

Tiefbohrtechnik

# **Testarbeiten in verrohrten Erdgassonden**

Von Ing. Reiner Michaelis

Mit 7 Bildern und einer Anlage



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie  
Leipzig

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

Nur für die Qualifizierung im Bereich des Ministeriums  
für Geologie bestimmt

Gutachter:

Ing. Jürgen Heydecke

Ing. Dieter Eppendorfer

1. Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1978  
VLN 152-915/47/78

LSV 3183

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: VEB Druckerei "Thomas Müntzer",  
Bad Langensalza

Redaktionsschluß: 30. 9. 1977

Bestell-Nr. 541 419 4

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Produktionsmittel Hochdruckgassonde	5
2.1.	Aufbau einer Bohrung	5
2.2.	Bohrtechnische Abschlußarbeiten	6
3.	Testarbeiten	6
3.1.	Perforation und Klarspülen	6
3.2.	Installation der Sonde und Installationsvarianten	7
3.2.1.	Förderstrang	7
3.3.	Normalinstallation	8
3.4.	Abstellvariante	8
3.5.	Permanentinstallation	9
3.6.	Obertägige Ausrüstung	9
3.6.1.	Zusatzausrüstungen zur Obertageinstallation	11
3.6.2.	Eruptionsmanifold	12
3.6.3.	Entspannungsrohre	13
3.6.4.	Diktgeräte, Dosierpumpe und Separator	13
3.6.4.1.	Dosiereinrichtung	15
3.6.4.2.	Separatorstation und Fackeln	15
3.7.	Testausführungsprojekt (TAP)	16
3.7.1.	Reservoirmechanisches Programm (RMP)	17
3.8.	Aktivieren der Sonde	18
3.9.	Stimulierungen	19
4.	Technisches Freifördern	20
4.1.	Steigrohrcharakteristik	20
4.2.	Orientierungsregimes über Ringraum	21
4.3.	Kontinuierliches Freifördern (KFF)	21
4.4.	Druckaufbaumessung (DAM)	22
4.5.	Isochronaltest	22
4.6.	Langzeitmessung	23
5.	Ringraumaktivitäten	24

6.	Totpumparbeiten	25
7.	Gesundheits- und Arbeitsschutz	25
	Literaturverzeichnis	26
Anlage 1:	Beispiel eines Totpumpprogramms für eine Sonde	27

## 1. Einleitung

Der in der Welt ständig steigende Energiebedarf verlangt eine immer bessere Ausnutzung der Vorräte an konventionellen Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas. In der vorliegenden Arbeit soll der Aufschluß von Erdgaslagerstätten und besonders die Möglichkeit exakter Aussagegewinnung über Vorrat und Leistungsvermögen durch Testarbeiten auf gasführenden Strukturen untersucht werden.

## 2. Produktionsmittel Hochdruckgassonde

Eine Hochdruckgassonde (HDGS) ist ein kompliziertes und technisch aufwendiges Produktionsmittel. Es repräsentiert in jedem Fall einen Wert von mehreren Millionen Mark. Alle Arbeiten daran sind deshalb mit größter Sorgfalt, hohem technischem Niveau und mit äußerster technologischer Disziplin durchzuführen, um Havarien oder Schädigungen zu vermeiden.

### 2.1. Aufbau einer Bohrung

Eine Bohrung besteht im wesentlichen aus dem Standrohr, der Ankerrohrtour, einer oder mehreren technischen Kolonnen, der Produktionsrohrtour und bei Inproduktionsnahme aus dem Steigrohr- oder Förderstrang. Den obertägigen Abschluß bildet der Kolonnenkopf, in dem die einzelnen Rohrtouren aufgehängt sind, und die Eruptionsarmatur. Die Rohre werden zementiert, d. h., es wird nach Einbau einer Kolonne eine Zementschlämme in die Rohre eingepumpt, die durch die Nachpumpflüssigkeit (Spülung oder Wasser) außen am Rohr wieder emporsteigt und um die Rohre einen Zementmantel mit mehr oder weniger intensiver Bindung an das anstehende Gebirge legt. Im untersten Teil der Rohre befindet sich ein Rückschlagventil, das ein Zurückfließen der Schlämme verhindert. Nach Zementation und Abbinden des Zementes kann die Produktionsrohrtour im Speicherbereich durch Perforation geöffnet werden. Das

Niederbringen der Bohrung, der Einbau der Futterrohre (Casings) sowie die Durchführung der bohrtechnischen Abschlußarbeiten ist Aufgabe der Bohrmannschaft.

## 2.2. Bohrtechnische Abschlußarbeiten

Diese Arbeitsstufe schafft die Voraussetzung für die Durchführung der nachfolgenden Installations- und Testarbeiten. Es müssen die sicherheitstechnisch geforderten Spülungsparameter hergestellt werden. Der Nachweis der Befahrbarkeit des Bohrloches bis zur geologisch geforderten künstlichen Endteufe sowie der Fremdkörperfreiheit muß erbracht werden. Die Produktionsrohrtour wird einer Innendruckprobe mit Wasser und Luft unterzogen. Dazu wird nach Einbau eines Packers mit einem Kompressor Luft mit Überdruck aufgepumpt. Die Setzteufe des einzubauenden Packers ist abhängig von der Höhe des Zementkopfes hinter den Rohren. Durch Nachpumpen von Wasser wird die Luft verdichtet. Die Prüfhöhe für den unzementierten Bereich der Rohrtour und der Obertageausrüstung ist so auszuwählen, daß der statische Kopfdruck der Sonde unter Förderbedingungen den erforderlichen Nenndruck der Armatur nicht übersteigt. Die Prüfzeit beträgt 30 Minuten bei 5 Minuten Beruhigungszeit. Mit dieser Luftdruckprobe werden gleichzeitig obertägige Armaturen überprüft.

## 3. Testarbeiten

Die Testarbeiten dienen der Leistungsbestimmung der Sonde und der Ergiebigkeit der einzelnen zu testenden Speicherpakete.

### 3.1. Perforation und Klarspülen

Durch die Perforation soll eine Verbindung zwischen Speicher und Bohrloch hergestellt werden. Die Perforationsarbeiten erfolgen nach einem bestätigten Projekt, in dem das Perforationsverfahren sowie die Perforationsintervalle festgelegt sind. Die Ermittlung der Intervalle erfolgt auf der Grund-

lage geophysikalischer Messungen. Perforiert wird im wesentlichen nach zwei Verfahren:

- dem Erosionsverfahren, bei dem ein Gemisch von Spülung und Quarzsand mit hoher Geschwindigkeit durch Düsen gegen die Rohrwand gepumpt wird und diese durchspült, und
- dem Jet-Verfahren, bei dem die Rohre durch Hohlladungen geöffnet werden

Nicht mehr gebräuchlich ist die Kugelperforation, bei der Stahlkugeln die Rohre durchschlagen. Die Erosionsperforation hat den Vorteil des weitestgehend erschütterungsfreien Durchbruchs der Rohre; allerdings ist der technologische Aufwand durch den Einbau des Perforators an einem Gestänge- bzw. Tubingstrang und den höheren Zeitbedarf relativ groß. Die Jet-Perforation ist ein schnelles Verfahren. Der Einbau des Perforators erfolgt am Kabel; es können mehrere Ebenen gleichzeitig aufgeschlossen werden. Nachteilig bei diesem Verfahren ist die starke Erschütterung der Rohrtour und des Zementmantels. Nach erfolgter Perforation wird die Sonde klargespült, um die Perforationsrückstände bzw. den Perforationssand aus der Bohrung auszutragen.

