

Tiefbohrtechnik

# **Ausrüstungen zum Abschließen des Bohrloches**

Von Ing. Manfred Michalzik  
und Ing. Jürgen Noack

Mit 42 Bildern



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. Hans-Jürgen Geisler**

**Dr.-Ing. Rudolf Schwarzmeier**

**1. Auflage**

**© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1976**

**VLN 152-915/47/76**

**LSV 3183**

**Printed in the German Democratic Republic**

**Gesamtherstellung: VEB Druckerei "Thomas Müntzer",**

**Bad Langensalza**

**Redaktionsschluß: 30. 4. 1975**

**Bestell-Nr.: 541 226 0**

## Inhaltsverzeichnis

1.	Vorbemerkungen	5
2.	Bedeutung der Bohrlochsicherung für das sichere Niederbringen von Bohrungen auf Erdöl- und Ergaslagerstätten	5
3.	Bestandteile der Bohrlochkopfausrüstung und ihre Funktionen	7
3.1.	Kolonnenkopf	9
3.1.1.	Aufgaben des Kolonnenkopfes	9
3.1.2.	Aufbau und Wirkungsweise	9
3.2.	Preventer	15
3.2.1.	Aufgaben der Preventer	15
3.2.2.	Backenpreventer	16
3.2.3.	Ringpreventer	21
3.2.4.	Rotationspreventer	24
3.2.5.	Kombinationsmöglichkeiten von Preventern	28
3.2.5.1.	Grundsätzliches über Preventeranordnungen	28
3.2.5.2.	Mögliche Preventerkombinationen	30
3.2.5.3.	Preventerkombinationen für Hochdruckgasbohrungen	34
3.3.	Spezielle Ausrüstungen für den Abschluß des Bohrloches	36
3.3.1.	Untertagepreventer	36
3.3.2.	Einpumpbarer Innenpreventer	39
3.3.3.	Kellyhahn	41
3.4.	Eruptionskreuz	43
3.5.	Totpump- und Entlastungsmanifold	44
3.5.1.	Aufgaben des Totpump- und Entlastungsmanifoldes	44
3.5.2.	Regelbare Düsen	47
3.5.2.1.	Düsenschieber	47
3.5.2.2.	Hydraulisch und pneumatisch regelbare Düsen	49
3.5.3.	Hochdruckschieber	53
2	Bohrloch	3

3.6.	Meß-, Warn-, Kontrollgeräte	54
3.6.1.	Füllstandsmeßeinrichtung	55
3.6.2.	Differenzdurchflußmeßgerät	56
3.6.3.	Dichtemeßgeräte, Gaswarngeräte	58
3.7.	Anlage für das hydraulische Schließen der Preventer	59
4.	Sicherheitstechnische Anforderungen	61
4.1.	Festlegung des Betriebsdrucks für die Bohr- lochsicherung	62
4.2.	Sicherheitsabstände, Verankerung, Kenn- zeichnung	63
4.3.	Druckkontrolle der Bohrlochsicherung	64
5.	Automatisierung des Eruptionsschutzes	66
6.	Praktisches Beispiel für den Aufbau einer Bohrlochkopfausrüstung für eine Hochdruckgasbohrung	68
	Literaturverzeichnis	75

## 1. Vorbemerkungen

Unser gesellschaftliches Leben wird im verstärkten Maße in den nächsten Jahren dem Ziel dienen, auf der Grundlage eines hohen Entwicklungstempos der sozialistischen Produktion, der Erhöhung der Effektivität, des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und des Wachstums der Arbeitsproduktivität das materielle und kulturelle Lebensniveau des Volkes weiter zu erhöhen. Diese Zielstellung findet ihren konkreten Ausdruck in den Gesetzen zur Entwicklung der Volkswirtschaft der Deutschen Demokratischen Republik.

Dem Industriezweig Erdöl-Erdgas ist die volkswirtschaftlich bedeutende Aufgabe übertragen worden, durch Erkundung und Nachweis von erdgashöffigen Strukturen den erforderlichen Vorlauf zu schaffen, der Voraussetzung für die Realisierung der geplanten Erdgasförderung ist. Damit wird unsere Energiebasis weiter gefestigt, und die Kosten für die Energieerzeugung können planmäßig gesenkt werden.

Diese großen Aufgaben können nur durch die Mobilisierung aller Reserven gelöst werden. Die Qualifizierung der unmittelbar in der Bohrpraxis arbeitenden Werktätigen und die Ausbildung junger Menschen zu hochqualifizierten und verantwortungsbewußten Facharbeitern spielt dabei eine wesentliche Rolle. Nur bei Kenntnis und Anwendung der neuesten Erfahrungen und technischen Entwicklungen wird es gelingen, das im Untergrund unseres Territoriums unter schwierigsten geologischen Verhältnissen anstehende Erdöl und Erdgas rationell gewinnen zu können.

## 2. Bedeutung der Bohrlochsicherung für das sichere Niederbringen von Bohrungen auf Erdöl- und Erdgaslagerstätten

Beim Abteufen von Bohrungen auf Erdöl- und Erdgaslagerstätten kommt es in aller Welt immer wieder zu unkontrollierten Aus-

brüchen aus dem Bohrloch in die freie Atmosphäre. Diese Eruptionen können zu großen Komplikationen und sogar Katastrophen führen. Neben hohen wirtschaftlichen Verlusten durch die Kosten für die Liquidierungsarbeiten, durch Verlust an Bohrungen und Bohranlagen kommt es auch zur Gefährdung von Menschen und bedauerlicherweise mitunter zum Verlust an Menschenleben.

In der Vergangenheit wurden zur Vermeidung von Eruptionen große Geldsummen investiert, die sich in der Weiterentwicklung der Ausrüstungen, Verbesserung der technologischen Arbeit und einer höheren Qualifizierung des Bohrpersonals niedergeschlagen haben. Ausbrüche katastrophalen Ausmaßes sind heute nicht mehr so häufig wie in früheren Jahren, aber es kommt noch oft zu Störungen des Druckgleichgewichtes im Bohrloch, in deren Folge es zu Zuflüssen aus den Gebirgsschichten in das Bohrloch kommen kann. Wenn die entsprechende Bohrlochkopfausrüstung nicht vorhanden ist oder das Bohrpersonal falsch reagiert, kommt es zu einer offenen Eruption. Um dies zu verhindern, muß das in das Bohrloch eingedrungene Schichtmedium (Gas, Öl, Lauge) unter kontrollierten Bedingungen auszirkuliert, d. h. aus dem Bohrloch entfernt werden.

Das Druckgleichgewicht im Bohrloch wird durch Beschwerden der im Bohrloch befindlichen Bohrspülung (Korrektur des spezifischen Gewichtes) wiederhergestellt.

Im Interesse erhöhter Sicherheit und eines risikolosen Aufschlusses der Lagerstätten ist es also notwendig, ein hohes Niveau auf dem Gebiet der Bohrlochsicherung zu erreichen. Dazu genügt es nicht, Bohrlochkopfausrüstungen für nächste Druckstufen zu installieren, sondern der gesamte Komplex der Bohrlochsicherung - bestehend aus den Ausrüstungen einerseits und der zielgerichteten Anwendung zweckmäßiger Technologien andererseits - muß einer modernen Eruptionsprophylaxe Rechnung tragen. Dazu gehören das rasche und sichere Betätigen der Preventer und ein dichtes Schließen sämtliche Absperrorgane ebenso wie das rechtzeitige Erkennen von Zuflüssen im Bohrloch, die Möglichkeit der stufenlosen Regelung des Ringraumdruckes oder die Möglichkeit des Bohrens unter Druck.

Die Bemühungen zur Verbesserung der Ausrüstungen für den Bohrlochabschluß gehen in die Richtung, daß die Betätigung der Preventer und anderer zur Bohrlochsicherung gehörender Ausrüstungen grundsätzlich hydraulisch oder pneumatisch erfolgt. Dadurch sind auch die Voraussetzungen für eine Fernsteuerung der Absperrorgane gegeben, was nicht zuletzt auch zu einer erhöhten Sicherheit der an der Bohrung Beschäftigten beiträgt.

### 3. Bestandteile der Bohrlochkopfausrüstung und ihre Funktion

Die Grundvoraussetzung für eine wirkungsvolle Eruptionsverhütung ist eine Bohrlochkopfausrüstung, die jederzeit ein Bohren unter Gleichgewichtsbedingungen garantiert, d. h., die durch Zuflüsse im Bohrloch entstehenden Druckdifferenzen müssen sofort und ohne längere Unterbrechungen des Bohrprozesses ausgeglichen werden. Deshalb ist neben dem eigentlichen Bohrlochkopf, bestehend aus dem Kolonnenkopf und den darauf montierten Preventern, ein ganzer Komplex an Ausrüstungen für die Sicherung des Bohrloches (Bild 1) notwendig:

- ein Kolonnenkopf, der das Abfangen der Futterrohrkolonnen und eine Abdichtung der Ringräume zwischen den einzelnen Futterrohrkolonnen ermöglicht
- ein oder mehrere Preventer, die einen sicheren und raschen Abschluß des Bohrloches in jeder Situation gewährleisten
- ein Totpump- und Entlastungsmanifold, das die Wiederherstellung des Druckgleichgewichtes im Bohrloch bei Zuflüssen von Öl, Gas oder Lauge ermöglicht
- spezielle Absperrorgane zum Abschließen des Gestängeinnendurchmessers, um das Bohranlagenmanifold vor unzulässig hohen Drücken zu schützen (Gestängepreventer, Kellyhahn)
- ein Kontroll-, Meß- und Warnsystem zum rechtzeitigen Erkennen von Störungen des Druckgleichgewichtes im Bohrloch
- Einrichtungen zur wirkungsvollen Entgasung der Spülung
- Montage eines Eruptionskreuzes nach Abschluß der Abteufarbeiten zur Gewährleistung der Testarbeiten und Inproduktionsnahme.

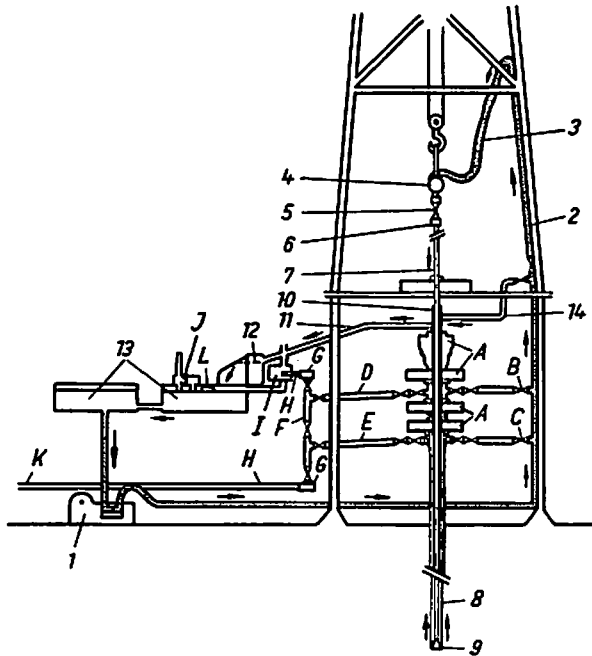


Bild 1. Gesamtkomplex an Ausrüstungen für die Sicherung des Bohrloches /2/

Zirkulationssystem

- 1 Pumpe
- 2 Steigleitung
- 3 Spülschlauch
- 4 Spülkopf
- 5 Kellyhahn
- 6 Kelly
- 7 Bohrgestänge
- 8 Schwerstangen
- 9 Meißel
- 10 Ausguß
- 11 Ausflußleitung
- 12 Schüttelsieb
- 13 Spülungsbehälter
- 14 Fülleitung

Eruptionverhütungssystem

- A Preventer
- B Totpumpleitung
- C Zusatztotpumpleitung
- D Entlastungsleitung
- E Zusatzentlastungsleitung
- F Düsenmanifold
- G Düse
- H Düsenausflußleitung
- I Prallbox
- J Degaser
- K Schlammgrube
- L Spülungspiegleinrichtung
- Fließrichtung



### 3.1. Kolonnenkopf

#### 3.1.1. Aufgaben des Kolonnenkopfes

Der Kolonnenkopf ist ein wesentlicher Bestandteil des Bohrlochabschlusses. Während des Abteufprozesses bildet der Kolonnenkopf die unterhalb der Bohrlochsicherung (Preventer) befindliche Ausrüstung. Im Kolonnenkopf werden die Futterrohre abgesetzt und die zwischen ihnen befindlichen Ringräume hermetisch abgedichtet. Nach Abschluß der Abteufarbeiten wird der Kolonnenkopf um die Vorrichtung zum Ablenden des Steigrohrstranges erweitert.

Aus dem Vorgenannten ergeben sich folgende Anforderungen:

- Der Kolonnenkopf muß hohe Zugbeanspruchungen, resultierend aus der Absetzlast und Vorspannung der jeweiligen Futterrohre, aufnehmen.
- Der Kolonnenkopf muß einer hohen Innendruckbeanspruchung widerstehen können, d. h., die Innendruckfestigkeit der Kolonnenkopfbauteile muß der Innendruckfestigkeit der entsprechenden Futterrohrtour äquivalent sein.
- Der Kolonnenkopf muß die einzelnen Ringräume zwischen den Futterrohrkolonnen zuverlässig und hermetisch abdichten; daraus resultieren die Anforderungen an die Druckfestigkeit der Dichtungselemente, deren Abdichtungsvermögen den maximal zu erwartenden Kopfdrücken unter Beachtung der bei der Förderung auftretenden hohen Temperaturen gerecht werden muß.

#### 3.1.2. Aufbau und Wirkungsweise

Der Kolonnenkopf (Bild 2) besteht aus folgenden Hauptbestandteilen:

- Futterrohr-Bodenflansch
- Futterrohr- Doppelflansch
- Übergangs-Doppelflansch
- Spülflansch
- Steigrohr-Doppelflansch

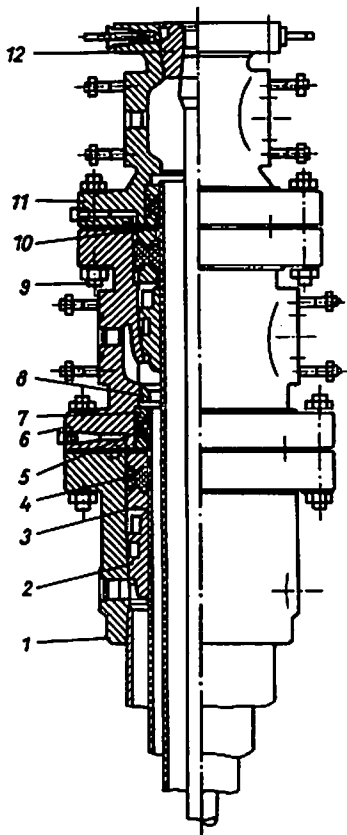


Bild 2

Kolonnenkopf /5/

- 1 Futterrohr-Bodenflansch
- 2 Abfangkeil
- 3 untere Futterrohrdichtung, unterer Stützring
- 4 untere Futterrohrdichtung, Dichtpackung
- 5 obere Futterrohrdichtung
- 6 Futterrohr-Doppelflansch
- 7 obere Futterrohrdichtung, oberer Stützring
- 8 Meißelführungsring
- 9 Bolzenschraube
- 10 Metaldichtring
- 11 Steigrohr-Doppelflansch
- 12 Steigrohrhänger

Dazu kommen noch folgende wichtige Bauteile:

- Futterrohrabfangkeile
- Futterrohrabdichtungen
- Meißelführungsring

Bild 2 zeigt einen Kolonnenkopf im fertig montierten Zustand. Es veranschaulicht, in welcher Weise die Bauteile zusammengesetzt werden, um ihren Funktionen gerecht zu werden.

Entsprechend der jeweiligen Situation im Abteufprozeß verändert sich die Zusammensetzung des Kolonnenkopfes. Die Darstellung im Bild 2 entspricht der endgültigen Form des Kolonnenkopfes nach Beendigung des Abteufprozesses mit bereits

eingebautem Steigrohrstrang für Test- oder Förderarbeiten. Sämtliche für das Abteufen der Bohrung notwendigen Futterrohrkolonnen sind in das Bohrloch eingebaut und im Kolonnenkopf abgefangen. Der etappenweise Aufbau des Kolonnenkopfes erfolgt entsprechend der Abteufintervalle, wo nach Einbau einer Rohrtour jeweils mit einem kleineren Bohrlochdurchmesser weitergebohrt wird. Beginnend mit dem Bodenflansch, der in der Regel auf die Leitrohrtour montiert wird (Verschrauben oder Verschweißen), werden je nach der Anzahl notwendiger Zwischenrohr Touren die nächsten Doppelflansche montiert. Daraus ergibt sich zwangsläufig immer eine Dimensionsänderung. Da die nächstfolgende Rohrtour einen kleineren Außendurchmesser hat, muß auch der nächstfolgende Doppelflansch kleinere Abmessungen haben.

Mit Verringerung der Dimension von unten nach oben wächst die Beanspruchung auf Innendruck, da die Rohrtouren mit geringer Dimension in größeren Teufen eingebaut und entsprechend die zu erwartenden Innendruckbelastungen höher sind.

In der Regel ergibt sich deshalb für den nächstfolgenden Doppelflansch eine Erhöhung der Druckstufe.

Die Bauteile des Kolonnenkopfes erfüllen folgende Funktionen:  
Futterrohr-Bodenflansch (Bild 3)

Der Bodenflansch ist das unterste Bauteil des Kolonnenkopfes. Er wird auf die Rohrtour aufgeschraubt oder aufgeschweißt. Je nach Ausführung hat er im unteren Teil Außen- oder Innengewinde oder ist für eine Schweißverbindung mit einer Ausdrehung versehen. Innen ist der Bodenflansch konisch zur Aufnahme der Abfangkeile, mit der die nächstfolgende Rohrtour abgefangen wird. Oberhalb des konischen Bereiches befindet sich ein zylindrischer Teil zum Einbringen des Dichtelementes für das Abdichten des Ringraumes zwischen der äußeren und inneren Rohrtour. Die Verbindung zum nächsten Kolonnenkopfbauteil erfolgt durch Verschrauben mittels Schraubenbolzen. Eine entsprechende Anzahl von Bohrungen befindet sich im oberen Flansch. Innerhalb dieser Bohrungen befindet sich eine Nut zur Aufnahme eines Weicheisendichtringes, der die äußere Abdichtung bewirkt. Die

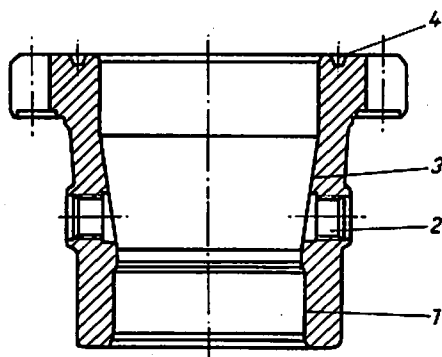


Bild 3  
 Futterrohr-Bodenflansch  
 1 Anschlußgewinde für Futterrohr  
 2 Auslaßöffnungen  
 3 Konus zur Aufnahme der Abfangkeile  
 4 Nut für Metaldichtring

Auslaßöffnungen gewähren eine Druckkontrolle des Ringraumes und gegebenenfalls die Entnahme von Flüssigkeiten oder Gasen.

#### Futterrohr-Doppelflansch (Bild 4)

Der Futterrohr-Doppelflansch hat beidseitig Flansche für ein Verschrauben mit den darüber- und darunterbefindlichen Bauteilen. Die innere Formgestaltung entspricht der des Bodenflansches und bietet gleichfalls die Möglichkeit zum Aufhängen einer Rohrtour mittels Abfangkeilen. Im Unterschied zum Bodenflansch werden zwei Dichtelemente eingebracht: oberhalb der Abfangkeile entsprechend dem Bodenflansch und ein zweites im unteren Teil des Bodenflansches. Sie können entsprechend der Dimension der Rohrtour ausgewechselt werden.

