

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 Steigrohre, 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 CE₂ - 350 mit Konusaufhängung (Bild 1)
- Rumänisches E-Kreuz 2 9/16" x 2 1/16" x 700 mit Konusaufhängung (Bild 2)

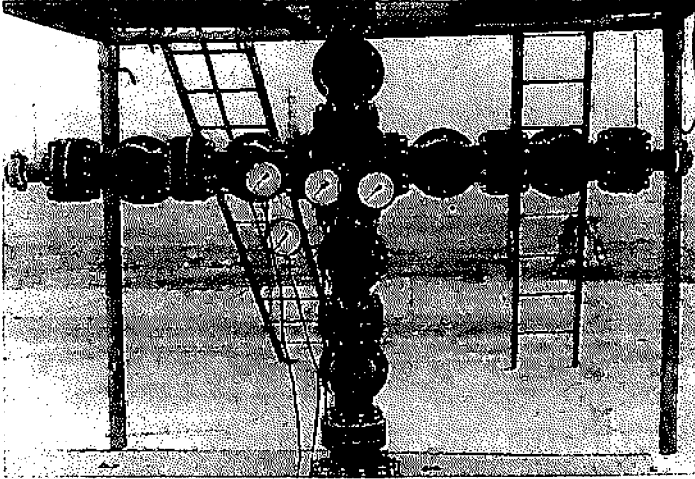


Bild 1. Rumänisches E-Kreuz Typ CE₂ - 350
(Steigraumteil 3" x 3" - 350)

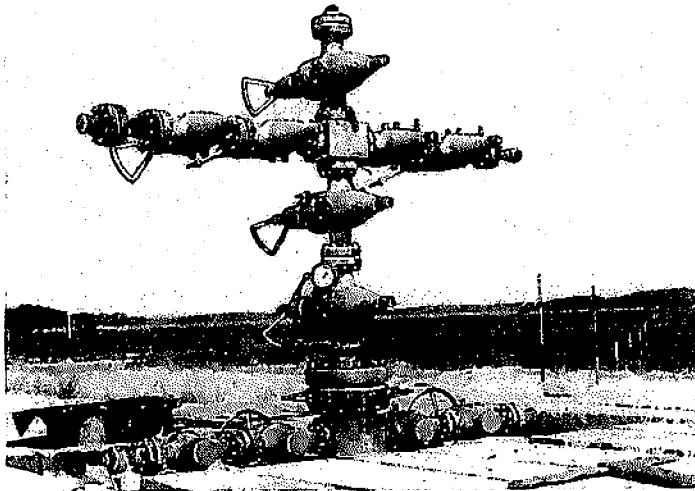


Bild 2. Rumänisches E-Kreuz 2 9/16" x 2 1/16" - 700
mit Konus-Aufhängung
Steigraumteil: 2 9/16" x 2 1/16" - 700
Ringraumteil: 2 1/16" - 700

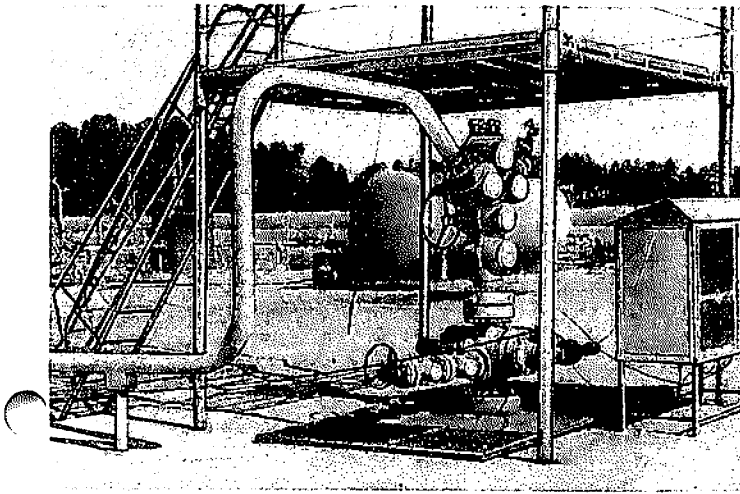


Bild 3. Amerikanisches E-Kreuz 6" x 4" x 4" im eingebundenen Zustand mit Tubinghängerpreventer (10" x 6" x 2" - 350)

Steigraumteil: 4" - 350

Ringraumteil: 2" - 350

Die Druckstufe dieses in Kompaktbauweise hergestellten E-Kreuzes ist mit 5000 psi (pount-square-inch), entsprechend 350 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

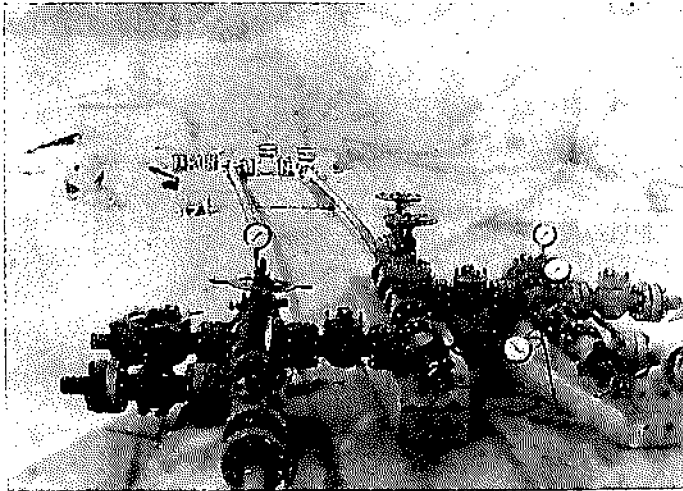


Bild 4. Eruptionsmanifold der Druckstufe 350 kp cm^{-2}

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

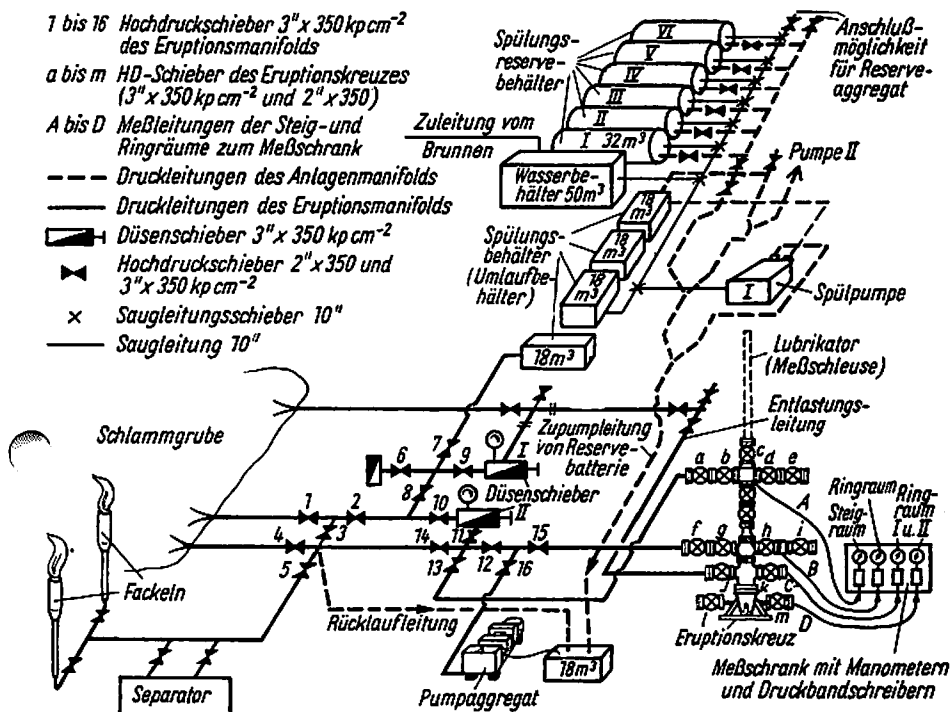


Bild 5. Sicherungssysteme einer Sonde

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.

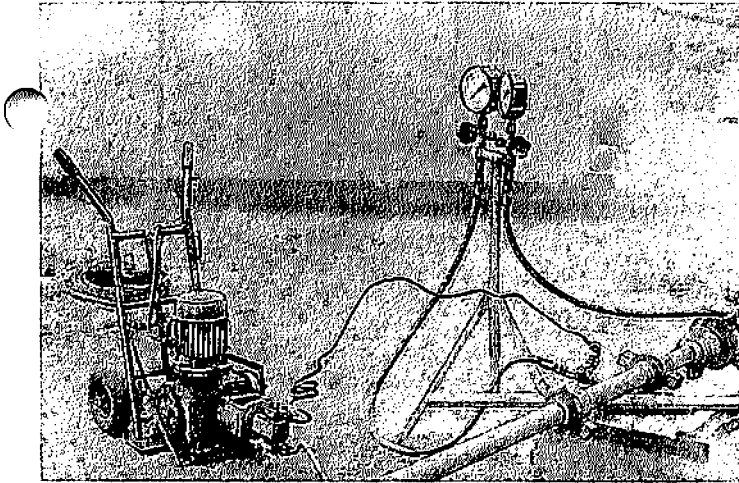


Bild 6. Gerät zur Bestimmung von Gasmengen
Diktgerät (rechts), Dosierpumpe (links)

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).

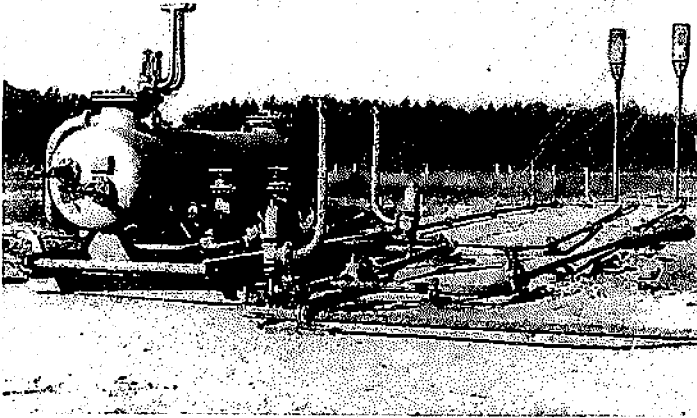


Bild 7. Drei-Phasen-Horizontalseparator mit Sicherheitsventilen und Fackeleinheit

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 (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.