### 3.2. Installation der Sonde und Installationsvarianten

#### 3.2.1. Förderstrang

Der Förderstrang besteht aus der Steigrohrtour und den förder- und sicherheitstechnischen Komplettierungselementen (z. B. Aufhängung, Packer, Ventile, Nippel usw.) und dient zum Ausbringen des Fördermediums aus der Sonde bzw. Verpressen des Verpreßmediums in die Sonde. Es wird unterschieden in:

- einfacher Förderstrang  
die Steigrohrtour besteht aus Steigrohren gleicher Dimension
- einfacher kombinierter Förderstrang  
die Steigrohrtour besteht aus Steigrohren zweier Dimensionen
- mehrfach kombinierter Förderstrang  
die Steigrohrtour besteht aus Steigrohren mehrerer Dimensionen

Die Dimensionierung der Komplettierungselemente und des unteren Anschlußbereiches im Förderstrang, sofern er die Länge von zwei Stangen nicht überschreitet, hat keinen Einfluß auf die hier getroffene Klassifizierung.

Die Dimension der Förderstränge wird in Abhängigkeit von der Bohrlochkonstruktion und der zu erwartenden Fördermenge festgelegt. Die Förderstränge sind vor dem Einsatz zu kalibrieren und einer Kaltwasserinnendruckprobe zu unterziehen.

Diese Druckproben erfolgen entsprechend dem API-Standard mit dem 1,5fachen des zu erwartenden Arbeitsdruckes.

Weitere Prüfverfahren sind

- das Sonoskopieren
- das Fluxen und
- die Wanddickenprüfung

Bei der Installation der Förderstränge werden drei Ausführungsarten unterschieden.

### 3.3. Normalinstallation

Sie ist die einfachste Ausführung. Der Tubingstrang wird frei im Tubinghängerflansch abgehängt. Ring- und Steigraum haben miteinander Verbindung und stehen bei nicht fördernder Sonde unter gleichem Druck.

Der Nachteil besteht in der durchgehenden Belastung der Produktionsrohrtour. Durch die zahlreichen Rohrverbindungen ist eine Gasmigration in die nachgeschalteten Ringräume nicht ausgeschlossen.

### 3.4. Abstellvariante

Der Strang wird mit einem Ankerschuh und einem Siebrohr komplettiert. Nach Installation des Förderstranges muß sich das Steigrohr unterhalb der Perforation befinden. Geht man von der Abstellvariante für den Förderzustand aus, so hat die Längenberechnung des Stranges so zu erfolgen, daß der Ankerschuh unter Förderbedingungen theoretisch die Bohrlochsohle (künst-



liche Endteufe) berührt. Unter künstlicher Endteufe versteht man die Teufe des Bohrloches, die nach der Zementation und dem Aufbohren des Zementes den tiefsten zu erreichenden Punkt des Bohrloches darstellt. Wichtig ist eine exakte Längenberechnung und ein Längenausgleich beim Einbau der letzten Steigrohrre, um eine einwandfreie Tubinginstallation zu gewährleisten.

### 3.5. Permanentinstallation

Das Arbeitsprinzip der Permanentinstallation (PI) beruht auf der vollkommenen Abdichtung der Produktionsrohrtour zum Steigrohrstrang durch einen Produktionspacker. Es besteht nur eine direkte Verbindung Lagerstätte - Steigrohrstrang - Obertageausrüstung. Der Ringraum ist mit einer Schutzflüssigkeit gefüllt und bei intakter Installation drucklos. Die Ringraumflüssigkeit ist ein stark basisches Medium und hat im wesentlichen drei Hauptaufgaben zu erfüllen:

- Schutz der Produktionsrohrtour vor Korrosion
- Schutz der Produktionsrohrtour gegen Außendruck
- Schutz der Produktionsrohrtour vor dynamischer und thermischer Belastung

### 3.6. Obertägige Ausrüstung

Sie besteht neben dem unter Abschnitt 2.1. genannten Kolonnenkopf bei permanentinstallierten Sonden aus dem Hängerpreventer und dem Eruptionskreuz als unmittelbarer Bohrlochabschluß.

Bei der Normalinstallation entfällt der Hängerpreventer; der Förderstrang wird mit einem sogenannten Landekonus im Lande- bzw. Eruptionskreuzgrundflansch abgelandet und durch seitliche Schrauben arretiert. Zum Beispiel können folgende Armaturen zum Einsatz kommen:

- Rumänisches E-Kreuz Typ CE<sub>2</sub> - 350 mit Konusaufhängung (Bild 1)
- Rumänisches E-Kreuz 2 9/16" x 2 1/16" x 700 mit Konusaufhängung (Bild 2)

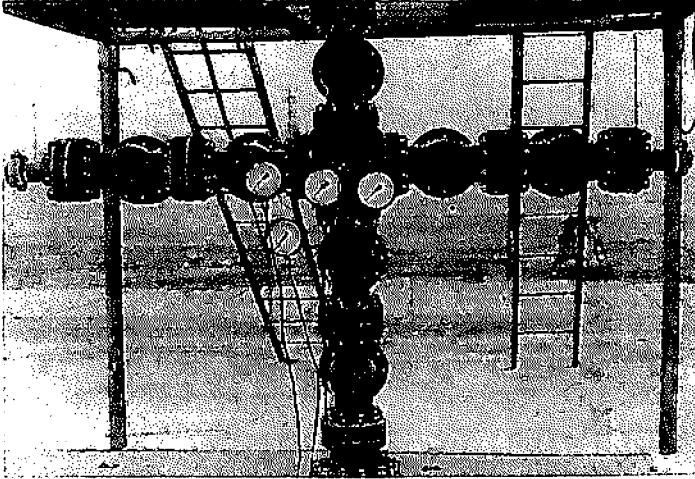


Bild 1. Rumänisches E-Kreuz Typ CE<sub>2</sub> - 350  
(Steigraumteil 3" x 3" - 350)

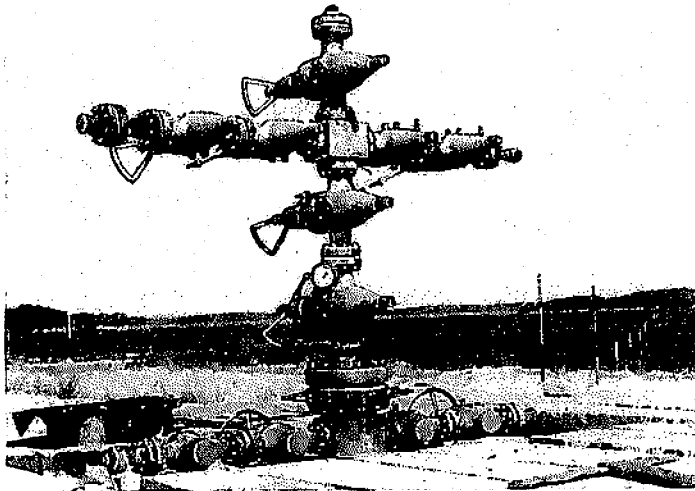


Bild 2. Rumänisches E-Kreuz 2 9/16" x 2 1/16" - 700  
mit Konus-Aufhängung  
Steigraumteil: 2 9/16" x 2 1/16" - 700  
Ringraumteil: 2 1/16" - 700