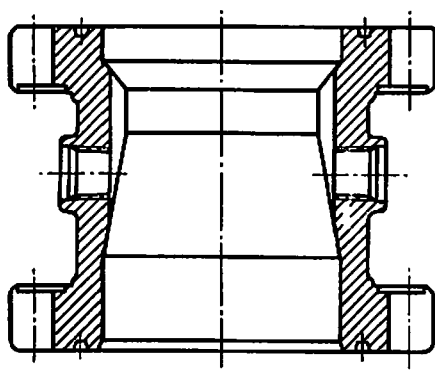


Bild 4  
 Futterrohr-Doppelflansch

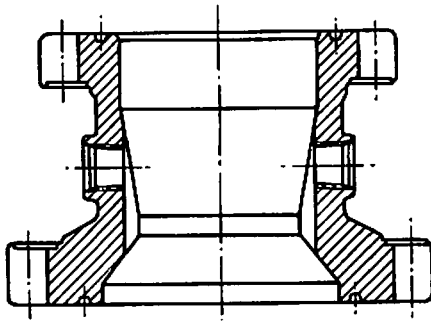


Bild 5  
Übergangs-Doppelflansch

### Übergangs-Doppelflansch (Bild 5)

Der Übergangs-Doppelflansch entspricht dem Futterrohr-Doppelflansch. Der Unterschied besteht in den Flanschanschlüssen. Der obere Flansch ist geringer dimensioniert und für eine Betriebsdruckstufe höher ausgelegt. Er ermöglicht den Übergang zu Kolonnenkopfbauanteilen geringerer Dimension.

### Spülflansch

Der Spülflansch stellt die Verbindung zwischen Futterrohr-Doppelflansch und Preventer her. Er ist der Bauart nach ebenfalls ein Doppelflansch, hat aber einen glatten Durchgang ohne konischen Bereich, so daß das Abfangen einer Rohrtour nicht möglich ist. Er hat zwei Anschlüsse für das Totpump- und Entlastungsmanifold.

### Steigrohr-Doppelflansch

Hauptaufgabe ist das Abfangen der Steigrohre. Nach dem Abfangen der Steigrohre stellt er die Verbindung zum Eruptionskreuz her. Der Steigrohr-Doppelflansch gleicht in seinem unteren Teil dem Futterrohr-Doppelflansch. Das obere Innenteil dient zur Aufnahme der austauschbaren Steigrohr-Kegeltöpfe und ist daher konisch gestaltet.

### Abfangkeile (Bild 6)

Die Futterrohr-Abfangkeile bestehen aus mehreren durch Scharniere untereinander verbundenen Keilsegmenten. Diese Keilsegmente haben eine konische glatte Außenfläche und innen ein sägezahnförmiges Querprofil. Die Funktion der Futterrohr-Ab-

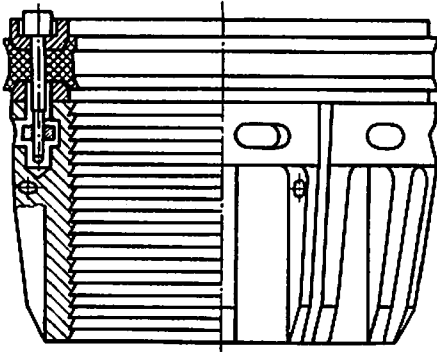


Bild 6  
Abfangkeil mit aufgeschraubter  
Futterrohrdichtung

fangkeile besteht darin, die Rohrkolonne bei gleichzeitiger Zentrierung im Kolonnenkopf abzufangen. Sie müssen große Lasten halten können. Die senkrecht wirkende Zugbelastung wird durch sie in den Kolonnenkopf übertragen. Entsprechend der Futterrohrgröße sind sie austauschbar.

#### Abdichtung

Die Abdichtung am Kolonnenkopf besteht aus einer inneren Abdichtung (Futterrohrabdichtung) und einer äußeren Abdichtung. Die innere Abdichtung (Bild 7) wird in eine untere und eine obere unterteilt. Beide haben die Aufgabe, den Steigraum einer Rohrtour gegenüber dem Ringraum zu einer äußeren Rohrtour abzudichten. Jede dieser Packungseinheiten besteht aus einer in Doppelnippelform ausgebildeten druckbeständigen Gummidichtung, die zwischen zwei Stützringe gepreßt wird. Auftretende Druckbelastungen werden über die Stützringe - ohne auf die Keile zu wirken - direkt in das Kolonnenkopfgehäuse abgeleitet.

Die obere Packungseinheit ist kleiner im Durchmesser und bietet die Möglichkeit - ohne Einbau von Zwischenflanschen -, in die nächsthöhere Druckstufe überzugehen. Die Packungseinheiten sind für alle Futterrohrgrößen und Betriebsnenn drücke entsprechend variabel einsetzbar. Am unteren Flansch des Futterrohr-Doppelflansches befindet sich eine Bohrung, die mit einem Rückschlagventil versehen ist und die Regenerierung der Futterrohrabdichtung durch Einpressen von Kunststoffpackungsmaterial ermöglicht.

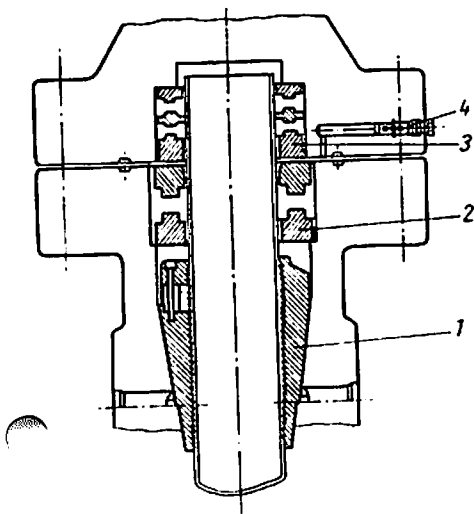


Bild 7  
 Futterrohrabdichtung /5/  
 1 Abfangkeile  
 2 unteres Dichtelement  
 3 oberes Dichtelement  
 4 Testöffnung mit Rückschlag-  
 ventil

Die äußere Abdichtung geschieht durch Weicheisenringe, die im Querschnitt verschieden ausgebildet sein können. Diese werden in die Flansche eingelegt. Damit ist die äußere Abdichtung gegenüber der Atmosphäre hergestellt.

### Meißelführungsring

Die Aufgabe des Meißelführungsringes besteht darin, das Bohrwerkzeug beim Einbau zu führen und dadurch die darunterliegende obere Packungseinheit der Futterrohrdichtung vor Beschädigung zu schützen. Er wird in seiner Dimension dem jeweiligen Futterrohrprogramm angepaßt, d. h., der Innendurchmesser des Meißelführungsringes ist gleich dem Innendurchmesser des verwendeten Futterrohres.

## 3.2. Preventer

### 3.2.1. Aufgaben der Preventer

Die Preventer stellen einen weiteren wichtigen Bestandteil des Bohrlochabschlusses dar. Es existieren verschiedene Bauarten.

Sie werden oberhalb des Kolonnenkopfaufbaues einzeln oder zu kompletten Absperrsystemen kombiniert installiert.

Sie haben folgende Aufgaben bzw. Anforderungen zu erfüllen:

- vollständige Absperrung des Futterrohrquerschnittes (Vollabschluß)
- Absperrung des Ringraumes zwischen Bohrgestänge und Futterrohren (Gestängeabschluß)
- rasches und dichtes Schließen in jeder Situation
- um Kombinationsmöglichkeiten zuzulassen, ist eine geringe Bauhöhe notwendig
- Austauschbarkeit der Einsätze
- Gewährleistung des maximalen Betriebsdrucks, für den sie entsprechend ihrer Druckstufe ausgelegt sind

Diesen Anforderungen werden im allgemeinen die Backen- und Ringpreventer gerecht. Davon abweichende Konstruktionen dienen speziellen Zwecken.

### 3.2.2. Backenpreventer

Der Backenpreventer verfügt über waagrecht angeordnete flache Schließbacken, die für den jeweiligen Abschluß entsprechend ausgebildet sein können:

- Abschluß des vollen Querschnittes
- Abschluß für Gestänge
- Abschluß für Schwerstangen
- Abschluß für Steigrohre
- Abschluß für Futterrohre

Die Backenpaare sind austauschbar und können daher dem entsprechenden gewünschten Querschnitt angepaßt werden. Sie bestehen aus zwei mit Gummihaltringen umfaßten Innen- und Außenstahlbacken. Der Antrieb erfolgt mechanisch oder hydraulisch.

Moderne Ausführungen verfügen über einen hydraulischen Antrieb, können aber von Hand geschlossen werden, wenn der Antrieb ausfällt.



Das Verhältnis zwischen dem Bohrlochdruck und dem für das Schließen notwendigen Druck wird Schließverhältnis genannt. Das Verhältnis zwischen dem Bohrlochdruck und dem Öffnungsdruck ist das Öffnungsverhältnis. Bei der Konstruktion der Preventer müssen hier günstige Verhältnisse angestrebt werden, so daß beispielsweise der Bohrlochdruck das Schließen und Abdichten der Backen unterstützt und dadurch ein niedriger Schließdruck erreicht wird.

Die Packenpreventer werden in folgenden Ausführungen hergestellt:

- Einfachbackenpreventer (Bild 8)
- Doppelpackenpreventer (Bild 9)
- Dreifachbackenpreventer

Der Einfachpreventer kann entweder für den Vollabschluß oder den Gestängeabschluß verwendet werden. Er muß mit den entsprechenden Backen bestückt werden. Soll in beiden Situationen, d. h. Bohrstrang ausgebaut bzw. Bohrstrang im Bohrloch, ein Abschließen des Bohrloches möglich sein, müssen zwei Preventer verwendet werden. Dabei ist ein Preventer mit Vollabschlußbacken und ein Preventer mit Gestängebacken der entsprechenden Dimension auszurüsten.

Vorteilhafter ist der Einsatz eines Doppelpreventers, da er bei geringerer Bauhöhe die Funktion von zwei Einfachpreventern übernimmt, so daß ein Vollabschluß und bei eingebautem Gestänge der Abschluß des Gestängeringraumes möglich ist.

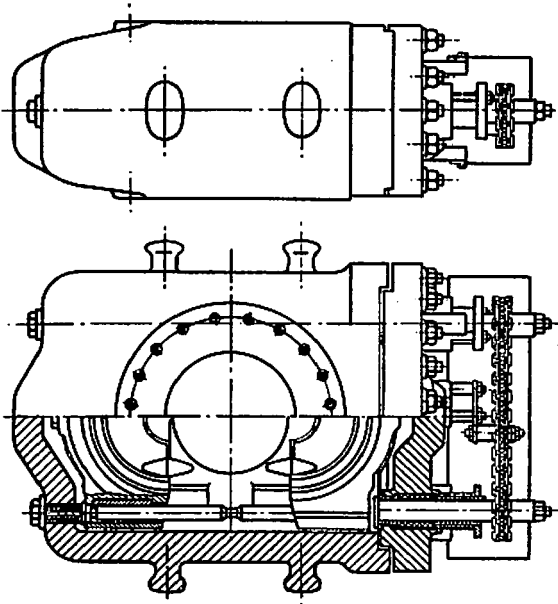
Bei Einsatz eines kombinierten Gestängestranges ist es möglich, zwei Gestängebackenpaare verschiedener Dimensionen einzusetzen. Für den Vollabschluß wäre dann noch ein zusätzlicher Einfachbackenpreventer notwendig. Diese Variante kann durch den Einsatz eines Dreifachbackenpreventers wegen der geringeren Bauhöhe günstiger realisiert werden.

Ein Backenpreventer moderner Konstruktion bietet folgende Vorteile:

- selbstdichtende Backen (Bild 10)

Wenn sich die Backen schließen, unterstützt der Sondendruck das Abdichten. Der Schließdruck braucht nicht unterstützt

Bild 8  
Einfachbacken-  
preventer /5/



zu werden, nachdem das Abdichten begonnen hat. Daraus resultieren

- niedriger Schließdruck; wobei lediglich die Kraft beim Schließen und Öffnen erforderlich wird, die zur Überwindung der Wellendichtung und Backenreibung nötig ist. Das bedeutet, daß der Schließdruck immer sehr niedrig ist, da das eigentliche Abdichten durch das Prinzip der Selbstabdichtung erfolgt. Bei allen Preventern sind 3 Arten der Betätigung möglich: hydraulische, pneumatische, von Hand.
- durch seitliche sogenannte Frontdeckel kann das Auswechseln der Backen auch erfolgen, wenn sich Gestänge, Futter- oder Steigrohre im Bohrloch befinden.
- schnelle und einfache Montage und Demontage, leichte Instandhaltung
- lange Lebensdauer der Dichtungselemente
- bei Versagen der Kontrollanlage sofortiges Schließen von Hand möglich
- geringes Gewicht und kleine Abmessungen, d. h. bequeme und ökonomische Handhabung, leichter Transport

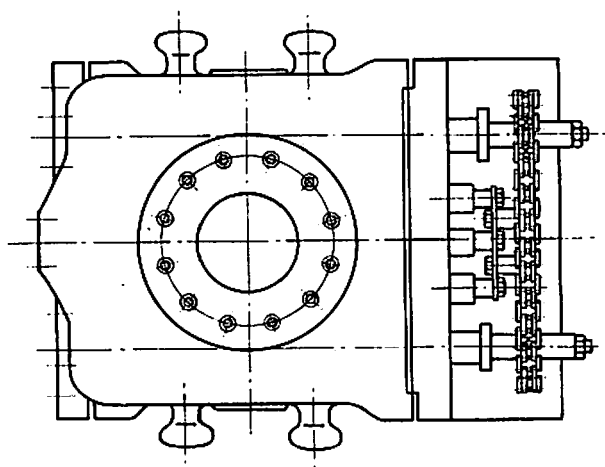
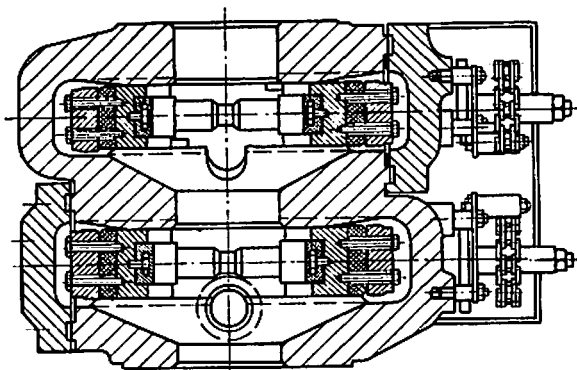


Bild 9. Doppelbackenpreventer /5/

- Die Preventer können mit seitlichen Abgängen für das Entlastungsmanifold geliefert werden. Das führt zu einer Verringerung der Bauhöhe durch Wegfall des Kreuzflansches und zu einer Verringerung an Flanschverbindungen, was gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Sicherheit ist.
- Die Preventer haben einen genügend großen Durchlaß, der den Einbau der Keile zum Abfangen der Futterrohrtour im Kolonnenkopf durch den Preventer ermöglicht.

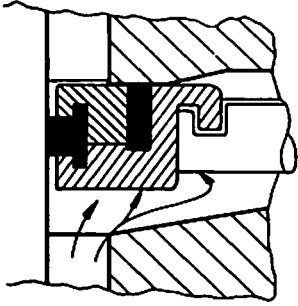


Bild 10  
Prinzip der Selbstabdichtung /8/

- Die Backenpackungen arbeiten nach dem Prinzip der Eigenspeisung (Bild 11). In jeder Packung befindet sich eine große Reserve an Gummi, um den durch die Gestängebewegung unter Druck abgenutzten Gummi zu ersetzen. Dadurch ist eine lange Lebensdauer der Dichtungen garantiert. Die Gummipackung ist in Stahlhalteplatten gelagert, die den Gummi bei allen Drücken in einem völlig unbeschädigten Zustand erhalten. Mit verstärkten Dichtungselementen ist ein längeres Bewegen des Gestänges unter Druck möglich, wobei die Dichtung nicht beeinträchtigt wird. Das Gestänge kann längere Zeit auf- und abbewegt und stundenlang bei geschlossenen Backen rotiert werden.

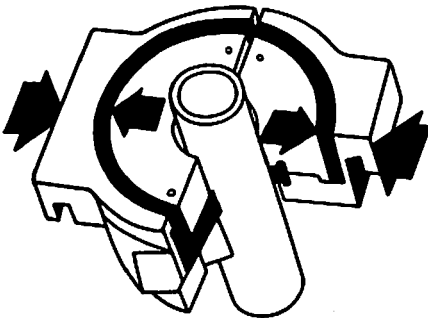


Bild 11  
Prinzip der Eigenspeisung /8/

- Führungsnocken an den Backen ermöglichen ein selbsttätiges Zentrieren des Gestänges.

- Die Ausführung als Doppelpreventer gewährleistet eine geringe Bauhöhe und ermöglicht den Einsatz auch bei geringen Turm-masthöhen.

Die Hersteller von Backenpreventern bieten ihre Erzeugnisse in verschiedenen Druckstufen und Baugrößen an. Das soll am Beispiel eines Doppelpreventers aus der VR Rumanien gezeigt werden:

Typenbezeichnung	Baugröße in Zoll	Druckstufe in $\text{kp cm}^{-2}$
DF	7 1/16	210, 350, 700, 1050
	9	210, 350, 700, 1050
	11	210, 350, 700,
	13 5/8	210, 350, 700,
	16 3/4	140, 210, 350,
	20 3/4	140, 210,

### 3.2.3. Ringpreventer

Der Ringpreventer, vielfach auch als Universalpreventer bezeichnet, ist eine Konstruktion, die von der Art der Stopfbuchsen (Bild 12) bestimmt wird.

Ein mit Dichtungsringen gegen das Gehäuse abgedichteter konischer Druckkolben wird hydraulisch gegen eine ringförmig angeordnete Dichtungsgarnitur gedrückt, die sich dann entsprechend gegen das Gehäuse und das im Preventer befindliche Gestänge- oder Futterrohr mit oder ohne Muffe oder gegen das Gully preßt. Dabei übt der Bohrlochdruck einen zusätzlichen Schließdruck aus. Entsprechend kann auch ein totaler Abschluß hergestellt werden. Das Abdichtungsprinzip beruht auf dem elastischen Fließen des Gummis zwischen den Metallkörpern (Bild 13). Das gleiche Bild zeigt die aus scheuerfestem und bei Bedarf ölbeständigem Gummi hergestellte Garnitur, die auf ringförmig angeordneten Stahlrippen vulkanisiert ist.

Die universelle Verwendbarkeit eines solchen Ringpreventers, der in jeder Situation sicher schließt, ohne daß ein Auswechseln von Teilen notwendig wird, läßt seinen Einsatz als zusätz-

Bild 12  
Ringpreventer

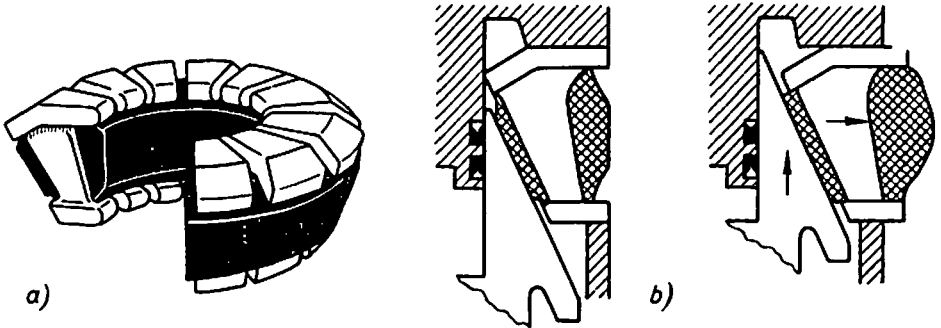
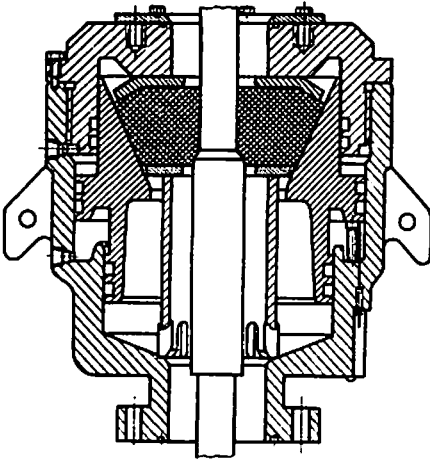


Bild 13. Abdichtungsprinzip beim Ringpreventer /3/  
a) ringförmiges Gummielement  
b) Abdichtungsprinzip

lichen Preventer über der notwendigen aus zwei oder drei Backenpreventern bestehenden Kombination vorteilhaft erscheinen. Besonders empfehlenswert ist diese Lösung beim Durchbohren druckstarker Horizonte.

Die besonderen Vorteile des Ringpreventers:

- Das Schließen ist in jeder Situation ohne Auswechseln von Teilen möglich, d. h. Abdichtung von Gestänge, Gestängeverbindern, Schwerstangen, Kellys jeder Form und Größe und der Vollabschluß bei ausgebautem Bohrstrang.

