

## II.3. Die Aufschließung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten

### II.3.1. Technik des Bohrens

von Hermann SPÖRKER

#### II.3.1.1. Historische Entwicklung

Wann immer geologische Schichten unter der Erdoberfläche auf direktem Weg untersucht werden sollen, muß eine Tiefbohrung angesetzt werden. Schächte, wie sie beim konventionellen Bergbau verwendet werden, scheiden nicht nur aus Kostengründen, sondern auch wegen der Lagerstättenverhältnisse bei Kohlenwasserstoffen aus, da diese in flüssigem und/oder gasförmigem Zustand unter hohem Druck stehen. Tiefbohrungen, die erst in den letzten Jahrzehnten durch die intensive weltweite Suche nach Erdöl und Erdgas auch dem breiten Publikum bekannt wurden, gab es schon vor Jahrtausenden.

Die ersten Bohrungen, die meistens, jedoch nicht immer, nach unserem Sinn gegrabene Brunnen darstellten, sind Jahrtausende vor unserer Zeitrechnung niedergebracht worden und dienten in erster Linie der Suche nach Wasser. In den letzten Jahrhunderten vor Christus wurden bereits Brunnen zur Gewinnung von Salzwasser und Erdöl beschrieben.

KONFUZIUS berichtete von Bohrungen in China, die zur Gewinnung von Salzsole schon während der Tschou-Dynastie (1050–256 v. Chr.) niedergebracht wurden. Es kann angenommen werden, daß diese Bohrungen Teufen um 500 m erreichten.

HERODOT schreibt von Bohrungen, die etwa 500 bis 450 v. Chr. in Kleinasien (etwa dem heutigen nördlichen Irak) zur Gewinnung von Asphalt durchgeführt wurden. Zwischen dem 6. und 16. Jahrhundert unserer Zeitrechnung sind Bohrungen – oder besser handgegrabene Brunnen – zur Gewinnung von Erdöl aus Japan und Burma bekannt geworden.

Um 1500 verfertigte Leonardo da VINCI Skizzen eines Erdbohrapparates unter Verwendung eines Spiralmeißels. Die er-

sten tatsächlichen Bohrungen Mitte des 18. Jahrhunderts (DIDEROT) und Anfang des 19. Jahrhunderts (PRUD'HOMME) verwendeten teilweise da VINCI'S Ideen. So wurde 1795 nahe St. Nicholas d'Abremont in Frankreich eine Wasserbohrung bis auf eine Teufe von 330 m niedergebracht. Danach entwickelte sich immer stärker das sogenannte Seilschlagbohrverfahren, das später in der Erdöltechnik dann allgemein das pennsylvanische Bohrverfahren genannt wurde.

Grundsätzlich sind beim Herstellen einer Tiefbohrung drei wesentliche Aufgaben zu lösen (Bohrphasen):

1. Die Zerstörung der Bohrlochsohle zur Vertiefung der Bohrung, der eigentliche Bohrvorgang (Phase 1)
2. Die Entfernung und der Abtransport des bei der ersten Phase angefallenen Gebirges (Phase 2)
3. Sicherung des hergestellten Hohlraumes (Bohrloch) gegen Verbruch (Phase 3)

Beim Schlagbohrverfahren sind alle drei vorgenannten Phasen immer zeitlich voneinander getrennt: zuerst wird mittels eines an einem Seil hängenden Meißels durch Auf- und Abbewegung die Bohrlochsohle zerstört. In Abständen wird der Meißel hochgezogen und ausgebaut, damit der auf der Bohrlochsohle befindliche Bohrschmant (das zertrümmerte Gestein) mittels eines Schmantlöffels zutage befördert werden kann. Ein Schmantlöffel ist ein Rohr, das am unteren Ende eine Rückschlagklappe hat, die sich beim Hochfahren schließt, damit der Bohrschmant nicht wieder herausfällt. Von Zeit zu Zeit müssen Rohre zur Abstützung der offenen Bohrlochwand eingebracht werden. Dies war ziemlich oft notwendig, wodurch solche Bohrungen je nach der Standfestigkeit der zu durchteufenden Schichten nur beschränkte Teufen erreichen konnten.

# BOHRTEUFENREKORDE USA / ÖSTERREICH

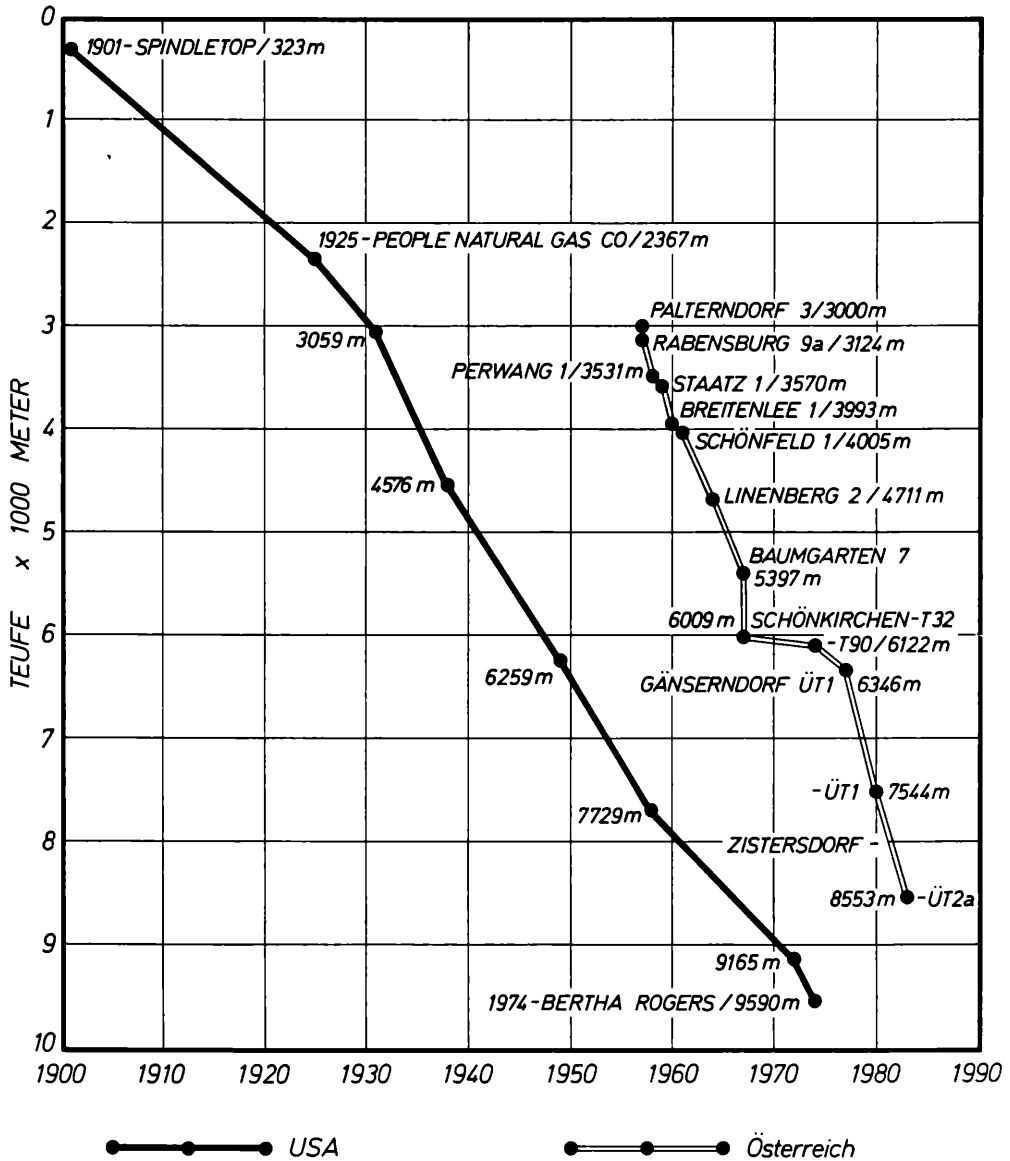


Abb. 56. Bohrteufenrekorde in den USA und in Österreich

Die tiefste Seilschlagbohrung der Welt wurde 1925 von der People's Natural Gas Company in Pennsylvania, USA, mit einer Endteufe von fast 2367 m fertiggestellt. Die berühmteste Seilschlagbohrung war wohl die von „Colonel“ DRAKE bei Titusville, Pennsylvania, USA, die am 27. August 1859 in einer Teufe von 21,2 m (!) ölfündig wurde. Das war der Geburtstag der Erdölindustrie.