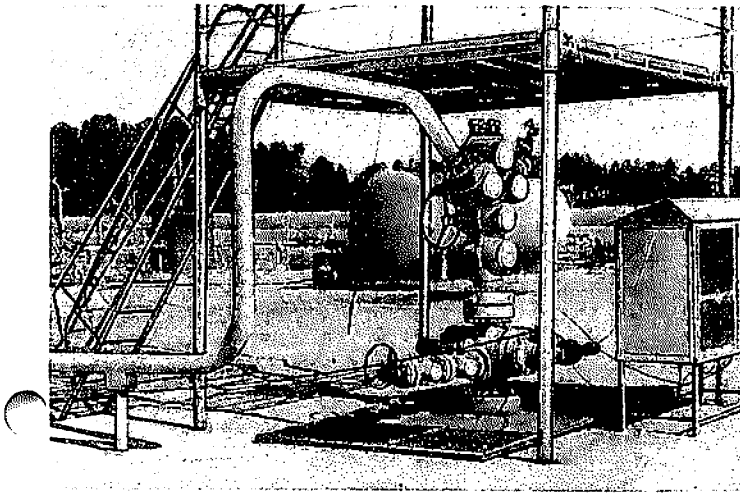


Bild 3. Amerikanisches E-Kreuz 6" x 4" x 4" im eingebundenen Zustand mit Tubinghängerpreventer (10" x 6" x 2" - 350)

Steigraumteil: 4" - 350

Ringraumteil: 2" - 350

Die Druckstufe dieses in Kompaktbauweise hergestellten E-Kreuzes ist mit 5000 psi (pount-square-inch), entsprechend  $350 \text{ kp cm}^{-2}$  angegeben.

- Amerikanisches E-Kreuz "Cameron" 6" x 4" x 4" - 350  
(Bild 3)

### 3.6.1. Zusatzausrüstungen zur Übertageinstallation

Zur Durchführung von Messungen im Bohrloch wird auf das E-Kreuz eine Druckschleuse, Lubrikator genannt, montiert. Er ermöglicht es, Tiefenmanometer einzubauen bzw. Operationen der Wire-line-Technik oder spezielle geophysikalische Messungen bei unter Druck stehenden Sonden durchzuführen. Diese Lubrikatoren sind ihrem Zweck entsprechend zwar unterschiedlich gebaut, arbeiten aber alle nach dem gleichen Prinzip. Das E-Kreuz ist steigraumseitig geschlossen, das Meßinstrument wird in den Lubrikator eingelassen, der Draht des Instru-

mentes wird durch eine Stopfbuchse geführt. Danach kann der Steigraumschieber geöffnet werden, und das Instrument wird mit der Seilwinde des Meßwagens in das Bohrloch hinabgelassen.

### 3.6.2. Eruptionsmanifold

Während der Bohr- und Testarbeiten ist auf der Anlage ein Eruptionsmanifold (Bild 4) installiert. Als wesentlicher

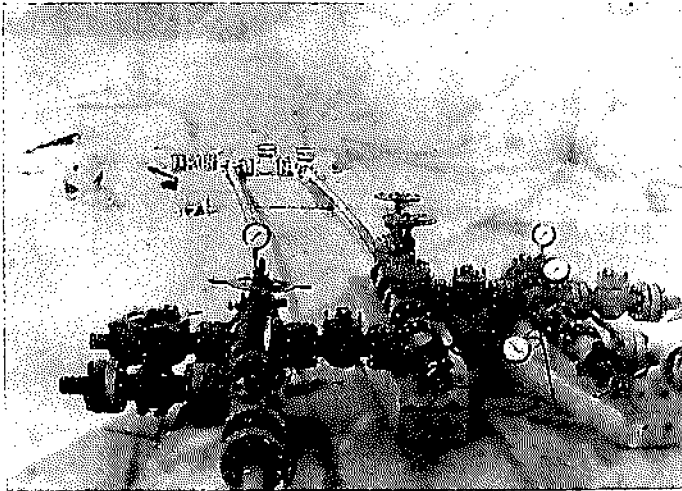


Bild 4. Eruptionsmanifold der Druckstufe  $350 \text{ kp cm}^{-2}$

Bestandteil des Sicherungssystems (Bild 5) einer Hochdruck-erdgassonde bei der Eruptionsprophylaxe ermöglicht das E-Manifold ein Bearbeiten der Sonde über Ring- und Steigraum, Freifördern und andere Pumparbeiten am Bohrloch.

Zum Manifold gehören

- das Spülungsbehältersystem
- Fracaggregate
- Entspannungsrohre bzw. -behälter
- das Leitungssystem

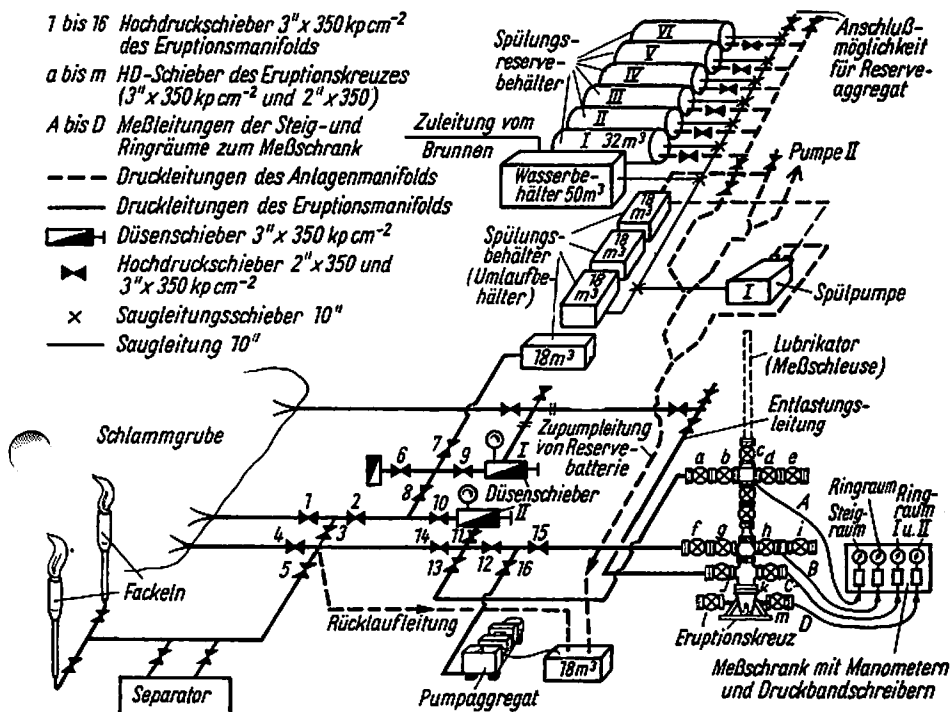


Bild 5. Sicherungssysteme einer Sonde

### 3.6.3. Entspannungsrohre

Die Entspannungsrohre werden mit direkten Leitungen an das E-Manifold angeschlagen. Ihre Aufgabe ist es, bei Freiförderarbeiten der Sonde das nasse Gas, das noch nicht in den Fackeln verbrannt werden kann, geräuscharm zu entspannen und das Wasser in eine Auffanggrube zu leiten. Durch sie wird ein umweltfreundliches Freifördern erreicht.