- Im geschlossenen Zustand ist das Drehen und Fahren des Bohrstranges möglich, d. h. Bohren, Ein- und Ausbau unter Druck.
- Die Dichtungseinheit ist leicht und rasch auswechselbar.

Beim Einsatz von Ringpreventern ist folgendes besonders zu beachten:

- Der Vollabschluß mit dem Ringpreventer ist zwar möglich, aber auf Grund des dabei auftretenden hohen Verschleißes möglichst zu vermeiden, d. h. nur in Notfällen anzuwenden.
- Das Drehen im geschlossenen Zustand soll nicht bei quadratischen, sechseckigen u. ä. Querschnittsprofilen erfolgen (Kellys).

- Beim Drehen und Bewegen des Gestänges soll der auf die Dichtungseinheit wirkende Druck nach Möglichkeit so weit reduziert werden, daß ein leichtes Durchsickern von Flüssigkeit erfolgt. Dadurch wird der Verschleiß auf Grund der wesentlich geringeren Reibung auf ein Minimum reduziert.

- Beim Ein- und Ausbau von Gestänge im geschlossenen Zustand sollten die Gestängeverbinder den Dichtungskörper langsam (1 bis 2 s) aus folgendem Grund passieren:

Tritt der Verbinder in die geschlossene Dichtung, drückt er Gummi nach außen. Das übt einen Abwärtsstoß auf den Schließkolben aus und vergrößert den Schließkammerdruck. Durch den steigenden Druck wird das Regelventil veranlaßt, automatisch Flüssigkeit aus der Schließkammer freizulassen, und der Schließkolben bewegt sich abwärts, so daß durch den Gestängeverbinder noch mehr Gummi nach außen gedrückt werden kann. Verläßt der Verbinder die Dichtung, läßt der Abwärtsstoß gegen den Schließkolben etwas nach. Dadurch sinkt der Schließkammerdruck sofort. Bei diesem Druckabfall läßt das Regelventil automatisch mehr Flüssigkeit aus der Druckversorgung in die Schließkammer. Der zusätzliche Druck hebt den Kolben auf seine ursprüngliche Lage, und die Dichtungseinheit wird in engeren Kontakt zum Gestänge gepreßt. Die Zeit für diesen Vorgang dauert 1 bis 2 Sekunden. Voraussetzung für die Durchführung reibungsloser Ein- und Ausbauten von Gestänge ist der Anschluß des Regelventils an eine kontinuierliche Druckzufuhr.

- Das Auswechseln des verschlissenen Dichtungselementes geht wie folgt vor sich (bei eingebautem Bohrstrang):  
Abschrauben des Preventerkopfes; Herausheben der Gummipatrone bis über den Drehtisch; Trennen mittels Säge o. ä., und zwar so, daß die Trennung zwischen zwei Stahlrippen erfolgt. Anschließend kann das Dichtungselement über das Gestänge bzw. Kelly weggezogen werden. Das neue Dichtungselement wird ebenfalls getrennt, über das Gestänge bzw. Kelly geschoben, in den Preventerkörper eingesetzt, der Preventerkopf aufgesetzt und verschraubt.

Mit den normalen Dichtungselementen kann bis etwa 24 Stunden im geschlossenen Zustand rotiert werden, mit Spezialeinlagen wesentlich länger. Es ist also möglich, unter Druck zu bohren und das Gestänge zu bewegen oder ein- bzw. auszubauen. Soll längere Zeit unter Druck gebohrt werden, empfiehlt sich die Verwendung eines Drehpreventers.

Der Antrieb der Ringpreventer erfolgt hydraulisch oder pneumatisch.

Die Ringpreventer werden in den Druckstufen 210, 350 und 700 kp cm<sup>-2</sup> hergestellt.

#### 3.2.4. Rotationspreventer

Die Rotationspreventer bestehen aus einem feststehenden Außengehäuse, das mit einem Flansch für die Verbindung mit dem entsprechenden Preventer versehen ist, mit dem der Drehpreventer in Kombination verwendet wird. Außerdem hat er einen seitlichen Stutzen für den Ausfluß der Spülung, der ebenfalls mit einem Flansch versehen ist. Innerhalb dieses Gehäuses befindet sich das drehbar gelagerte Innenteil. Am unteren Ende dieses Innenteiles befindet sich die Stripperdichtung für die Abdichtung des Kellys, Gestänges u. ä.

Bei Rotation des Kellys dreht sich zwangsläufig diese Dichtung und das gesamte Innenteil mit. Die Lagerung besteht aus einem Axial- und zwei Radiallagern. Die Stripperdichtung unterliegt während des Bohrens nur durch die Abwärtsbewegung des Kellys



beim Nachlassen einem Verschleiß, der bei Ein- und Ausbaurbeiten unter Druck beträchtlich wächst.

Die Auswechslung dieses Strippers ist unkompliziert und kann in kurzer Zeit erfolgen, indem am Gehäuse ein Oberwurfgewinde-ring gelöst, das Rotationsteil aus dem Gehäuse herausgenommen und die daran mit Schrauben befestigte Stripperdichtung ausgewechselt wird. Diese Dichtung besteht aus einem Spezialgummielement mit einem Stahleinsatz, der die Festigkeit des Dich-

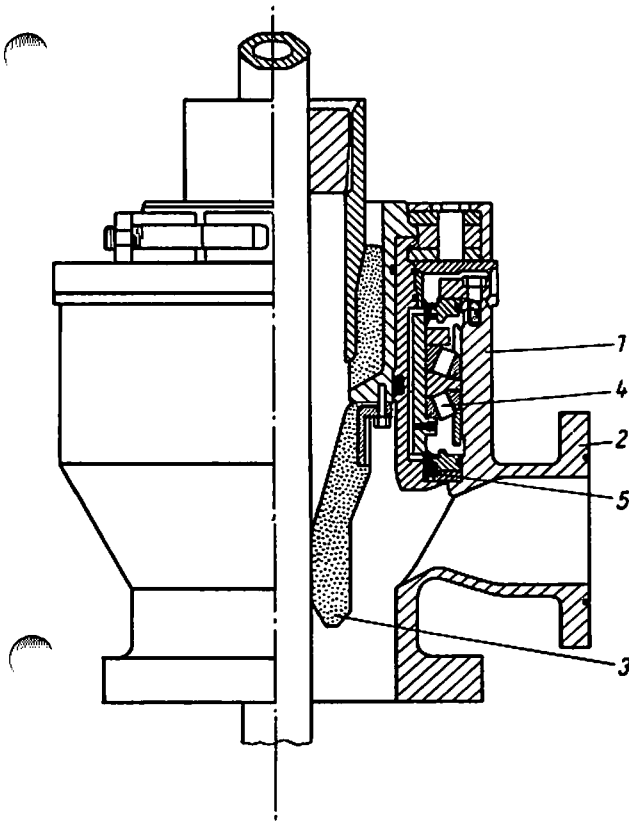


Bild 14. Rotationspreventer /7/

1 Außengehäuse

2 Stützen für den Spülsafluß

3 Stripperdichtung

4 Lager

5 Dichtung

tungskörpers vergrößert und die Ausdehnung bei sehr hohen Drücken begrenzt, d. h. vor unzulässigen Verformungen bewahrt. Sie paßt sich den verschiedensten Formen des Kellys (Vierkant, Sechskant usw.) und den am Gestänge vorkommenden Durchmesseränderungen an und gewährleistet dabei eine konstante Abdichtung (auch bei Muffengestänge). Die Abdichtung erfolgt auf dem Prinzip der Selbstabdichtung, d. h., mit steigendem Druck im Bohrloch wächst die Anpreßkraft des Gummielementes, und im gleichen Maße erhöht sich die Dichtheit.

Das Erreichen einer absoluten Dichtheit setzt eine einwandfreie Beschaffenheit der Kelly- bzw. Gestängeoberfläche voraus.

Die Abdichtung des Drehteiles gegenüber dem Außengehäuse erfolgt durch ein System von Dichtungselementen, die nach dem Prinzip der Stopfbuchsen - Lippendichtungen in Paketen - angeordnet sind.

Der Einsatz der Rotationspreventer erfolgt im Kombination mit normalen Preventern.

Durch diese Kombination sind eine Reihe von Bohroperationen möglich, die mit einer normalen Bohrlochkopfbestückung nicht möglich sind. Es ist ein kontrolliertes Bohren unter Druck, d. h. ein unterbalanciertes Bohren möglich. Die große Bedeutung des unterbalancierten Bohrens liegt darin, einen schonenden Speicheraufschluß durchführen zu können. Das Spülgewicht wird nicht auf den Wert erhöht, der ein Gleichgewicht zwischen hydrostatischem Druck an der Bohrlochsohle und Lagerstätten- druck garantieren würde, sondern das Druckgleichgewicht ist durch einen entsprechenden Kopfdruck gewährleistet. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Abdichtung des Kellys während des Bohrens, des Gestänges und der Schwerstangen während der Aus- und Einbauarbeiten und eines hermetisch abgeschlossenen übertägigen Spülungskreislaufes. Die Möglichkeit des Bohrens mit niedrigerem Spülgewicht bietet einige Vorteile:

- Der sonst notwendige Zusatz an Beschwerungsmitteln übt einen negativen Einfluß auf die Speichereigenschaften aus. Es kommt zu einer erheblichen Erhöhung des Feststoffgehaltes in der

Spülung, und die meist ungenügende Qualität der Beschwerungs-  
zusätze führen zu einer Qualitätsminderung der Spülungseigen-  
schaften.

- Die Beschwerung der Spülung ist mit einem verhältnismäßig hohen Aufwand verbunden. Kommt es im Verlauf einer Bohrung zu oftmaligem Wechsel des Druckgradienten, so bedeutet das bei balanciertem Bohren ein ständiges Anpassen des Spülungsgewichtes, d. h. maximaler Aufwand an Spülbearbeitung. Das kann durch die Anwendung des Bohrens unter Druck unter Umständen vermieden werden. Die Entscheidung für ein unterbalanciertes Bohren kann natürlich nur in Abhängigkeit der konkreten Verhältnisse einer Bohrung getroffen werden.
- Der Erhöhung des Spülungsgewichtes sind durch die Art und Beschaffenheit der Beschwerungsmittel Grenzen gesetzt. Auch das kann ein Kriterium für die Anwendung des unterbalancierten Bohrens sein.

Der Einsatz von Drehpreventern ist, wie die Ausführungen zeigen, auf spezielle Bohrarbeiten beschränkt. Außer dem beschriebenen unterbalancierten Bohren eignet sich der Drehpreventer besonders für das Bohren mit Luftspülung, für Umkehrspülung, Wechsel zwischen Links- und Rechtsspülung usw.

Drehpreventer des Typs Shaffer können als Casing Stripper für den Einbau von Futterrohren unter Druck verwendet werden, wenn der Innenkörper gegen eine Spezialdichtung ausgetauscht wird. Die Auslegung der Drehpreventer für einen maximalen Druck von  $210 \text{ kp cm}^{-2}$  dürfte im allgemeinen ausreichend sein, wenn man bedenkt, daß beim Bohren unter Druck lediglich die Differenz zwischen hydrostatischem Druck und Lagerstättendruck als Kopfdruck gehalten werden muß.

Beim Auftreten maximaler Kopfdrücke, was erhebliche Verringerung oder gänzliches Fehlen der Spülungssäule im Bohrloch voraussetzt, ist ein Bohren nicht mehr möglich, d. h., durch Schließen der unter dem Rotationspreventer befindlichen Preventergarnitur wird dieser vor unzulässig hohen Druckbelastungen bewahrt.

### 3.2.5. Kombinationsmöglichkeiten von Preventern

#### 3.2.5.1. Grundsätzliches über Preventeranordnungen

Art, Anzahl und Anordnung der Preventer hängt von den jeweiligen Erfordernissen ab und kann nicht in ein einziges Schema gepreßt werden. Man kann jedoch die Kriterien für die Preventerkombinationen ermitteln, auf deren Grundlage sich eine Reihe prinzipieller Lösungen ergeben.

Auf diese Weise ist es möglich, zu typisierten Aufbauschemata für den Bohrlochabschluß zu kommen. Wesentlichen Einfluß auf die Anordnung des Bohrlochabschlusses üben folgende Faktoren aus:

- Bohrlochkonstruktion, d. h. Dimension und Anzahl der Futterrohrkolonnen
- maximal möglicher Kopfdruck, der beim Abteufen der einzelnen Intervalle auftreten kann
- zur Verfügung stehendes Sortiment an Ausrüstungen
- Höhe des verwendeten Bohrgerüstunterbaues

Folgende sieben Grundsätze sind bei der Festlegung der Preventerkombinationen zu beachten:

1. Die Mindestanzahl an Gestängepreventern soll zwei Stück betragen. Dabei dient der untere als Sicherheitspreventer, der obere als Arbeitspreventer. Dadurch ist es möglich, jederzeit, d. h. auch unter Druck, die Backen des oberen Preventers zu wechseln. Das kann der Fall sein
  - a) wenn die Backen verschlissen sind und gegen neue ausgetauscht werden müssen
  - b) wenn Gestängebacken einer anderen Dimension einzusetzen sind (Umstellung auf kombinierten Strang)
  - c) wenn die Gestängebacken auf Grund bestimmter Umstände gegen Vollabschlußbacken auszutauschen sind
2. Die Anordnung der Gestängepreventer muß das Ausschleusen von Gestängeverbindern gestatten.
3. Bei kombinierten Bohrsträngen muß eine genügende Anzahl Gestängepreventer mit Gestängebacken für die entsprechenden Dimensionen vorhanden sein.

4. Das Ausschleusen der Bohrwerkzeuge unter Druck wird dadurch gewährleistet, daß sich im Preventeraufbau eine Möglichkeit des Vollabschlusses befindet. Dieser Vollabschlußpreventer muß sich unterhalb der die Schwerstange abschließenden Einrichtung (Gestängebacken- oder Ringpreventer) befinden.

5. Grundsätzliches über die Anordnung des Vollabschlußpreventers.

a) Der Vollabschlußpreventer befindet sich oben (Über dem Gestängepreventer).

Es besteht im Bedarfsfall die Möglichkeit, nach Schließen des Gestängepreventers (Gestängestrang ist eingebaut) die Backen des Vollabschlußpreventers gegen Gestängebacken auszutauschen. Anschließend wird der obere Preventer geschlossen und der untere geöffnet, d. h., er übernimmt die Funktion des Sicherheitspreventers. In diesem Fall kann leichter entschieden werden, bei drohenden Ausbrüchen den Gestängestrang bei geschlossenen Preventerbacken auf- und abzufahren und zu rotieren, um ein Festwerden zu verhindern.

b) Der Vollabschlußpreventer befindet sich unten (unter dem Vierflanschzwischenstück).

Durch diese Anordnung ist es möglich, die gesamte darüber befindliche Preventerkombination einschließlich der Entlastungs- und Totpumpeinrichtungen im Bedarfsfall zu ändern oder aufgetretene Schäden zu reparieren.

Es muß beachtet werden, daß unterhalb des Vollabschlußpreventers eine zusätzliche Möglichkeit zum Entlasten vorhanden ist.

c) Preventerkombination ohne Vollabschlußpreventer

Sind nur Backenpreventer im Preventeraufbau vorhanden, so wird man sich in manchen Fällen dafür entscheiden, beide mit Gestängebacken auszurüsten und auf einen Vollabschluß zu verzichten. Das kann folgende Gründe haben:

- Da die Gestängebacken beim Bewegen und Rotieren unter Druck einem erhöhten Verschleiß unterliegen, muß ein zweites Paar unverbrachter Gestängebacken der gleichen Dimension zur Verfügung stehen.

- Zum Ausschleusen der Gestängeverbinder beim Ausbau mit Druck.

- Wenn mit einem kombinierten Gestängestrang (zwei verschiedene Durchmesser) gearbeitet wird.

Bei der Verwendung eines Preventeraufbaues ohne Vollabschlußpreventer muß das Auswechseln von Gestänge- gegen Vollabschlußbacken möglich sein. Außerdem sollte sich in solchen Fällen als zusätzliche Sicherheit ein Ringpreventer auf dem Preventeraufbau befinden.

6. Bei Hochdruckgasbohrungen und Bohrungen auf unbekannt Strukturen mit zu erwartenden hohen Lagerstättendrücken sollte grundsätzlich ein Ringpreventer als zusätzliche Sicherheit verwendet werden.

7. Der Ringpreventer ist grundsätzlich als oberster Preventer zu montieren, da das Auswechseln des ringförmigen Packungselementes nur nach oben erfolgen kann. Oberhalb des Ringpreventers montierte Backenpreventer müßten sonst in solchen Fällen demontiert werden.

Bei Backenpreventern erfolgt das Wechseln der Backen durch seitliche bzw. Frontdeckel.

### 3.2.5.2. Mögliche Preventerkombinationen

Es soll untersucht werden, wieviel Kombinationsmöglichkeiten des Preventeraufbaues existieren. Dabei werden nur die Backenpreventer einschließlich des Vierflanschzwischenstückes betrachtet, da ein Ring- oder Rotationspreventer grundsätzlich als oberster Preventer montiert wird.

Bei der Verwendung von zwei Backenpreventern (ein Vollabschluß- und ein Gestängebackenpreventer) gibt es folgende Möglichkeiten:

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| (1) - Vollabschlußpreventer | (2) - Vollabschlußpreventer |
| - Vierflanschzwischenstück  | - Gestängepreventer         |
| - Gestängepreventer         | - Vierflanschzwischenstück  |
| (3) - Gestängepreventer     | (4) - Gestängepreventer     |
| - Vollabschlußpreventer     | - Vierflanschzwischenstück  |
| - Vierflanschzwischenstück  | - Vollabschlußpreventer     |

Jede dieser Kombinationen hat neben einer Reihe von Vorteilen auch gewisse Nachteile. Es gibt keine Kombination, die sämtliche Vorteile in sich vereint. Sofern das Bohrloch unter Druck steht, ergeben sich folgende Vor- und Nachteile bei den verschiedenen Kombinationen:

**Vorteile:**

- a) Wenn sich Gestänge im Bohrloch befindet, können die Backen des oberen Preventers gegen Gestängebacken ausgetauscht werden. Dadurch kann ohne Risiko das Gestänge bei geschlossenen Gestängebacken (des oberen Preventers) bewegt oder rotiert werden, da der untere Preventer mit seinen unverbrauchten Gestängebacken in Reserve steht (Kombination 1 und 2).
- b) Mit zwei Gestängebackenpreventern kann der Gestängestrang eingebaut werden (Einschleusen der Gestängeverbinder) vorausgesetzt, daß sich bei Beginn mindestens ein Gestängezug im Bohrloch befand (Kombination 1).
- c) Bei Schäden am Obertagemanifold (z. B. beschädigter Spülschlauch) kann der Gestängestrang in den unteren Preventerbacken aufgehängt und nach Schließen der Vollabschlußbacken des oberen Preventers zirkuliert werden. Dabei wird über das Vierflanschzwischenstück eingepumpt und über die am Kolonnenkopf unter dem Preventeraufbau befindlichen Anschlüssen auszirkuliert (Kombination 1).  
Diese Möglichkeit gibt es auch bei Kombination 2, vorausgesetzt, daß der Abstand zwischen den Preventern ausreicht, um einen Verbinder aufzunehmen.
- d) Unter der Voraussetzung, daß sich Gestänge (mindestens eine Stange) im Bohrloch befindet, können nach Schließen der Gestängebacken des unteren Preventers Reparaturen am Vierflanschzwischenstück und deren Ableitungen durchgeführt werden (Kombination 1).
- e) Wenn die Vollabschlußbacken des oberen Preventers geschlossen sind, ist es möglich, die am Vierflanschzwischenstück angeschlossenen Leitungen (Totpump- und Entlastungsleitungen) zu benutzen. (Kombination 1, 2, 3).