Eine Abart des Seilschlagbohrverfahrens ist das Kanadische Schlagbohrverfahren, bei dem statt des Bohrseiles ein Bohrgestänge aus Rundeisen verwendet wurde.

Einen wesentlichen Fortschritt bedeutete die Entwicklung des Spülschlagbohrverfahrens. Es wird dabei eine Spülflüssigkeit, ursprünglich Wasser, kontinuierlich durch den hohlen Bohrstrang (Bohrgestänge) zum Meißel gepumpt, tritt beim Bohrmeißel aus, nimmt das erbohrte Bohrklein (Bohrschmant) auf und transportiert es über den Ringraum zutage. Der Ringraum ist der Raum zwischen Bohrstrang und dem Gebirge (Gestein). Die oben genannten Phasen 1 und 2 waren nun zu einer Phase vereint, womit eine wesentliche Steigerung des Bohrwirkungsgrades erfolgte. Teilweise wurde damals auch schon die dritte Phase, die Sicherung des hergestellten Hohlraumes gegen Verbruch, erreicht. Vollständig wurde dies erst später möglich, als die Bedeutung der Spülflüssigkeit für die Tiefbohrtechnik erkannt wurde (siehe Kapitel II.3.1.3.).

In Europa wurde dieses System von Albert FAUK weiter entwickelt und als Faulk-Rapid-Bohrkran bekannt. Mittels dieses Bohrverfahrens wurden schon um die Jahrhundertwende in Österreich-Ungarn (Galizien) Bohrungen auf über 1500 m erfolgreich niedergebracht.

Unabhängig von der schlagenden Bewegung kann die Bohrlochsohle auch durch eine drehende, schabende Abtragung, ähnlich wie bei einem Spiralbohrer, zerstört werden. Diese Bohrmethode benötigt eine kontinuierliche Reinigung der Bohrlochsohle, also den Spülungskreislauf (Spülungsumlauf). Es ist das heute zur Herstellung von Tiefbohrungen am meisten verwendete Bohrsystem und wird weltweit Rotary-Verfahren genannt.

Wenn diese Methode auch schon vorher angewendet wurde, so gilt heute allgemein der 10. Jänner 1901 als Geburtstag der modernen Rotary-Tiefbohrtechnik. An diesem Tag erupierte der berühmte Spindletop Gusher mit 100.000 Faß Öl (1 Faß ist 159 l) aus der Erde von Texas. Wir dürfen mit Stolz feststellen, daß es ein Marineingenieur der österreichisch-ungarischen Monarchie war, der diese Leistung vollbrachte: Anton LUCAS (LUCHICH).

Österreich war schon lange, und ist es heute noch, sehr erfolgreich in der Tiefbohrtechnik. Die Abbildung 56 zeigt die Entwicklung der maximalen Bohrteufen in den USA (stets Weltrekordhalter bei KW-Bohrungen) und in Österreich.

### II.3.1.2. Die Rotary-Bohranlage

Eine moderne Bohranlage, so wie sie im Luftbild (Abb. 57) zu sehen ist, setzt sich aus den im folgenden beschriebenen Teilen zusammen (Abb. 58).

Bohrgerüst: das ist eine Stahlkonstruktion, die als Mast oder pyramidenförmiger Turm ausgebildet ist, mit einer Höhe meist zwischen 20 und 60 m und einer Tragfähigkeit bis zu mehreren hundert Tonnen. In diesem Bohrgerüst befindet sich ein Flaschenzugsystem, das der Belastbarkeit des Gerüsts entspricht und alle Manipulationen im Bohrloch, wie Gestängeein- und -ausbau sowie Futterrohr-Einbau (Verrohrung) ermöglicht. Während des Bohrens hängt natürlich auch der Bohrstrang an diesem Flaschenzug. Die Höhe des Bohrgerüsts ist zur Rationalisierung des Gestängeaus- und -einbaus (z. B. um das Bohrwerkzeug zu wechseln) entsprechend groß vorgesehen. Die einzelnen Bohrstangen sind etwa 9 m lang. Damit jedoch das Bewegen des Gestänges erleichtert und auch zeitlich verkürzt wird, werden 2, 3 oder 4 solcher Stangen, als „Züge“ verschraubt, beim Aus- und Einbauen gemeinsam bewegt. Beim Ausbauen werden diese Züge dann im Bohrgerüst abgestellt.

Das Bohrgerüst ruht auf einer manchmal über 10 m hohen Stahlkonstruktion, dem Kellergerüst, dessen obere Plattform als Arbeitsbühne dient und das Hebewerk so-

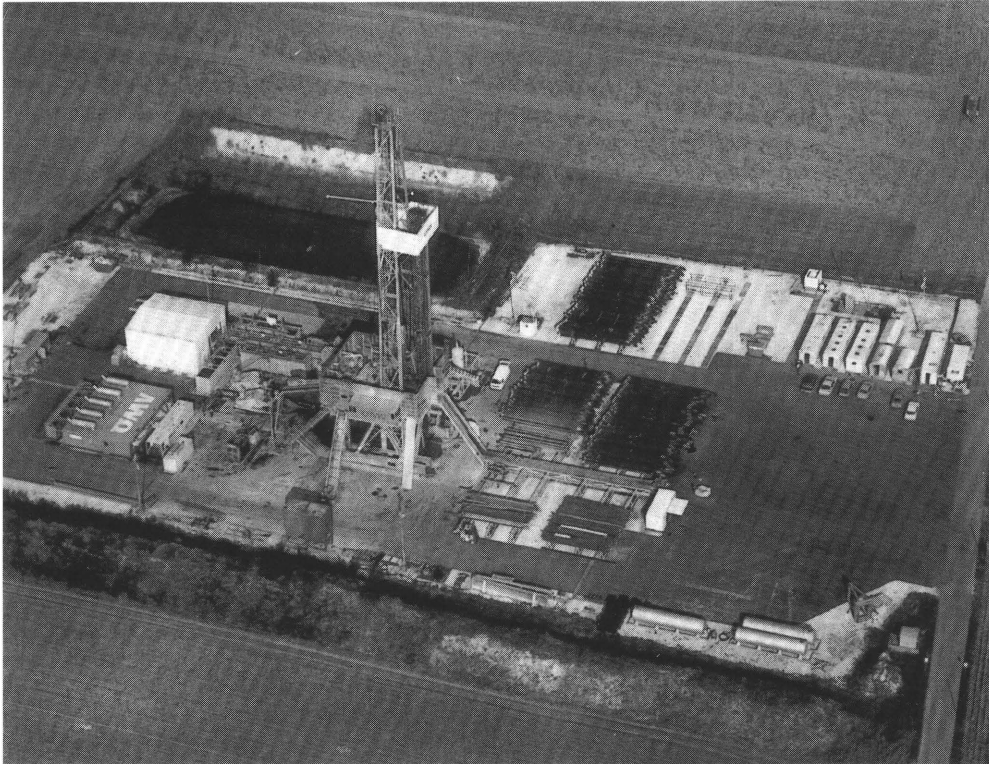


Abb. 57. Überschwere Bohranlage (ÖMV Zistersdorf ÜT2, Endteufe: 8.553 m)

wie den Drehtisch aufnimmt. Die freie Höhe darunter wird für die Preventeranlage, das sind die Sicherheitsarmaturen auf dem Bohrlochmund, benötigt (Abb. 58–60).

**Hebewerk:** es besteht meist aus einem Ein-Trommel-Kran zum Bewegen des Flaschenzugsystems im Bohrerüst. Von diesem Hebewerk erfolgt auch der Antrieb des Drehtisches auf der Arbeitsbühne, wenn nicht ein elektrischer Direktantrieb verwendet wird.