### 3.6.4. Diktgeräte, Dosierpumpe und Separator

Um beim Testen von Sonden erste Angaben über die Leistungsfähigkeit zu erhalten, wird der Gasstrom durch ein Diktgerät geleitet. Das Diktgerät ist eine Meßstrecke, in die Meßblenden verschiedenen Durchmessers eingelegt werden können. Das durch diese Meßblenden strömende Gas wird am Eingang sowie

Ausgang des Gerätes gemessen (Druck- und Temperaturmessung).  
 Aus diesen Werten kann man mit Hilfe der Näherungsformel

$$1 Q = \frac{c P_v}{16,5} \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ (N) d}^{-1}$$

mit für den Feldeinsatz hinreichender Genauigkeit die Gasmenge berechnen.

Es bedeuten

Q Gasmenge

c Blendenkonstante

$P_v$  Druck vor dem Diktgerät in at absolut

Die Blendenkonstante c ist ein empirisch ermittelter Wert.  
 In Tabelle 1 sind die wichtigsten Werte für diese Konstante angeführt.

Tabelle 1

Blenden- durchmesser in mm	Blenden- konstante c	Blenden- durchmesser in mm	Blenden- konstante c
2	0,712	12	28,114
3	1,673	14	36,459
4	3,027	16	46,936
5	4,841	18	59,846
6	6,978	20	74,461
7	9,316	22	90,843
8	12,037	24	107,900
9	15,173	26	127,709
10	19,013		

Die Ermittlung der Gasmenge mit diesen Werten reicht für den Feldeinsatz aus. Eine genauere Berechnung ist nach dieser Formel nicht möglich, da z. B. das Gas-Wasser-Verhältnis, die Temperatur und die Druckverluste hinter dem Diktgerät die Genauigkeit beeinflussen.

#### 3.6.4.1. Dosiereinrichtung

Bei Testarbeiten, besonders im Winter, kommt es durch die Entspannung des Gasstromes hinter dem Diktgerät (Bild 6) mitunter zu Vereisungen von Leitungen und Separator. Um das zu verhindern, wird mit Dosierpumpen dem Gasstrom Methanol zugesetzt. Die Dosierpumpe ist eine Plungerpumpe, die regelbar bis etwa 20 l Methanol in der Stunde dem Gasstrom zuführt.

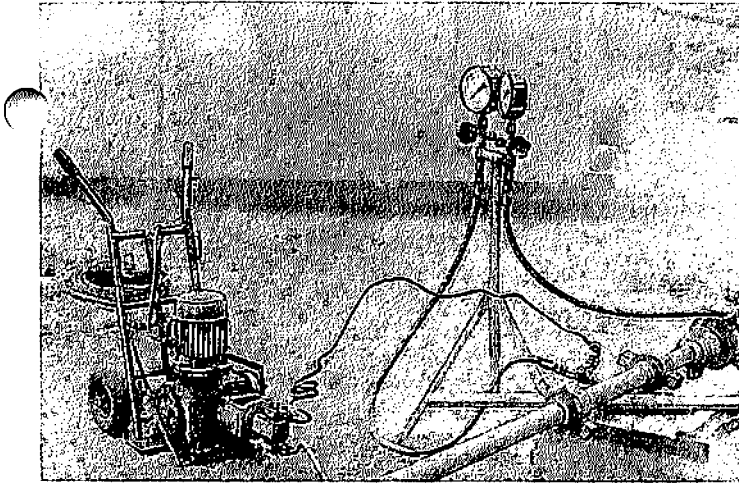
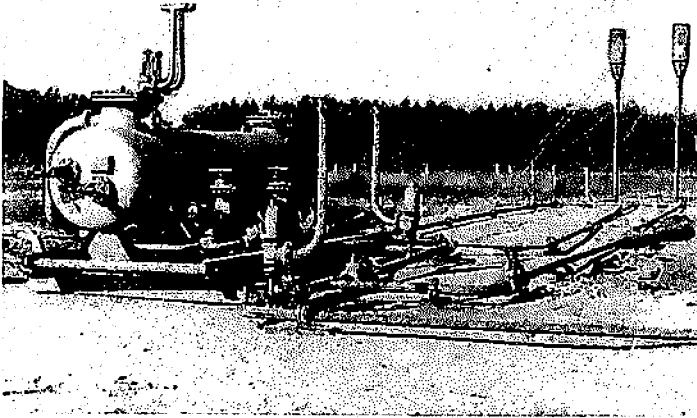


Bild 6. Gerät zur Bestimmung von Gasmengen  
Diktgerät (rechts), Dosierpumpe (links)

#### 3.6.4.2. Separatorenstation und Fackeln

Um Aufschlüsse über die Konsistenz des Schichtwassers zu erhalten sowie das Gas-Wasser-Verhältnis bestimmen zu können, wird der Gasstrom separiert. Im Separator befinden sich Prallbleche, die den Gasstrom stark abbremsen. Die schweren Wasserteilchen im Gas fallen dadurch aus und können über Leitungen im Boden des Separators abgelassen werden.

Nach Durchlaufen des Separators gelangt das Gas in die Fackeln, in denen es beim Test verbrannt wird, um eventuelle Gefährdungen zu verhindern (Luftverschmutzung).



**Bild 7. Drei-Phasen-Horizontalseparator mit Sicherheitsventilen und Fackeleinheit**

### **3.7. Testausführungsprojekt (TAP)**

Die Grundlage für alle Testarbeiten bildet das Testausführungsprojekt als verbindlicher Arbeitsauftrag. Das TAP gliedert sich in einen geologischen, technologischen und ökonomischen Teil.

Geologische Angaben über den Speicher, Testhorizont sind

- geplante Messungen durch Geophysik
- geplante Intensivierungsarbeiten
- Druckangaben
- reservoirmechanisches Programm (RMP)
- Beprobungen und Dokumentationen

Im technologischen Teil werden erfaßt

- Angaben zur technologischen Installation
- der technische Zustand
- technische Vorgaben und Totpumpkriterien
- der technologische Ablauf der Testarbeiten



Das ökonomische Projekt enthält

- den Geltungsbereich des Aufwandnormativkataloges (ANK)
- die Vorgabe laut ANK
- das Projekt für die Leistungsart "Testen des Bohrloches"

Der letzte Teil des TAP behandelt den Arbeits-, Gesundheits- und Brandschutz sowie die technische Sicherheit und den Umweltschutz bei der Durchführung von Testarbeiten.

### 3.7.1. Reservoirmechanisches Programm (RMP)

Zur Durchführung von Testarbeiten sind eine Vielzahl von Operationen notwendig, die je nach dem angewendeten Testverfahren unterschiedlich sind. Bevor jedoch die Arbeiten zur Inbetriebnahme der Sonde aufgenommen werden können, müssen folgende technische Arbeiten ausgeführt werden:

- Installation aller obertägigen Armaturen wie E-Kreuz, Manifold, Separator und Fackeleinheit, flexibler Verbindungselemente und der meßtechnischen Ausrüstung
- Bereitstellen von Süßwasser zum Austauschen der Spülung und anschließendem Klarspülen der Sonde
- Bereitstellung einer Spülungsreserve, deren Menge weisungsmäßig festgelegt ist
- Überprüfung sämtlicher Aggregate und Einrichtungen unmittelbar vor Beginn des Austausches; das Eruptionsmanifold, die HD-Leitungen und das Eruptionskreuz werden abgedrückt, alle Kollegen werden über Art und Umfang der Arbeiten belehrt (Projekteinweisung)

Zum reservoirmechanischen Programm gehören folgende Arbeiten:

Arbeitsgang	Zu beachtende Besonderheiten
- Austausch der Spülung gegen Wasser	indirekt
- Klarspülen der Sonde mit Wasser	Gegendruck halten

Arbeitsgang	Zu beachtende Besonderheiten
- zyklisches Freifördern der Sonde über Düsenschieber und Entspannungsrohr	nur über Steigraum (SR)
- zyklisches Freifördern der Sonde über Diktgerät und Separatorenstation	Voraussetzung, technisches Wasser ausgetragen
a) Steigrohrcharakteristik	a) Leistungsbestimmung über Steigraum (SR)
b) Orientierungsregime über Ringraum (RR)	b) Leistungsbestimmung über RR
- Druckaufbaumessung (DAM)	
- kontinuierliches Freifördern über RR	Leistungsbestimmung
- DAM	
- Isochronaltest	Leistungsbestimmung
- DAM	
- Langzeitmessung	Förderverhalten über einen längeren Zeitraum feststellen

### 3.8. Aktivieren der Sonde

Der Austausch der im Bohrloch befindlichen Spülung gegen Süßwasser erfolgt bei konventionell installierter Sonden in der Regel links (indirekt), d. h., das Süßwasser wird über das Manifold in den Ringraum eingepumpt, die Spülung tritt aus dem Steigraum ebenfalls über das Manifold aus und wird der Wiederverwendung zugeführt. Um ein Verwässern der Spülung im Grenzbereich Wasser - Spülung zu vermeiden, empfiehlt sich das Zwischenschalten eines Puffers aus Bentonitspülung. Die Menge des einzupumpenden Wassers errechnet sich einfach aus dem Gesamtvolumen des Bohrloches von der Rasensohle bis zur Unterkante des eingebauten Steigrohrstranges abzüglich der Menge Wasser, die durch den offenen eingebauten Steigrohrstrang verdrängt wird. Ist das errechnete Volumen Süßwasser eingebracht, wird der Schieber der Rücklaufleitung

zu den Behältern geschlossen, es beginnt das Klarspülen der Sonde unter Beachtung des Gegendruckes, wobei das austretende Wasser über die Auswurfleitungen in die Schlammgrube geleitet wird. Nach Beendigung des Klarspülens wird der Düsenchieber am E-Manifold ganz geöffnet; der Lagerstättendruck drückt die Wassersäule aus dem Steigraum. Bei druckschwächeren Sonden machen sich weitere Aktivierungsarbeiten erforderlich (Verringerung des spezifischen Gewichtes des Wassers durch Einpumpen von Luft).

### 3.9. Stimulierungen

Die Stimulierung bzw. Intensivierung von Test- und Fördersonden wird definiert als Wiederherstellung oder Verbesserung der primär vorhandenen Permeabilität (Durchlaßfähigkeit) des Speichergesteins mittels chemischer oder physikalischer Methoden. Diese Definition erlaubt eine Einteilung der verschiedenen Stimulierungsverfahren, wenn sich auch die Wirkungsmechanismen der einzelnen Methoden durch Modifizierung der Behandlungstechnologien und Behandlungsflüssigkeiten überlagern.

Gegenwärtig werden folgende Stimulierungsverfahren angewendet:

- Erosionsperforation
- Formationswaschung
- Matrixsäuerung
- Kluftsäuerung
- hydraulische Rißbildung (Frac)
- Frac-pac
- Gravel-pac

Stimulationen unter Verwendung von verflüssigten Gasen ( $\text{CO}_2$ ) werden nicht als gesonderte Verfahren aufgeführt. Verflüssigte technische Gase werden einem Teil oder der gesamten Behandlungsflüssigkeit bei den genannten Stimulationen zudosiert. Detaillierte Ausführungen zum Komplex der Stimulierungen sind in der Fachbroschüre "Verfahren zur Stimulation von Erdöl-, Erdgas- und Injektionssonden" gesondert dargestellt.

#### 4.           Technisches Freifördern

Nach dem Austausch der Spülung gegen Wasser und Klarspülen der Sonde unter Gegendruck wird der Gegendruck abgelassen, damit die Sonde überlaufen kann. Wenn das Wasser aus dem Steigraum ausgetreten ist, wird die Sonde geschlossen. Zur Beschleunigung dieses Vorganges kann durch Hochdruckleitungen eine Verbindung zwischen Steig- und Ringraum hergestellt werden, wobei der Druck des einen Raumes auf den anderen Raum wirkt und dadurch das Wasser schneller ausgetragen werden kann. Die Zeitabstände zwischen Öffnen und Schließen werden je nach dem Sondenverhalten operativ festgelegt. Der Zeitraum bewegt sich zwischen 20 Minuten und zwei bis vier Stunden. Diese Phase, als technisches Freifördern bezeichnet, wird aus sicherheitstechnischen Gründen ausschließlich über den Steigraum durchgeführt und dauert in der Regel 24 Stunden.

##### 4.1.         Steigrohrcharakteristik

Sobald die Sonde wasserfrei ist, werden je nach Leistung der Sonde drei bis sechs Regimes von jeweils zwei Stunden Dauer über Steigraum, Diktgerät und Fackeln gefahren, um das Leistungsverhalten über den Steigraum zu bestimmen. Ziel dieser Maßnahme ist die Überwachung der späteren Dauerförderung über Steigraum, weil bei fördernder Sonde eine Kontrolle der Sohlendrücke mittels Tiefenmanometers nicht mehr möglich ist. Da beim späteren Isochronaltest jeder Fördermenge eine definierte Sohlendepression zugeordnet wird, ist es mittels der Steigrohrcharakteristik im Verlauf der Dauerförderung möglich, einen hinreichend genauen Sohlenfließdruck für das jeweils gefahrene Förderregime zu ermitteln. Es ist üblich, optimale Depressionen zu fahren, wobei das Förderregime ständig so ausgewählt werden kann, daß dieser Bestwert gewährleistet ist. Nach jedem dieser Orientierungsregimes werden aus dem Sandfänger Wasser- und Feststoffproben entnommen. Die anstehenden Drücke und Temperaturen werden in folgenden Intervallen dokumentiert:

- von 0 bis 10 Minuten jede Minute
- von 10 bis 30 Minuten jede 5. Minute
- von 30 bis 120 Minuten jede 10. Minute
- von 120 Minuten bis 6 Stunden jede 30. Minute
- ab 6 Stunden stündlich

Diese Ableseintervalle gelten auch für alle anderen Operationen während des Testes, also auch beim kontinuierlichen Freifördern (KFF), bei der Druckaufbaumessung (DAM), dem Isochronaltest usw.

#### 4.2. Orientierungsregimes über Ringraum

Um für den Isochronaltest die richtige Wahl des Blendendurchmessers treffen zu können, werden über den RR I etwa drei Regimes gefahren (Zyklus: 1 Stunde Fließen, 1 Stunde DAM); damit hat man eine Orientierung für die Leistung der Sonde.

#### 4.3. Kontinuierliches Freifördern (KFF)

Nach dem technischen Freifördern und der Bestimmung des Steigrohrverhältnisses wird die Sonde kontinuierlich freigefördert. Das kontinuierliche Freifördern ist die wesentlichste Maßnahme, um das Filtrat aus der bohrlochnahen Zone zu entfernen und eine wasserfreie Gasförderung für den Leistungstest und die anschließende industrielle Förderung zu gewährleisten. Während des kontinuierlichen Freiförderns werden die ersten wichtigen Aufschlüsse über die Parameter der zu untersuchenden Schicht gewonnen. Dazu werden Tiefenmanometermessungen durchgeführt, um den Sohlenfließdruck zu bestimmen. Der über Tage anstehende Druck wird dokumentiert, der austretende Gasstrom mit Diktgeräten vermessen und der gesamte Gasstrahl, wenn es das Durchsatzvermögen des Separators erlaubt, über die Separatorenstation geleitet, um Aufschlüsse über die Konsistenz des Schichtwassers zu erhalten. In den Fackeln wird der separierte Gasstrahl verbrannt, um Gefährdungen und Belästigungen durch das Gas möglichst gering zu halten.

Das kontinuierliche Freifördern wird in der Regel über 48 Stunden durchgeführt; gemessen und dokumentiert werden

- Druck des Steigraumes und der nachgeschalteten Ringräume
- Druck vor und nach dem Diktgerät
- Temperatur am Steigraum
- Temperatur am Dikt und am Separator
- Arbeitsdruck des Separators

#### 4.4. Druckaufbaumessung (DAM)

Um für den Isochronaltest, auf den unter Abschnitt 4.5. eingegangen wird, stabile Ausgangswerte zu gewährleisten, ist vor Beginn der Leistungsbestimmung eine weitere längere Druckaufbauperiode erforderlich. Durch sie wird der Aufbau des Schichtdruckes bis zur Konstanz bestimmt. Der Druckverlauf wird im Speicherbereich mittels Tiefenmanometers gemessen. Er wird als konstant angesehen, wenn bei drei Messungen ein übereinstimmender Druckwert erreicht wird.

Bei schwachen oder verwässerten Horizonten wird sich der Schichtdruck erst wesentlich später einstellen als bei hochaktiven, druckstarken Horizonten. Das projektierte Mittel dieser Druckaufbaumessung liegt bei Primärtesten bei 20 Tagen Dauer.

#### 4.5. Isochronaltest

Zur Leistungsbestimmung der Sonde wird ein Isochronaltest durchgeführt. Das Prinzip dieser Leistungsbestimmung besteht darin, daß die Sonde über gleiche Zeiträume geöffnet und geschlossen wird. In der Regel werden vier bis acht Regimes über den Ringraum gefahren. Der Sohldruckverlauf wird während der gesamten Zeit mit Tiefenmanometermessungen belegt. Für den Isochronaltest wird in Abhängigkeit der Werte des Orientierungsregimes ein Blendenprogramm für das Diktgerät erstellt, das in seinem Umfang eine annähernde Maximal- und eine Minimaldepression vorsieht.

Beispiel eines Blendenprogramms für Isochronaltest einer Sonde:

---

Sonde ... d. Datum

Nach entsprechender Einlaufzeit des Tiefenmanometers werden folgende Regime über Ringraum, Dikt, Separator und Fackeln gefahren:

(Fließzeit 2 h, Schließzeit 6 h)

1. Regime Blende 3 mm Ø
2. Regime Blende 5 mm Ø
3. Regime Blende 7 mm Ø  
TM - Wechsel
4. Regime Blende 9 mm Ø
5. Regime Blende 10 mm Ø

Dokumentation und Probenahme lt. Projekt. Es ist eine Methanoldosierung vorzunehmen.

Unterschrift des Testgeologen

---

Bei dem angeführten Beispiel handelt es sich um eine relativ schwache Sonde; daher steigen die Blendenwerte auch nicht über 10 mm Ø an. Die Methanoleindosierung macht sich erforderlich, um Hydratbildung oder Einfrierungen zu vermeiden.

#### 4.6. Langzeitmessung

Die Langzeitmessung ist der Abschluß des Gastestes und gleichzeitig die Oberleitungsphase zur Inproduktionsnahme der Sonde. Dabei wird der Ringraum über einen längeren Zeitraum mit konstanter Menge gefördert und der Druckverlauf im Speicherbereich mit Tiefenmanometermessungen belegt. Aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus erfolgt dort, wo die Verhältnisse es erlauben, die Langzeitmessung direkt im Rohrleitungsnetz der Feldstation.

## 5. Ringraumaktivitäten

Zur Gewährleistung der Bergbausicherheit ist es erforderlich, daß die der Produktionsrohrtour nachgeschalteten Ringräume keine Aktivitäten (Druckaufbau) zeigen. Eventuell auftretende Aktivitäten können aus folgenden Ursachen resultieren:

- undichte Rohrverbindungen, hervorgerufen durch mechanische Beschädigungen der Gewinde, Ovalität der Rohre, Nichteinhaltung der vorgegebenen Verschraubmomente oder mangelhafte Rohrqualität
- mangelhafte Bindung des Zementsteines an den Rohren, dadurch Gasmigration aus dem Speicherbereich
- Undichtheiten im Kolonnenkopf (Rohrpackung undicht)

Diese Ringraumaktivitäten, die sich zum Teil erst im Verlaufe der Testarbeiten herausstellen, bergen in sich erhebliche Gefahren für die Sonde, können unter Umständen sogar zu deren Aufgabe führen, wenn sie die für die einzelnen Kolonnen vorgegebenen Maximalwerte überschreiten und nicht unter Kontrolle zu bringen sind. Beim Auftreten dieser Aktivitäten ist zunächst zu untersuchen, ob der Druckaufbau durch unkontrolliert zufließendes Gas entsteht oder nur durch die auf Grund der zunehmenden Erwärmung hervorgerufene Ausdehnung der Schutz- bzw. Ringraumflüssigkeit verursacht wird.

In diesem Fall genügt das Ablassen einer bestimmten Menge Flüssigkeit, um den drucklosen Zustand herzustellen.

Tritt hingegen freies Gas aus, sind unverzüglich davon Gasproben zu nehmen, um die Herkunft dieses Gases zu bestimmen. Hält sich dieser Gasaustritt über längere Zeit in vertretbaren Grenzen, wird über eine Gasuhr eine Mengenmessung durchgeführt.

Bei Erreichen des Maximaldruckes des jeweiligen Ringraumes wird dieser entlastet. In jedem Fall muß, ausgehend von den örtlichen Verhältnissen, entschieden werden, ob die Sonde abgedichtet werden kann oder der bestehende Druckaufbau mit regelmäßigen Entlastungen beibehalten bzw. die Sonde verworfen wird. Wichtig ist in jedem Fall eine ständige Beobach-



tung und umfassende Dokumentation des Ringraumverhaltens, um jede Gefährdung auszuschließen.

## 6. Totpumparbeiten

Bei Reparaturarbeiten an der Sonde, bei Strangwechseln oder obertägigen Arbeiten am Bohrlochabschluß ist es nötig, den Gasfluß vom Horizont zur Erdoberfläche zu unterbinden. Das wird durch das sogenannte Totpumpen erreicht, d. h., in die Sonde wird ein flüssiges Medium eingebracht, dessen hydrostatischer Druck der Säule größer als der anstehende Lagerstättendruck ist. Bei einem angenommenen Lagerstättendruck von 100 at in 1100 m Tiefe würde der Druck einer Wassersäule von dieser Höhe zum Totpumpen ausreichen ( $1100 \text{ m H}_2\text{O} = 110 \text{ kp cm}^{-2}$ ).

Dieses einfache Beispiel zeigt die Forderungen, die an das Totpumpmedium gestellt werden. Es muß also erreicht werden, mit dem hydrostatischen Druck der Spülungssäule den Lagerstättendruck so differenziert zu überschreiten, daß zwar das Gas im Speicher verbleibt, aber andererseits auch die Spülung nicht in den Speicher eindringt und diesen blockiert. Das vereinfachte Beispiel eines Totpumpprogramms (s. Anlage 1) verdeutlicht den Arbeits- und Materialaufwand einer Totpumpoperation.

## 7. Gesundheits- und Arbeitsschutz

Um den Komplex der Testarbeiten abzuschließen, ist ein Hinweis auf die wichtigsten Bestimmungen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes, der technischen Sicherheit und des Brand- und Umweltschutzes unbedingt erforderlich. Gerade Testarbeiten bringen auf Grund der Arbeiten an Leitungen, die unter hohem Druck stehen und auf Grund des Umgangs mit Säuren und Laugen usw. erhebliche Gefährdungen für die Werk tätigen mit sich.

Weitere gefährdende Momente sind das Auftreten von Nebenkomponten im Erdgas sowie die Möglichkeit von Gehörschädigungen durch den Lärm des teilweise mit Oberschallgeschwindigkeit austretenden Gases. Ebenso wenig darf die mögliche Verschmut-

zung der Umwelt und des Grundwassers bei Freiförderarbeiten außer acht gelassen werden; denn gerade beim technischen Freifördern werden große Mengen zum Teil stark verschmutzten Wassers fein zerstäubt in die Luft geblasen.

Bei der Aufnahme von Testarbeiten muß darauf geachtet werden, daß bestimmte Flüssigkeitsmengen (Wasser, Spülung) zur Verfügung stehen und die Mindestabstände der Sonde, Fackel und Separatorenstation zu öffentlichen Straßen, Freileitungen, Waldgrenzen usw. eingehalten sind. Weiterhin ist bei der Testdurchführung wichtig, daß die vorgegebenen Drücke, die der Produktionsrohrtour nachgeschalteten Ringräume sowie die Nenndrücke der obertägigen Armaturen und Ausrüstungen nicht überschritten werden. Es dürfen nur Materialien und Ausrüstungen zum Einsatz gelangen, die entsprechend den bestehenden Anweisungen überprüft, abgenommen und mit Zertifikaten versehen ausgerüstet sind.

Im Laufe der Entwicklung der Erdgasförderung in unserer Republik sind eine Reihe von technischen und technologischen Verbesserungen eingeführt worden, die mögliche Schädigungen von Mensch und Umwelt stark reduzieren. Dazu gehören z. B. der Einsatz des Entspannungsrohres, die Bereitstellung von Gehörschutzmitteln, Arbeitsschutzbekleidung und regelmäßige Untersuchungen speziell der an kontaminierten Arbeitsplätzen beschäftigten Kollegen.

#### Literaturverzeichnis

- /1/ Rahmentypenprojekt für Testarbeiten des VEB Erdöl-Erdgas Stendal
- /2/ Rahmentechnologie "Testarbeiten" des VEB Erdöl-Erdgas Stendal
- /3/ SCHWELLUSS, H.: Vorlesungsnachschrift im Fach Reservoirmechanik
- /4/ PÖTSCH, W.: Gesundheits- und Arbeitsschutz im Bohrbetrieb. Berlin: Verlag Tribüne 1972

## Anlage 1: Beispiel eines Totpumpprogramms für eine Sonde

### 1. Situation

6 5/8"-Teil der PRT bei Teufe 2050 m

5"-Teil der PRT bei Teufe 3700 m

Es wird im 6 5/8"-Teil der PRT mit der durchschnittlichen Wanddicke von 12,06 mm und im 5"-Teil mit 9,19 mm gerechnet.

### 2. Volumina

#### 2.1. Ringraumvolumen

$$\text{Ringraum } 6 \frac{5}{8}'' - 2 \frac{7}{8}'' = 24,9 \text{ m}^3$$

$$\text{Ringraum } 5'' - 2 \frac{7}{8}'' = \frac{8,4 \text{ m}^3}{}$$

$$\underline{\underline{33,3 \text{ m}^3}}$$

#### 2.2. SR-Volumen

$$\text{Steigraum } 2 \frac{7}{8}'' = 11,2 \text{ m}^3$$

$$\text{2.3. Gesamtes Bohrlochvolumen} = 44,5 \text{ m}^3$$

=====

### 3. Benötigte Materialien und Ausrüstungen

Spülung:  $100 \text{ m}^3$  Kreidespülung =  $1,36 \cdot 1,39 \text{ t m}^{-3}$

Wasser:  $60 \text{ m}^3$

Entsprechendes Behältervolumen. Nach Typenprojekt aufgebaut und installiertes bzw. eingebundenes E-Manifold. Zum Totpumpen werden zwei HD-Aggregate ZA 400 bzw. 2 AN 500 eingesetzt.

## 4. Arbeitsablauf

Eingepumpte Menge kum./m <sup>3</sup>	SR/m <sup>3</sup> kp cm <sup>-2</sup>	P-SR kp cm <sup>-2</sup>	Pumprate l min <sup>-1</sup>	Durchzuführende Arbeiten
0	0	348	0/200	SR und RR geschlossen, Totpumpleitung abgedeckt, Öffnen des RR- und SR-Schiebers, SR nach Gegendruck fahren, Süßwasser in den RR einpumpen. Anfangspumprate 200 l min <sup>-1</sup> , später auf 500 l min <sup>-1</sup> erhöhen, Zirkulation kurz unterbrechen, dabei SR schließen.
33,0	0	348	500	Süßwasser beginnt im SR aufzusteigen, SR nach Gegendruck fahren, je eingepumpter m <sup>3</sup> Süßwasser ist der SR-Kopfdruck um 24 at zu drosseln.
34,3	1/333	324	500	
35,3	2/333	300	500	
36,3	3/333	276	500	
44,5	11,2/370,0	70	500	

Nach dem Totpumpen werden zwei Umläufe mit 70 at Gegendruck gespült. Nach dem Spülen wird die Sonde mit Kreidespülung  $\gamma = 1,36$  bis  $1,39 \text{ t m}^{-3}$  totgepumpt.

Eingepumpte Menge kum./m <sup>3</sup>	SR/m <sup>3</sup> kp cm <sup>-2</sup>	P-SR kp cm <sup>-2</sup>	Pumprate 1 min <sup>-1</sup>	Durchzuführende Arbeiten
33,3	0	70	500	Spülung beginnt im SR aufzusteigen. SR nach Gegen-
34,3	1/333	65	500	druck fahren, je eingepumpter m <sup>3</sup> Spülung ist der
35,3	2/333	60	500	SR-Kopfdruck um 5 at zu senken. Die Sonde ist tot,
36,3	3/333	55	500	Spülung tritt aus den SR.
44,5	11,2/370,0	14	500	Es wird ein Umlauf gespült. Gegen Ende des Umlaufes wird der Schutzdruck weggenommen.

Im gleichen Verlag sind erschienen:

Fachkunde Dampfturbinenbetrieb

Von einem Autorenkollektiv

Federführung Stud.-Rat Dipl.-Päd. Ing. Horst Sajadat

Berufsschullehrbuch

3., durchgesehene Auflage

328 Seiten mit 146 Bildern, 14 Übungsbeispielen und

419 Übungsaufgaben

Format 16,5 x 23 cm · Halbleinen 11,30 M · Auslandspreis 18,- M

Bestell-Nr.: 540 641 8

Dieses Lehrbuch für Maschinisten in Wärmekraftwerken vermittelt sowohl die Grundkenntnisse als auch die neuesten Erkenntnisse und Erfahrungen über Betrieb und Wartung von Turboaggregaten. Gegenüber der 2., stark überarbeiteten Auflage wurden in diese 3. Auflage besonders die neuesten Standards eingearbeitet.

Durch die Einbeziehung der 210-MW- und im gewissen Umfang auch der 500-MW-Blockeinheiten wird der augenblickliche und auch der künftige Erkenntnisstand berücksichtigt. Neben der Vermittlung berufstheoretischer Kenntnisse wird größter Wert auf praxisbezogene Beispiele gelegt, und die Stoffaneignung wird durch Übungsbeispiele und Lösungen, Merksätze, Aufgaben und zahlreiches Bildmaterial unterstützt. Das Buch entspricht dem Lehrplan für die Ausbildung von Maschinisten in Wärmekraftwerken. Im einzelnen werden folgende Themen behandelt:

Kondensation und Kühlwasserversorgung, Turboaggregate, Ölkreislauf, Regelung der Dampfturbinen, Sicherheits- und Schutzmaßnahmen, Wartung und Betrieb von Turboaggregaten, Störungen und Schäden an Dampfturboaggregaten.

# TECHNIK UND UMWELTSCHUTZ

Luft - Wasser - Boden - Lärm

Publikation Nr. 14

## Technologische Lösungen für Lärmschutz sowie Abwasser- und Abluftreinigung

Herausgegeben von der Kommission für Umweltschutz  
beim Präsidium der Kammer der Technik

210 Seiten mit 82 Bildern

Format 14,7 x 21,5 cm · Broschur (zelloph.) 9,90 M

Auslandspreis 14,- M

Bestell-Nr.: 541 219 9

Der erste Themenkomplex dieser Broschüre befaßt sich mit aktuellen Forschungsergebnissen des In- und Auslandes aus den Bereichen des Straßenverkehrslärms, Fluglärm, Baulärms und des Lärms im Betrieb. Neben einem Überblick über den internationalen Stand der technischen und hygienischen Lärmgrenzwerte vermitteln die Autoren neueste Erkenntnisse des Lärmschutzes aus volkswirtschaftlicher, aber auch aus medizinisch-kommunalhygienischer Sicht. Im einzelnen befassen sich die Beiträge mit Fragen des höchstzulässigen Lärms an Arbeitsplätzen, der Messung und Darstellung von Lärmimmissionen in Form von Industrie-Verkehrslärmkarten, weiterhin mit den Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit des Menschen und mit gegenwärtigen und zukünftigen Aktivitäten zur Durchsetzung des Lärmschutzes bzw. der Überwachung und Kontrolle der Lärmimmissionen in unserer Deutschen Demokratischen Republik.

Der sich daran anschließende Themenkomplex behandelt hochaktuelle Probleme der Abwasser- und Abluftreinigung im Chemieanlagenbau der DDR. An Hand konkreter Beispiele werden physikalische, chemische und biologische Verfahren zur Reinigung der Abwässer bzw. Methoden der Rauchgasentstaubung vorgestellt.

Diese Publikation wendet sich an alle Industriezweige, HNO-Ärzte, Bezirkshygieneinstitute, Mitarbeiter des Verkehrswesens, Organe des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, Organe und Betriebe der Wasserwirtschaft, Chemieanlagenbaubetriebe und Landwirtschaftliche Produktionsgenossenschaften.

## TECHNIK UND UMWELTSCHUTZ

Luft - Wasser - Boden - Lärm

Publikation Nr. 15

### Luftreinhaltung in der Industrie

Herausgegeben von der Kommission für Umweltschutz  
beim Präsidium der Kammer der Technik

290 Seiten mit 122 Bildern

Format 14,7 x 21,5 cm · Broschur (zelloph.) 14,80 M

Auslandspreis 19,- M

Bestell-Nr.: 541 220 1

21 Beiträge behandeln schwerpunktmäßig Probleme der Luftreinhaltung im Bereich des Hüttenwesens und der chemischen Industrie. Zu Beginn werden in mehreren Arbeiten die Erfahrungen langjähriger Forschungsarbeiten über Emissionen aus charakteristischen Betrieben, deren analytische Erfassung sowie Maßnahmen und neue Entwicklungstechniken zur Einschränkung bzw. Beseitigung der Luftverunreinigung aus industriellen Quellen vermittelt. Der Schwerpunkt liegt dabei in der zusammenfassenden Darstellung der Fortschritte bei der technischen Gestaltung und Vervollkommnung von Schutzeinrichtungen zur Abgasreinigung, der lückenlosen Erfassung der Emissionssituation mit Hilfe neuer Meßnetze bzw. der rechnerischen Abschätzung der Ausbreitungen von Luftverunreinigungen durch die Modellierung von Diffusionsprozessen. Den Abschluß bilden Beiträge über die Auswirkungen von Hüttenstaub auf die Vegetation, entsprechende Anpassungsmaßnahmen von Gartenbau und Landwirtschaft und schließlich eine Arbeit über das Korrosionsverhalten von Stahl unter Einwirkung industrieller Schadstoffe.

Die Publikation wendet sich an die Industriezweige Hüttenwesen, Bergbau, Chemie, Energie, Projektanten und Betreiber von Elektrofilteranlagen, Mitarbeiter der Land- und Forstwirtschaft sowie Institute der Arbeitshygiene.

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

VEB DEUTSCHER VERLAG FÜR GRUNDSTOFFINDUSTRIE · LEIPZIG