- f) Unabhängig davon, welche Preventer geschlossen sind, können die am Vierflanschzwischenstück angeschlossenen Leitungen benutzt werden (Kombination 2, 3).
- g) Es können Doppelpreventer verwendet werden. Dadurch besteht gute Eignung für niedrige Turmroste, besonders wenn die Preventer mit Ausflußöffnungen zum Anschluß für Entlastungsleitungen versehen sind (Kombination 2 und 3).
- h) Das Bohrloch kann vollständig geschlossen werden, wenn die Gestängebacken gegen neue oder gegen Futterrohrbacken ausgetauscht werden müssen (Kombination 3 und 4).
- i) Wird der Vollabschlußpreventer geschlossen, so sind Reparaturen oder Auswechslungen an der gesamten darüberliegenden Bohrlochsicherung einschließlich Vierflanschzwischenstücken und des daran angeschlossenen Totpump- und Entlastungssystems möglich (Kombination 4).
- j) Im Notfall können das Gestänge ins Bohrloch geworfen und der Vollabschlußpreventer geschlossen werden (Kombination 4).
- k) Nach Schließen des Vollabschlußpreventers wird eine minimale Anzahl von Flanschverbindungen der Bohrlochsicherung belastet (Kombination 4).
- l) Wenn die Gestängebacken geschlossen sind, können die am Vierflanschzwischenstück angeschlossenen Leitungen benutzt werden (Kombination 2, 3 und 4).

#### Nachteile:

- a) Wenn die Vollabschlußbacken geschlossen sind, ist die Beherrschung einer Undichtheit am Vierflanschzwischenstück nicht mehr möglich (Kombination 1, 2 und 3).
- b) Eine maximale Anzahl von Flanschverbindungen sind dem Druck im Bohrloch ausgesetzt (Kombination 2 und 3).
- c) Wenn die Backen des untersten Preventers geschlossen sind, erfordert die Zirkulation eine zusätzliche Entlastungsmöglichkeit unterhalb dieser Preventer (Kombinat 1 und 4).

Die Flanschverbindungen werden im allgemeinen als schwächster Punkt der Bohrlochsicherung betrachtet. Aus diesem Grunde sind die Kombinationen 2 und 3, obwohl sie auf Grund der Möglichkeit



des Einsatzes von Doppelpreventern sehr oft angewandt werden, nicht am günstigsten.

Andererseits sollte es grundsätzlich möglich sein, die am Vierflanschzwischenstück angeschlossenen Leitungen (Totpump- und Entlastungsleitung) zu benutzen, sowohl wenn der Gestängepre-venter geschlossen wird als auch bei Abschluß des Vollpre-venters. Das ist auch als Hauptgrund dafür anzusehen, daß die Kom-bination 2 am meisten verbreitet ist.

Bei der Benutzung von zwei Backenpreventern treten grundsätzlich, wie die bisherigen Ausführungen zeigen, neben den Vorteilen im-mer einige Nachteile auf. Dabei sind in vielen Fällen die Vor-teile der einen Kombination die Nachteile der anderen oder umge-kehrt. Einen Ausgleich kann man durch die Verwendung eines drit-ten Backenpreventers erzielen. Eine Kombination von drei Backen-preventern vereinigt jeweils die Vorteile von mehreren Zweier-Kombinationen.

Die nachfolgende Aufstellung zeigt die theoretisch möglichen Kombinationen bei der Verwendung von drei Backenpreventern:

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| (1) - Gestängepreventer     | - Gestängepreventer         |
| - Vollabschlußpreventer     | - Gestängepreventer         |
| - Vierflanschzwischenstück  | (6) - Gestängepreventer     |
| - Gestängepreventer         | - Gestängepreventer         |
| (2) - Vollabschlußpreventer | - Vierflanschzwischenstück  |
| - Gestängepreventer         | - Vollabschlußpreventer     |
| - Vierflanschzwischenstück  | (7) - Vollabschlußpreventer |
| - Gestängepreventer         | - Gestängepreventer         |
| (3) - Gestängepreventer     | - Gestängepreventer         |
| - Vierflanschzwischenstück  | - Vierflanschzwischenstück  |
| - Vollabschlußpreventer     | (8) - Gestängepreventer     |
| - Gestängepreventer         | - Vollabschlußpreventer     |
| (4) - Gestängepreventer     | - Gestängepreventer         |
| - Vierflanschzwischenstück  | - Vierflanschzwischenstück  |
| - Gestängepreventer         | (9) - Gestängepreventer     |
| - Vollabschlußpreventer     | - Gestängepreventer         |
| (5) - Vollabschlußpreventer | - Vollabschlußpreventer     |
| - Vierflanschzwischenstück  | - Vierflanschzwischenstück  |

Eine der gebräuchlichsten Anordnungen ist die Kombination 1. Sie vereinigt alle unter a) bis e) aufgeführten Vorteile. Werden die Backen des Vollabschlußpreventers gegen Gestängebacken ausgetauscht, stehen bei Bedarf drei Gestängepreventer zur Verfügung. In diesem Fall können kombinierte Gestängestränge ausgeschleust werden. Die Verwendung von Doppelpreventern ist bei allen neun Varianten möglich und sollte grundsätzlich in Erwägung gezogen werden. In vielen Fällen wird die Anwendung einer Kombination von drei Backenpreventern erst durch die Verwendung eines Doppelpreventers auf Grund der zur Verfügung stehenden Turmrosthöhe möglich sein. Bei den Kombinationen 7, 8 und 9 wäre auch der Einsatz von Triplex-Preventern zu erwägen.

### 3.2.5.3. Preventerkombinationen für Hochdruckgasbohrungen

#### Maximalvariante

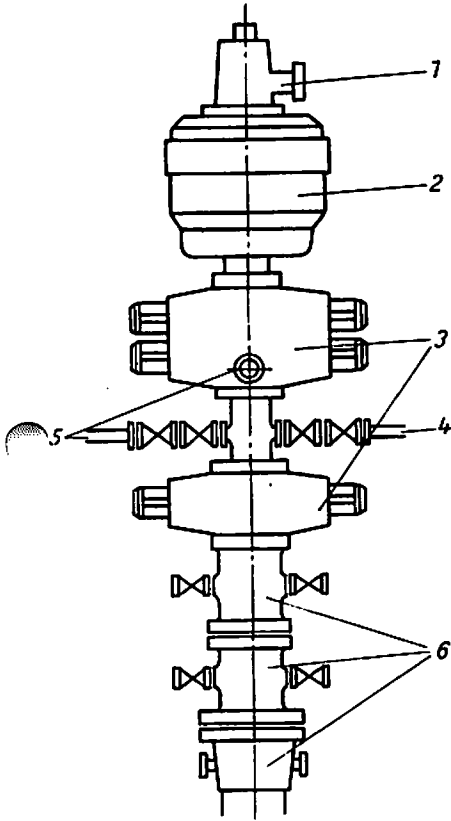
Ein Maximum an Sicherheit und Variationsmöglichkeiten bietet folgende Preventerkombination (Bild 15):

- Rotationspreventer
- Ringpreventer
- Backenpreventer
- Backenpreventer
- Backenpreventer

Die Anordnung der drei Backenpreventer erfolgt in Abhängigkeit der jeweiligen Anforderungen entsprechend den unter 1 bis 9 aufgezeigten Varianten. Sie sollte so erfolgen, daß der Ringpreventer eine zusätzliche Sicherheit darstellt; d. h. nur in Ausnahmefällen benutzt wird.

Seine eigentliche Funktion innerhalb des Systems der Bohrlochsicherung besteht darin, daß auf Grund seiner universellen Verwendbarkeit ein Schließen in jeder Situation möglich ist. Das ist natürlich nur dann mit Sicherheit möglich, wenn er so wenig wie möglich verschleißt. Man wird deshalb nur in Ausnahmefällen bei geschlossenen Ringpreventern ein- und ausbauen oder rotieren.

Bild 15  
 Preventerkombination  
 1 Rotationspreventer  
 2 Ringpreventer  
 3 Backenpreventer  
 4 Totpumpleitung  
 5 Entlastungsleitung  
 6 Kolonnenkopf



Der Rotationspreventer ermöglicht das Bohren unter Druck. Bis zu gewissen Drücken ist auch der Ein- und Ausbau des Gestänges möglich.

Der Einsatz dieser Maximalvariante ist mit hohem Aufwand verbunden, der nur bei sehr komplizierten geologischen Bedingungen gerechtfertigt ist. Außerdem ist auf Grund des großen Platzbedarfes nur bei außergewöhnlich hohen Turmrosten ein solcher Preventeraufbau möglich.

#### Mindestvariante

Die genannten Gründe wie hohe Kosten und großer Platzbedarf werden in vielen Fällen die Maximalvariante in Frage stellen.

Besonders aber die unzureichende Höhe der Turmroste dürfte in vielen Fällen den Einsatz dieser Variante unmöglich machen.

Bei Gasbohrungen auf Lagerstätten mit hohen Drücken sollte jedoch folgende Kombination den Mindestaufwand darstellen:

- Ringpreventer
- Backenpreventer
- Backenpreventer

Die Kombination der Backenpreventer erfolgt nach den unter 3.2.5.2. aufgeführten Varianten 1 bis 4. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Kombinationen sind dort eingehend beschrieben. Der Ringpreventer sollte auch hier als Sicherheits- und nicht als Arbeitspreventer betrachtet werden, damit zu jeder Zeit und in jeder Situation ein Abschluß des Bohrloches garantiert ist.

### 3.3. Spezielle Ausrüstungen für den Abschluß des Bohrloches

#### 3.3.1. Untertagepreventer

Eine von dem normalen Preventer abweichenden Konstruktion ist der Untertagepreventer. Bild 16 zeigt den Aufbau und die Wirkungsweise in vier charakteristischen Phasen. Die Arbeitsweise des Untertagepreventers entspricht in vieler Hinsicht der eines Packers. Der besondere Vorteil liegt darin, daß der Ringraum direkt über dem Bohrwerkzeug oder über den Schwerstangen abgeschlossen werden kann, so daß vom Zeitpunkt des Schließens dieses Untertagepreventers kein weiterer Zufluß aus der Lagerstätte in das Bohrloch erfolgen kann.

Die Verhinderung weiteren Zuflusses aus der Lagerstätte ist besonders wichtig für ein komplikationsfreies Auszirkulieren des bereits in das Bohrloch eingedrungenen Lagerstättenmediums. Das Auszirkulieren erfolgt unter diesen Umständen bei verminderten Kopfdrücken.

Die weiteren Vorteile liegen in erster Linie darin, daß Hochdruckschichten von den übrigen Formationen isoliert werden können und dadurch die Gefahr des Aufbrechens von Schichten

mit geringen Druckgradienten vermindert werden kann. Natürlich können auf diese Weise auch Rohrtouren, besonders wenn sie durch langes Bohren bereits stark verschlissen sind, geschützt werden. Eine große Sicherheit gewährleistet der Untertagepre-venter beim unterbalancierten Bohren; in manchen Fällen wird er es sogar erst ermöglichen. Auf diese Weise nimmt er indi-rekten Einfluß auf die Erhöhung des Bohrfortschrittes.

Der Einbau des Untertagepackers erfolgt gewöhnlich oberhalb der Schwerstangen in den Bohrstrang. Während des normalen Bohrens hat er das in a) des Bildes 16 dargestellte Aussehen. Bei einem drohenden Ausbruch wird ein Stopfen 1 eingepumpt. Da zu diesem Zeitpunkt bereits ein Gegendruck herrscht, ist das Vorhandensein eines Kellyhahnes von Vorteil. Der Stopfen gelangt in den Untertagepre-venter und rastet dort in einen Sitz inner-halb einer durch Abscherstifte gehaltenen Buchse ein.

Bei einer Druckerhöhung von etwa  $35 \text{ kp cm}^{-2}$  scheren die Stifte ab, die Buchse bewegt sich nach unten und gibt die Öffnung zum Aufpumpen des Packergummi-elementes frei b).

Durch weiteres Pumpen wird das Gummielement an die Bohrloch-wand gepreßt, bis der Hohlraum hinter dem Gummielement gänzlich gefüllt ist. Bei einem Druck von  $165 \text{ kp cm}^{-2}$  erfolgt ein Ab-scheren der sich in den seitlichen Austrittsöffnungen oberhalb des Packerelementes befindenden Verschlüssen 5. Die Spülung kann jetzt hier austreten, d. h., die Zirkulation über den Ring-raum ist möglich c). Die hinter den Packerlementen eingepreßte Flüssigkeit wird durch Rückschlagventil gehalten. Nach Abschluß des Zirkulationsvorganges wird ein zweiter Stopfen eingepumpt 8, mit dessen Hilfe eine zweite Schiebehülse 9 nach unten be-wegt wird. Dadurch werden die Zirkulationsöffnungen verschlos-sen. Gleichzeitig wird die Öffnung 10 geöffnet, und dadurch wer-den die Packerelemente entspannt. Wenn die Buchse 9 die unter-ste Lage erreicht hat, gibt sie vier Öffnungen frei 12, über die dann wieder eine Zirkulation über das Bohrwerkzeug möglich ist d).

Diese Zirkulation kann jedoch nur über kurze Zeitabschnitte er-folgen, z. B. zum Zwecke des Umlaufspülens vor dem Ausbau. Soll längere Zeit zirkuliert werden, z. B. weiteres Bohren, müssen

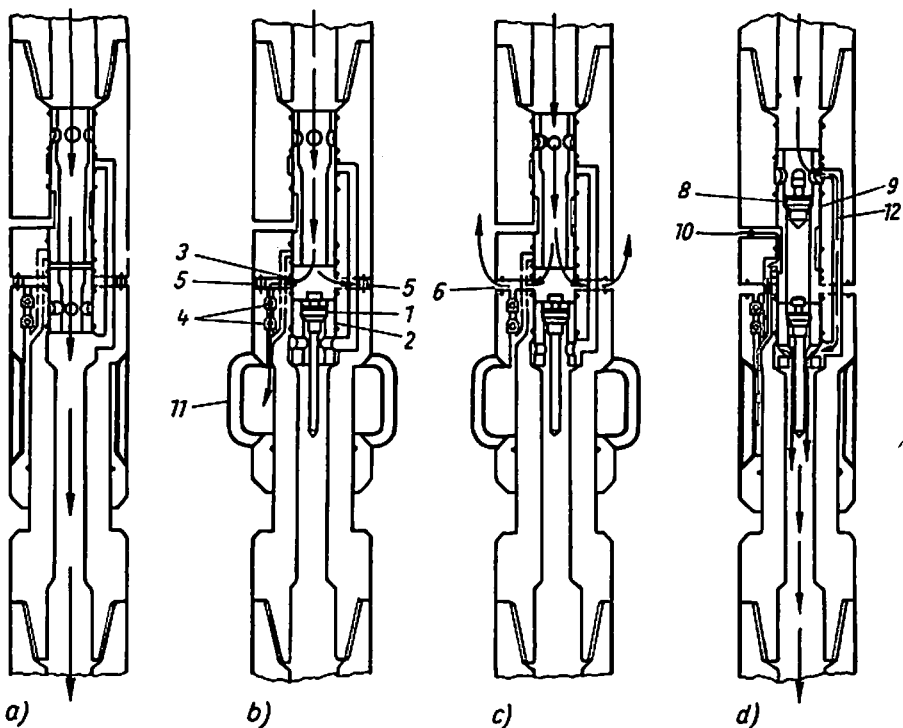


Bild 16. Untertagepreventer /9/  
a Ausgangsstellung

b Aufpumpen des Packerelements

c Zirkulation über den Ringraum

d Entlasten des Packers und Zirkulation über die Bohrlochsohle

1 Stopfen

2 Schiebehülse

3 Öffnung zum Packerelement

4 Rückschlagventil

5 Verschlüsse der Austrittsöffnungen

6 Austrittsöffnungen für Zirkulation über den Ringraum

7 ausgepumpte Flüssigkeit

8 Stopfen

9 Schiebehülse

10 Austrittsöffnung für Entlastung des Packers

11 Packerlement

12 Öffnungen für Zirkulation über Bohrwerkzeug

die im Untertagepreventer befindlichen Stopfen mittels Seiles gezogen werden.

### 3.3.2. Einpumpbarer Innenpreventer

Der Innenpreventer (Bild 17) dient dem Abschluß des Gestängequerschnittes. Er ist ein einpumpbares Rückschlagventil. Der besondere Vorteil gegenüber dem stationären Rückschlagventil liegt darin, daß es erst zum benötigten Zeitpunkt eingesetzt wird. Dadurch werden folgende wesentliche Nachteile des stationären Rückschlagventiles ausgeschaltet:

- Erzeugung starker Druckwellen beim Einbau
- Fehlen einer Kontrollmöglichkeit des Gestängekopfdruckes
- starker Verschleiß des Kugelsitzes während des Bohrens durch den Spülungsumlauf
- keine Seilarbeiten im Gestängestrang möglich (z. B. Seilkerngerät)

Der risikolose Einsatz des Innenpreventers wird durch die Verwendung eines Kellyhahnes gewährleistet. Das Einschleusen des Innenpreventers erfolgt in der Weise, daß der zwischen Kelly und Spülkopf befindliche Kellyhahn (nach vorheriger Messung des Gestängekopfdruckes) geschlossen wird; anschließend wird der Innenpreventer durch den Spülkopf eingeführt und nach Öffnen des Kellyhahnes bis auf den im Gestängestrang befindlichen Spezial-Tool-Joint mit Stopring gepumpt (Bild 17a).

Bei der Verwendung von Kellyhähnen mit Rechtsgewinde, die zwischen Kelly und Bohrstrang eingebaut werden, ist die Verfahrensweise einfacher. Der Bohrstrang wird hochgefahren, bis sich der Kellyhahn über dem Drehtisch befindet. Nach Schließen des Kellyhahnes wird die obere Verbindung (zwischen Kelly und Kellyhahn) gebrochen und an dieser Stelle der Innenpreventer eingeführt.

Der Innenpreventer Typ Hydril besteht im einzelnen aus folgenden Teilen: (Bild 17b)

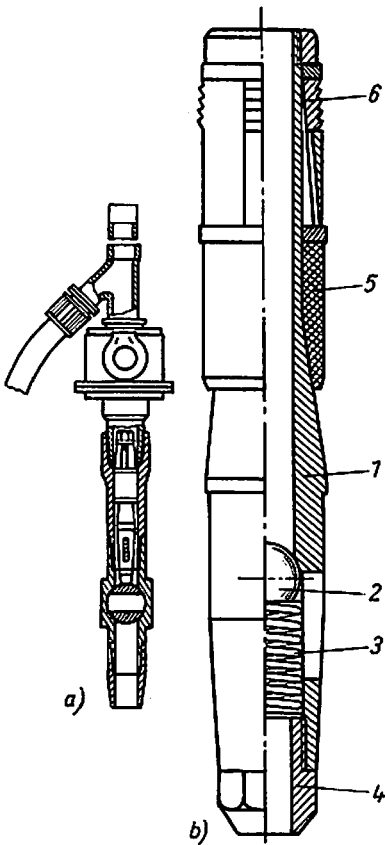
- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| - Preventerkörper | - Hohlschraube      |
| - Kugelventil     | - Gummipacker       |
| - Ventildfeder    | - Verankerungskeile |

Im unteren Teil des Preventerkörpers ist das federbelastete Kugelventil untergebracht. Es ist durch eine Hohlschraube ge-

Bild 17  
Einpumpbarer Innenpreventer

- /3/  
a) Einschleusen des einpumpbaren Innenpreventers  
b) einpumpbarer Innenpreventer

- 1 Preventerkörper  
2 Kugelventil  
3 Ventiltfeder  
4 Hohlschraube  
5 Gummipacker  
6 Verankerungskeile



sichert. Ein in der Mitte des Körpers angebrachter Stop-Ring-Anschlag leitet den darüber liegenden Konus des Packersitzes ein. Im oberen Teil sind die Spreizkeile untergebracht. Im Bedarfsfalle wird der Innenpreventer in das Bohrgestänge eingelassen und mit Hilfe der Spülpumpen bis zu dem an entsprechender Stelle im Gestänge eingebauten Spezial-Tool-Joint gepumpt. Dort wird er in einem eingeschraubten Stopring gelandet. Bei Gegendruck aus der Lagerstätte schließt sich das Kugelventil, der Körper wird angehoben und der Konus spreizt den Packer, der die Außenabdichtung herstellt. Die darüber angeordneten Keile verankern den Packer gegen eine Bewegung nach oben. Die im Spezial-Tool-Joint eingedrehten Rillen unterstützen die



Verankerung der Keile, die ebenfalls mit eingedrehten Rillen versehen sind.

Bei der Verwendung des Innenpreventers ohne Spezial-Tool-Joint ist seine Funktion in Frage gestellt. Die Ursachen können sein:

- Die Spreizkeile finden am glatten Gestänge keinen Sitz für die Verankerung, und der Innenpreventer wird bei Gegendruck nach oben getragen.
- Der Innenpreventer wird in den Bereich eines größeren Querschnittes überpumpt, in dem eine äußere Abdichtung durch den Packer unmöglich wird.

### 3.3.3. Kellyhahn

Der Kelly- oder Sicherheitshahn hat die Aufgabe, im Bedarfsfall das völlige Absperrn des Bohrgestänges zu ermöglichen.

Das kann erforderlich sein

- zur Sicherung des übertägigen Spülungsmanifolds vor hohen Bohrlochdrücken
- zum Einschleusen des Innenpreventers
- zum Aufsetzen des Havarieschiebers
- zum Feststellen des Kopfdruckes

Es gibt zwei verschiedene Bauarten von Kellyhähnen:

1. der Sicherheitshahn über dem Kelly (Bild 18)
2. der Sicherheitshahn unter dem Kelly (Bild 19).

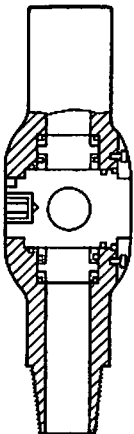


Bild 18  
Sicherheitshahn über dem Kelly /5/

Zu 1.: Dieser Sicherheitshahn wird zwischen Kelly und Spülkopf eingebaut. Er ist äußerlich an der Verdickung im Bereich des Kükens erkennbar. Er hat beidseitig Lingsgewinde. Sein besonderer Nachteil besteht darin, daß im Falle einer Eruption das Schließen meist nur unter großen Schwierigkeiten möglich ist, da er sich relativ hoch über dem Drehtisch befindet. Ein Havarieschieber kann nur aufgesetzt werden, wenn ein stationäres Rückschlagventil oder ein Innenpreventer im Gestänge den Rückdruck verhindert.

Zu 2.: Dieser Sicherheitshahn wird zwischen Kelly und Rohrstrang eingebaut. Seine äußere Gestaltung gestattet ein Ab-

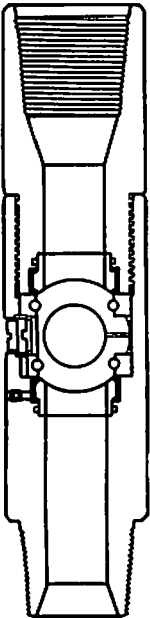


Bild 19  
Sicherheitshahn unter dem Kelly /5/

dichten im Preventer. Er hat auf beiden Seiten Rechtsgewinde. Nach Anheben der Bohrgarnitur kann er jederzeit unmittelbar über dem Drehtisch geschlossen werden. Alle weiteren Operationen wie Kelly abschrauben, Havarieschieber aufsetzen, Kopfdruck messen, Einschleusen des Innenpreventers u. ä. können ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden.

### 3.4. Eruptionskreuz

Nach Abschluß der Bohrarbeiten, d. h. nach Erreichen der Endteufe und Durchführung entsprechender Überleitungsarbeiten beginnt der Test der Bohrung und anschließend - vorausgesetzt der Test bringt entsprechende positive Ergebnisse - die Förderung.

Zur Durchführung der Test- und Förderarbeiten ist es notwendig, die während der Bohrarbeiten auf dem Bohrloch befindliche Bohrlochkopfausrüstung zu ändern. Der Preventeraufbau wird bis zum Kolonnenkopf entfernt. Auf dem Futterrohrdoppelflansch, in dem die Endrohrtour abgefangen wurde, wird der Steigrohrdoppelflansch montiert.

Es ist nun möglich, den Steigrohrstrang in das Bohrloch einzubauen. Er wird im Steigrohrdoppelflansch mit Hilfe eines Hängernippels abgefangen.

Auf den Steigrohrdoppelflansch wird das Eruptionskreuz montiert. Es besteht aus Hochdruckschiebern, die in der in Bild 20 gezeigten Weise montiert werden.

Die Anordnung nach Art eines Kreuzes hat zu der Bezeichnung Eruptionskreuz geführt.

Mit Hilfe eines solchen Eruptionskreuzes ist es möglich, den Druck und die Durchflußmenge des zu fördernden Mediums zu regeln. Es ist möglich, Medien verschiedenster Art in die gewünschte Richtung zu lenken, und es besteht auch die Möglichkeit des Einpumpens in den Ringraum (zwischen Steigrohrstrang und Endrohrtour) und in den Steigraum (Innenraum des Steigrohrstranges).

Eine entsprechende Ausrüstung mit Manometern und Thermometern gestattet Messungen des Drucks und der Temperatur.

Die Weiterentwicklung des Eruptionskreuzes hat zu Konstruktionen in Blockausführung geführt. Ein zentrales Gehäuse in Y- oder H-Blockausführung ist mit zwei Hauptschiebern, einem Swabschieber und zwei Seitenschiebern ausgerüstet.

Durch die Blockausführung sind die Möglichkeiten auftretender Undichtheiten stark eingeschränkt, da die Anzahl an Flanschverbindungen wesentlich geringer ist.

Eruptionskreuz in Y-Ausführung werden wegen der strömungstechnischen günstigen Bedingungen bevorzugt eingesetzt.

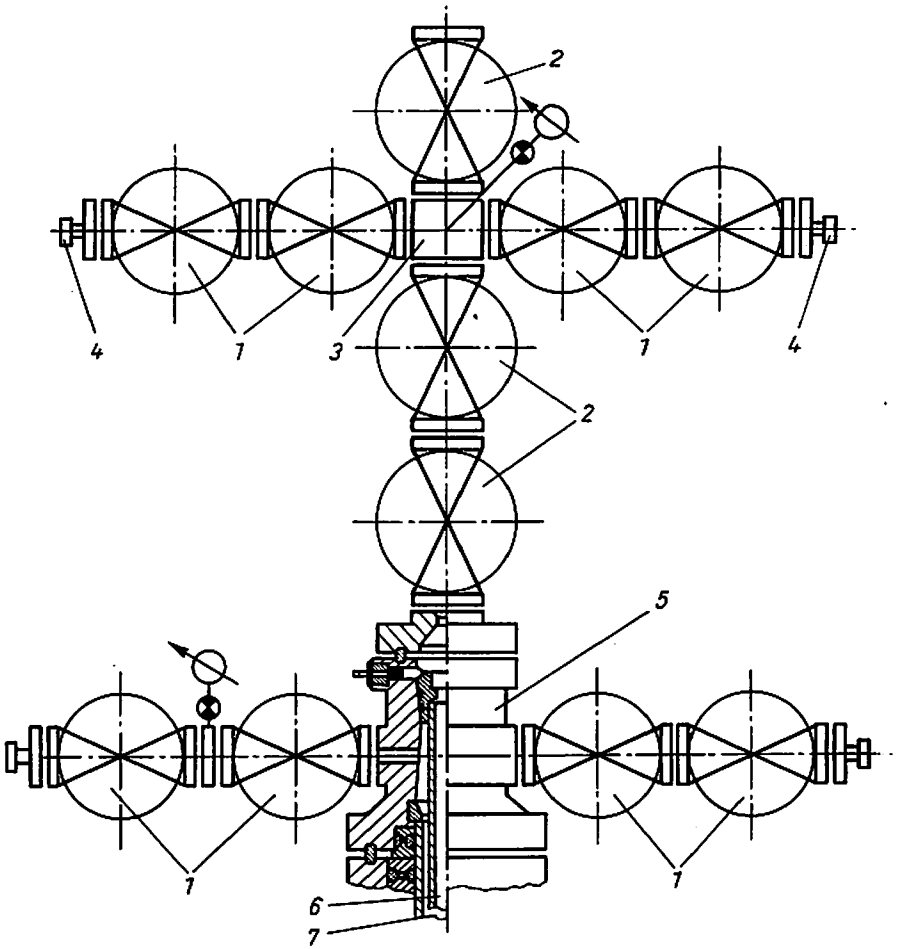


Bild 20. Eruptionskreuz  
 1 Hochdruckschieber 2 1/16"; 700 kp cm<sup>-2</sup>  
 2 Hochdruckschieber 2 9/16"; 700 kp cm<sup>-2</sup>  
 3 Kreuzstücke 2 1/16" x 2 9/16"; 700 kp cm<sup>-2</sup>  
 4 Flansch 2 1/16"; 700 kp cm<sup>-2</sup>; 2" Schnellverschluß  
 5 Steigrohrdoppelflansch  
 6 Steigrohrstrang  
 7 Produktionsrohrtour

3.5. Totpump- und Entlastungsmanifold

3.5.1. Aufgaben des Totpump- und Entlastungsmanifolds

Unter Totpump- und Entlastungsmanifold versteht man das am Bohrloch angeschlossene Leitungssystem, das der Erhaltung bzw.

Wiederherstellung des Druckgleichgewichtes im Bohrloch dient.

Es muß zwei Funktionen erfüllen:

1. Entlasten des unter Druck stehenden Bohrloches
2. Einpumpen in das unter Druck stehende Bohrloch

Das Leitungssystem besteht aus einer Entlastungsleitung und einer Totpumpleitung. Sie werden am Bohrlochkopf an dem zwischen Kolonnenkopf und Preventer befindlichen Spülflansch angeschlossen.

An Preventern neuerer Bauart ist es möglich, eine zweite Entlastungsleitung anzuschließen.

In der Entlastungsleitung befinden sich regelbare Düsen, mit deren Hilfe ein kontrolliertes Auszirkulieren von Gas oder anderen aus dem Gebirge in das Bohrloch eingedrungenen Medien möglich ist. Durch Veränderung des Leitungsquerschnittes kann der Druck am Bohrlochkopf so geregelt werden, daß ständig ein Druckgleichgewicht im Bohrloch herrscht. Auf diese Weise wird eine Eruption, d. h. ein unkontrolliertes Austreten von Gas, Öl oder Lauge aus dem Bohrloch, verhindert.

Die Hauptaufgabe des Totpump- und Entlastungsmanifolds besteht demnach in einer rechtzeitigen und wirksamen Verhinderung einer drohenden Eruption und ermöglicht dadurch den risikolosen Aufschluß von Lagerstätten, insbesondere von unter hohem Druck stehenden Gaslagerstätten (Bild 21).

Daraus ergeben sich für das Totpump- und Entlastungsmanifold eine Reihe grundsätzlicher Anforderungen:

- Die Entlastung erfolgt grundsätzlich über regelbare Düsen.
- Hinter der Regeldüse sind Zuleitungen erforderlich zu dem Spülungskreislauf, d. h. in die Spülungsbehälter der Schlammgrube bzw. in die Atmosphäre den Fackeln bzw. zur Separatorenstation.
- Die Regeldüsen sind paarweise anzuordnen, da sie einem hohen Verschleiß unterliegen. Die Anordnung muß so erfolgen, daß der Wechsel von einer auf die andere Düse in kürzester Zeit erfolgen kann.
- Die Anordnung der Entlastungsleitungen hat so zu erfolgen, daß die Entlastung über den vollen Querschnitt möglich ist.

Es ist auf eine möglichst geradlinige Verlegung der Leitungen zu achten.

- Sämtliche Leitungen (Hauptentlastungsleitung, Zusatzentlastungsleitung, Totpumpleitung) müssen beide Funktionen, Entlasten und Einpumpen in das Bohrloch, gewährleisten.

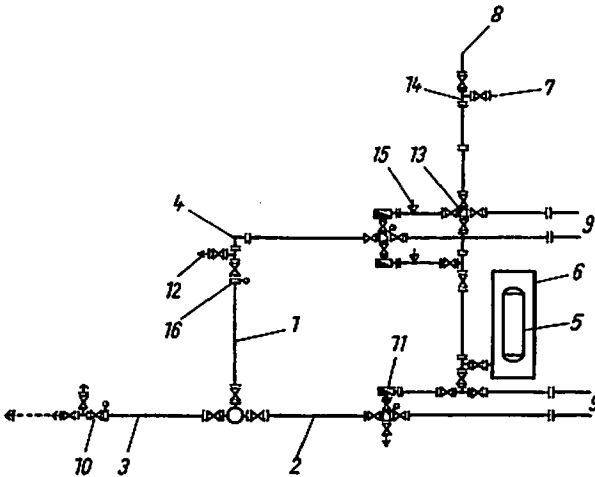


Bild 21. Prinzipschema eines Totpump- und Entlastungsmanifolds /5/

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1 Hauptentlastungsleitung        | 9 Leitungen zur Schlammmulde |
| 2 Zusatzentlastungsleitung       | 10 Schieber                  |
| 3 Totpumpleitung                 | 11 Regeldüse                 |
| 4 Deflektor                      | 12 Schnellverschluss         |
| 5 Degaser                        | 13 Kreuzstück                |
| 6 Spülungsbehälter               | 14 T-Stück                   |
| 7 Leitung zur Separatorenstation | 15 Methanoleinspritzung      |
| 8 Leitung zur Fackelbatterie     | 16 Manometerzwischenstück    |

- Die Möglichkeit des Einpumpens in das Bohrloch mit den Pumpen der Bohranlage muß gewährleistet sein.
- Trotz möglichst kurzem übertägigem Spülungsstromlauf (genaue Messung der Zulaufmenge) soll eine gute Entgasung der Spülung (Degaser, Prallbox) erfolgen.
- Sämtliche Leitungen und Schiebergruppen müssen zuverlässig verankert sein.

- Der Abstand der Fackelbatterie von der Bohrlochmitte soll mindestens 60 m betragen.
- Der Aufbau des Entlastungsmanifoldes hat so zu erfolgen, daß garantiert werden: maximale Austauschbarkeit der Ausrüstungsteile und Baugruppen; Erleichterung von Montage, Demontage und Transport durch günstige Anordnung, so daß das Manifold in wenigen Einheiten transportiert werden kann (Montage auf Schlitten); ausschließliche Verwendung eines Typensortiments, so daß Sonderanfertigungen vermieden werden.

Bild 21 zeigt ein Schema, in dem die genannten Anforderungen prinzipiell dargestellt sind. Es zeigt auch, mit welchem Mindestaufwand an Material das Totpump- und Entlastungsmanifold ausgerüstet sein muß.

### 3.5.2. Regelbare Düsen

#### 3.5.2.1. Düsenschieber

Die derzeit gebräuchlichste Druckregulierung beim Entlasten des Bohrloches geschieht durch Düsenschieber. Sie ermöglichen eine stufenlose Regelung des Druckes, was mit den früher üblichen fixen Düsen nicht möglich war. Hier war eine Änderung des Düsenquerschnittes durch Wechseln des Düseneinsatzes nötig. Der Nachteil bestand darin, daß keine kontinuierliche Druckregelung möglich war, da es beim Auswechseln der Düseneinsätze zu Unterbrechungen des Zirkulationsvorganges kam.

Bild 22 zeigt einen Düsenschieber im Querschnitt. Er verfügt über zwei Flanschanschlüsse für den Einlaß und Auslaß. Die eigentliche Düse besteht aus einem Düsensitz und einer Düsennadel, die durch Drehen am Handrad in horizontaler Richtung über eine Spindel bewegt wird. Auf diese Weise ist es möglich, die Querschnittsfläche in der Düse zu vergrößern oder zu verringern. Die Düse unterliegt auf Grund der hohen Fließgeschwindigkeiten des zu regelnden Mediums einem hohen Verschleiß.

Durch konstruktive Gestaltung und geeignete Materialauswahl kann dieser Verschleiß wesentlich beeinflußt werden. Bild 23 zeigt zwei verschiedene Formen der Düsennadel.

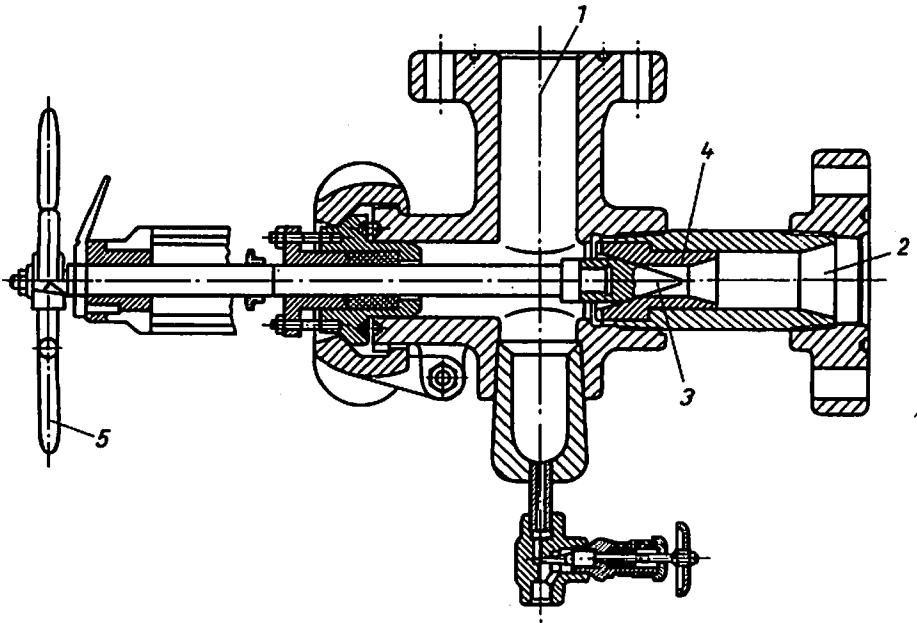


Bild 22. Düsenschieber /5/  
 1 Einlaß                    4 Düseneinsatz  
 2 Auslaß                    5 Handrad  
 3 Düsennadel

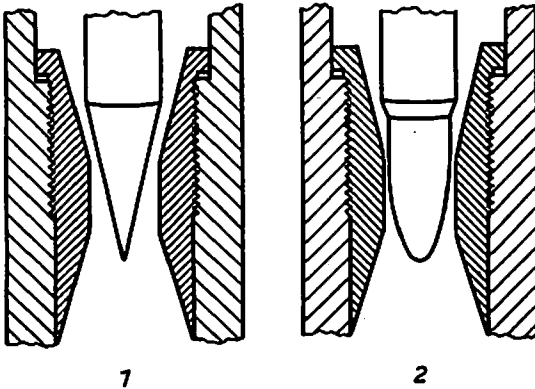


Bild 23  
 Gestaltung der Düsen-  
 nadel /5/  
 1 kegelförmige Düsen-  
 nadel  
 2 parabelförmige Düsen-  
 nadel

Im Normalfall wird die spitze Form 1 des Rundkegels verwendet. Die Parabelform 2 gestattet eine allmählichere Freigabe des Düsenquerschnittes und eignet sich deshalb besser für Feineinstellungen.



Bild 24 zeigt den Einfluß der Gestaltung des Düseninsertes auf den Düsenstrahl. Das Fehlen eines allmählichen konischen Auslaufes führt zu starken Wirbelbildungen, was sich in jedem Fall verschleißfördernd auswirkt.

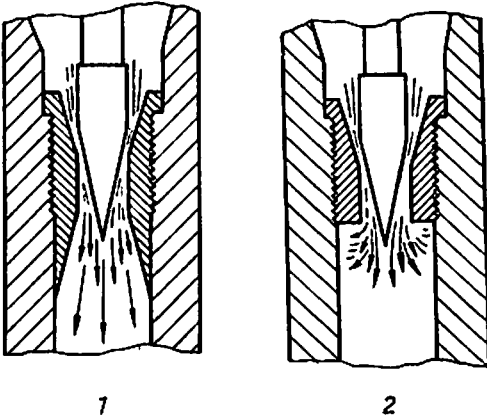


Bild 24  
Gestaltung des Düseninsertes /5/  
1 konischer Auslauf des Düseninsertes  
2 starke Wirbelbildung bei Düseninsert ohne konischen Auslauf

Zwei spezielle Konstruktionen sind in Bild 25 dargestellt. Eine elektrisch aufheizbare Düsennadel ist links im Bild 1 dargestellt.

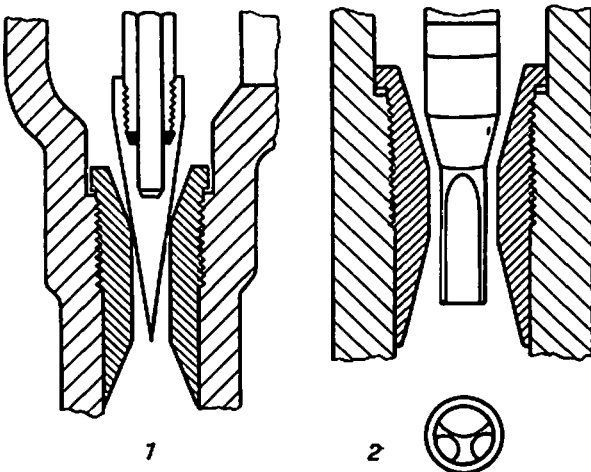


Bild 25. Spezielle Düsenkonstruktionen /5/  
1 elektrisch aufheizbare Düsennadel  
2 spezielle Gestaltung der Düsennadel für hohe Fließgeschwindigkeiten

Die durch Expansion auftretenden Vereisungserscheinungen und Paraffinablagerungen können damit verringert werden. Die rechte Darstellung 2 zeigt eine spezielle Gestaltung der Düsenadel, um bei sehr hohen Fließgeschwindigkeiten Kavitationserscheinungen verhindern zu können.

Weitere Möglichkeiten zur Verringerung des Verschleißes liegen in einer geeigneten Werkstoffauswahl. Es werden hochverschleißfeste Stähle, Hartmetalle und auch Keramik verwendet.

### 3.5.2.2. Hydraulisch und pneumatisch regelbare Düsen

Eine wesentliche Verbesserung der Regeldüsen wird durch einen hydraulischen oder pneumatischen Antrieb erreicht. Das sofortige Reagieren der Düse ermöglicht eine rasche Folge von Druckänderungen. Außerdem ist eine Fernsteuerung möglich, wodurch die Sicherheit der an der Sonde Beschäftigten wesentlich erhöht wird. Durch den hydraulischen oder pneumatischen Antrieb ergeben sich auch andere konstruktive Möglichkeiten für die Regeldüsen. Bild 26, 28 und 29 zeigen sogenannte Gummidüsen. Bei diesen Düsen wird die Größe der Durchflußöffnung, die sich in einem flexiblen Gummielement befindet, durch Dehnung oder Verkürzung derselben verändert. Bei der im Bild 26 dargestellten Gummidüse wirkt ein ringförmiger Hydraulikstempel auf die Stirnfläche des Gummiteiles. Je nach Höhe des Druckes auf den Hydraulikstempel und des anstehenden Sondendruckes ergibt sich eine bestimmte Düsenöffnung.

Die Düse ist mit einem Kontrollpult verbunden, von dem aus das Regeln erfolgt. Da hier auch die Drücke vor und hinter der Düse angezeigt werden, kann an diesem Schaltpult von einer Person der Ringraumgedruck reguliert werden (Bild 27). Dabei ermöglicht das sofortige Reagieren der Düse eine rasche Folge

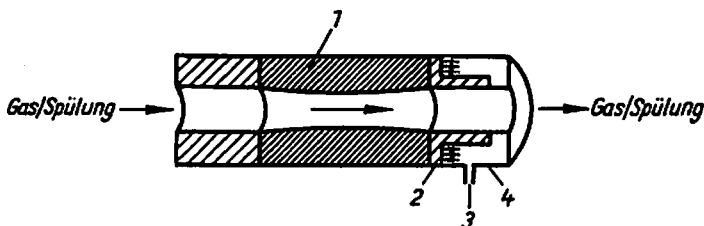


Bild 26  
Gummidüse /6/  
1 Gummielement  
2 Preßstempel  
3 Druckmedium  
(Hydrauliköl)  
4 Druckraum

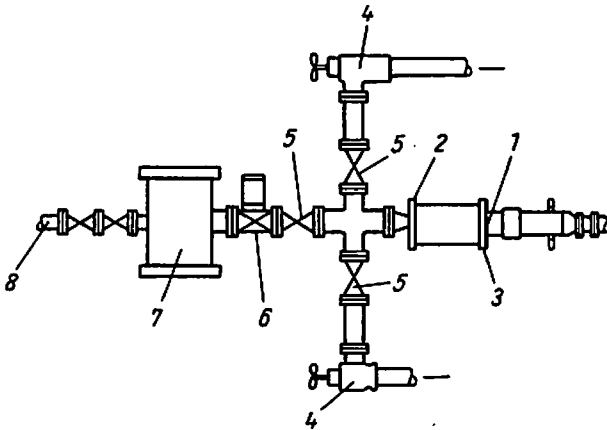


Bild 27. Anordnung einer hydraulisch geregelten Düse im Entlastungsmanifold /5/

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| 1 hydraulische Düse         | 5 hydraulisch betätigter Schieber                   |
| 2 Leitung zum Regulierstand | 7 Doppelflansch zwischen Preventer und Kolonnenkopf |
| 3 hydraulische Druckleitung | 8 Totpumpleitung                                    |
| 4 Düsenschieber             |   |
| 5 Schieber                  |   |

von Druckänderungen, was beim Auszirkulieren durchaus notwendig sein kann. Ein weiterer Vorteil dieser hydraulischen Gummidüse besteht in dem im Verhältnis zu regelbaren Düsen anderer Art relativ geringen Verschleiß. Es wird ein hochverschleißfester, ölresistenter Gummi verwendet.

Ein gleichartiges Prinzip ist in Bild 28 dargestellt. Die Durchlaßöffnung hat hier lediglich einen sternförmigen Querschnitt.

Bild 29 zeigt eine pneumatisch betriebene Gummidüse (Firma Regan). Das Gummielement wird hier nicht von der Stirnseite, sondern von der Außenfläche durch Druck belastet. Dadurch verformt

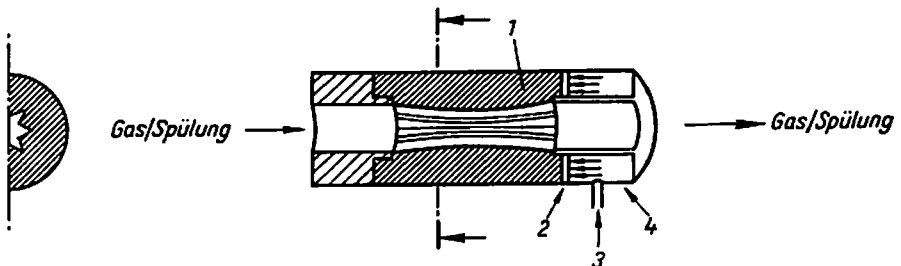


Bild 28  
Gummidüse mit sternförmiger Querschnittsöffnung /6/  
1 Gummielement 2 Preßstempel 3 Druckmedium 4 Druckraum

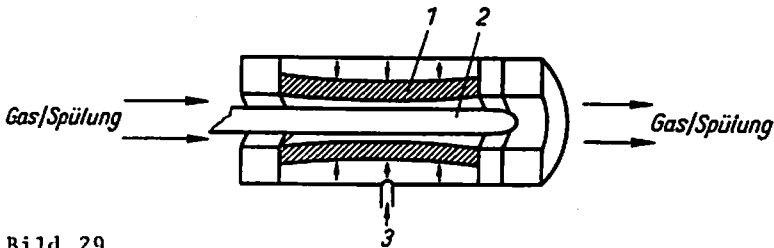


Bild 29  
Pneumatische Gummidüse /6/  
1 Gummielement 2 Düsennadel 3 Druckmedium (Stickstoff)

sich der schlauchförmige Gummikörper in der Weise, daß die innere Durchlaßöffnung, in der sich eine Düsennadel befindet, kleiner wird. Als Medium für die Druckübertragung wird hier Stickstoff verwendet.

Außer den Gummidüsen gibt es eine ganze Reihe anderer Konstruktionen, die auf hydraulischem oder pneumatischem Antrieb beruhen.

Ein Beispiel dafür ist die in Bild 30 gezeigte Regeldüse der Firma Dresser- Magcobar. Sie hat zwei gegeneinander verdrehbare Hartmetallscheiben mit halbkreisförmigen Öffnungen.

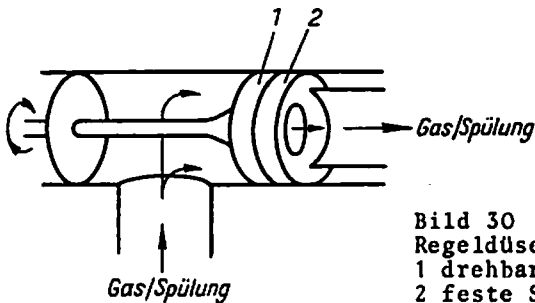


Bild 30  
Regeldüse von Dresser-Magcobar /6/  
1 drehbare Scheibe  
2 feste Scheibe  
3 Drehantrieb

Eine dieser direkt nebeneinander liegenden Scheiben wird durch hydraulischen Antrieb gedreht, und so wird je nach Stellung ein gewisser Teil der Öffnung frei, d. h. die Durchlaßöffnung kann von Null bis zum Maximum reguliert werden.

Eine andere Konstruktion, die Cameron-AX-Düse, hat einen zylindrischen Hartmetallstopfen, der durch hydraulischen Antrieb in horizontaler Richtung bewegt wird und eine Düsenöffnung mehr oder weniger verschleißt (Bild 31).

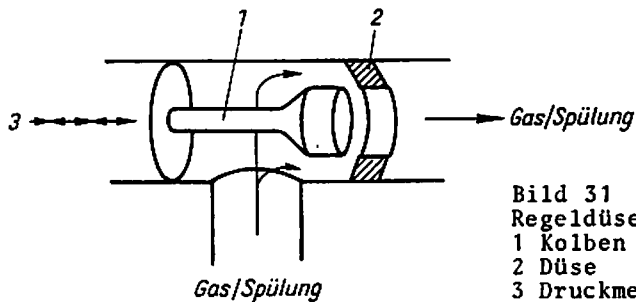


Bild 31  
 Regeldüse Cameron-AX /6/  
 1 Kolben  
 2 Düse  
 3 Druckmedium

### 3.5.3. Hochdruckschieber

Im Totpump- und Entlastungsmanifold befindet sich eine gewisse Anzahl an Hochdruckschiebern. Dadurch ist es möglich, den Leitungsquerschnitt an bestimmten Stellen zu verschließen und auf diese Weise das durchfließende Medium in der gewünschten Richtung durch das Leitungssystem zu steuern.

Es können also bestimmte Leitungen oder das gesamte Leitungssystem verschlossen werden. Da das gasförmige oder flüssige Medium unter sehr starkem Druck stehen kann, werden an die Dichtigkeit der Hochdruckschieber große Anforderungen gestellt. Sie müssen sich auch unter Druck rasch und leicht schließen und öffnen lassen. Mit normalen Keilschiebern herkömmlicher Bauart (Bild 32) ist das nicht immer möglich.

Moderne Hochdruckschieber haben deshalb hydraulischen Antrieb. Es gibt auch Konstruktionen, die wahlweise hydraulisch oder pneumatisch betrieben werden. Diese Art des Antriebes gestattet eine Fernsteuerung, so daß die Hochdruckschieber in eine zentrale Fernsteuerung des gesamten Systems der Bohrlochsicherung einbezogen werden können. Dadurch ist die notwendige Übersicht bei Eruptionsbekämpfungsarbeiten gewährleistet, was den Sicherheitsanforderungen in bester Weise Rechnung trägt.

Um eine hohe Lebensdauer zu garantieren, sind Hochdruckschieber neuester Konstruktion mit erosionsbeständigen Gummidichtungselementen ausgestattet.

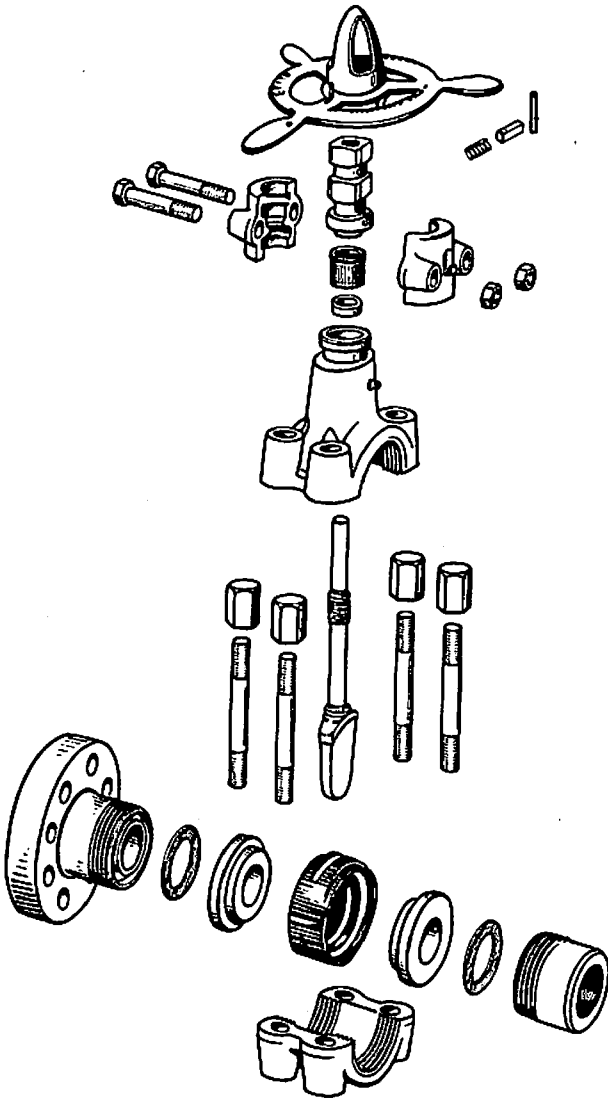


Bild 32. Hochdruckschieber /3/

### 3.6. Meß-, Warn-, Kontrollgeräte

Der wichtigste Grundsatz für die Verhinderung von Eruptionen ist das rechtzeitige Erkennen von Zuflüssen im Bohrloch. Auch Zirkulationsverluste jeder Art müssen genauestens registriert

werden, da es in ihrer Folge zu Ausbrüchen kommen kann. Die Geräte zur Kontrolle von Zuflüssen bzw. Verlusten im Bohrloch sind deshalb ein wichtiger Bestandteil des Gesamtkomplexes an Ausrüstungen für den Bohrlochabschluß. Sie müssen folgende Forderungen erfüllen:

- kontinuierliches Messen und Anzeigen von Veränderungen des Zirkulationsvolumens
- durch Kopplung der Meßgeräte mit Flanscheinrichtungen Möglichkeit einer Frühwarnung
- durch Kopplung mit Schreibgeräten Möglichkeit der Dokumentation und späteren Auswertung

Andere Geräte, die Bedeutung für die Eruptionsprophylaxe haben, sind Geräte zur kontinuierlichen Messung des spezifischen Gewichtes der Bohrspülung und Geräte, die den Gehalt an Kohlenwasserstoffen (Erdöl oder Erdgas) in der Spülung anzeigen und alarmieren.

### 3.6.1. Füllstandsmeßeinrichtung

Füllstandsmeßeinrichtungen sind Geräte, die die Höhe des Flüssigkeitsspiegels in einem Behälter anzeigen. Über einen Schwimmer, der mit einer Anzeigevorrichtung verbunden ist, wird jede Änderung des Flüssigkeitsspiegels registriert. Die Bewegungen des Schwimmers können mechanisch auf ein Zählwerk übertragen werden, sie können aber auch auf hydraulischem oder pneumatischem Wege zu einem Anzeigegerät weitergeleitet werden. Bei anderen Konstruktionen werden die Bewegungen des Schwimmers in elektrische Spannungsänderungen umgewandelt, die an Anzeige- und Schreibgeräte weitergeleitet werden. Grundsätzlich ist es möglich, sämtliche Konstruktionen von Füllstandsmeßeinrichtungen mit optischen oder akustischen Warngeräten zu koppeln.

Ein Nachteil dieser Geräte besteht darin, daß übertägige Einflüsse auf das Spülungssystem (Zugeben von Zusätzen zur Bohrspülung, übertägige Verluste usw.) und die Abnahme des Flüssigkeitsspiegels durch den Bohrfortschritt während des Abteufprozesses die Kontrolle erschweren (Bild 33).

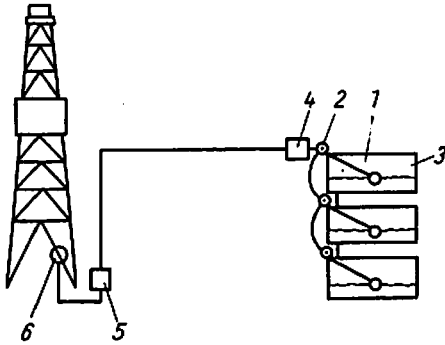


Bild 33  
 Füllstandsmeßeinrichtung /5/  
 1 Schwimmer  
 2 Umwandlungsgerät  
 3 Spülungsbehälter  
 4 Integrator  
 5 Anzeige- und Registrier-  
 gerät  
 6 Alarmglocke oder Blinkgerät

Es ist deshalb notwendig, sämtliche Behälter des Zirkulations-  
 systems mit diesen Geräten auszustatten.

### 3.6.2. Differenzdurchflußmeßgerät

Die zuverlässigste Kontrolle ist ein kontinuierliches Messen  
 der eingespeisten und ausfließenden Spülmengen und eine An-  
 zeige der Differenz zwischen beiden Mengen. Dazu sind zwei  
 Durchflußmeßgeräte erforderlich, die sich einerseits im Druck-  
 manifold, z. B. in der Steigleitung, und andererseits am Aus-  
 tritt der Spülung, möglichst dicht am Bohrlochmund, befinden.

Dazu ist dann noch ein Gerät erforderlich, das die Differenz  
 der beiden Spülmengen direkt anzeigt und registriert und  
 mit einem Warngerät verbunden ist, das bei Überschreiten einer  
 bestimmten, vorher festzulegenden Differenz anspricht (Bild 34)

Die verwendeten Geräte sind induktive Durchflußmesser, man  
 spricht deshalb auch von induktiver Differenzdurchflußmengen-  
 meßmethode.

Eine andere Möglichkeit der Differenzdurchflußmessung ist in  
 Bild 35 dargestellt.

Es ist eine volumetrische Differenzdurchflußmengenmeßmethode.

Die Meßeinrichtung wird am Standrohr oder am Ausguß (über dem  
 Preventer) angeordnet. Ein Schwimmer steuert in Abhängigkeit  
 der Spülingsspiegelhöhe über ein Potentiometer in festzulegen-  
 dem Toleranzbereich den Antriebsmotor einer Pumpe, die die aus-  
 fließende Spülung zum Schüttelsieb pumpt. Bei zunehmendem Volu-  
 men läuft die Pumpe entsprechend schneller, bei abnehmendem



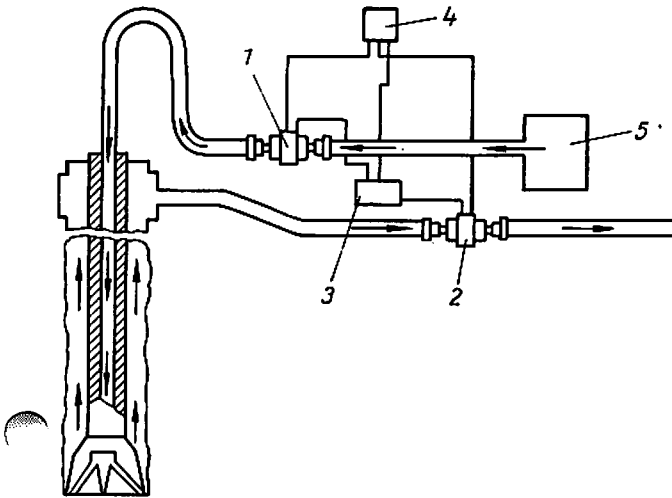


Bild 34. Differentialmeßmethode des Volumengleichgewichtes im Spülungskreislauf /5/

- |                                      |                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 Durchflußmeßgerät im Druckmanifold | 4 Differentialregi-<br>stiergerät |
| 2 Durchflußmeßgerät im Saugmanifold  | 5 Spülpumpe                       |
| 3 Differentialkonverter              |                                   |

Volumen langsamer, um den Spülungsspiegel im vorgegebenen Toleranzbereich zu halten. Hinter der Pumpe erfolgt die Durchflußmessung der ausfließenden Spülung. Sie kann auf Grund des hier vorhandenen Druckgefälles volumetrisch erfolgen.

Da auch die Messung der Zuflußrate volumetrisch erfolgt (Kolbenzähler, Ovalradzähler, Taumelscheibenzähler, Flügelradzähler u. dgl.) ist auf diese Weise eine rein volumetrische Messung möglich, und äußere Beeinflussungen und Ungenauigkeiten sind annähernd ausgeschaltet.

Die Durchflußmengen beider Durchflußmeßgeräte gehen auf eine gemeinsame Meßbrücke. Treten bei Spülungseingang und Spülungsausstritt auf Grund gleicher Durchflußraten gleiche Stromstärken auf, ist die Meßbrücke stromlos. Ein dort fließender Strom zeigt eine Veränderung im Bohrloch an und steuert über einen Verstärker ein Stellglied, das eine Warnung und gleichzeitig den Impuls für die nachfolgenden Steuerfunktionen auslöst.

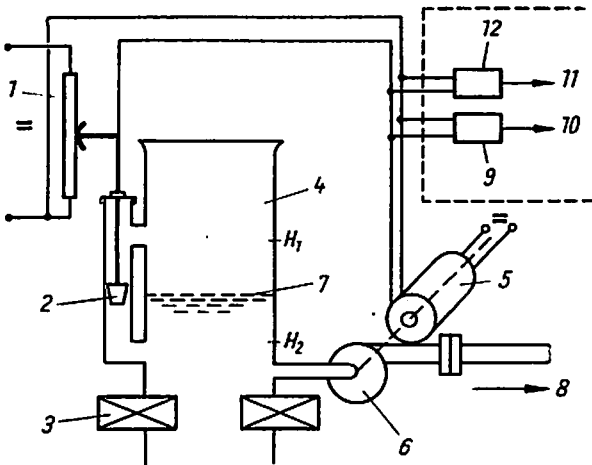


Bild 35. Volumetrische Differenzdurchflußmessung /5/

- |                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 1 Potentiometer    | 7 Spülungsspiegel         |
| 2 Schwimmer        | 8 zum Schüttelsieb        |
| 3 Preventer        | 9 Minimalspannungsrelais  |
| 4 Ausgußrohr       | 10 zum Preventer          |
| 5 Gleichstrommotor | 11 zur Auffüllpumpe       |
| 6 Pumpe            | 12 Maximalspannungsrelais |

### 3.6.3. Dichtemeßgeräte, Gaswarngeräte

Die Dichtemeßgeräte sind für das frühzeitige Erkennen einer drohenden Eruption von geringerer Bedeutung als die unter 3.6.1. und 3.6.2. beschriebenen Geräte. Die kontinuierliche Messung der Spüldichte an zwei Punkten des Spülungskreislaufes (Spülungseingang und -ausgang) ermöglicht das Feststellen von Dichtedifferenzen; das wiederum ermöglicht einen Rückschluß auf die Balance im Spülungskreislauf.

Der Gehalt an gasförmigen oder flüssigen Kohlenwasserstoffen oder sonstigen aus dem Gebirge in das Bohrloch zugeflossenen Medien (z. B. Lauge) läßt sich auf diese Weise erkennen.

Ähnlich verhält es sich mit Gaswarngeräten. Ihr größter Wert besteht in der Bestimmung der Dauer, Intensität und Art von Eruptionsanzeichen. Ihr Wert als Warngerät zur Früherkennung ist in Frage gestellt, da in vielen Fällen ein solches Signal ankündigen würde, daß es für eine planmäßige Eruptionsverhin-

derung, d. h. das Auszirkulieren des Zuflusses aus dem Bohrloch zu spät ist, da das Gas bereits im Bohrloch aufgestiegen und den Bohrlochmund erreicht hat.

### 3.7. Anlage für das hydraulische Schließen der Preventer

An das Schließsystem werden folgende Forderungen gestellt:

- schnelles, sicheres und bequemes Schließen der Preventer
- Das Schließen muß auch bei Stillstand der Bohranlage erfolgen können (Stillegen der Anlage bei Eruption)
- Das Schließen der Preventer muß einzeln erfolgen können
- Das Schließen muß wiederholt möglich sein

Um diesen Forderungen gerecht zu werden, wird ein Schließsystem mit gespeicherter Energie und selbständiger Energiequelle benötigt.

Alle Preventer, Schieber, Ventile, Regeldüsen usw. könnten durch die Primärkraft der Bohranlage betrieben werden. Es kann aber erforderlich sein, die Anlage bei einer Eruption sofort stillzulegen, um Feuergefahr zu vermeiden. Demzufolge muß eine andere Kraftquelle vorhanden sein. Diese muß jederzeit sofort zur Verfügung stehen und regulierbar sein.

Die Bedienung von Hand oder mittels handgetriebener Pumpe ist zu langsam und kann nur als Zusatzeinrichtung für den Notfall akzeptiert werden. Es kommt in erster Linie auf ein rasches Schließen an, da durch Zeitverlust beim Schließen mehr Schichtmedium in das Bohrloch eintritt und dadurch das Risiko größer wird.

Aus diesem Grunde ist ein Vorrat an gespeicherter Energie notwendig. Deshalb werden hydropneumatische Akkumulatoren (Bild 36) verwendet. Diese bestehen aus zwei durch eine Membrane getrennte Kammer. Eine dieser Kammern ist mit Gas (in der Regel Stickstoff) gefüllt. Durch Einpumpen von Flüssigkeit in die andere Kammer wird das Gas auf den gewünschten Druck gebracht. Durch Öffnen des entsprechenden Ventils treibt das komprimierte Gas die Flüssigkeit zum Preventer. Eine Pumpe stellt durch Einpumpen neuer Flüssigkeit aus einem Reservebehälter den alten Druck automatisch jeweils wieder her. Die Akkumulatoren sind

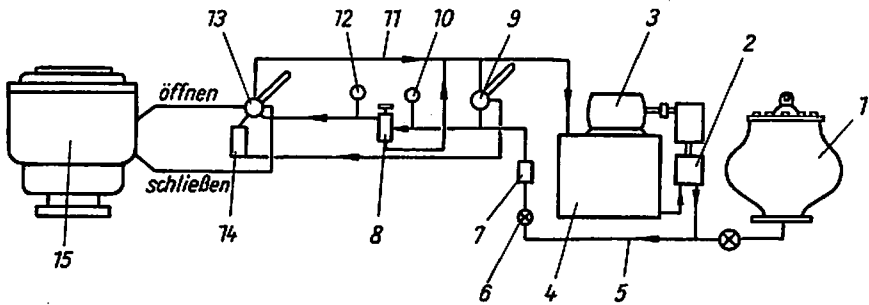


Bild 36. Anlage für das hydraulische Schließen der Preventer /3/

1 hydropneumatischer Akkumulator	10 Manometer-Akkumulator
2 Pumpe	11 Rückflußleitung
3 Elektromotor	12 Manometer-Preventer
4 Behälter	13 Vier-Wege-Reglerhahn
5 Druckleitung	14 Betätigungszyylinder des vierten Wegehahnes
6 Ventil	15 Preventer
7 Rückschlagventil	
8 Reglerventil	
9 Drei-Wege-Reglerhahn	

für Drücke von 105, 140 oder 210  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  ausgelegt. Das Volumen richtet sich nach Anzahl und Größe der zu schließenden Preventer, Schieber, Regeldüsen usw. In manchen Fällen werden mehrere Akkumulatoren notwendig sein. Wichtig ist, daß nach dem Schließen noch ein genügend hoher Druck (ungefähr 80 bis 85  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) bleibt, um die Preventer geschlossen zu halten. Das gilt besonders für die Ringpreventer.

Die Konstruktion der Akkumulatoren erfolgt in Abhängigkeit vom erforderlichen Volumen. Dabei kann von zwei Grundsätzen ausgegangen werden. Entweder ist ein Volumen erforderlich, von dem nach Schließen sämtlicher Einheiten noch 50% Reserve bleiben bei einem Druck von 84  $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$  oder nach Schließen und Öffnen sämtlicher Einheiten eine Reserve von 35% bei dem gleichen Druck verbleibt.

Im allgemeinen werden Akkumulatoren mit zwei oder drei Pumpeinheiten verwendet. Man muß damit rechnen, daß eine Pumpe ausfällt. Außerdem soll das Wiederaufladen möglichst schnell vor sich gehen. Wenn der Ladedruck erreicht ist, schalten die Pumpen automatisch ab.

Das Wiederaufladen muß in jedem Fall möglich sein, also auch bei abgeschaltetem, elektrischem System bzw. Motoren der An-

lage. Das heißt, daß Bohranlagen, bei denen die Ladung der Akkumulatoren von motorgetriebenen Luftkompressoren abhängt, eine zweite Energiequelle brauchen. Dieser separate Antrieb, gleich welcher Art, muß im entsprechenden Sicherheitsabstand von der Bohranlage, möglichst gemeinsam mit den Akkumulatoren, aufgestellt werden.

Die automatische Druckregelung erfolgt mit Hilfe eines Kontaktmanometers, das am Steuerpult montiert ist. Beim eventuellen Versagen des Kontaktmanometers fließt die Flüssigkeit aus dem Akkumulator über ein Sicherheitsventil ab, so daß es nicht zu Überdrücken kommen kann.

Die elektrische Steuerung über Relais umfaßt folgende Funktionen: Inbetriebsetzung, Aufrechterhaltung des Druckes in den festgelegten Grenzwerten, Überlastungsschutz des Motors, Abstellen.

#### 4. Sicherheitstechnische Anforderungen

In den bisherigen Ausführungen ging es in erster Linie um die Sicherheit des Bohrloches, d. h. um die Erhaltung des Bohrloches im Interesse der Nutzbarmachung des in der Lagerstätte anstehenden Energieträgers. Dabei darf die persönliche Sicherheit derer, die um dieses hohe Ziel ringen, nicht außer Acht gelassen werden. Die Arbeit unter den Bedingungen einer drohenden Eruption ist mit großen Gefahren verbunden, und es muß deshalb dafür Sorge getragen werden, daß das Risiko auf ein Minimum beschränkt wird. Es hat sich in der Vergangenheit leider immer wieder gezeigt, daß es in solchen Situationen zu Schäden an der Gesundheit der Beteiligten oder sogar zum Verlust von Menschenleben gekommen ist. Natürlich steht die Sicherheit des Bohrloches mit der Sicherheit der hier Beschäftigten in engem Zusammenhang, wenn man bedenkt, daß durch eine gelungene rechtzeitige Eruptionsbekämpfung der Ausbruch vermieden und dadurch die eigentliche Gefahrenquelle beseitigt ist. Die Frage ist also in erster Linie, unter welchen Umständen und mit welchem Risiko diese Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden. Dazu gibt es einige wesentliche Gesichtspunkte, die einer näheren Betrachtung wert sind.

Um einer gefahrlosen Bedienung sämtlicher zur Bohrlochsicherung gehörenden Einrichtungen gerecht zu werden, werden folgende Forderungen gestellt:

- Wahl einer entsprechend hohen Druckstufe für die Ausrüstungen
- genügend große Sicherheitsabstände
- hydraulischer Antrieb
- Fernsteuerung
- Verankerung
- Kennzeichnung

#### 4.1. Festlegung des Betriebsdruckes für die Bohrlochsicherung

Bei der Festlegung des Betriebsdruckes für die Ausrüstungen der Bohrlochsicherung ist von den geologischen Bedingungen auszugehen. Der Betriebsdruck der Bohrlochsicherung muß dem maximal möglichen Kopfdruck entsprechen, der beim Abteufen des entsprechenden Teufenabschnittes auftreten kann. Er ist abhängig von den Druckverhältnissen und der Teufe der Gebirgsschichten, aus denen Zuflüsse in Form von Gas, Öl oder Lauge in das Bohrloch erfolgen können. Das Druckverhältnis einer Gebirgsschicht ist durch den sogenannten Druckgradienten gekennzeichnet. Dieser gibt das Verhältnis des Schichtdruckes gegenüber dem normalen hydrostatischen Druck an. Aus dem Druckgradienten und der Teufe läßt sich der Druck errechnen, mit dem das Schichtmedium in das Bohrloch drückt. Der maximal mögliche Kopfdruck tritt auf, wenn das gesamte Bohrloch mit Schichtmedium gefüllt und der Gegendruck der Spülungssäule im Bohrloch gänzlich fehlt. Der Kopfdruck entspricht dann dem Schichtdruck abzüglich des Gewichtes des im Bohrloch anstehenden Mediums. Bei Gas ist der Kopfdruck am höchsten, da das Gewicht der Gassäule im Bohrloch relativ gering ist, d. h., der Kopfdruck ist nur um weniges geringer als der Schichtdruck.

Die Ausrüstungen für die Bohrlochsicherung, d. h. Preventer, Kolonnenköpfe, Leitungen, Schieber, Regeldüsen usw. werden in folgenden Druckstufen hergestellt:

140 kp cm<sup>-2</sup>  
210 kp cm<sup>-2</sup>  
350 kp cm<sup>-2</sup>  
700 kp cm<sup>-2</sup>  
1050 kp cm<sup>-2</sup>

Entsprechend den zu erwartenden Bedingungen beim Abteufen des Bohrloches erfolgt die Auswahl der entsprechenden Druckstufe. Dabei sind zwei Grundsätze zu beachten:

- Der maximal mögliche Kopfdruck darf den Betriebsdruck der Bohrlochsicherung nicht überschreiten.
- Sämtliche zur Bohrlochsicherung gehörenden Ausrüstungen müssen für den gleichen Betriebsdruck ausgelegt sein.

Eine Sicherheit ist dadurch gegeben, daß die Bohrlochsicherungs-ausrüstungen in den Herstellerbetrieben mit Prüfdrücken abgedrückt werden, die in der Regel doppelt so hoch wie die zulässigen Betriebsdrücke liegen.

#### 4.2. Sicherheitsabstände, Verankerung, Kennzeichnung

In vielen Fällen hat sich gezeigt, daß durch die beim Entlasten des Bohrloches freiwerdende Energie Leitungen bewegt und aus ihrer alten Lage gehoben werden, so daß unmittelbare Gefahr der hier Arbeitenden besteht. Das bedeutet, daß für ein gefahrloses Bedienen der Absperrorgane und Regeleinrichtungen das Entlastungsmanifold zuverlässig verankert werden muß. Gleichzeitig müssen die für eine Entlastung des Bohrloches in Frage kommenden Leitungen eine Länge aufweisen, die einen genügenden Sicherheitsabstand zum Bohrloch garantieren. Das gilt sowohl für ein freies Entlasten in die Schlammgrube als auch für das Anschlagen von Zementier- oder Fracaggregaten an die Totpumpleitungen. Die Längen der Leitungen sollten betragen:

- Mindestlänge der Entlastungsleitung      60 m
- Mindestlänge der Totpumpleitung          60 m
- Mindestlänge der Leitung zur Fackel      120 m

Schiebergruppen und die Enden der Leitungen sollten eine solide Verankerung erhalten. Es ist dafür zu sorgen, daß die Leitungen sowohl für das Entlasten als auch für das Totpumpen benutzt werden können. Der freie Zugang zu sämtlichen Schiebern und ein sicherer Stand beim Bedienen dieser Schieber sind ebenfalls eine unbedingte Voraussetzung für unfallfreies Arbeiten. Im Interesse einer solchen Situation, die blitzschnelles Handeln voraussetzt, muß die benötigte Übersicht über das gesamte System der Bohrlochsicherung gewährleistet sein, und es ist deshalb notwendig, sämtliche Schieber zu kennzeichnen.

Es kann im entscheidenden Moment nicht erst geprüft werden, ob der entsprechende Schieber geöffnet oder geschlossen ist. Dieser Forderung kommen die sogenannten Reiberhähne (Küken) besser entgegen als die mit Handrädern versehenen normalen Keilschieber, dies auch mit Rücksicht auf möglichst rasches Schließen.

Die bessere Lösung dürfte natürlich auch hier der hydraulische Antrieb sein. Die Ideallösung wäre der hydraulische Antrieb sämtlicher Preventer, Hochdruckschieber und Regeldüsen. Für Hochdruckgasbohrungen muß diese Lösung angestrebt werden, da sie maximale Sicherheit sowohl für die Bedienungsmannschaft als auch für das Bohrloch bietet. Mit Hilfe einer Fernsteuerung könnte die Bohrlochsicherung von einer zentralen Stelle aus im sicheren Abstand zum Bohrloch gesteuert werden.

Weiterhin ist es nötig, genaue Einsatzpläne auszuarbeiten, die auf die Sicherheitsmanifolds der betreffenden Anlagen abgestimmt sind und nach denen die Bohrmannschaft geschult und jeder einzelne in seine Position eingewiesen wird. Jeder muß wissen, wo er im Alarmfall zu stehen hat, was er tun muß und welche Anweisungen in welcher Reihenfolge gegeben werden.

Weitere wichtige Hinweise für die Montage und den Einsatz der Bohrlochsicherung:

- Der Preventeraufbau sollte mit Hilfe von Spannschlössern gut befestigt werden, um Vibrationen oder Bewegungen zu vermeiden und ein Ausrichten zu ermöglichen.

Das Anziehen der Spansschrauben muß gleichmäßig und gewissenhaft erfolgen, damit unnötige Spannungen im Preventeraufbau und besonders im Kolonnenkopfaufbau vermieden werden.



Die Verbindungsstangen oder -seile sollen waagrecht oder fast waagrecht sein, sonst ist die Wirkung gering.

- Bei Arbeiten mit Ölspülung ist darauf zu achten, daß sämtliche Gummielemente aus ölresistentem Material bestehen.
- Eine Bohrlochsicherung hält nur den Druck, den ihr schwächstes Glied aushält. Es ist deshalb darauf zu achten, daß sämtliche Verbindungen, Schieber, Leitungen, Verteilerstücke und Armaturen für den gleichen Druck ausgelegt sind.
- Die Leitungen zum Schließen und Öffnen der Preventer sollten auf der Arbeitsbühne in der Nähe der übrigen Bedienungselemente liegen. Zusätzliche Sicherheit bieten eine zweite Leitung und die Möglichkeit des Schließens von Hand.

#### 4.3. Druckkontrolle der Bohrlochsicherung

Die Bohrlochsicherung ist grundsätzlich nach der Montage auf das Bohrloch in seiner Gesamtheit, d. h. einschließlich des Totpump- und Entlastungssystems, einer Druckprobe zu unterziehen.

Die Höhe des Prüfdruckes muß dem maximalen Betriebsdruck, für den die Bohrlochsicherung ausgelegt ist, entsprechen. Dabei wird als selbstverständlich vorausgesetzt, daß die gesamte Bohrlochsicherung einschließlich sämtlicher Leitungen, Hochdruck-schieber usw., für den gleichen Druck ausgelegt ist.

Während der Dichtheitskontrolle ist die Bohrlochsicherung gegenüber der Rohrtour zuverlässig abzudichten. Das kann mittels einer Zementbrücke oder eines geeigneten Packers geschehen.

Der Packer ist die geeignetere Lösung, da er rasch gesetzt und wieder abgebaut werden kann, so daß keine größeren Zeitverluste eintreten.

Als Prüfdruckmedien kommen Wasser und Luft in Frage. Spülung muß als Abdrückmedium abgelehnt werden, da auf Grund des Feststoffgehaltes ein künstliches Verpressen möglich und dann die Aussagekraft einer solchen Dichtheitskontrolle sehr gering wäre.

Bei Gasbohrungen muß eine Prüfung der Bohrlochsicherung auf Gasdichtheit erfolgen. Da Kompressoren mit den entsprechenden Lei-

stungen nicht zur Verfügung stehen, muß zur Erzeugung einer größeren Druckluftmenge mit hohem Druck ein Teil der Futterrohrkolonne als Verdichtungsraum benutzt werden. Dieser muß gegenüber der übrigen Futterrohrkolonne abgedichtet werden (Packer und Zementbrücke). In diesen Verdichtungsraum wird mittels Kompressors vorverdichtete Luft eingepumpt, die durch weiteres Einpumpen von Flüssigkeit (Wasser, Bohrspülung) mit einer Hochdruckpumpe auf den benötigten Druck komprimiert wird.

Da die Erzeugung eines unter hohem Druck stehenden Gaspolsters, das die gesamte Bohrlochsicherung ausfüllt, die Einbeziehung einer erheblichen Länge der Rohrtour voraussetzt, ist der höchstmögliche Prüfdruck durch die zulässige Innendruckbelastung der dort befindlichen Futterrohre begrenzt.

Treten beim Abdrücken von Bohrlochsicherungen Undichtheiten auf, so ist grundsätzlich eine zuverlässige Beseitigung dieser Undichtheit nur dadurch möglich, daß die Bohrlochsicherung bis zur defekten Stelle demontiert, gründlich gereinigt und nach Behebung eventueller Schäden wieder montiert wird. Der Versuch, durch gewaltsames Nachziehen der Verbindungen Dichtigkeit zu erreichen, muß abgelehnt werden.

## 5. Automatisierung des Eruptionsschutzes

Um menschliches Versagen in Gefahrensituationen zu reduzieren oder völlig auszuschließen, hat man begonnen, automatische Systeme zu entwickeln, die die Entscheidungen übernehmen. Die automatische Vorrichtung berechnet das Programm für das Auszirkulieren, so daß Fehlhandlungen bei der Handhabung der Bohrlochkontrollenrichtungen ausgeschlossen werden. Die entscheidend wichtigen Arbeitsgänge, die unmittelbar nach Entstehen eines Ausbruches notwendig sind, werden der Bohrmannschaft abgenommen, indem sie auf der Grundlage von Meßwerten automatisch gesteuert werden.

Die Automatisierung des Eruptionsschutzes kann jedoch nur dann als vollständig gelten, wenn das Signal, das die Störung des Spülungsgleichgewichtes anzeigt, selbsttätig den Gleichgewichtswiederherstellungsprozeß auslöst bzw. einleitet (Bild 37).

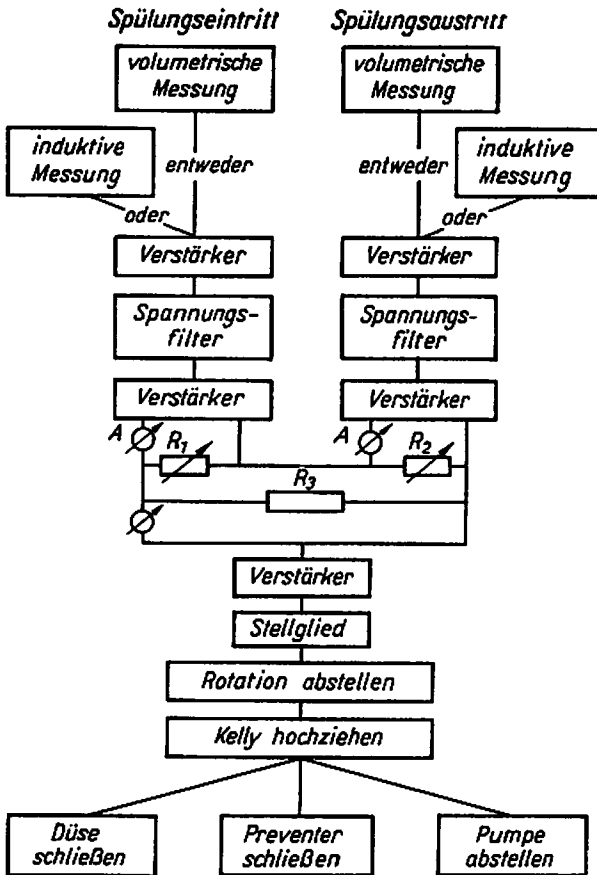


Bild 37. Ablaufschema einer automatischen Eruptionsverhütung (Teil 1) /4/

Die Meßsignale beider Durchflußmeßgeräte (Spülungseingang und Spülungsaustritt aus dem Bohrloch) gehen jeweils über Verstärker, Spannungsfiler zur Ausschaltung von Störspannungen), und nochmaligem Verstärker auf eine gemeinsame Meßbrücke. Diese Meßbrücke ist bei gleichen Durchflußraten stromlos. Kommt es zu einer Differenz zwischen den Durchflußraten, fließt hier ein Strom, der über einen Verstärker ein Stellglied steuert, das eine Warnung auslöst und den Impuls für die nachfolgenden Steuerfunktionen gibt. Diese Funktionen sind:

- Abstellen des Drehtisches
- gegebenenfalls Hochziehen des Kellys (bei Backenpreventer)
- Schließen des Preventers
- gleichzeitiges Abstellen der Pumpen
- Schließen der Regeldüse

Für die nun folgenden Arbeiten, die sich unmittelbar anschließen müssen, ist der Einsatz eines Rechners notwendig. Der Rechner wird unmittelbar in die Meß- und Steuerkette eingeschaltet. Bild 38 zeigt diese zweite Etappe der automatischen Eruptionsverhütung in Form eines Prozeßschaltbildes. Die Meßdaten des

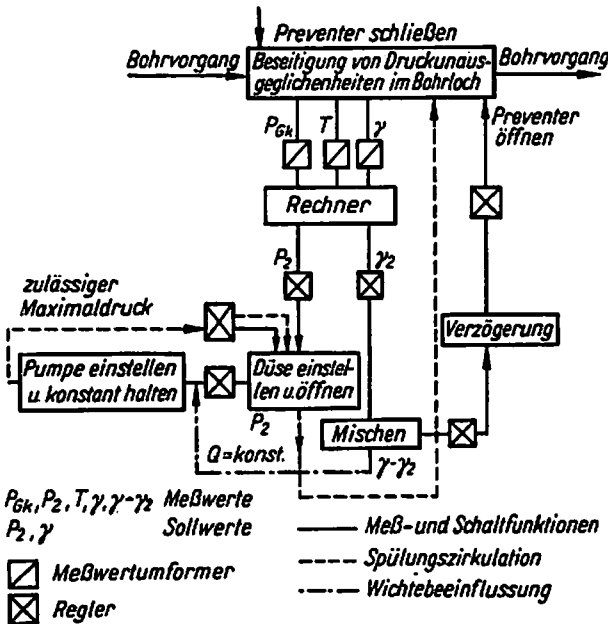


Bild 38. Ablaufschema einer automatischen Eruptionsverhütung (Teil 2) /4/

Gestängekopfdruckes, der Teufe und der Spülungswichte werden über Meßwertumformer in den Rechner eingegeben, der mit den nachgeschalteten Regelkreisen folgende Aufgaben erfüllt:

- Düse öffnen
- Gleichzeitig Pumpen in Gang setzen mit festgelegter konstanter Förderleistung
- Einfahren des erforderlichen Druckes am Bohrlocheintritt
- Weitergabe des Wertes über die erforderliche Spülungswichte an die automatische Spülungsanmischung
- die von der Spülungsanmischung jeweils erzielte Wichte wird nach Umformen dieser Meßgröße wieder dem Rechner zugeleitet, um eventuell über den Regler die Düse zu variieren
- nach Erreichen der erforderlichen Spülungswichte wird über einen separaten Regelkreis und einen entsprechenden Steuerimpuls der Preventer geöffnet.

#### 6. Praktisches Beispiel für den Aufbau einer Bohrlochkopfausrüstung für eine Hochdruckgasbohrung

Die Bilder 39, 40, 41 und 42 zeigen den etappenweisen Aufbau der Bohrlochsicherung beim Abteufen einer Bohrung. Es wurde folgende Bohrlochkonstruktion gewählt:

- Hilfsstandrohr	40"
- Standrohr	24 1/2"
- Ankerrohrtour	18 5/8"
- erste technische Rohrtour	13 3/8"
- zweite technische Rohrtour	9 5/8"
- Endrohrtour	7"
- Steigrohrstrang	2 7/8"

Entsprechend der Bohrintervalle aus den einzelnen Rohrtouren ergeben sich Änderungen im Aufbau der Bohrlochkopfausrüstung hinsichtlich der Anzahl, der Dimension und der Druckstufe der notwendigen Bauteile.

Bohren in der 18 5/8"-Rohrtour (Bild 39):

Auf die Ankerrohrtour 11 ist der Bodenflansch 20" - 210 kp cm<sup>-2</sup> 5 geschraubt. Er bildet die Basis für den weiteren Aufbau der Kolonnenkopfes.

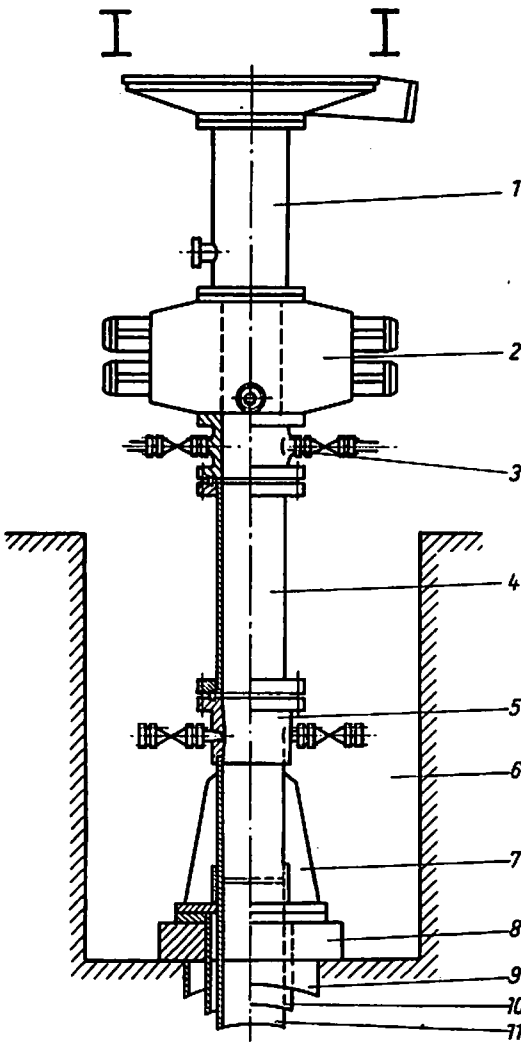


Bild 39  
 Beispiel für den Aufbau einer Bohrlochkopfausrüstung, Bohren in der 18 5/8"-Rohrtour /5/

- 1 Distanzrohr zum Ausguß
- 2 hydraulischer Doppelpreventer 20 3/4 - 210 kp cm<sup>-2</sup>
- 3 Spülflansch mit Anschlüssen für das Totpump- und Entlastungsmanifold
- 4 Distanzrohr
- 5 Bodenflansch 20" - 210 kp cm<sup>-2</sup>
- 6 Bohrkeller
- 7 Stützgestell
- 8 Grundplatte
- 9 Standrohr
- 10 Hilfsstandrohr
- 11 18 5/8"-Rohrtour

Unterhalb des Bodenflansches befindet sich ein Stützgestell 7, da später große Lasten auf den Bodenflansch wirken.

Über die Grundplatte 8 werden diese Belastungen in das Kellerfundament abgeleitet.

Am Spülflansch 3 sind die Leitungen des Totpump- und Entlastungssystems angeschlossen. Damit diese Leitungen horizontal aus dem Turmfundament herausgeführt werden können, wird die Verbindung zum Bodenflansch über ein Distanzrohr 4 hergestellt.

Entsprechend den zu erwartenden geologischen Bedingungen beim Bohren aus der 18 5/8"-Rohrtour wurde ein hydraulischer Doppelpreventer 20 3/4" - 210 kp cm<sup>-2</sup> montiert. Er hat einen seitlichen Flansch für den Anschluß einer Entlastungsleitung. Die Verbindung zum Ausguß (Ausfluß der aus dem Bohrloch kommenden Spülung) wird durch ein Distanzrohr 1 hergestellt.

Bohren in der 13 3/8"-Rohrtour (Bild 40):

In dem Bodenflansch 20"-210 kp cm<sup>-2</sup> ist die 13 3/8"-Rohrtour mit Keilen abgefangen. Auf dem Bodenflansch ist der Doppelflansch 20"-210 kp cm<sup>-2</sup>; 14 - 350 kp cm<sup>-2</sup> 5 montiert. In dieser wird später die 9 5/8"-Rohrtour abgefangen. Auf diesem Doppelflansch ist ein Doppelflansch 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>; 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup> 4 als Paßstück montiert, um die Verbindung zum Spülflansch 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>; 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup> 3 herzustellen. Dieser Spülflansch, an dem wiederum das Totpump- und Entlastungsmanifold angeschlossen sind, stellt die Verbindung zum hydraulischen Doppelpreventer 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup> her 2. Darüber ist zusätzlich ein Ringpreventer 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup> 1 montiert.

Bohren in der 9 5/8"-Rohrtour (Bild 41):

Die 9 5/8"-Rohrtour ist im Doppelflansch 20" - 210 kp cm<sup>-2</sup>; 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup> mit Keilen abgefangen. Der aufgebaute Doppelflansch 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>; 11" - 700 kp cm<sup>-2</sup> 4 soll später die 7"-Rohrtour aufnehmen.

Ein Spülflansch 11" - 700 kp cm<sup>-2</sup>; 9" - 700 kp cm<sup>-2</sup> 3 stellt die Verbindung zum hydraulischen Doppelpreventer 9" - 700 kp cm<sup>-2</sup> 2 her.

Auf dem Doppelpreventer wurde ein Ringpreventer 9" - 700 kp cm<sup>-2</sup> 1 montiert.

Endverflanschung nach dem Einbau der Endrohrtour 7" und des Steigrohrstranges 2 7/8" (Bild 42):

Die 7"-Endrohrtour ist im Doppelflansch 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>; 11" - 700 kp cm<sup>-2</sup> abgefangen.

Der Steigrohrstrang ist im Steigrohr-Doppelflansch 11" - 700 kp cm<sup>-2</sup>; 7 1/16" - 700 kp cm<sup>-2</sup> 3 abgefangen. Der Oberflansch 7 1/16" - 700 kp cm<sup>-2</sup>; 2 9/16" - 700 kp cm<sup>-2</sup> 2 stellt die Verbindung zum Eruptionskreuz 1 dar.

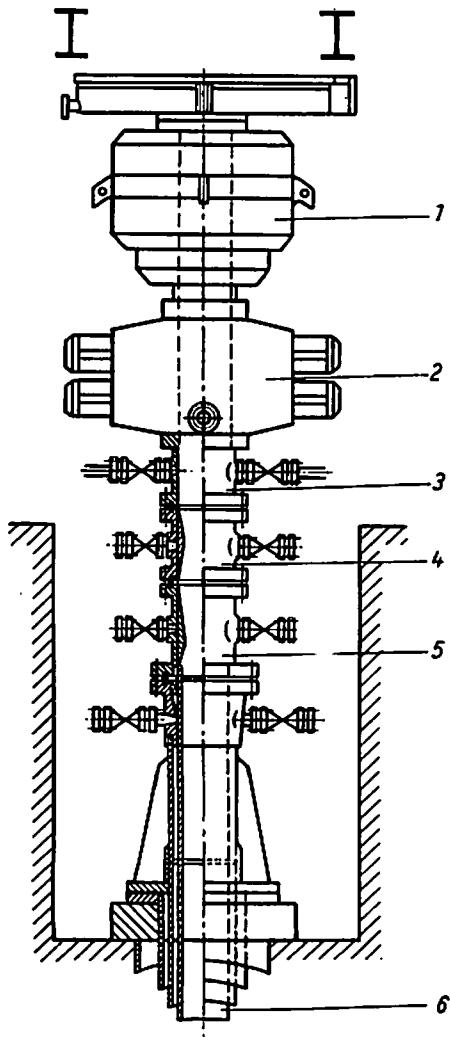


Bild 40  
 Beispiel für den Aufbau  
 einer Bohrlockopf-ausrüstung,  
 Bohren in der 13 3/8"-Rohr-  
 tour /5/  
 1 Ringpreven-ter 14" - 350  
 350 kp cm<sup>2</sup>  
 2 hydraulischer Doppelpreven-  
 ter 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>  
 3 Spülflansch 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>  
 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>  
 4 Futterrohr-Doppelflansch  
 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>;  
 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>  
 5 Futterrohr-Doppelflansch  
 20" - 210 kp cm<sup>-2</sup>;  
 14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>  
 6 13 3/8"-Rohrtour



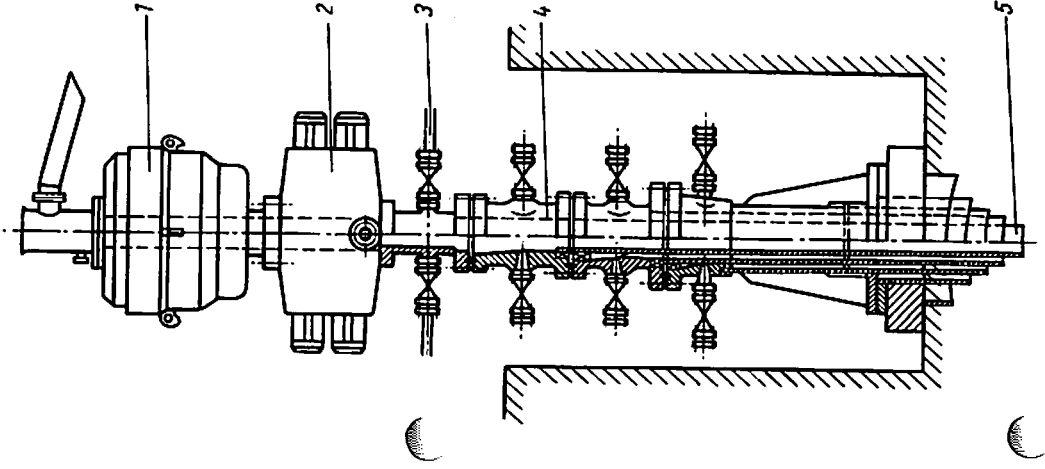


Bild 41

Beispiel für den Aufbau einer  
Bohrlochkopfausrüstung, Bohren  
in der 9 5/8"-Rohrtour /5/

- 1 Ringpreventer 9" -  
700 kp cm<sup>-2</sup>
- 2 hydraulischer Doppelpreven-  
ter 9" - 700 kp cm<sup>-2</sup>
- 3 Spülflansch 11", - 700 kp cm<sup>-2</sup>;
- 4 Futterrohr-Doppelflansch  
14" - 350 kp cm<sup>-2</sup>;  
11" - 700 kp cm<sup>-2</sup>;
- 5 9 5/8"-Rohrtour

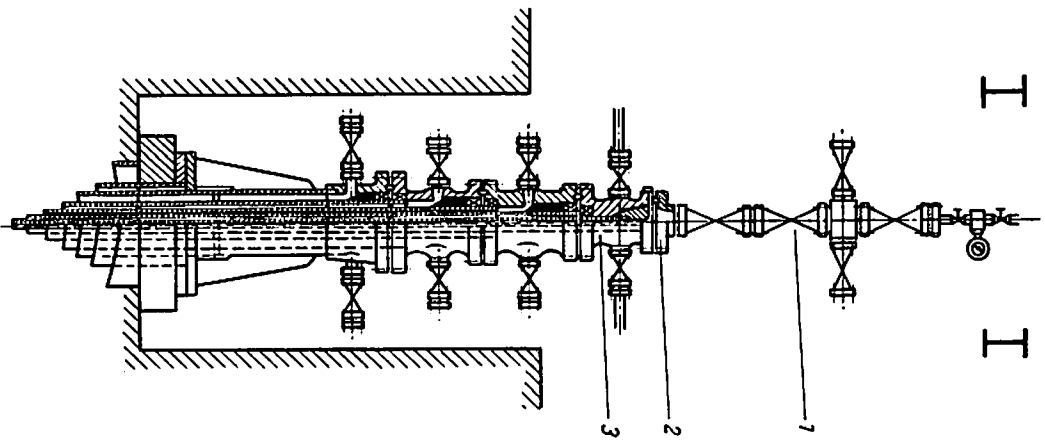


Bild 42  
 Endverflanschung nach dem Ein-  
 bau der Endrohrtour und dem  
 Steigrohrstrang /5/  
 1 Erupfionskreuz 700 kp cm<sup>-2</sup>  
 2 Oberflanssch 7 1/16" -  
 700 kp cm<sup>-2</sup>; 2 9/16" -  
 700 kp cm<sup>-2</sup>  
 3 Steigrohr-Doppelflanssch 11'  
 - 700 kp cm<sup>-2</sup>;  
 7 1/16" - 700 kp cm<sup>-2</sup>  
 4 Steigrohrstrang 2 7/8"

## Literaturverzeichnis

- /1/ BELL, F. S.: High-pressure drilling and blowout prevention. Oil and Gas Journal, Oktober 1957
- /2/ GOINS, W. C.: Blowout prevention Equipment, World Oil, Oktober 1969
- /3/ ALLIQUANDER, Ö.: Das moderne Rotarybohren, 2. Aufl. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1968
- /4/ LORBACH: Wege zur automatischen Verhütung von Ausbrüchen aus Tiefbohrungen. Erdöl-Erdgas-Zeitschrift, Februar 1969
- /5/ NOACK/SCHÜLER: Studie zur Vereinheitlichung der Bohrloch-sicherung, April 1970
- /6/ REHM, B.: How to use the adjustable chokes. Oil and Gas Journal, Februar 1970
- /7/ Firmenschrift von Grant Oil Tool Company: Grant rotating drilling head for air, gas or mud drilling
- /8/ Firmenprospekt von Industrieexport Rumänien: Typ "DF" hydraulic blowout preventers
- /9/ CAIN, L. L.: New tool blocks kicks downhole. World Oil, November 1969

Im gleichen Verlag ist erschienen:

Geohydraulik

Von Prof. Dr.-Ing. habil. 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

Preis für Ausland 75,-- M

Vertriebsrechte für die BRD und Westberlin sind vergeben

Bestellnummer: 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, die Melioration, des Bauwesens und des Verkehrswesens geeignet.

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

VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig