen direkten Kontakt mit dem anstehenden Gebirge eingeht. Eine andere Methode, die Bohrlochwand von Filterkuchen zu reinigen, ist die Verwendung von sogenannten Waschflüssigkeiten mit besonderen Lösungseigenschaften. Auf die Filterkruste im Bohrloch wirken sie zersetzend, und damit haben sie eine reinigende Wirkung. Die Qualität der Haftung und Bindung des Zementsteines mit der Bohrlochwand hängt in hohem Maße von den Eigenschaften des im Zementationsintervall anstehenden Gebirges ab (Salz, Sandsteine, Tone u. a.). Zur Verbesserung der Haftfähigkeit des Zementes zur Rohrtour wurden verschiedene Methoden und Materialien zur Oberflächenbehandlung der Futterrohre erprobt und eingesetzt. In bezug auf eine verbesserte Haftfähigkeit bietet eine raue

Rohroberfläche eine größere Kontaktzone zum Zementstein. Sie weist aus diesem Grunde eine größere Bindung im Vergleich zu einer glatten Oberfläche auf.

Mischzonen

Zur Reduzierung der Bildung von Mischzonen zwischen der Zementschlämme und der Bohrspülung werden oftmals Vorpuffer gesetzt. Diese Vorpuffer sollen in ihren Viskositätsparametern theoretisch zwischen den Werten der Spülung und der Zementschlämme liegen. Sie eignen sich sehr gut zur Herstellung turbulenter Strömungen im Ringraum. Sie waschen die Spülung aus den Kavernen aus, vermischen sich mit ihr und werden übertage ausgetragen. Die Mischzone der Zementschlämme hängt von der Größenordnung des gesetzten Vorpuffers ab. Die Größe der Mischzonen bei der Verdrängung der Spülung durch die Zementschlämme aus dem Ringraum ist abhängig von der Aufstiegs- geschwindigkeit und dem Ringraumquerschnitt, d. h., die Mischzonen sind abhängig vom Verdrängungsregime.

Zu 3.

Das Fehlen der erforderlichen Festigkeit des Zementsteines ist hauptsächlich auf ein schlechtes Abbindevermögen der Zementschlämme zurückzuführen. Dieses wird bewirkt durch

- ein zu hohes Wasser-Zement-Verhältnis
- chemisch verunreinigtes Anmischwasser
- große Mischzonen zwischen Zement und Spülung

Durch den Zufluß von Schichtwasser, Laugen oder Gasen zur Zementschlämme können die verschiedenartigsten Störungen auf die Festigkeitsentwicklung des Zementsteines auftreten, wie

- Bildung von Wassertaschen im Zementstein
- kein Abbinden des Zementes infolge zu hohen Wassergehaltes
- kein Abbinden des Zementes infolge Laugenzuflusses

Neben einer verminderten Festigkeit ist die Dichtheit des Zementsteines unter diesen Bedingungen sehr in Frage gestellt. In der Regel erreichen aber die meisten Zemente weitaus hö-

here Festigkeitswerte, als in der Tiefbohrtechnik benötigt werden.

2.8. Berechnung der Zementation

Als Ausgangsdaten für die Berechnung einer normalen Einstufenzementation sind folgende Angaben erforderlich:

- Einbauteufe der zu zementierenden Rohrtour L in m
- gebohrter Bohrlochdurchmesser D in m
- Dimension der eingebauten Rohrtour D_R in m
- Wanddicke der Rohre s in m
- Höhe der projektierten Zementsäule H in m
- Höhe des eingebauten Stopübergangs h_0 in m
- Dichte der Spülung ρ_P in tm^{-3}
- Dichte der Zementschlämme ρ_Z in tm^{-3}
- Dichte der Nachpumpmenge ρ_N in tm^{-3}
- Auskesselungsfaktor K_1

Ausgehend von diesen Angaben wird nacheinanderfolgend berechnet:

1. Volumen der Zementschlämme

$$V_Z = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_R^2) K_1 \cdot H + \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot h_0$$

Das theoretische Volumen der Zementschlämme setzt sich zusammen aus dem Volumen des Ringraumes zwischen Gebirge und Rohrtour, dem Volumen der Rohrtour zwischen Stopring, Übergang und Rohrschuh.

- V_Z Volumen der Schlämme in m^3
- d_i der Innendurchmesser der Rohrtour in m
 $d_i = D_R - 2s$
- K_1 der Auskesselungsfaktor
für lockere Tertiärschichten $K_1 = 1,5$
für alle übrigen Schichten $K_1 = 1,3$

Das genaue Volumen des Bohrloches erhält man durch die Auswertung der Kaliberkurve. An Hand dieser Kurve läßt sich

ein mittlerer Auskesslungsfaktor (Kalibritätsfaktor) für den gesamten Teufenbereich errechnen. Er ist an Stelle des angenommenen Auskesslungsfaktors K_1 in die Formel einzusetzen.

2. Trockenzementmenge je Kubikmeter Schlämme

Da die geforderte Dichte der Zementschlämme vorgegeben und die Dichte des Anmischwassers ebenfalls bekannt ist, kann man den Bedarf an Zement je Kubikmeter Schlämme nach folgender Formel genau errechnen:

$$q = \frac{(\rho_Z - \rho_W)}{\rho - \rho_W} \cdot \rho$$

ρ Dichte des Portlandzementes bzw. des Gemisches in tm^{-3}

ρ_Z Dichte der Zementschlämme in tm^{-3}

ρ_W Dichte des Anmischwassers in tm^{-3}

Süßwasser $\rho_W = 1,0$

Salzwasser $\rho_W = (1,15 - 1,25)$

3. Gesamte Trockenzementmenge

Die benötigte (gesamte) Trockenzementmenge für die Zementation des gesamten Ringraumes erhält man, indem die Anzahl der Kubikmeter Zementschlämme mit der erforderlichen Zementmenge je Kubikmeter Schlämme multipliziert wird.

$$G = q \cdot V_Z$$

Berechnet man einen möglichen Verlust durch das Bunkern, Anmischen usw. von etwa 10% zur Gesamtmenge, dann ist

$$G_1 = 1,1 \cdot G$$

G_1 tatsächlich benötigte Zementmenge in t

4. Anmischwasser

Unter der erforderlichen Menge Anmischwasser ist die zum Anmischen der Zementschlämme unbedingt benötigte Portion Süßwasser bzw. Salzwasser zu verstehen. Die Menge des erforderlichen Anmischwassers ergibt sich aus dem Produkt des Wasserfeststoff-Faktors (W:F) und der Trockenzementmenge (G)

$$V_w = (W:F) \cdot G$$

V_w Volumen des Anmischwasser in m^3

Die tatsächlich auf der Anlage zu speichernde Menge Anmischwasser liegt um etwa 20% über der theoretisch benötigten. Diese Sicherheit ist auf Wasserverluste beim Anmischen der Schlämme selbst und beim Säubern des Pumpensystems zurückzuführen. Unter dem Wasser-Feststoff-Faktor versteht man das Mengenverhältnis von benötigtem Anmischwasser zum Zement bzw. Bindefeststoff. Rechnerisch findet dieses seinen Ausdruck in der Formel

$$(W:Z) = \frac{\rho - \rho_z}{(\rho_z - \rho_w) \cdot \rho}$$

In der Regel verwendet man einen (W:F)-Faktor für Schlämmen auf der Basis von

reinem SPZ (W:F) = 0,45 - 0,50

FA-SPZ-Gemisch (W:F) = 0,60 - 0,85

Die (W:F)-Faktoren werden bei der Laboranalyse der einzusetzenden Rezeptur ermittelt.

5. Nachpumpmenge

Für das Verpressen der Zementschlämme aus der Rohrtour und für das Pumpen des Stopdruckes ist ein genau berechnetes Volumen der Nachpumpflüssigkeit die wichtigste Voraussetzung.

Die theoretische Nachpumpmenge entspricht dem Volumen der Futterrohre oberhalb des Stopringes.

$$V_D = \frac{\pi d_i^2}{4} (L - h_o)$$

V_D Volumen der Nachpumpflüssigkeit in m^3

Die Rohrintervalle mit unterschiedlicher Wanddicke sind getrennt zu berechnen und anschließend zu addieren. Kompress-

Kompressibilitätsfaktor der Nachpumpflüssigkeit

- für Wasser $k_1 = 1,0$
- für andere $k_2 = 1,03$

$$V_D = 1,03 \cdot \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot (1 - h_0)$$

6. Druckverhältnisse

Der beim Verpressen des Zementes auftretende maximale Gesamtdruck setzt sich zusammen aus der Summe zweier Teildrücke

- des statischen Differenzdruckes zwischen Ringraum und Steigraum (P_{St} in kp cm^{-2})
- der hydraulischen Druckverluste (P_h in kp cm^{-2})

Demzufolge ist der am Kolonnenkopf zu erwartende Enddruck. Der statische Differenzdruck resultiert aus den unterschiedlich eingepumpten Dichten der Zementschlämme und der Nachpumpmenge. Im Verlauf des Verpressungsvorganges wächst dieser Druck.

$$P_{St} = 0,1 (H - h_0) (\rho_Z - \rho_S)$$

Bei dieser Berechnung werden die Dichten der im Bohrloch, d. h. im Ringraum, befindlichen Spülung und der Nachpumpflüssigkeit als übereinstimmend angenommen.

$$\rho_{sp} = \rho_N$$

Für den Fall, daß sie unterschiedliche Dichten aufweisen und die Zementkopfhöhe außerdem nicht bis übertage projiziert ist, gilt

$$P_{St} = 0,1 (\rho_Z - \rho_N) (H - h_0) + (\rho_{sp} - \rho_N) (L - H)$$

Bei der Berechnung der hydraulischen Druckverluste kann nicht von den normalen Bedingungen der Hydraulik ausgegangen werden, da es sich in diesem Falle nicht um Newtonsche Flüssigkeiten handelt. Für die Bestimmung dieser Größen bezieht man sich auf empirische Formeln.

$$P_h = 0,01 L + 8 \text{ für 1 bis 2 Zementieraggregate}$$

$$P_h = 0,02 L + 16 \text{ für mehr als 2 Aggregate}$$

Diese stark vereinfachte Rechnungsart gibt nur annähernde Werte der tatsächlich auftretenden Drücke. Es existieren noch eine Reihe weitaus genauerer Berechnungsmethoden. Sie sollen wegen ihres Umfanges und ihrer Kompliziertheit nicht behandelt werden.

7. Anzahl der Zementieraggregate

Die Anzahl der erforderlichen Zementieraggregate wird bestimmt

- von der zu erreichenden Aufstiegsgeschwindigkeit im Ringraum
- von der maximalen Zementationsdauer, bedingt durch die Abbindezeit der Zementschlämme

Die erforderliche Fördermenge der Anzahl der Aggregate bei einer vorgegebenen Aufstiegsgeschwindigkeit ermittelt sich nach

$$Q = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_R^2) \cdot v$$

Dann ist die Anzahl der Aggregate

$$n = \frac{Q}{Q_{ZA}} \quad n \geq 1, \text{ immer ganzzahlig}$$

Q erforderliche Gesamtförderrate in $m^3 s^{-1}$
 v Aufstiegsgeschwindigkeit in $m s^{-1}$
 n Anzahl der Aggregate
 Q_{ZA} Förderrate eines ZA in $m^3 s^{-1} ZA^{-1}$

Um ein vorzeitiges Erstarren der Zementschlämme während der Zementationsprozesses, d. h. während des Einpumpens und Verpressens, zu vermeiden, ist dieses entsprechend zu verzögern oder die Zementationsdauer zu verkürzen.

Es gilt die Beziehung:

$$T_Z \leq 0,75 \cdot T_{AB}$$

T_Z Zementationsdauer in min

T_{AB} Abbindebeginn der Zementschlämme in min

Die Anzahl der Mischmaschinen (m) wählt man nach den Gesichtspunkten

- der Förderleistung
- der Nutzlast

$$m = \frac{n \cdot q_{ZA}}{q_{ZM}} = \frac{\text{Förderleistung aller ZA beim Einpumpen}}{\text{Förderleistung einer ZM}}$$

$$m = \frac{G_i}{G_{ZM}} = \frac{\text{Gesamtrockenzementmenge}}{\text{Nutzlast einer ZM}} \quad m \geq 1, \text{ immer ganzzahlig}$$

Die Nutzlast einer Mischmaschine beträgt 9,6 t im öffentlichen Straßenverkehr. Beim stationären Einsatz kann sie bis auf maximal 20 t erhöht werden. In der Praxis werden gewöhnlich zwei Zementieraggregate und eine Mischmaschine zu einer Gruppe zusammengefaßt. Ausgehend von der Nutzlast einer Mischmaschine wird deren Anzahl festgelegt.

8. Zementationsdauer

Unter der Zementationsdauer ist die Zeitspanne von Beginn des Einpumpens der Zementschlämme bis zum Schließen des Zementierkopfes nach erfolgtem Nachpumpen und Abspülen zu verstehen. Demzufolge ergibt sich die Zementationsdauer aus der Summe der einzelnen Operationszeiten

- Zeit des Zementeinpumpens t_z
- Zeit zum Stopfen lösen t_{St}
- Zeit des Nachpumpens t_N

Für Liner-, Sektions- oder Mehrstufenzementationen kommen andere notwendige Zeiten hinzu. Die Zeit für das Zementeinpumpen hängt ab von der Menge des benötigten Zementes und von der Förderleistung der Mischmaschine, d. h. von ihrer DüsenEinstellung am hydraulischen Mischer. Erfahrungswerten zufolge werden zum Anmischen einer Tonne Zement etwa 1,5 bis 2 min je Mischmaschine benötigt. Für das Lösen bzw. Einlegen des Nachstopfens wird eine Zeitspanne von 3 bis 10 min veranschlagt.

Die Nachpumpdauer errechnet sich aus dem Verhältnis

$$t_N = \frac{V_D}{n \cdot ZA} = \frac{\text{Nachpumpmenge}}{\text{Förderleistung der nachpumpenden ZA}}$$

Im Ergebnis dessen ergibt sich die Gesamtdauer der Zementation

$$T = t_E + t_N + t_{St}$$

Die Zementationsdauer ihrerseits darf nicht mehr als 75% des Abbindebegins der Zementschlämme betragen. Es gilt die Beziehung

$$T_Z \geq T$$

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 (Abdrückerarbeiten, 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).

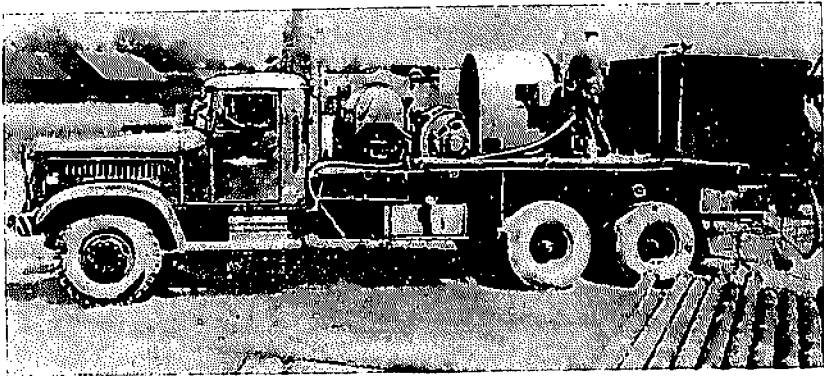


Bild 6. Zementieraggregat ZA 320 M /1/

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- Durchmesser der Zylinderbuchsen in mm								
			hub	90 mm	100 mm	115 mm	127 mm				
			Förder- menge m ³ min ⁻¹	Förder- Druck kp cm ⁻²	Förder- menge m ³ min ⁻¹	Förder- Druck kp cm ⁻²	Förder- menge m ³ min ⁻¹	Förder- 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

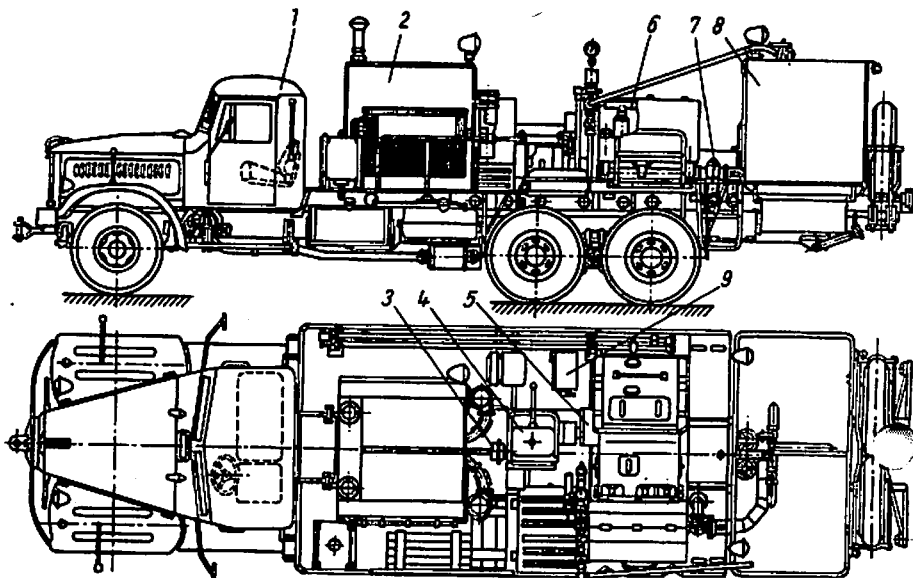


Bild 7. Zementieraggregat 3 ZA 400 A /2/
 1 Fahrgestell KRAS 257, 2 Antriebsmotor-HD-Pumpe, 3 - Zwischenwelle, 4 Schaltgetriebe, 5 Kupplung, 6 Hochdruckpumpe, 7 Saugsystem, 8 Meßbehälter, 9 Schaltpult

- 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

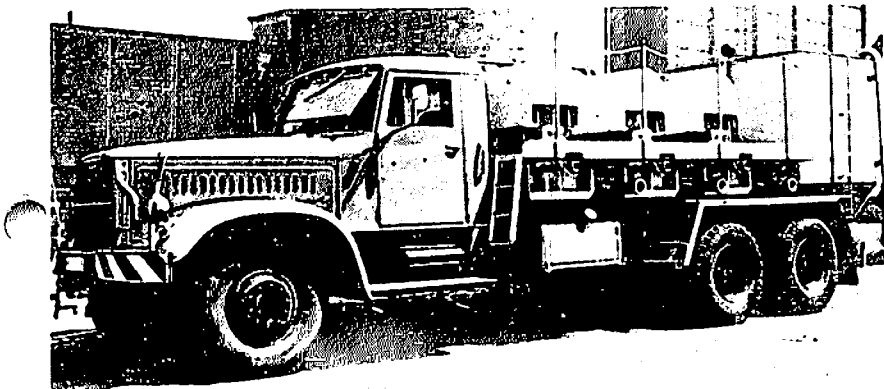


Bild 8. Anmischaggregat AM 3 P, pumpenseitig /1/

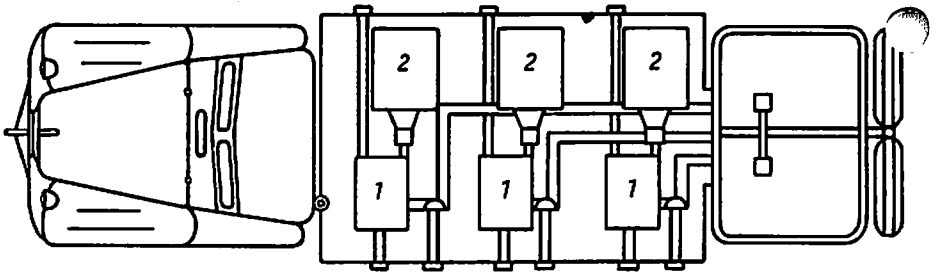
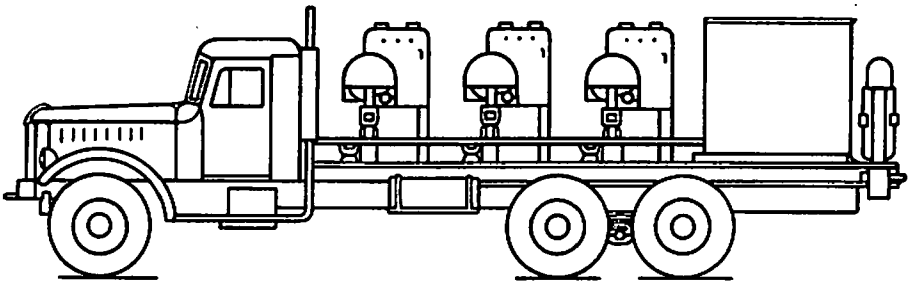


Bild 9. Anmischaggregat AM 3P, motorseitig /1/
 1 Plungerpumpe Typ W 1
 - Schüttmenge je Wasserpumpe 13 l s^{-1}
 - Druck je Wasserpumpe 15 kp cm^{-2}
 -Arbeitsleistung je Wasserpumpe 35 PS
 2 Antriebsmotor

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

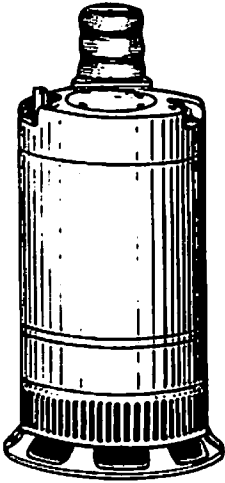
Die Leistungsfähigkeit einer Kreiselpumpe ist mit der dreier W 1-Pumpen zu vergleichen. Damit vereinfacht sich die Bedienung bei der Notwendigkeit der Nutzung der Gesamtleistung im Vergleich zu den drei W 1-Pumpen. Nachteilig wirkt sich aus, daß bei einem Ausfall dieser Pumpen-Motor-Einheit alle Ausrüstungen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

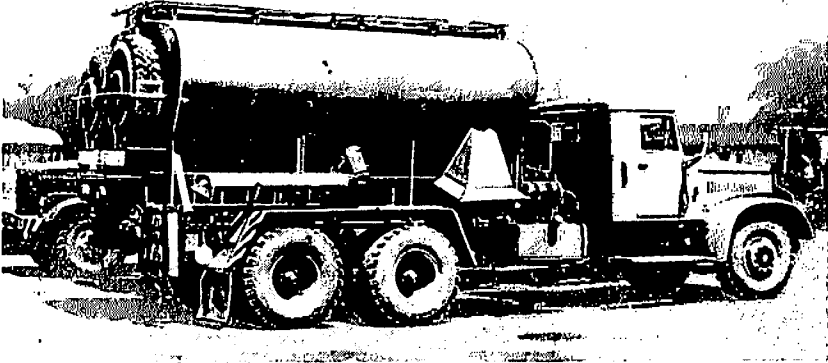


Bild 11. Zementmischmaschine 2 SMN 20 /1/

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:

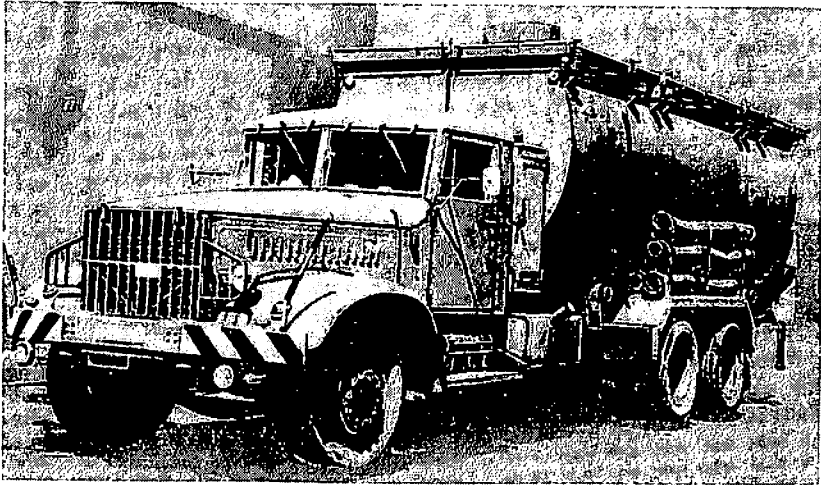


Bild 12. Nachmischaggregat NMA /1/

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 bekannter 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 Niederdruckausrüstungen 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

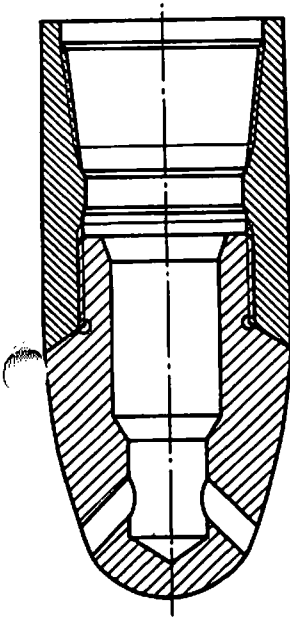


Bild 13
Rohrschuh mit gußeiserner Führungsbirne /1/

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.

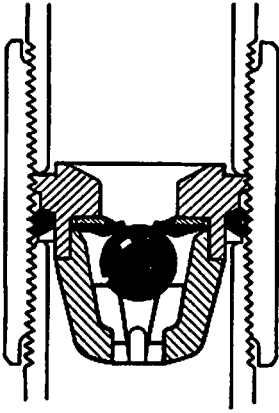


Bild 14. Kugelrück-
schlagventil /3/

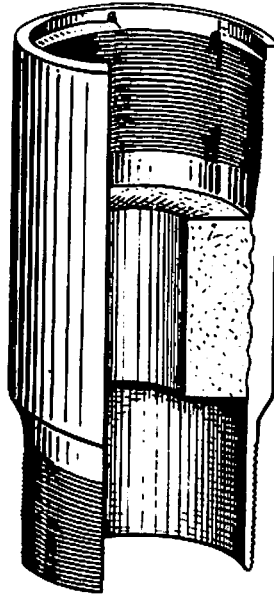


Bild 15. Stopübergang /2/

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.

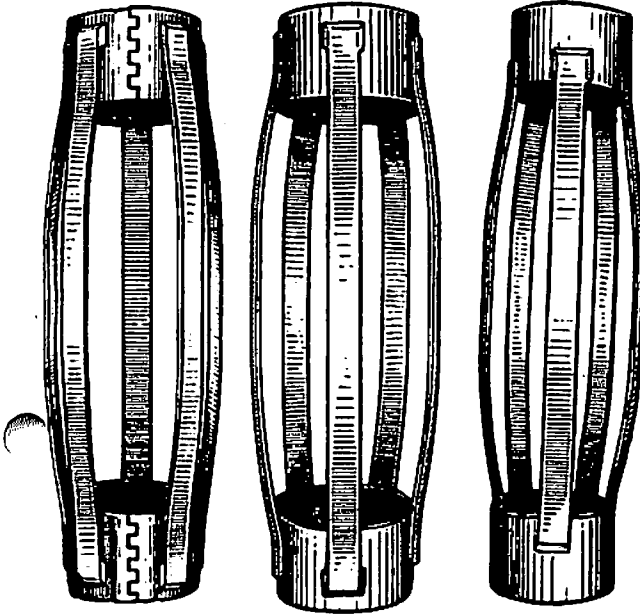


Bild 16
Zentralisatorotypen
/2/

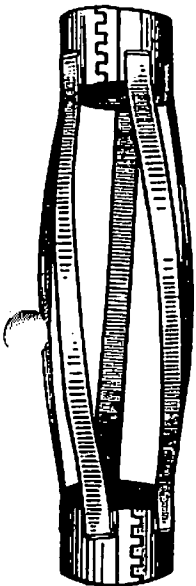


Bild 17
Zentralisator
mit spiralför-
migen Federn
/3/

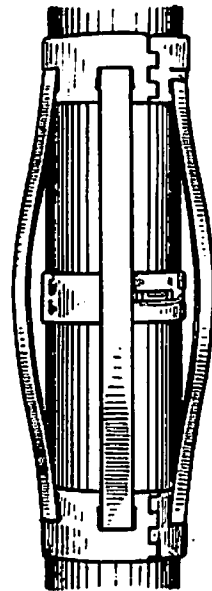
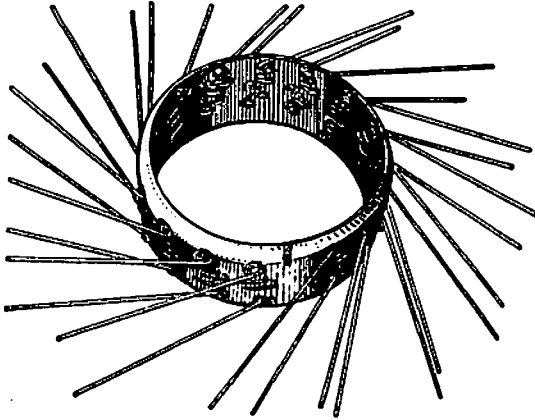


Bild 18
Klappbarer
Zentralisator
/3/

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/

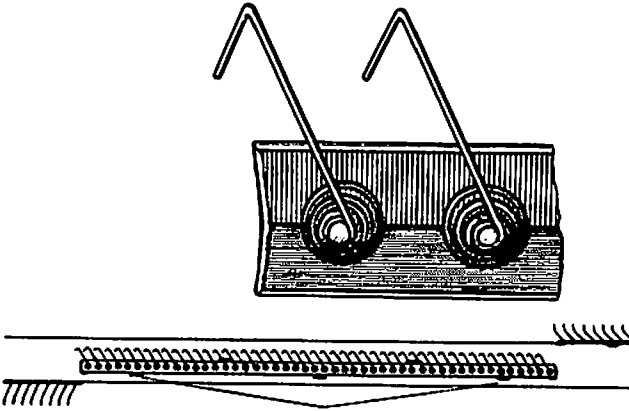
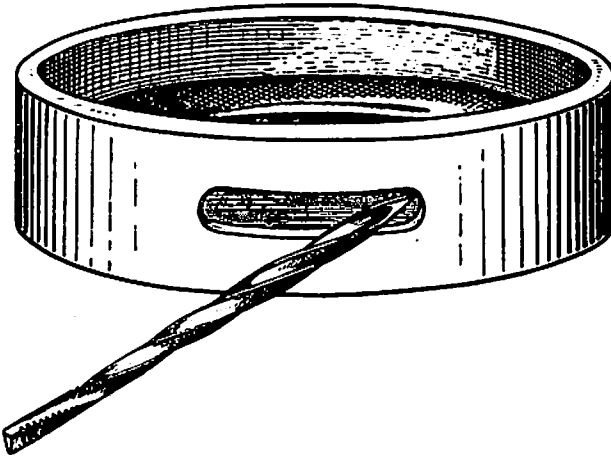


Bild 21
Haltering /3/



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-

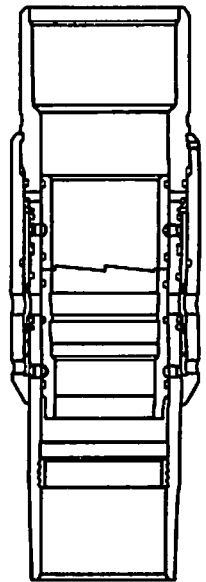


Bild 22
Schiebe-
muffe zur
Zweistufen-
zementation
/3/

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 Oberdruck 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.

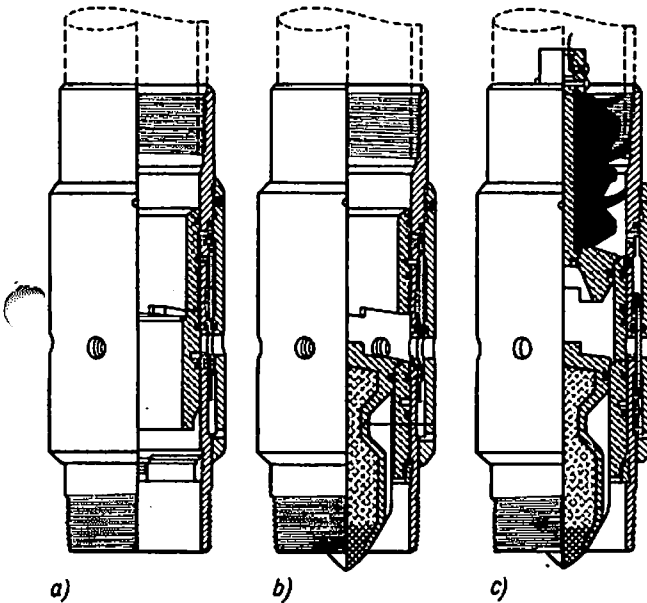


Bild 23
 Öffnungs- und
 Schließvorgang
 bei der Stufen-
 zementation /3/

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.

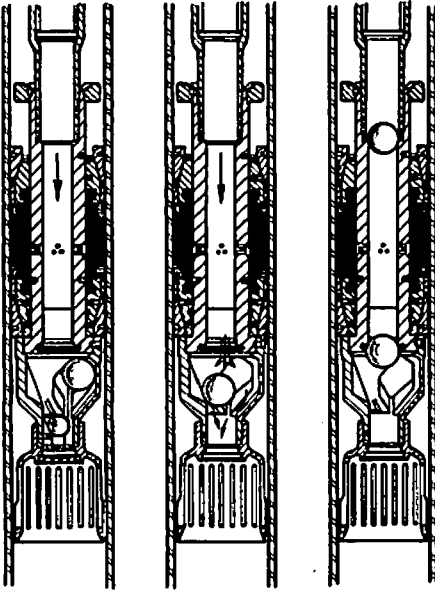
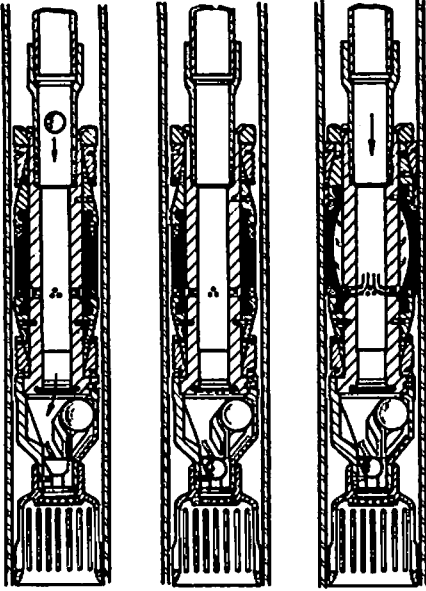
3.2.2. Ausrüstungen für Sekundärmaßnahmen

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.

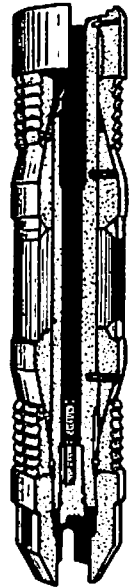


Bild 25
Brücken-
stopfen
/3/

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. Diatomeenend-Zemente 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 Linerzementationen, 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 mögliche 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-

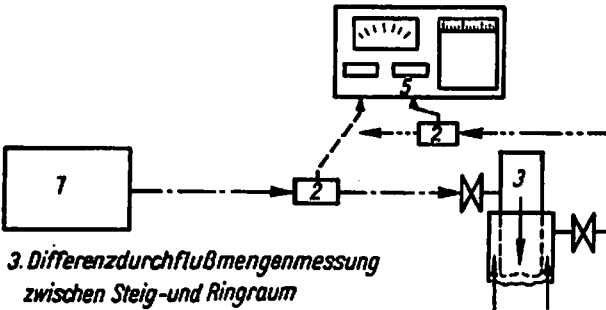
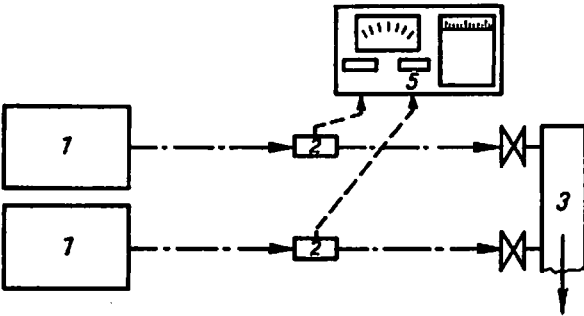
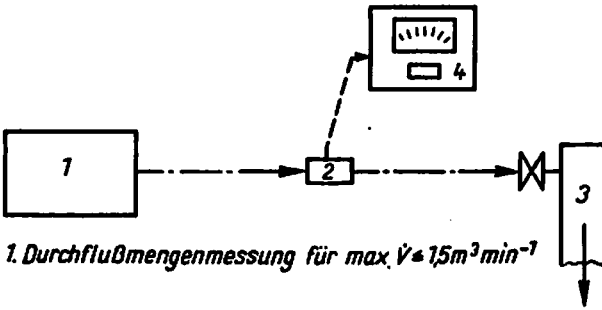


Bild 26. Meßprinzip für Durchflußmengenmessungen

- | | |
|------------------------|---|
| 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 eine vollkommen horizontale 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.

Quellenverzeichnis

- /1/ Handbuch Zementiermaschinist. VEB Bohrlochzementierung
1969
- /2/ Katalog der Firma Watherford (USA) 1971
- /3/ JERENENKO: "Lreplenige Skwaschin". Moskau 1963
- /4/ Einschlägige TGL

Bildquellenverzeichnis

- /1/ Fotoarchiv des VEB Bohrlochzementierung Gommern
- /2/ Prospekt Maschinoxport 1967
- /3/ Studie zum Welthöchststand. VEB Bohrlochzementierung
Gommern 1965

Im gleichen Verlag sind erschienen:

Geohydraulik

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Gwl. Karl-Franz Busch
und Dr. sc. techn. Ludwig Luckner

Hochschullehrbuch

2., durchgesehene Auflage

442 Seiten mit 277 Bildern und 58 Tabellen

Format 16,5 x 23 cm · Leinen 60,-- M

Auslandspreis 75,-- M

Bestell-Nr. 540 853 6

Dieses Werk behandelt eingehend die Gesetzmäßigkeiten der unterirdischen Wasserbewegung und in Grundzügen die Bewegungsgesetzmäßigkeiten von Erdöl und Erdgas. Einleitend werden Kenntnisse über die natürlichen unterirdischen Strömungsvorgänge, ihre zweckmäßige meßtechnische Erfassung und die hydrotechnischen Eigenschaften der strömenden Flüssigkeit sowie des Strömungsleiters vermittelt.

Ein weiterer Abschnitt ist der mathematischen Modellierung und Schematisierung der Strömungsvorgänge gewidmet.

Die folgenden Kapitel befassen sich mit den analytischen, modelltechnischen und numerischen Lösungsmöglichkeiten der abgeleiteten mathematischen Modelle. Die Erläuterungen zu den analytischen Lösungsverfahren werden durch zahlreiche praktische Beispielaufgaben ergänzt und vertieft. Besondere Bedeutung wurde auch den numerischen Lösungsverfahren im Zusammenhang mit dem Einsatz von Digitalrechnern beigemessen.

Dieses Buch ist für Studierende und Ingenieure der Wasserwirtschaft, der Tagebauentwässerung, der Erdöl- und Erdgasgewinnung, der Melioration, des Bauwesens und des Verkehrswesens geeignet.

Elektrochemische Bodenvergütung

Bergbau - Bauwesen

Von Prof. Dr. der techn. Wiss. G. N. Shinkin

Prof. Dr. rer. nat. F. Reuter und Dr.-Ing. J. Waldmann

Hochschullehrbuch

132 Seiten mit 22 Bildern · 27 Tabellen

Format 14,7 x 21,5 cm · Broschur 9,80 M

Bestell-Nr. 540 996 9

In diesem Hochschullehrbuch wird erstmalig ein umfassender Überblick über die derzeitigen modernen Verfahren der elektrochemischen Bodenvergütung zur Verbesserung bindiger Lockergesteine, über den technologischen Ablauf und die ökonomische Anwendung der Verfahren im Bergbau, im Bauwesen sowie im Verkehrs- und Wasserbau gegeben.

Das Buch ist für Studierende und Praktiker der einschlägigen Fachrichtungen gleichermaßen geeignet, da einmal die theoretischen Zusammenhänge zwischen der Art, zwischen der Zusammensetzung in mineralogisch-chemischer Hinsicht sowie nach der Struktur der Lockergesteinsarten und den chemisch-physikalischen Wirkprinzipien des Vergütungsverfahrens behandelt werden. Zum anderen sind für den Praktiker die notwendigen Arbeitsschritte eindeutig aufgeführt, so daß das Buch als Leitfaden für Projektierung und Bauausführung gut zu verwenden ist.