**Antriebsmaschinen:** die meisten Rotary-Bohranlagen verwenden zum Antrieb zwei bis vier Dieselmotore, die ihre Kraft in ein Verbundgetriebe einspeisen und so Hebewerk und Spülpumpen antreiben. Bei schweren Bohranlagen beträgt die installierte Leistung bis zu 5 000 PS, das sind 3 678 kW. Heute wird bei schweren Bohranlagen der diesel-elektrische Antrieb immer mehr bevorzugt. Dieselmotore erzeugen über Generatoren

Drehstrom. Durch Gleichrichter wird dieser in Gleichstrom umgewandelt, der die Elektromotore der einzelnen Arbeitsmaschinen antreibt.

**Spülpumpen:** je nach Größe der Bohranlage werden ein bis drei Spülpumpen verwendet, die zur Zirkulation der Spülflüssigkeit dienen. Waren früher meist doppelt wirkende Duplex-Kolbenpumpen eingesetzt, so werden heute einfach wirkende Triplex-Konstruktionen bevorzugt. Jede dieser Pumpen kann bis zu 1700 PS (= 1250 kW) Eingangsleistung besitzen und Zirkulationsdrücke bis 350 bar ermöglichen (Abb. 59).

**Spülsystem:** zur Lagerung, Reinigung und Regenerierung der verwendeten Bohrspülung werden neben einer Tankanlage, die ein Volumen bis zu 500 m<sup>3</sup> haben kann, Schüttelsiebe (Vibrationssiebe), Hydrozyklone (Abscheidungsgeräte) und manchmal auch Zentrifugen benötigt, um das von der Spülung aus

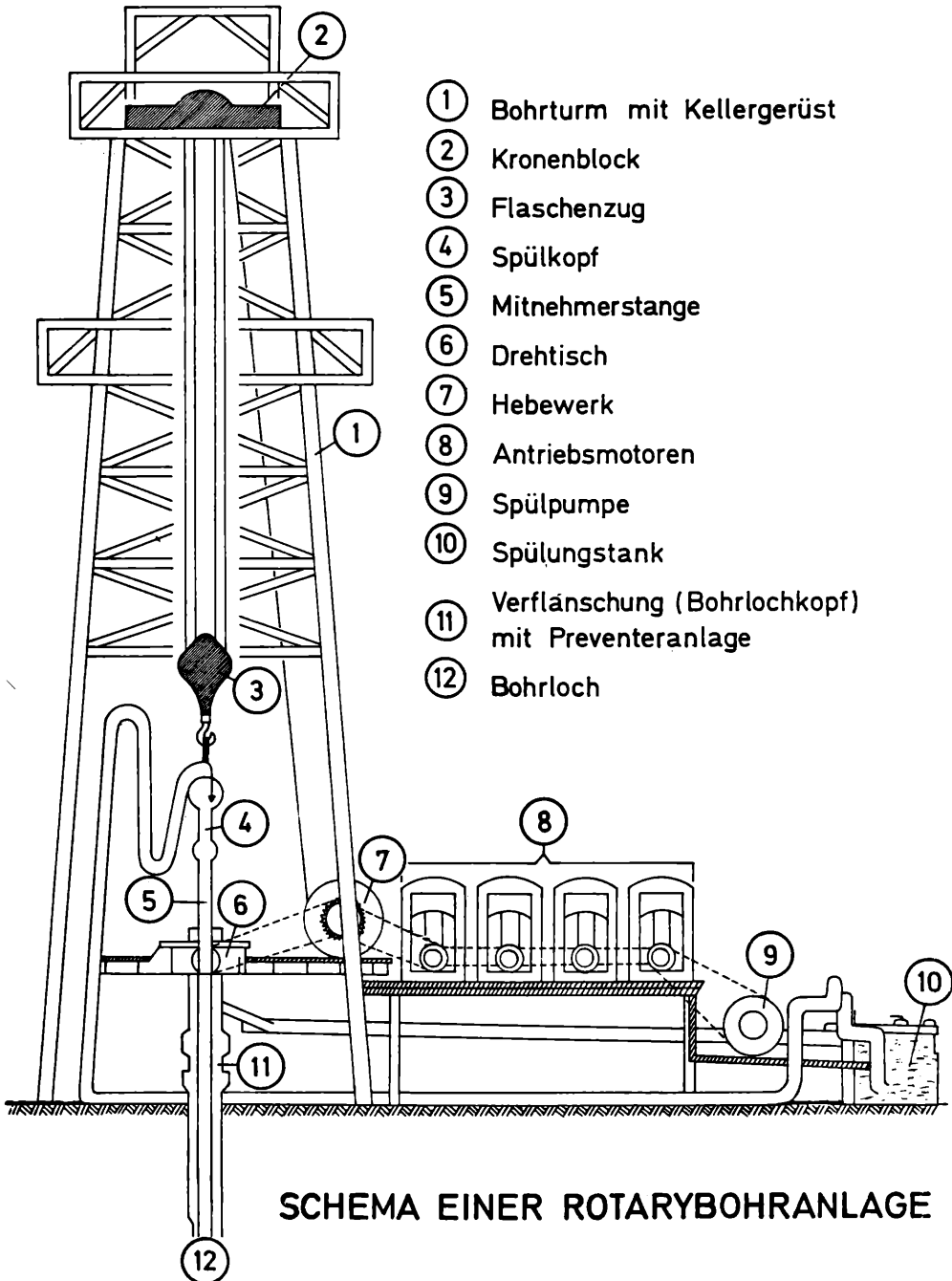


Abb. 58. Schema einer Rotarybohranlage

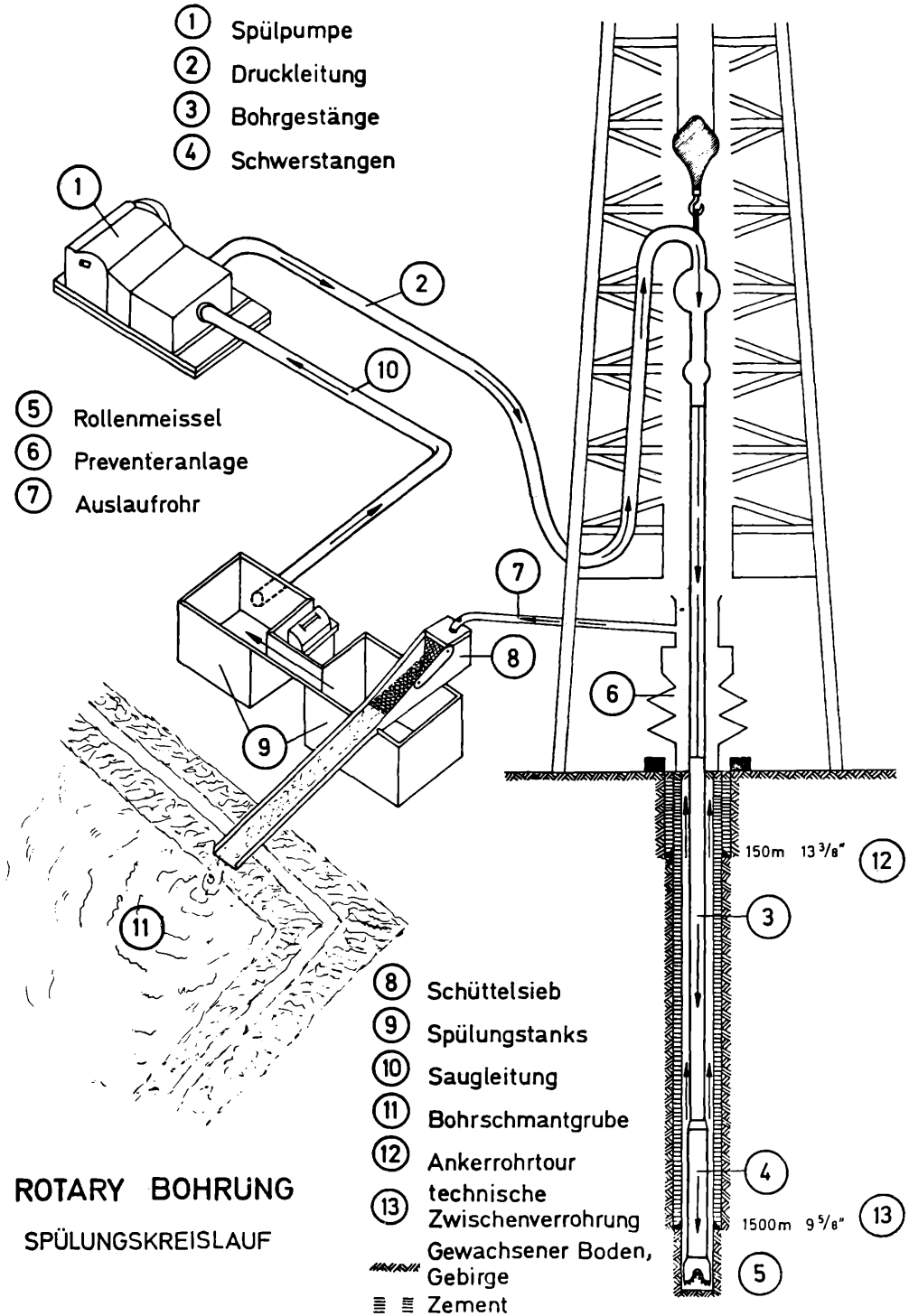


Abb. 59. Rotary Bohrung, Spülungskreislauf

dem Bohrloch ausgetragene Bohrgut abzuschneiden. Rührwerke in den Spülungstanks gewährleisten die Homogenität der Spülung, Chemikaliertanks ermöglichen den gleichmäßigen Zusatz von Reagenzien zur Kontrolle der rheologischen Eigenschaften, das sind jene, die beim Fließen flüssiger oder kolloidaler Substanzen, wie der Bohrflüssigkeit, unter der Einwirkung äußerer Kräfte auftreten. Für den Notfall sind Einrichtungen vorgesehen, die das rasche Beschweren der Spülung (= die Erhöhung des spezifischen Gewichtes) durch Zusetzen von feingemahltem Baryt (= BaSO<sub>4</sub>, Schwerspat) gestatten.

**Bohrstrang:** beim Rotary-Bohrsystem ist es notwendig, daß eine Drehbewegung von obertags bis zum Bohrwerkzeug auf der Bohrlochssole übertragen wird und auch die Spülflüssigkeit dorthin gelangt. Zu diesem Zweck werden die schon erwähnten Gestängerohre (Bohrstangen) verwendet, die mit meist vorgeschweißten Verbindern, die ein verschleißfestes, konisches Grobgewinde besitzen, verschraubt werden. Bohrgestänge steht in folgenden Außendurchmesser-Dimensionen zur Verfügung:

Zoll	Millimeter
2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	60,33
2 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	73,03
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	88,90
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	114,30
5	127,00
5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	139,70
6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	168,28

Am oberen Ende des Bohrstranges befindet sich eine quadratische oder sechseckige Mitnehmerstange (Kelly), die die Übertragung der Drehbewegung vom Drehtisch auf den Bohrstrang ermöglicht. Der untere Teil des Bohrstranges zwischen Bohrgestänge und Bohrmeißel besteht aus den Schwerstangen. Das sind Rohre mit einer Wandstärke bis zu 100 mm und manchmal auch noch größer, deren große Masse dazu benötigt wird, um die gewünschte Belastung auf den Bohrmeißel ausüben zu können sowie eine größere Steifheit des unteren Bohrstranges herbeizuführen. Dies soll be-

wirken, daß beim Bohren ein möglichst vertikales Bohrloch geschaffen wird.

Zwischen der Mitnehmerstange und dem Flaschenzugsystem im Bohrerüst befindet sich der Spülkopf, der mittels Lager und Stopfbüchsen die Drehbewegung des Bohrstranges bei gleichzeitiger Zuführen der Spülflüssigkeit ermöglicht.

**Sicherheitseinrichtungen:** auf dem Bohrlochmund, der Verflanschung, in der die bereits eingebrachten Rohrkolonnen (Futterrohre, Verrohrung) abgefangen und abgedichtet sind, werden Schieberkombinationen (Preventer, meist hydraulisch zu betätigen) aufgef lanscht, die es jederzeit ermöglichen sollen, das Bohrloch zu verschließen, um einen unkontrollierten Ausbruch aus dem Bohrloch zu verhindern (Abb. 60). Neben diesen primären Ausbruchsicherungen sind noch sekundäre vorhanden, wie Düsenmanifolds, die das Zirkulieren der Spülung auch bei geschlossenen Preventern gestatten sowie Entgasungsgeräte, die das Abscheiden von in das Bohrloch eingetretenem Gas von der Spülung bewirken.

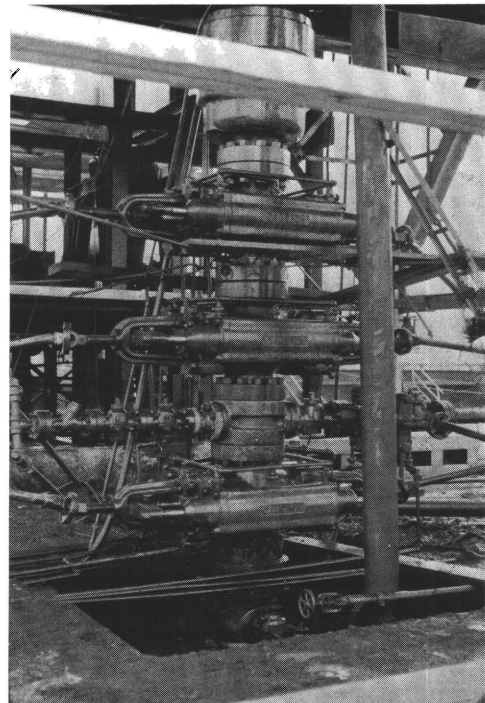


Abb. 60. Preventeranlage

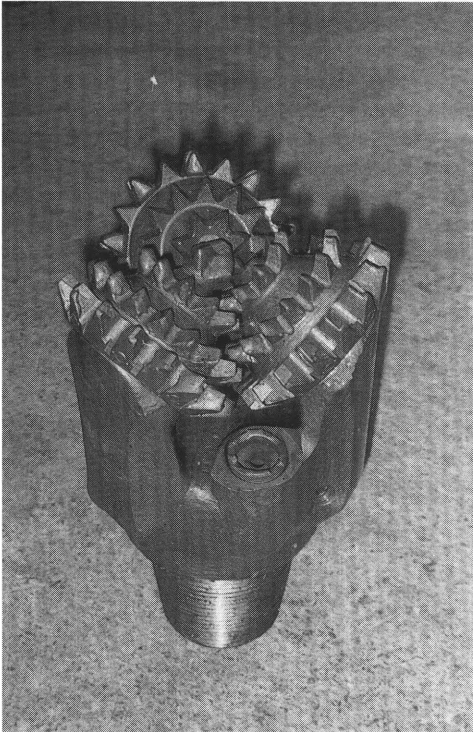


Abb. 61. Dreirollen-Zahnmeißel

Neben diesen Maschinen und Geräten sind noch einige Werkzeuge und Materialien für das Niederbringen von Bohrungen notwendig, von denen die wichtigsten kurz beschrieben werden sollen.

**Bohrwerkzeuge:** bei Rotary-Bohrungen wurden anfangs nur spanabhebende Meißel, sogenannte Fischschwanzmeißel, verwendet. Neben der hohen Torsionsbeanspruchung des Bohrstranges, die solche Werkzeuge verursachten, wurden sie auch beim Bohren in härteren Schichten, z. B. Sandsteinen, rasch stumpf und verursachten auf diese Weise hohe Bohrkosten. Daran änderte auch das Aufbringen von Hartmetall auf die Meißelschneiden wenig. Im Jahre 1909 verfertigten SHARP und HUGHES den ersten Rollenmeißel, eine Erfindung, die die Rotary-Bohrtechnik revolutionierte. Gezahnte Rollen wurden auf der Bohrlochsohle drehend bewegt und zerstörten das Gestein (Abb. 61). Entsprechend der unterschiedlichen Härte des Gesteins wurden in der

Folge verschiedene Rollen- und Zahnkonfigurationen entwickelt. Für extrem harte und abrasive Formationen wurden die aus dem Vollen der Rollen gefrästen Zähne durch Hartmetallstifte (Disken) aus Wolframkarbid ersetzt (Abb. 62).

In den frühen fünfziger Jahren begann man auch den Spülungsstrom, der bisher nur für den Transport des erbohrten Gesteinsmaterials verwendet wurde, zur Zerstörung, bzw. zumindest zur vollständigen Reinigung der Bohrlochsohle zu verwenden. Die bis dahin im Zentrum des Rollenmeißels befindlichen Spülsaustrittsöffnungen wurden nach außen zwischen die Schneidrollen verlegt und mit Düsen versehen. Die in der Folge eingetretene Entwicklung von größeren, leistungsfähigeren Spülpumpen gestattete es, die Spülung mit einer Geschwindigkeit von über 100 m pro Sekunde beim Meißel in Richtung Bohrlochsohle austreten zu lassen. Dies führte zu einer gewaltigen Steigerung des Bohrfortschrittes. Heute werden bei Rol-

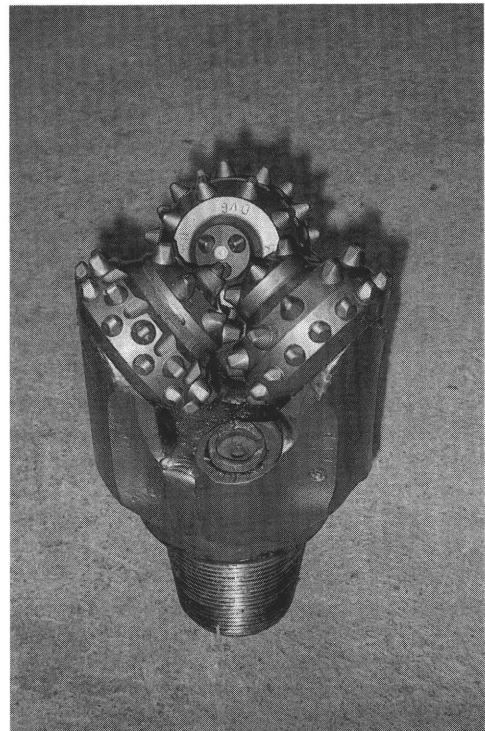


Abb. 62. Dreirollen-Diskenmeißel



lenmeißeln fast ausschließlich Konstruktionen mit Düsen verwendet. Für das Bohren in extrem harten Gebirgsschichten wurden, gleichfalls in den fünfziger Jahren, Diamantmeißel entwickelt (Abb. 63).

Nachdem es der Firma General Electric gelungen war, künstliche Diamanten herzustellen, wurden später auch Formstücke daraus angeboten, sogenannte „polycrystalline diamond compacts“ (PDC). Diese wurden als Schneidelemente für Bohrmeißel eingesetzt und brachten hervorragende Leistungen. Heute ist man überzeugt, daß nach den Rollenmeißeln mit der Verwendung von PDC's eine neue Generation von Bohrwerkzeugen begonnen hat (Abb. 64).

### II.3.1.3. Die Bohrspülung

Diese Flüssigkeit, ursprünglich reines Wasser, wurde, wie erwähnt, zuerst nur als Transportmittel für das erbohrte Gebirge eingesetzt. Als man jedoch weichere, wenig standfeste Schichten durchbohrte, erkannte man, daß durch Zusatz von Ton



Abb. 63. Diamantmeißel

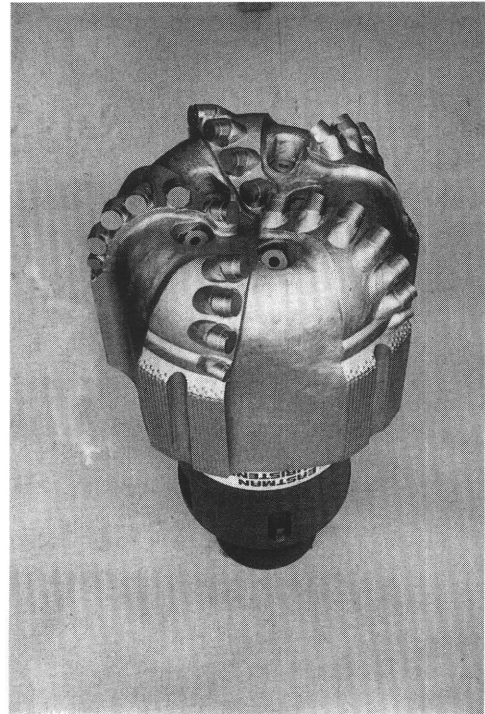


Abb. 64. PDC-Meißel

oder ähnlichen Stoffen ein Verkleisterungseffekt an der Bohrlochwand herbeigeführt werden konnte und diese dadurch weniger zum Nachfall neigte.

Heute ist der Problembereich der Bohrspülung zu einem der wichtigsten Fachgebiete der Tiefbohrtechnik geworden. Die Hauptaufgaben, die eine Spülung zu erfüllen hat, sind:

- Kühlung des Bohrwerkzeuges
- Reinigung der Bohrlochsohle
- Abtransport des Bohrschmantes
- Stabilisierung der Bohrlochwand
- Kontrolle des Druckes in den durchbohrten Schichten
- Möglichkeit, bestimmte Bohrlochmessungen durchzuführen.

Eine weitere wichtige Eigenschaft der Bohrspülung, die zumeist eine Tonsuspension ist, stellt das Verhalten bei Aufhören der Zirkulation, z. B. während des Aus- und Einbauens des Bohrstranges, während eines Tests oder bei sonstigen Stillständen dar. Die nun unbewegte Spülungsflüssigkeit versteift sich zu einem

puddingartigen Gel. Diese Eigenschaft nennt man Thixotropie. Damit wird bewirkt, daß bei Spülungsstillstand der mitgeführte Bohrschmant in Schwebe bleibt und nicht zurück auf die Bohrsohle sinkt, was beim Weiterbohren Schwierigkeiten verursachen kann. Durch den Pumpendruck bei Wiederbeginn der Zirkulation wird die Bohrspülung wieder verflüssigt.

Die oben erwähnte Reinigung der Bohrlochsohle wird vor dem Ausbauen des Bohrstranges besonders gründlich dadurch besorgt, daß man ein bis mehrere Stunden die Spülflüssigkeit zirkulieren läßt, wobei der Meißel etwas von der Bohrsohle abgehoben wird. Ebenso kann vorgegangen werden, wenn in der Bohrspülung unerwünschte Beimengungen auftreten, die auszirkuliert werden sollen, wie zu hoher Sand- oder Gasgehalt. Die gleiche Methode kann auch angewendet werden, wenn aufgrund geänderter Druckverhältnisse eine leichtere gegen eine schwerere Spülung ausgetauscht werden muß.

Wenn auch Spülungen zur Optimierung des Bohrfortschrittes mit möglichst niedrigem spezifischen Gewicht gefahren werden sollen, können sie durch Zusatz von Beschwerungsmitteln (z. B. Baryt) bis auf ein Gewicht, das weit über dem Doppelten von Wasser liegt, angehoben werden. Überwiegend werden Spülungen auf Wasserbasis verwendet, das heißt, die Hauptmasse der Spülung besteht aus Wasser, dem bestimmte Zusätze beigegeben sind. Es können jedoch schwierige Gebirgsverhältnisse oder empfindliche Lagerstätten den Einsatz von ölbasischen Spülungen erforderlich machen.

Unter besonders günstigen Umständen, wie hartes, trockenes und standfestes Gebirge, wird statt einer Flüssigkeitsspülung Luft verwendet (Luftbohrverfahren), was zu einer bedeutenden Erhöhung des Bohrfortschrittes führt. Bei extrem schwierigen Verhältnissen, wie etwa bei hartnäckigen Spülungsverlusten, kann man dieses Verfahren auch verwenden. In weniger standfesten Schichten und bei begrenztem Wasserzufluß muß man dann jedoch schaubildende Chemikalien zusetzen.

Dies nennt man das Schaumbohrverfahren.

#### II.3.1.4. Der Bohrvorgang

Soll nun eine Bohrung niedergebracht werden, dann werden zunächst die im Kapitel II.2.7. geschilderten Vorbereitungsarbeiten für den Bohrplatz und die Zufahrt ausgeführt. Sodann wird auf der Lokation eine für die voraussichtliche Endteufe entsprechende Bohranlage errichtet. Dies dauert bei den heute im Einsatz befindlichen modernen Geräten zwei bis zehn Tage. Vor Bohrbeginn wird meist händisch das Standrohr als erstes Führungsrohr eingesetzt, das zur Ermöglichung des Spülungsumlaufes dient.

Wir wollen nun als typisches Beispiel das Abteufen einer 3 000 m tiefen Bohrung im Wiener Becken beschreiben. Das genannte Standrohr hat einen Außendurchmesser von 18<sup>5</sup>/<sub>8</sub> Zoll (473 mm) und reicht bis 5 m unter die Ackersohle. Der Ringraum zwischen Standrohr und Gebirge wird von außen sorgfältig verzementiert. Anschließend wird mit einem 17<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-Zoll-Meißel (445 mm) unter Verwendung von reiner Tonspülung das Bohrloch bis etwa 150 m Teufe niedergebracht, der Meißel ausgebaut und die Bohrstrecke geophysikalisch vermessen (siehe Kapitel II.3.3.), sodann in das mit Spülung gefüllte Bohrloch Rohre mit einem Durchmesser von 13<sup>3</sup>/<sub>8</sub> Zoll (340 mm) eingebaut. Hat dieser Rohrstrang (Verrohrung, Futterrohre) die Sohle erreicht, wird durch diesen Rohrstrang Zementbrühe eingepumpt und in den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Rohrstrang verbracht, wobei eine vollständige Abdichtung bewirkt wird. Diese Rohrkolonne dient in erster Linie dem Schutz von möglichen Grundwasserhorizonten.

Nach der Zementerhärtung wird vor dem Weiterbohren auf diese Rohrkolonne die Preventeranlage montiert und auf Funktionstüchtigkeit überprüft, anschließend wird mit einem 12<sup>1</sup>/<sub>4</sub>-Zoll-Meißel (311 mm) weitergebohrt. Nach Erreichen der Teufe von etwa 1 500 m wird wieder ausgebaut und das Stück von 150 bis 1500 m bohrlochgeophysikalisch vermes-

sen. Sodann wird auf die gleiche Art wie vorher nun eine 9<sup>5</sup>/<sub>8</sub>-Zoll-Rohrkolonne (245 mm) eingebracht und verzementiert. Ebenso wiederholen sich die Arbeiten zur Überprüfung der Sicherheitseinrichtungen. Schließlich wird mit einem 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-Zoll-Meißel (216 mm) bis zur Endteufe (3000 m) weitergebohrt.

Die tatsächliche Endteufe wird aus rein geologischen Gründen festgelegt. Es ist daher im Bohrplan die normale Endteufe wie auch eine maximale Endteufe angegeben, um einen gewissen Spielraum bis zur Erreichung des geologischen Bohrzieles zu haben. Ist nun die Endteufe erreicht, so wird das Bohrloch abschließend geophysikalisch vermessen. Konnte die Bohrung eine Öl- oder Gaslagerstätte antreffen, so wird nun eine letzte 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-Zoll- (140 mm) oder 7-Zoll-Rohrkolonne (178 mm) in gleicher Weise wie vorher eingebaut, der Ringraum zementiert und am Bohrlochkopf die endgültige Verflanschung aufgebracht. In diesem Zustand wird eine fündige Bohrung, die nun die Bezeichnung „Sonde“ hat, zur weiteren Verwendung an einen Öl- oder Gasförderbetrieb übergeben.

Bohrungen haben demnach einen teleskopartigen Aufbau, wobei das verbreitetste Verrohrungsschema 24<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Zoll, 20 Zoll oder 18<sup>5</sup>/<sub>8</sub> Zoll, 13<sup>3</sup>/<sub>8</sub> Zoll, 9<sup>5</sup>/<sub>8</sub> Zoll, 7 Zoll, 5 Zoll bzw. 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Zoll ist. Mit welchem Rohrdurchmesser eine Bohrung begonnen wird, hängt von der geplanten Endteufe und der daraus abzuleitenden Anzahl von Zwischenverrohrungen und der gewünschten Dimension der Endverrohrung ab. Die Zwischenverrohrungen sind außerdem von der Standfestigkeit der durchteuften Gebirgsschichten, den darin herrschenden Druckverhältnissen und davon abhängig, ob in der betreffenden Bohrstrecke Öl- und/oder Gaslagerstätten angetroffen wurden.

Die für solche Verrohrungen verwendeten Rohre werden entsprechend den zu erwartenden Belastungen in verschiedenen Stahlqualitäten hergestellt. Die Rohrverbindungen erfolgen über Gewinde (aufgeschraubte Muffen), oder das Muffengewinde befindet sich in den aufgeweiteten Enden der Rohre (Integralverbindung).

### II.3.1.5. Geologische und lagerstättenkundliche Daten

Die geologische Überwachung einer Bohrung (siehe auch Kapitel II.3.2.) während des Abteufens erfolgt durch laufende Beobachtung der Spülung auf Gasanzeichen und der Untersuchung des zutage gebrachten Bohrschmantes. Wird eine größere Gesteinsprobe benötigt, wird ein sogenannter Kern gezogen. Ein Kernapparat ist dafür notwendig. Dieser besteht aus einem doppelwandigen Rohr, das am unteren Ende eine meist mit Diamanten besetzte Schneidlippe aufweist (Diamant-Kernkrone). Dieser Kernapparat wird so wie der Meißel eingebaut und dann auf der Bohrlochsohle ein zylinderförmiger Gebirgskern erbohrt, der beim Hochfahren (Ausbauen) durch eine konische Fangeinrichtung im Innenkernrohr festgehalten wird. Der Kernapparat mit dem Bohrkern wird dann durch Ausbauen des Bohrstranges zutage gebracht und der Bohrkern entnommen. Solche Kerne haben bei einer Bohrlochdimension von 8<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Zoll etwa 100 mm Durchmesser. Üblicherweise beträgt die nutzbare Länge des Kernrohres rund 9 m und gestattet auch das Erbohren von Kernen in dieser Länge.

Weitere Auskunft über die Ausbildung der durchbohrten Schichten ergeben die schon erwähnten geophysikalischen Messungen, wobei spezielle Meßgeräte (Sonden) an einem Kabel in das Bohrloch bis zur Bohrlochsohle eingelassen werden. Die Meßwerte werden obertags in einem Meßwagen aufgezeichnet und können meist sofort in Form von Diagrammen eingesehen werden (siehe Kapitel II.3.3. und II.3.4.).

Durch Auswertung der verschiedenen geophysikalischen Parameter kann man zwar gas- oder ölführende Schichten erkennen, über ihre mögliche Produktivität kann jedoch im noch nicht verrohrten Teil des Bohrloches nur ein sogenannter Gestängetest Aufschluß geben. Zur Durchführung wird am leeren Bohrgestänge eine Testapparatur eingebaut, die im wesentlichen aus Packern (Gummimanschetten), einem perforierten Rohr und von obertags zu steuernden Ventilen so-

wie Meßeinrichtungen besteht. Nach dem Einbau wird durch Aufweiten der Packer über der zu untersuchenden Schicht der Ringraum zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwand (Gebirge) abgedichtet. Anschließend wird das Testventil geöffnet und so die zu prüfende Schicht unter den Packern durch das perforierte Rohr in das leere oder teilweise mit Wasser gefüllte Bohrgestänge entlastet, der Formationsinhalt kann zufließen. Nach Beendigung dieses Open-hole-Tests (Test im offenen Bohrloch) werden durch Hochfahren des Bohrstranges die Packer gelöst und das untersuchte Intervall durch die Spülung im Bohrloch wieder gefüllt. Damit der Testgarnitur auch Druck- und Temperaturschreiber eingebaut werden, ist ein Gestängetest die aussagekräftigste Formationsuntersuchung im offenen, unverrohrten Bohrloch, die es heute gibt (siehe auch die Kapitel II.3.6. und VI.2.2.). Art und Menge des Zuflusses können direkt bestimmt und untersucht werden. Daraus läßt sich ableiten, ob eine wirtschaftlich nutzbare Lagerstätte mit hoher Wahrscheinlichkeit gefunden wurde oder nicht.

#### **II.3.1.6. Fangarbeiten und Bohrlochablenkungen (Richtbohrungen)**

Während des Bohrvorganges kann es nun, bedingt durch Ermüdung und/oder Überbeanspruchung des Materials, zu einem Bruch des Bohrstranges kommen, wodurch ein Teil von diesem, im Fachjargon „Fisch“ genannt, im Bohrloch verbleibt. Mittels zum Teil komplizierter Fangwerkzeuge können in den meisten Fällen diese Bruchstücke zutage gebracht werden, sodaß der Bohrprozeß seinen Fortgang finden kann. Durch labile Bohrlochverhältnisse kann es aber auch zum teilweisen Einsturz des Bohrloches kommen, wodurch der Bohrstrang im Bohrloch fest verklemmt wird (Festwerden). Auch in solchen Fällen gelingt es meistens durch entsprechende Operationen, wie z. B. durch Überbohren des verklemmten Bohrstrangteiles, das Bohrloch freizumachen. Gelingt dies nicht, kann über dem im Bohrloch befindlichen Fisch eine Zementbrücke (Zementpfropfen) gesetzt werden und durch eine Ablenkung aus dem alten Bohrloch

seitlich hinausgebohrt und ein neues Bohrloch neben dem Fisch vorbei bis zur gewünschten Endteufe vorgetrieben werden. Dabei kommen Spezialwerkzeuge, wie z. B. Bohrlochsohleantriebe, zum Einsatz.

Neben solchen technisch bedingten Ablenkungen gibt es auch solche, die notwendig sind, um unterirdische Bohrziele zu erreichen, bei denen die vertikal darüber an der Erdoberfläche befindliche Lokation nicht zugänglich ist, weil es sich z. B. um verbautes Gebiet handelt. Die horizontale Abweichung solcher Richtbohrungen kann je nach der Teufe des Bohrloches bis zu mehreren hundert Metern betragen. Bohrlochneigungen von mehr als 50° (bezogen auf die Vertikale) sind durchaus üblich. In speziellen Fällen sind Richtbohrungen schon so stark abgelenkt worden, daß der unterste Abschnitt des Bohrloches horizontalen Verlauf hatte (Horizontalbohrung, siehe Hauptkapitel II.4.4.).

Früher hat man zur Ablenkung bei Richtbohrungen sogenannte „Richtkeile“ auf der Bohrlochsohle abgesetzt, die den Bohrmeißel zwangen, in eine bestimmte Richtung zu bohren. Heute kommen Bohrlochsohleantriebe zum Einsatz, die solche Operationen wesentlich rascher und präziser ermöglichen. Unter Bohrlochsohleantrieben versteht man hydraulische Kraftaggregate, z. B. Turbinen, Lamellen-Motore, Spindelmotore, die zwischen Bohrmeißel und Schwerstangen, bzw. dem Bohrstrang eingebaut werden und den Bohrmeißel direkt antreiben. Die Energie wird diesen Aggregaten durch den Spülungsstrom zugeführt. Da der Bohrstrang während des Bohrens nicht mehr gedreht werden muß, kann die Richtung der Bohrlochablenkung durch Fixierung des Bohrstranges obertags präzise eingestellt werden. Diese Bohrlochsohleantriebe haben nicht nur extreme Richtbohrungen ermöglicht, sondern werden auch immer mehr zum normalen (vertikalen) Leistungsbohren verwendet.

#### **II.3.1.7. Umbau von Bohranlagen**

Moderne Rotary-Bohranlagen sind nach dem Baukastensystem ausgelegt, sodaß ihr Auf- und Abbau rasch erfolgen kann.



Abb. 65. Bohranlagenaufbau mittels Mobilkran

Soweit wie möglich entsprechen die einzelnen Anlagenteile den maximal für den Straßenverkehr zugelassenen Abmessungen, wobei für den Transport oft Spezialfahrzeuge zum Einsatz kommen. Auf den Bohrplätzen erfolgt die Montage der Anlagenteile unter Verwendung von mobilen Großkränen (Abb. 65).

### II.3.1.8. Bohrkosten

Die Kosten von Tiefbohrungen sind erheblich und nehmen mit der Teufe exponentiell zu. Das gleiche gilt auch für die Dauer von solchen Bohrungen. Die fast idente Entwicklung von Bohrkosten und Bohrzeit ist auch in der Aufschlüsselung der Kosten von übertiefen ÖMV-Bohrungen in Abb. 66 zu erkennen.

Die durchschnittlichen Bohrkosten teilen sich folgendermaßen auf:

Bohrplatz, Auf- und Abbau,	
Abtransport	6 %
Bohrwerkzeuge	9 %
Formationsuntersuchungen	5 %
Spülung	6 %
Verrohren und Zementieren	21 %
Bohranlagenbreitstellung	53 %

### II.3.1.9. Ausblick

In Österreich wurden von 1917 bis Ende 1992 insgesamt 6,736.594 Bohrmeter zur Suche und Gewinnung von Erdöl und Erdgas niedergebracht, wobei im Laufe der Jahre die erreichten maximalen Bohrteufen immer größer wurden.

Die Bohrung „Zistersdorf ÜT 2A“ der ÖMV AG hat im Jahre 1983 die Endteufe von 8 553 m erreicht und ist damit (1992) die tiefste Kohlenwasserstoff-Aufschlußbohrung außerhalb der USA. Die bisher tiefste Erdölbohrung der Welt ist die Bohrung „Berta Rogers 1“ bei Elk City, Oklahoma, USA, die 1974 eine Teufe von 9589,5 m erreichte.

Die derzeit (1991) tiefste Bohrung der Welt ist die Forschungsbohrung „Kola SG3“ nahe Murmansk auf der Halbinsel Kola, Rußland, die zur Klärung geowissenschaftlicher Fragen im Mai 1970 ihren Bohrbeginn hatte und im Juli 1990 eine Teufe von 12 065 m erreichte und seither nicht weiter vertieft wurde. Die geplante Endteufe liegt bei 15 000 m.

Von besonderem Interesse für Mitteleuropa ist der Beginn der Kontinentalen Tief-

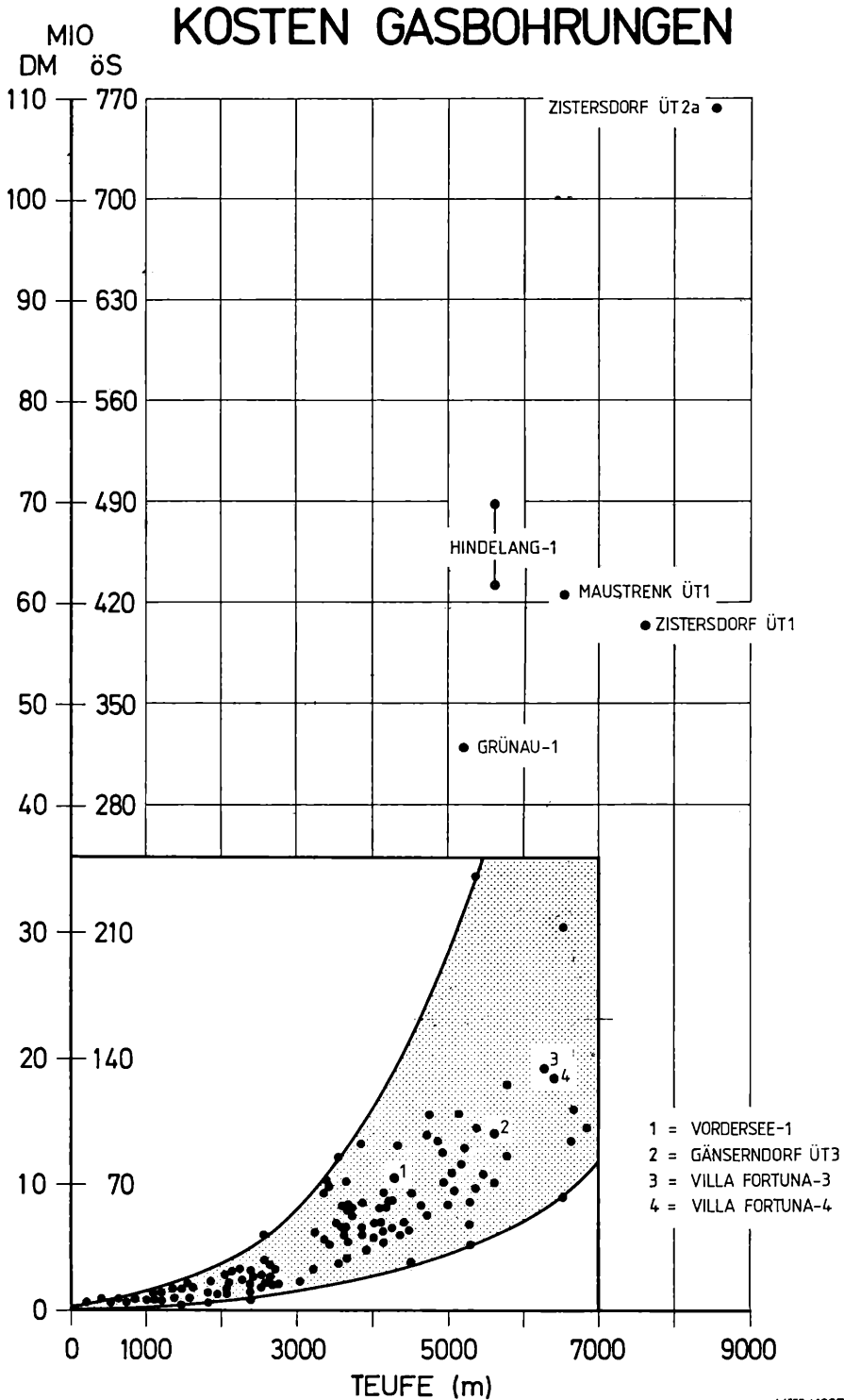


Abb. 66. Kosten von Gastiefbohrungen

bohrung (KTB) am 6. Oktober 1990 in der Oberpfalz, Deutschland. Diese wissenschaftliche Bohrung soll bis etwa 1994 eine Teufe zwischen 10 000 und 12 000 m erreichen (Bohrteufe Mitte 1993: 7.500 m). Der Bohrmast einschließlich Unterbau mißt ab Ackerniveau 83 m, das Gewicht der gesamten Bohranlage beträgt etwa 2.500 Tonnen, die installierte Leistung wird mit 9 500 kW und die Hakenlast mit 8 000 kN (Kilonewton) angegeben.

Solange es eine Suche nach Kohlenwasserstoffen geben wird, werden Tiefbohrungen notwendig sein und sie werden in immer größere Teufen vordringen; sie werden dann auch einmal der größeren Nutzung von Erdwärme dienen, vorausgesetzt, daß es gelingt, die hohen Kosten zu reduzieren (siehe auch Kapitel VI.1.6.).

Literaturauswahl für das Hauptkapitel II.3.1:

BECKER, H. & PETERSON, G. 1963; CHUR, C. 1991; CIPA, W. & GRODDE, K.-H. 1959; CIPA, W. 1960; DENNER, J. & SCHICKETANZ, H.

1977; EHLERS, R. et al. 1992; ENGELHARDT, W. v. 1953a und b; GHOFRANI, R. & DELIUS, A. 1991; GÖRISCH, K. 1982; GROSSMANN, U. & MARX, C. 1990; HATZSCH, P. 1991; HÄUSSLER, A. 1990; HAUKE, V. 1977; HEYNE, B. 1976; HINGL, J., TOTH, Z. & MUCZANY, J. 1980; HÜGEL, H. 1955; KAMMANN, R. & SPERBER, A. 1990; KREBS, E. & HIMSTEDT, W. 1962; KRÖLL, A. & SPÖRKER, H. 1980; LECHNER, H. 1988; LORBACH, M. 1969; MAIER, A., SCHENZ, W. & SPÖRKER, H. 1977; MORITZ, J. 1980; NÖVIG, T. 1989; PAL, Z. 1980; PAULITSCH, P. 1992; PETERSON, G. & RAUTER, H. 1962; PLANK, J. 1990; PREVEDEL, B. 1987; PRIKRYL, J. & VALISOVA, I. 1980; QUADFLIEG, E., KRUG, G. & SPERBER, A. 1990; REISINGER, W. & SPÖRKER, H. 1980; RISCHMÜLLER, H. 1989 und 1991; SADJADI, S. & GOLD, O. 1986, SPÖRKER, H. 1969a und b, 1976a, 1976b, 1977 und 1980; SPÖRKER, H. & KRÖLL, A. 1979; SPÖRKER, H. & LOGIGAN, St. 1988; SZTANKOCZY, E. 1959; TAYLOR, J. C. M. & GERNECK, J. R. 1983; TRUMAUER, H. 1960; VALISOVA, I. & KAZDA, J. 1980; VENDITTO, J. J. & GEORGE, C. R. 1984; WATKINS, P. E. & WHITE, Th. 1956; WHITE, Th. 1953; ZESCH, Th. 1983 und 1985.

## II.3.2. Geologische Betreuung und Bearbeitung von Bohrungen

von Friedrich BRIX

### II.3.2.1. Grundsätzliches zur Arbeit des Bohrgeologen

Das Endziel der KW-Prospektion besteht in der Festlegung mindestens eines Bohrpunktes in einem öl- oder gashöffigen Gebiet. Eine sehr eingehende Vorausplanung aufgrund der geologischen, geochemischen und geophysikalischen Gegebenheiten (Kapitel II.2.1. bis II.2.7.) bildet die Basis zur Wahl des Bohrplatzes und zur Abfassung des Bohrprogrammes. Da in zunehmendem Maße Bohrungen für größere Tiefen projektiert werden, handelt es sich oft um technisch sehr aufwendige und daher kostspielige Vorhaben (Kapitel II.3.1., Abb. 66), die einer besonders effizienten geologischen Betreuung bedürfen.

Jedes Bohrprojekt hat bestimmte geologische, bohrtechnische und lagerstättenkundliche Ziele, die in einem detaillierten Arbeitsprogramm und im sogenannten

„Bohrlochstammblatt“ oder „Vorprogramm“ vom geologischen Projektbearbeiter gemeinsam mit Bohrtechnikern, Lagerstätten Technikern, Bohrlochgeophysikern und Laborgeologen festgelegt werden (Abb. 67, siehe auch Kapitel II.2.7.). Wichtigste Daten sind dabei die geplante Endteufe mit der tiefsten zu erreichenden geologischen Formation, weiters das zu erwartende geologische Profil, die voraussichtlichen Druck- und Temperaturverhältnisse, die Anzahl der Bohrkerne und Tests, die Abstände der Spülprobenentnahme, die möglichen KW-Anzeichen und Vorkommen, das Verrohrungsschema, das bohrlochgeophysikalische Meßprogramm, Hinweise auf mögliche oder wahrscheinliche bohrtechnisch schwierige Strecken (z. B. bruchhaftes bzw. tektonisch gestörtes Gebirge, Spülungsverlustzonen, Auftreten von H<sub>2</sub>S, quellende Tone, steiles Schichteinfallen, Hochdruck-