In methodisch und sprachlich einwandfreier Form werden nach einer Einführung folgende Schwerpunkte behandelt:

Übersicht über die Untergrundverhältnisse der DDR unter dem Aspekt einer elektrochemischen Untergrundvergütung - Grundlagen der elektrochemischen Verfestigung bindiger Lockergesteine - Technologie der Verfahren sowie Auswertungen von Labor- und Feldversuchen und von praktischen Verfahren. Zahlreiche Tabellen und Bilder erleichtern das Verstehen des Stoffes und ermöglichen es, notwendige Zusammenhänge folgerichtig und mühelos zu erfassen.

Einführung in die technische Thermodynamik

Von Prof. em. Dr.-Ing. Walter Christian
Hochschullehrbuch

368 Seiten mit 125 Bildern, 4 Tabellen und 17 Arbeitsblättern
Format 16,5 x 23 cm · Leinen 40,-- M.
Bestell-Nr. 540 770 1

Die als Lehrbuch gestaltete "Einführung in die technische Thermodynamik" ist in erster Linie für die Studierenden bestimmt, die im Fachstudium keine weitergehende Thermodynamikausbildung erhalten. Darüber hinaus wendet sich das Buch an einen breiten Kreis von Fachleuten der technischen Disziplinen, die ihre Kenntnisse auf diesem Gebiet wegen der Einführung neuer Begriffe, der Verwendung von Größengleichungen sowie der ausschließlichen Anwendung des internationalen Einheitensystems auffrischen möchten.

Für den in 8 Hauptabschnitte gegliederten Inhalt wird konsequent eine moderne, hypothesefreie Darstellung gewählt. Ausgehend von den Grundbegriffen werden der 1. und der 2. Hauptsatz der Thermodynamik hergeleitet und erläutert. Es schließen sich Betrachtungen über die thermodynamischen Eigenschaften der Gase und der reinen Stoffe, über die Luft-Wasser-Dampf-Gemische und die Wärmeübertragung an.

Der Stoff wird in lebendiger und anschaulicher Form behandelt. Seine Aneignung wird durch sorgfältig gestaltetes Bildmaterial, eingearbeitete Beispiele, Kontrollfragen, Aufgaben und 17 Arbeitsblätter unterstützt.

Handbuch Sprengtechnik

Von einem Autorenkollektiv

Federführung Obering. Helmut Heinze

545 Seiten mit 367 Bildern und 93 Tabellen

Format 16,5 x 23 cm · Leinen 49,-- M

Bestell-Nr. 541 070 8

Mit dem vorliegenden "Handbuch Sprengtechnik", das eine völlige Neufassung der Thematik beinhaltet, die in dem in 6 Auflagen erschienenen Werk von Weichelt, "Handbuch der Sprengtechnik", behandelt wurde, werden die Grundlagen der gewerblichen Sprengtechnik vermittelt sowie praktische Anleitung und Hinweise für die ordnungsgemäße Durchführung der Sprengarbeiten gegeben.

Auf der Grundlage des neuesten Standes der Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis werden folgende Schwerpunkte behandelt: Chemische und physikalische Grundlagen der Sprengtechnik - Sprengstoffe, Zündmittel und Sprengzubehör - Vorbereitung und Durchführung von Sprengarbeiten - Sprengverfahren - Sprengtechnische Ladungsberechnungen und gesetzliche Bestimmungen.

Erstmalig wird auch ein Überblick über die Verfahren der Metallbearbeitung mit Hilfe der Sprengtechnik gegeben. Ein abgeschlossener Tabellenteil erleichtert den Zugriff zu Faktenmaterial, und zahlreiche Bilder veranschaulichen die Textdarlegungen und unterstützen die Aneignung des Stoffes.

Dieses Handbuch enthält die umfassendste Darstellung der Sprengtechnik in der deutschsprachigen Fachliteratur und ist sowohl Standard- und Nachschlagewerk für den Praktiker als auch Lehrbuch für den auszubildenden Sprengtechniker.

Ökonomik der Kohle- und Energiewirtschaft

Von einem Autorenkollektiv

Federführung Dipl.-Wirtsch. Günther Höntsch

Berufsschullehrbuch

2., stark überarbeitete Auflage

251 Seiten mit 97 Bildern und 16 Tabellen

Format 14,7 x 21,5 cm · Broschur 7,10 M · Auslandspreis 10,-- M

Bestell-Nr. 540 858 7

Dieses Lehrbuch behandelt in komplexer Form die spezifischen ökonomischen Probleme der Kohle- und Energiewirtschaft. Es stellt eine Ergänzung zur Grundlagenliteratur dar, indem die dort enthaltenen theoretischen Grundkenntnisse an industriezweigtypischen Beispielen unter Bezug auf Beschlüsse von Partei und Regierung vertieft und praxisbezogen erläutert werden. Zum anderen ist durch kurze Oberleitungsabschnitte und Bezugsvermerke der Zusammenhang zwischen Allgemeingültigem und Speziellem geschaffen worden, so daß ein in sich abgeschlossenes Lehrwerk besonders für die Erwachsenenqualifizierung entstand, das eine abgerundete Wissensvermittlung garantiert.

Es werden folgende Schwerpunkte behandelt:

Die Rolle der Ökonomie bei der Entwicklung der sozialistischen Gesellschaft - Leitung und Planung des sozialistischen Energiebetriebes - Aufgaben der Betriebe und Kombinate im Fünfjahrplanzeitraum und Maßnahmen zu ihrer Realisierung - Erfüllung der Planaufgaben durch die sozialistischen Betriebskollektive - Die wirtschaftliche Nutzung der Grundmittel - Die rationelle Gestaltung der Materialökonomie und gesamtenergetische Absatzpolitik - Die Anwendung der wirtschaftlichen Rechnungsführung in den Betrieben und Kombinatens der Kohle- und Energiewirtschaft.

Dieses Lehrbuch ist außer für Lehrlinge, Lehrer und Facharbeiter aller Ausbildungsberufe in der Kohle- und Energiewirtschaft auch für Studenten einschlägiger Fachschulen geeignet.

Bestellungen nehmen alle Buchhandlungen und der Verlag, 7031 Leipzig, Postschließfach 16, entgegen.

VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig