

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 H₂S, quellende Tone, steiles Schichteinfallen, Hochdruck-

zonen) sowie die voraussichtlich notwendigen Spülungskonditionen (chemische und physikalische Beschaffenheit der Bohrspülung in verschiedenen Bohrschnitten).

Dem Bohrgeologen müssen alle diese Angaben und Zielsetzungen vertraut sein. Darüber hinaus muß er über den bohrtechnischen Ablauf, die auftretenden chemisch-physikalischen Vorgänge und die technischen Möglichkeiten bei Eintritt gewisser Grenzsituationen Bescheid wissen. Es werden daher erst dann Geologen zur Betreuung einer Tiefbohrung verantwortlich herangezogen, wenn sie sich das notwendige, zusätzliche Spezialwissen erworben haben, z. B. als Assistenten eines erfahrenen Bohrgeologen.

Bei den einzelnen Erdölgesellschaften gibt es in bezug auf die geologische Bohrbetreuung im Detail verschiedene Organisationsformen. Zumeist ist der Bohrgeologe auch Vertreter des Auftraggebers und hat daher gewisse Aufsichts-, Kontroll- und Beratungsfunktionen (Kapitel II.3.2.5.). Unzureichende geologische Betreuung und lückenhafter Informationsfluß z. B. zwischen den Bohrtechnikern und dem Bohrgeologen können Fehlscheidungen hervorrufen und unter Umständen das Erreichen des Bohrzieles beeinträchtigen. Auch bei einer technisch perfekt ausgeführten Bohrung ist sowohl der wirtschaftliche wie der wissenschaftliche Erfolg oftmals von der Gewissenhaftigkeit und den Fachkenntnissen des Bohrgeologen und der Lagerstättentechniker abhängig.

Als wesentliche Aufgaben bei der geologischen Betreuung und Bearbeitung von KW-Bohrungen können gelten:

- Ausstattung der Bohranlage mit den nötigen Hilfsmitteln und Geräten zur geologischen Bohrbetreuung (Kapitel II.3.2.2.).
- Beobachtung und Aufzeichnung möglichst aller erfaßbaren geologischen, geochemischen, technischen und geophysikalischen Daten während der gesamten Bohrzeit (Kapitel II.3.2.3. und II.3.2.4.).

- Erkennen von Speichergesteinen, KW-führenden Horizonten und von abdichtenden Lagen (Kapitel II.3.2.3., II.3.2.4., II.3.3. bis II.3.5.).
- Erstellung eines stratigraphischen (altersmäßigen) und lithologischen (gesteinsmäßigen) Schichtprofils (Kapitel II.3.2.4. und VI.1.2. bis VI.1.4.).
- Erkennung der Lagerung und der Lagerungsstörungen der durchbohrten Gesteinsfolge (Kapitel II.3.2.3., II.3.2.4., II.3.3. und II.3.4.).
- Ermittlung der Druck-, Temperatur- und Fließverhältnisse im Poren- und Kluft-raum der durchbohrten Gesteine gemeinsam mit den Lagerstätteningenieuren und Bohrlochgeophysikern (Kapitel II.3.3. bis II.3.6. und VI.2.2.).
- Kooperation mit den Bohrtechnikern und den Bohrlochgeophysikern während der gesamten Bohrzeit.
- Kooperation mit dem Spezialisten des Labors zur optimalen Betreuung der erforderlichen Probenahmen an Bohrkernen, Spülproben, Spülungsflüssigkeit sowie von Öl, Gas und Wasser aus Zuflüssen (Kap. II.3.5.).
- Kooperation mit den Seismikern bei der Ausführung von Geophonversenkungen und vertikalem seismischen Profilieren (VSP, Kapitel II.2.4. und II.2.5.).
- Kooperation mit dem Bohrprojektanten bei der Abfassung des geologischen Abschlußberichtes II.3.2.4. und II.3.7.).

Aus den oben genannten Punkten ist ersichtlich, daß in vielen Fällen bohrlochgeophysikalische Meßergebnisse eine unentbehrliche Hilfe für den Bohrgeologen sind, da diese Messungen kontinuierlich die gesamte Bohrstrecke erfassen und durch Kombination und Interpretation verschiedener Meßmethoden mit den geologischen Daten die Lösung vieler der zitierten Aufgaben überhaupt erst möglich ist. Es ist daher unerlässlich, daß Bohrgeologen über diese Meßmethoden und deren geophysikalische sowie geologische Auswertemöglichkeiten gut informiert sein müssen, zumal die Bohrgeologen für die

Anmerkungen: Anbringen eines Gaschromatographen und Bohrfortschrittschreibers ab Bohrbeginn.
 Bei Beobachten von Öl- oder Gasspuren in der Spaltung (Gaschromatograph) oder in den Spalproben sofort den Geologen verständigen.
 Paläontologische Bearbeitung der Spalproben ab 600 m.
 Schlagkreis: Tiefe: -1100 m NN, Radius: 120 m, Mittelpunkt: x,y wie Bohrpunkt.
 Kalzimeter: ab 1.000 m

- Sollte die Karbonatriffserie des Malm erbohrt werden, ist eine mögliche KW-Führung in den Oncophora-Schichten durch Messungen zu verifizieren, wenn eine solche durch die Evaluierung der Mud-Logging-Daten nicht auszuschließen ist.
 Bei KW-Führung in den Oncophora-Schichten ist vor dem Weiterbohren eine 7"-Kolonne wegen möglicher Spalungsverluste einzubringen.
 Einbau eines 4 1/2" Liners bei Fändigkeit im Malm.



Operating:

H. Pichler 19.02.1990

Bohrgeologie:

W. Ringhofer 30-10-17

Lagerstättenbewertung
 und Statistik:

i. A. D. Kuntz 1990-10-17

Abb. 67. Bohrlochstamtblatt mit Lageplan

Bestellung der Meßarten und der Meßstrecken mitverantwortlich sind.

Bohrgeologen müssen während der Bohrtätigkeit Tag und Nacht erreichbar sein (z. B. durch Funk und/oder Telefon). Bei Bohrkernentnahmen, Bohrlochmessungen, Tests und kritischen Situationen haben sie am Bohrplatz anwesend zu sein. Bei länger andauernden kritischen Situationen wird rund um die Uhr ein geologischer Betreuungsdienst eingerichtet.

II.3.2.2. Ausrüstung für die geologische Betreuung von Tiefbohrungen

In den Jahren der Bohrtätigkeit auf KW in Österreich, etwa ab 1930, haben sich bestimmte Ausrüstungsformen und Bearbeitungsmethoden entwickelt, die laufend den geologischen und technischen Notwendigkeiten angepaßt wurden.

Die nachfolgende Auswahl der wichtigsten Geräte und Hilfsmittel sind entweder

in der Geologenkaue oder in der Kernkaue am Bohrplatz untergebracht:

Quarzlampe, 302–366 nm Wellenlänge, zum Ableuchten von Bohrkernen, Spülproben und Spülungsflüssigkeiten mit UV-Strahlen auf KW-Anzeichen

Binokular-Mikroskop samt Beleuchtungseinrichtung, zum Untersuchen der Gesteinszusammensetzung von Kernen und Spülproben

Kombination von Quarzlampe und Mikroskop (z. B. „Corvascop“) sowohl zur lithologischen Analyse der Spülproben im Normallicht wie zur Betrachtung im UV-Licht

Siebsatz und flache Emailschüsseln zum Bearbeiten der Spülproben

Zentrifugengerät, zum Trocknen von Gesteinsproben

Dichtewaage, zum Bestimmen des Raumgewichts ausgewählter Gesteinsproben (Kerne, Spülproben)

Elektro-Kochplatte samt Wassertopf mit Deckel, für die Heißwasserprobe zum Extrahieren von KW aus Gesteinsproben

Calcimeter, zum Bestimmen des Karbonatgehaltes von Gesteinsproben mit verdünnter HCl

Gasprobenbehälter („Gasmäuse“), zum Transport von Gasproben aus der Spülung oder von Tests in das Labor

Gasspürgerät mit Balgpumpe und Prüfröhrchen (z. B. von der Fa. Draeger), zum direkten Nachweis von Gasen (z. B. Methan, CO_2 , H_2S) aus Kernen

Plastikdosen (ca. 300 cm³ Inhalt) mit gut schließendem Schraubdeckel für den Transport der ungewaschenen Spülproben in das Labor

Wasserflaschen (1 Liter) mit Verschlussdeckel für den Transport von Rohöl und Spülungsflüssigkeit in das Labor

Reinigungsgeräte für Bohrkern und Siebe (Putzbürsten, Metall-Gärtnerschaufel, Spachteln)

Küchensieb mit Handgriff, zum Transport der Spülproben vom Schüttelsieb zur Geologenkaue

Metermaß, für die Kernbeschreibung

Diverse Laborgeräte (z. B. Eprouvetten mit Ständer, Glasstäbe, Porzellanabdampfschalen, Verschlussstöpsel, Pinzetten,

Reibplatte, Filterpapier, Indikatorpapierstreifen für pH-Bestimmung)

Chemikalien in geeigneten Flaschen: verdünnte Salzsäure (HCl) zur Karbonatbestimmung, Bariumchlorid-Lösung (zum Nachweis von Gips oder Anhydrit), Azeton oder Tetrachlorkohlenstoff (Lösungsmittel für KW), Alizarin Rot-S (zur Unterscheidung von Kalk und Dolomit), destilliertes Wasser (zum Reinigen und Verdünnen)

Ausrüstung zum Bestimmen des Chloridgehaltes der Spülung nach der Titrationmethode (z. B. mit Kaliumchromat, K_2CrO_4 und Silbernitrat, AgNO_3)

Kernkisten, 1 m Innenlänge, in genügender Anzahl und Innenbreite, je nach geplanten Kerndurchmessern

Kernkistenetiketten und Reißnägel

Schwarze und rote, breite Filzschreiber (z. B. Marking Ink) zum Markieren der Kernstücke auf Lagerichtigkeit

Kunststoffsäckchen für die Aufbewahrung gewaschener und getrockneter Spülproben

Stanniolpapier oder Aluminiumfolie zum Einwickeln ölgetränkter oder gasführender Bohrkernstücke für den Transport in das Labor

Watte für zerbrechliche Fossilien aus Kernen

Geologenhammer, Flach- und Spitzmeißel für die Kernuntersuchung

An einer Tiefbohranlage befinden sich außerdem mehrere, für die Bohrtechniker wichtige Anzeigergeräte, die aber auch für den Bohrgeologen von Bedeutung sind (siehe auch Kapitel II.3.2.3. und II.3.2.4.):

Gasmeßgerät, zur qualitativen und quantitativen Erkennung und Bestimmung von Gasen aus dem Spülungsstrom, entnommen kurz vor dem Schüttelsieb. Hauptteile sind der Gasdetektor und ein Gaschromatograph mit automatischem Schreibgerät. Die Aufstellung und Wartung dieser Geräte erfolgt durch eine Servicefirma

Anzeigergerät für die jeweilige Bohrteufe in Metern

Anzeigergerät für die Umdrehungszahl des Meißels pro Minute (RPM = rotation per minute)

Anzeigegerät für die Meißelbelastung auf der Bohrsohle in Tonnen (WOB = weight on bit)

Anzeigegerät für die ein- und ausfließende Spülmengenmenge pro Zeiteinheit

Anzeigegerät für die Temperatur der ein- und ausfließenden Spülung

Daneben gibt es u. a. noch Anzeigegeräte für die Hakenlast, das Drehmoment der Bohrgarnitur, den Pumpendruck, die Pumpenhöhe pro Minute, den Spüldruck.

Von großer Wichtigkeit ist das Anzeigegerät und Aufzeichnungsgerät für die Bohrzeit (Penetration, ROP = rate of penetration) in Minuten pro Meter. Es wird also gemessen, wie lange das Bohrwerkzeug (Meißel, Kernkrone) benötigt, um bei einer bestimmten Drehzahl und einem bestimmten Sohldruck des Meißels einen Bohrfortschritt von einem Meter zu erzielen. Daraus läßt sich leicht die Bohrgeschwindigkeit (drilling speed) in Metern pro Stunde berechnen.

Der Bohrgeologe hat auch dafür zu sorgen, daß alle nötigen Schreib- und Zeichengeräte, die Materialien für die Herstellung von Klebelogs, das Bohrlochstammblatt und sonstige schriftlichen Arbeitsunterlagen vorhanden sind. Das gleiche gilt für die Berichtsformulare.

Die Geologenkaue sollte eine ausreichende Arbeitsfläche, Stromanschluß, Heizung, Kalt- und Warmwasser, ein Spülbecken, eine Magnetwand, ein Feldbett und eine Verdunklungsmöglichkeit enthalten sowie versperrbar sein.

II.3.2.3. Geowissenschaftliche, physikalische, technische und sonstige Informationsquellen

Die im Kapitel II.3.2.1. beschriebenen Aufgaben des Bohrgeologen können nur durch die möglichst lückenlose Ausnutzung aller verfügbaren Informationsquellen gelöst werden. Dabei sind nicht nur spezifisch geologische Beobachtungen zu registrieren, sondern alle jene geochemischen, physikalischen und technischen Daten, aus denen sich geologische Schlußfolgerungen ableiten lassen. Die Datenerfassung selbst und die Art der Be-

richterstattung werden in den Kapiteln II.3.2.4. und II.3.7.2. bis II.3.7.7. beschrieben.

Man kann zwischen direkten und indirekten Informationsquellen unterscheiden. Direkte Quellen sind solche, die ohne weitere Interpretation, Umrechnung oder Laborbearbeitung sofort deutbar sind. Es können das unmittelbare Beobachtungen an zutage kommendem Gesteinsmaterial, an Zuflüssen, an der Bohrspülung sowie Ablesungen von Meßgeräten und Diagrammen sein.

Indirekte Quellen sind jene, die zu ihrer geologischen Deutbarkeit oder Auswertung erst bestimmte Interpretationen, Umrechnungen bzw. Bearbeitungen im Labor erfordern. Dazu gehören die petrophysikalischen Daten und der Fossilgehalt der durchbohrten Gesteine, Daten für die Hochdruckvorhersage, Auswertungen von Test- und Bohrlochdiagrammen, Daten über die Spülungseigenschaften sowie einige bohrtechnische Informationen.

Eine strenge Trennung zwischen den beiden Informationsgruppen ist nicht notwendig, da es mehrere Datenquellen gibt, die zunächst direkte Beobachtungen liefern, zur weiteren Ausschöpfung aber noch zusätzlicher Bearbeitungen bedürfen. Dazu gehören z. B. die meisten bohrlochgeophysikalischen Messungen.

Für den Bohrgeologen, der gleichsam an vorderster Front steht, sind aber alle sofort interpretierbaren Daten von großer Bedeutung, da es oft darauf ankommt, rasche Entschlüsse zu fassen, um kostspielige Wartezeiten oder sonstige Verzögerungen beim technischen Ablauf einer Bohrung zu vermeiden. Weiters hängt es oft vom Informationsstand des Bohrgeologen ab, ob bestimmte Aktivitäten gesetzt werden sollen, wie zum Beispiel: Weiterbohren oder Kernen; Meißelausbauen, um anschließend Bohrlochmessungen zu machen; Verringerung des Abstandes der Spülprobenentnahme; Entnahme von Gas- oder Ölproben u.s.w. (siehe auch Kapitel II.3.2.5.).

Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß der wirklich brauchbare Informationsgehalt selbstverständlich auch von der Qualität der Informationsquellen ab-

hängt. Dazu kommt, daß manche Beobachtungen oder Berechnungen zu irreführenden Schlüssen verleiten können, also erst durch weitere Daten zu überprüfen ist, ob diese Schlüsse fundiert sind. Es ist deshalb notwendig, daß der Bohrgeologe beim Auftreten wichtiger Beobachtungen oder Berechnungsdaten sofort nach anderen Indizien sucht, besonders dann, wenn es sich um die Sicherheit des Personals und der Bohranlage oder um Entscheidungen mit möglicherweise hohen Folgekosten handelt. Es wird nun eine Übersicht der Informationsquellen gegeben, wobei das Zustandekommen und die Art dieser Quellen beschrieben wird. Im Kapitel II.3.2.4. ist dann die Bearbeitung, der Informationsgehalt und die Datenerfassung zusammengefaßt. Die Berichterstattung wird im Kapitel II.3.7. erläutert.

Vorwiegend direkte Informationsquellen

Bohrkerne: Diese sind die wichtigsten geologischen Informationsquellen einer Bohrung, da eine unmittelbare lithologische Beobachtung möglich ist. Bohrkerne sind Gesteinssäulen, die mit Hilfe einer sich drehenden Kernkrone aus dem Gebirge herausgeschnitten werden (siehe Kapitel II.3.1.). Die Festlegung der Teufenlage und der Länge der Kernstrecke richtet sich zunächst nach den Angaben im Bohrprogramm. Der Bohrgeologe kann jedoch aufgrund geänderter Gegebenheiten umdisponieren, z. B. dann, wenn er aus anderen Informationen (Spülproben, Bohrfortschritt, Gasanzeige) erkennen kann, daß ein Speicherhorizont oder ein unvermuteter Gebirgswechsel auftritt.

Nicht immer kann aber die gesamte Kernstrecke vollständig zutage gebracht werden, sei es, weil die lithologische Beschaffenheit des Gesteins es nicht zuläßt (Ruschelzonen, bröseliges oder stark zerklüftetes Gestein, lose Sande u.s.w.), sei es, daß beim Ausbauen doch Teile herausrutschen oder an der Bohrlochsohle stehen bleiben. Bei zu erwartenden schwierigen Bohrlochverhältnissen können spezielle Kernapparate zum Einsatz kom-

men, die dann zumeist einen besseren Kerngewinn ermöglichen.

Orientierte Kerne: Bei sehr steiler Schichtlagerung, starker Klüftung, bei schlecht erkennbarem Schichteinfallen, bei dem möglichen Vorliegen sedimentärer Strukturen, bei überkippter Lagerung besteht die Gefahr, daß das wahre Einfallen durch geophysikalische Bohrlochmessungen nicht erkennbar ist. Ist so etwas vorhersehbar, dann kann man versuchen, durch einen orientierten Kern das wahre Streichen und Fallen der Gesteinsschichten und von Störungsflächen zu ermitteln.

Die Gewinnung eines orientierten Kernes erfolgt so, daß in den Bohrkern während des Kernvorganges 3 seichte Rillen in Längsrichtung eingeschnitten werden, die so angelegt sind, daß eine davon, die Hauptmarke, durch bestimmte Winkelabstände leicht erkennbar ist. Die Richtung dieser Hauptmarke, gemessen von der Bohrkernachse zum Bohrkernmantel, wird in einer dem Kernapparat aufgesetzten Meßhülse mit einem kardanisch aufgehängten Kompaß gemessen. Dies erfolgt durch eine Kombination des die Hauptmarke einschneidenden Messers mit einer bestimmten, am Kompaß angebrachten Marke. Die beiden anderen Rillen dienen als Reserve, wenn die Hauptmarke nicht oder nicht gut genug erkennbar ist (z. B. durch zerbröselndes Gestein). Der Kompaß zeigt aber auch die Lage des Kernapparates im Bohrloch an.

Die Registrierung der Meßdaten erfolgt so, daß in bestimmten Zeitabständen der Kernvorgang gestoppt wird, das ganze Gerät also zur Ruhe kommt. Nun wird mit einem in der Meßhülse sich befindenden Fotoapparat ein Bild des Kompasses mit Hilfe einer synchronen Belichtung gemacht, sodann bis zum nächsten Halt weitergekernt und das so oft wiederholt bis die geplante Kernstrecke abgebohrt ist. Die ganze Operation ist also von den vorher in der Meßhülse eingegebenen Stillstandsphasen und der Filmlänge abhängig. Die Lage des Kernapparates im Bohrloch ist deshalb wichtig, weil sonst bei einer nicht vertikalen Bohrlochachse die Meßwerte und die später zu bestimmen-

den Schichteinfalls- oder Klüftwinkel am Kern selbst verfälscht sein würden.

Für das orientierte Kernen gibt es eine natürliche Begrenzung der Einsatztiefe, da die dabei verwendeten Filme und Batterien, je nach Fabrikat, bei Bohrlochtemperaturen von 110–120 Grad ihren Dienst versagen. Dies tritt z. B. im nördlichen Wiener Becken bei etwa 3400 und im südlichen Wiener Becken bei etwa 4000 m Bohrtiefe ein.

Seitenwandkerne: Bei speziellen, meist biostratigraphischen oder lagerstättenkundlichen Problemen gibt es noch die Möglichkeit, aus bereits durchbohrten Strecken noch frisches Gesteinsmaterial zu erhalten. Dies geschieht im unverrohrten Bohrloch mit Seitenwandkernen, von denen es zwei Arten gibt. Die erste Art besteht im Herausschießen von Gesteinsmaterial aus der Bohrlochwand durch Schußhülsen (Schußkerne). Beim Hochziehen des an einem Kabel hängenden Schußkernapparates werden die mit diesem Apparat durch einen starken Draht verbundenen Schußhülsen wieder aus der Bohrlochwand herausgezogen und zutage gebracht.

Bei der zweiten Art werden die Gesteinsproben durch eine spezielle Apparatur direkt aus der Bohrlochwand herausgebohrt. In beiden Fällen sind geophysikalische Bohrlochmessungen vor dem Gewinnen von Seitenwandkernen nötig, um die genaue Tiefenlage der Entnahmestellen bestimmen zu können.

Spülproben: In jeder Rotary-Bohrung werden durch die abhobelnde Tätigkeit des Meißels oder der Kernkrone und mit Hilfe des Spülungskreislaufes während des Bohrens oder Kernens ununterbrochen Spülproben (Bohrklein, Bohrschmant, Cuttings) zutage gebracht. Diese Spülproben stellen daher eine kontinuierliche Informationsquelle dar, wenn auch die geologische Aussagekraft von Fall zu Fall verschieden ist. Je länger der unverrohrte Bereich einer Bohrung ist, umso größer wird auch der Anteil der Spülproben sein, der nicht von der Bohrlochsohle, sondern von höher oben liegenden Stellen der Bohrlochwand stammt, man spricht vom „Nachfall“.

Ganz allgemein tritt eine Verzögerung des Spülprobenaustrags dadurch ein, daß die Aufstiegszeit der die Spülproben mitführenden Bohrspülung von der Sohle bis zur Erdoberfläche je nach Pumpendruck, Ringraumquerschnitt und Bohrteufe von einigen Minuten bis zu Stunden betragen kann.

Die Spülproben selbst sind in Größe und Form von der Art des erbohrten Gebirges, der Meißeltype, der Meißelbelastung, der Umdrehungszahl des Meißels pro Minute, den Druckverhältnissen im Gebirge, der Spülungsart und dem Anteil an Nachfall abhängig. Die Entnahmeintervalle oberhalb an der Spülrinne oder dem Schüttelsieb werden aber auf die jeweilige Bohrteufe zur Zeit der Spülprobenentnahme bezogen und erst später auf die wahre Teufe korrigiert. Die Entnahmeintervalle selbst schwanken je nach dem geologischen Bedarf zwischen 0,5 und 20 m.

Spülungsflüssigkeit: Die Bohrspülung ist eine überaus bedeutende Informationsquelle sowohl für den Bohrgeologen wie für den Bohrtechniker, stellt sie doch, so wie die Spülproben, eine kontinuierliche Verbindung mit der Bohrlochsohle und der Bohrlochwand her. Es werden daher mehrere direkte Aussagen vermittelt. Voraussetzung ist, daß man die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Bohrspülung mehrmals am Tage während des Bohrens feststellt. Solche Aussagen sind: Verfärbungen, unplanmäßige Veränderungen der gesamten Spülungsmenge, der Auslauftemperatur, der physikalischen und chemischen Eigenschaften (siehe auch Kapitel II.3.2.4.).

Öl- und Gasanzeichen: Direkte Öl- und Gasanzeichen sind in der Bohrspülung, an ungewaschenen Spülproben (Bohrschmant) und Bohrkernen zu erkennen. Diese Anzeichen müssen aber durch Ablichten mit der Quarzlampe und Laboruntersuchungen erst verifiziert werden, damit der Beobachter nicht einer Täuschung durch Ölderivate (z. B. Schmieröl, Spindelöl, Dieselöl) unterliegt. Ob echte oder unechte Öl- und Gasanzeichen, man sieht dabei meist in den Regenbogenfarben schillern-schlieren.

Direkte Gasanzeichen können ebenfalls in der Bohrspülung auftreten, man sieht in der Spülungsrinne, die vom Schüttelsieb offen bis zu den Spülpumpen führt, zerspritzende Gasbläschen. Auch auf der Außenhaut von noch nicht gewaschenen Bohrkernen kann man manchmal solche Gasbläschen erkennen, wenn sie die umgebende Spülungshaut durchdringen. Bei den Gasanzeichen ist Vorsicht geboten, da solche Bläschen in der Bohrspülung z. B. von mitgeführter Luft stammen können. Stark verschäumte Spülungsflüssigkeit weist allerdings darauf hin, daß größere Naturgasmengen sich mit der Spülung vermischt haben. Dies ist immer ein Alarmsignal, da das Spülmittel stark reduziert wird und die Spülungsflüssigkeit als Druckregulator nicht mehr wirksam sein kann. Es gibt aber auch Gasanzeichen, die aufgrund von Änderungen der Spülungszirkulation oder der Spülungszusammensetzung auftreten. Es handelt sich dabei meist um geringe Gasmenngen, die bei gleichbleibenden Spülungsverhältnissen im Spülungsstrom verbleiben würden, durch die genannten chemisch-physikalischen Änderungen jedoch zum Versagen der Spülung gezwungen werden.

Treten daher Gasanzeichen auf, so ist das Gasmeßgerät, das sich am Bohrplatz befindet, eine wirksame Kontrolle. Das Gerät ist im Kapitel II.3.2.3. beschrieben. Es gestattet sowohl eine quantitative wie eine qualitative Bestimmung des Gasgehaltes der Bohrspülung. Ursprünglich war dieses Gerät vorwiegend für die Bohrtechniker gedacht, da es unvermutete Gasströme rechtzeitig anzeigen und damit einen Gasausbruch verhindern helfen sollte.

Es hat sich nun in den letzten Jahrzehnten gezeigt, daß, wohl auch durch die technische Weiterentwicklung, das Gerät eine heute unentbehrliche Informationsquelle für den Bohrgeologen ist. Es ist daher notwendig, daß das Gerät laufend auf Funktionstüchtigkeit überprüft wird.

Auf dem kontinuierlichen Meßstreifen können dann, je nach Baujahr, Gerätetyp und Gerätekombination, auf die Bohrzeit bezogen, direkt und getrennt abgelesen

werden: die gasförmigen Kohlenwasserstoffe CH_4 bis C_5H_{12} , weiters Wasserstoff, Stickstoff, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff, alle Gase auch der Menge nach.

Es bleibt zu erwähnen, daß Kohlenwasserstoffe häufig auch durch ihren typischen Geruch nach Benzin oder Petroleum zu erkennen sind.

Tests: Darunter versteht man den direkten Nachweis des Inhalts von Speichergesteinen bei Vorliegen einer Bohrung. Die Tiefenlage des Speichers, seine Mächtigkeit und seine lithologischen Eigenschaften können natürlich erst nach Durchbohren der betreffenden Strecke mit Hilfe von Spülproben, Bohrlochmessungen, KW-Anzeichen und z. T. durch Bohrkerne ermittelt werden. Aus diesen Informationen ergibt sich durch Zusammenwirken des Bohrgeologen, Lagerstätteningenieurs und Bohrlochgeophysikers die Testwürdigkeit einer Strecke.

Der technische Ablauf eines Tests ist in den Kapiteln II.3.1.5. und VI.2.2. dargestellt. Zur Milderung des Unterschiedes zwischen Lagerstättendruck und Luftdruck wird vor dem Test ein meist aus Süßwasser bestehender Wasserpolster (Wasservorlage) in die mit Luft gefüllten Gestängerrohre eingefüllt, sodaß das untere Drittel der Rohre Wasser enthält.

Bei Beginn des Tests schiebt das zufließende Erdgas, Rohöl, Salzwasser oder ein Gemisch davon den Wasserpolster vor sich her und bringt ihn an der Erdoberfläche zum Überlaufen, wenn der Differenzdruck groß genug ist. Fließt reines Erdgas zu, kann es sein, daß dieses schneller an der Erdoberfläche ist als der Wasserpolster, der erst später nachkommt.

Ein Test im unverrohrten Bohrloch (Open-hole-Test, OHT) kann wegen möglicher Gefährdung der Bohrlochwand nur 1–1½ Stunden dauern, sodann wird die Testgarnitur wieder verschlossen und ausgebaut. Ein Teil des Zuflusses kann übrigens auch aus Bohrspülung und Spülungsfiltrat bestehen, letzteres ist während des Bohrvorgangs in das Speichergestein eingedrungen.

Ein Test im verrohrten Bohrloch (Casing-Test, CT) kann erst nach Perforation der

Futterrohre (Verrohrung) und des dahinter befindlichen Zementmantels erfolgen. Dabei ist es wichtig, daß durch die Perforation zahlreiche Öffnungen tatsächlich bis in das Speichergestein geschaffen wurden. Der übrige Testverlauf ist ähnlich wie bei einem OHT, die Zuflußzeiten können jedoch wesentlich länger sein und auch mehrere Tage dauern.

Vorwiegend indirekte Informationsquellen

Kerne, Spülproben: Diese liefern durch spezielle Untersuchungen am Bohrplatz und im Labor weitere wichtige geologische Informationen, z. B. durch Heißwasserbehandlung, Lösungsmittel, Calciometereinsatz, Raumgewichtsbestimmung, Ableuchten mit der Quarzlampe (siehe Kapitel II.3.2.4. und II.3.5.).

Spülungsflüssigkeit: Täglich wird die Bohrspülung mehrmals untersucht. Dabei werden auch für den Bohrgeologen bedeutsame Daten festgestellt, wie das spezifische Gewicht, der Feststoffgehalt, der Chloridgehalt, die Viskosität.

Bohrtechnische Daten: Diese können geologische Schlußfolgerungen zulassen und sind vom Bohrgeologen daher zu berücksichtigen. Jede Tiefbohranlage hat auf der Arbeitsbühne ein Gerät, das die Penetration des Meißels oder der Kernkrone in das Gebirge in Minuten pro Meter anzeigt (z. B. ein Geograph). Daraus läßt sich leicht die Bohrgeschwindigkeit (Bohrfortschritt) in Metern pro Stunde errechnen. Eine Weiterentwicklung unter Berücksichtigung von Meißeldrehzahl, Meißelbelastung, Meißeldurchmesser, Bohrfortschritt, Spülgewicht und Ringraumdruckverlust ergibt den D-Faktor (drillability factor, Bohrbarkeitsfaktor), dessen Veränderungen in Zusammenhang mit der Art des durchbohrten Gebirges stehen und daher von Bedeutung für die geologische Auswertung ist (siehe den folgenden Abschnitt über Datenerfassungsanlagen). Weitere bohrtechnische Ereignisse können indirekt Hinweise auf geologische Zusammenhänge geben: Klemmungen beim Bohren, Drehmomentänderungen, starke Zunahme der Hakenlast, Überlast ziehen

beim Ausbauen, Festwerden des Meißels oder des Gestänges, starker Nachfall mit Kavernenbildungen an der Bohrlochwand, Springen des Bohrstranges während des Bohrens. Wieweit tatsächlich geologische Faktoren mitverantwortlich sind, ist meist nur in Zusammenarbeit mit den Bohrtechnikern aufzuklären.

Tests: Die in der Testgarnitur vorhandenen Aufzeichnungsgeräte liefern Daten über den Druckverlauf (Fließdruck und Schließdruck), die auszuwerten sind sowie Angaben über die Zuflußtemperatur der aus dem Gebirge herausströmenden Fluida und Gase.

Datenerfassungsanlagen

Es handelt sich um mobile, konzentrierte Systeme, die kontinuierlich und reproduzierbar Überwachungs-, Registrierungs- und Warnaufgaben auszuführen haben, um wirkungsvoll, ökonomisch und sicher bohren zu können. Die Anlagen stehen unmittelbar am Bohrplatz und werden von verschiedenen Firmen zum Kauf angeboten oder einschließlich Personal vermietet.

Es ergeben sich folgende Vorteile: Hilfe beim Erkennen KW-führender Zonen schon während des Bohrens; Anzeige kritischer Wechsel der Bohrparameter mit Alarm bei Überschreitung von vorgegebenen Grenzwerten; laufende Registrierung und Interpretation geologischer Daten und deren Änderungen im laufenden Bohrgeschehen; Porendruckdaten während des Bohrens, damit Ermöglichung des „balanced drilling“, d. h. bei möglichst niedrigem Spülgewicht und daher geringeren Kosten für Spülgangzusätze.

Alle Daten, die zur Bestimmung des D-Faktors und seiner verfeinerten Form, dem Sigma-Log, nötig sind, werden geliefert. Aus diesen Daten läßt sich der Formationsdruck ermitteln, was zur Früherkennung von Hochdruckzonen sehr nützlich ist und das Bohrloch vor einem unkontrollierten Gaszustrom („Kick“) bewahren kann. Aber auch andere Parameter, die diesem Zweck dienen, können abgelesen oder errechnet werden. Dies sind u. a.: Drehmomentänderungen, Änderungen der

Hakenlast, Transportgeschwindigkeit des Bohrkleins, Spülungstankmessungen während und nach dem Ein- und Ausbauen des Gestänges, Angaben über die Menge, Dichte und Temperatur der Spülung beim Eintritt in das Bohrloch und beim Austritt aus demselben (während des Bohrens).

Datenerfassungsanlagen liefern also direkte und indirekte Informationen, die sowohl für die technische Ausführung und Sicherheit einer Tiefbohrung wie für die Qualität der geologischen Betreuung von besonderer Bedeutung sind.

Bohrlochmessungen

Über die verschiedenen Arten von geophysikalischen Bohrlochmessungen und ihre Interpretation wird in den Kapiteln II.3.3. und II.3.4. berichtet. Es handelt sich dabei sowohl um direkte wie indirekte Informationsquellen für den Bohrgeologen. Selbstverständlich sind diese Messungen ebenso für die Bohr-, Förder- und Lagerstättentechniker unentbehrlich.

Die Auswahl der Meßarten und die Meßstrecken sind im Arbeitsprogramm vorgegeben. Dazu kommen aber noch zusätzliche Messungen u. a. zur Vorbereitung von Tests, Perforationen und Seitenwandkernen sowie Messungen, die zur Feststellung von Schäden in der Verrohrung dienen. Zwischenmessungen hat bei Bedarf der Bohrgeologe zu veranlassen. Dies ist z. B. der Fall, wenn aufgrund seiner Beobachtungen die Möglichkeit des Vorhandenseins eines KW-führenden Speichergesteins vorliegt. Die Bohrlochmeßtechniker liefern am Ende der Messungen Diagramme, die zum Teil schon direkte Informationen für den Geologen enthalten, zum anderen Teil erst interpretiert werden müssen, um geologisch verwertbar zu sein. Diese Interpretation wird zu meist erst im Auswertungsbüro durchgeführt.

Bohrlochmessungen gehören zu den wichtigsten Informationsquellen, da sie eine kontinuierliche Registrierung physikalischer und geometrischer Daten über die gesamte vermessene Bohrstrecke ermöglichen. Diese Daten ergeben wesentliche

Grundlagen für geologische, lagerstättenkundliche sowie technische Beurteilungen und Entscheidungen.

Eine besondere Art von Bohrlochmessung ist „measurement while drilling“ (MWD), was „Messung während des Bohrens“ bedeutet. Eine speziell adaptierte Meßvorrichtung ist dabei im Bohrstrang während des Bohrens loziert und gestattet laufend Angaben über die Gammastrahlung und den scheinbaren elektrischen Widerstand des durchbohrten Gebirges sowie über die Spülungstemperatur, das Drehmoment und die Meißelbelastung auf Sohle. Auch bei diesem Meßsystem sind also direkte und indirekte Informationen zu verzeichnen.

Geophonversenkungen und VSP (vertical seismic profiling) sind geophysikalische Messungen im Bohrloch, die zur Ermittlung der Laufzeit seismischer Wellen durchgeführt werden (siehe Kapitel II.2.4. und II.2.5.). Der Bohrgeologe gibt aufgrund seiner Kenntnisse über die Lithologie und Geologie der durchbohrten Strecke wichtige Hinweise für die sinnvolle Ausführung dieser Messungen.

II.3.2.4. Bearbeitung der Informationsquellen und die Datenerfassung

Die geschilderten umfangreichen, verschiedenartigen und auch verschieden gewichtigen direkten und indirekten Beobachtungen und Geräteablesungen sowie Meß- und Berechnungsergebnisse müssen vom Bohrgeologen so aufgearbeitet werden, daß damit möglichst konkrete Vorstellungen und Aussagen über die Geologie und die KW-Situation der gesamten Bohrstrecke gemacht werden können.

Nachdem im Kapitel II.3.2.3. das Zustandekommen und die Art der Informationsquellen beschrieben worden sind, sollen nun die diesbezüglichen eigentlichen Tätigkeiten eines Bohrgeologen dargestellt werden.

Von besonderer Wichtigkeit für die routinemäßige geologische Bearbeitung einer Bohrung ist, daß gewisse Informationen nur einmal auftreten können und unwiederbringlich verloren sind, wenn sie nicht

registriert werden: kurze Öl- und Gasanzeichen in der Bohrspülung; Geruchsphänomene; gering mächtige, aber markante Gesteinslagen; kurze Verfärbungen der Bohrspülung. Das ergibt die Notwendigkeit, weitere geschulte Mitarbeiter im Schichtdienst einzusetzen, da der Bohrgeologe nicht ununterbrochen Dienst machen kann. Solche Mitarbeiter sind „Sampler“ (Probennehmer) und Kollektoren (eine Art Hilfsgeologen).

Im folgenden wird nun die Bearbeitung und die Bedeutung der einzelnen Informationsquellen in kurzer Form geschildert.

Bohrkerne: Je nach Notwendigkeit kann ein Bohrkern, entsprechend der Länge des Kernapparates, bis zu 9 m Länge gebohrt werden. Diese unverfälschte Gesteinsprobe gestattet zumeist die einwandfreie Erkennung der Gesteinsart, der

Lagerung (Einfallswinkel), von Lagerungsstörungen, Klüften, Fossilresten, Ölprägnation, Gasbläschen, Salzausblühungen beim Trocknen, von Benzin- oder Petroleumgeruch.

Die Entnahme des Kernes aus dem Innenkernrohr soll liegend erfolgen, um unkontrolliertes Herausfallen von Kernteilen zu vermeiden. Der Kern wird in meterlange, beschriftete Kisten gelegt und sofort in einen verdunkelten Raum zum Ableuchten mit der Quarzlampe gebracht (Abb. 68). Sodann wird der Kern von der anhaftenden Spülung befreit und erneut abgeleuchtet. Auf diese Weise können Ölzeichen aus der anhaftenden Bohrspülung und aus dem Kern selbst unterschieden werden. Der Kerngewinn wird in Prozenten der gebohrten Kernstrecke angegeben.

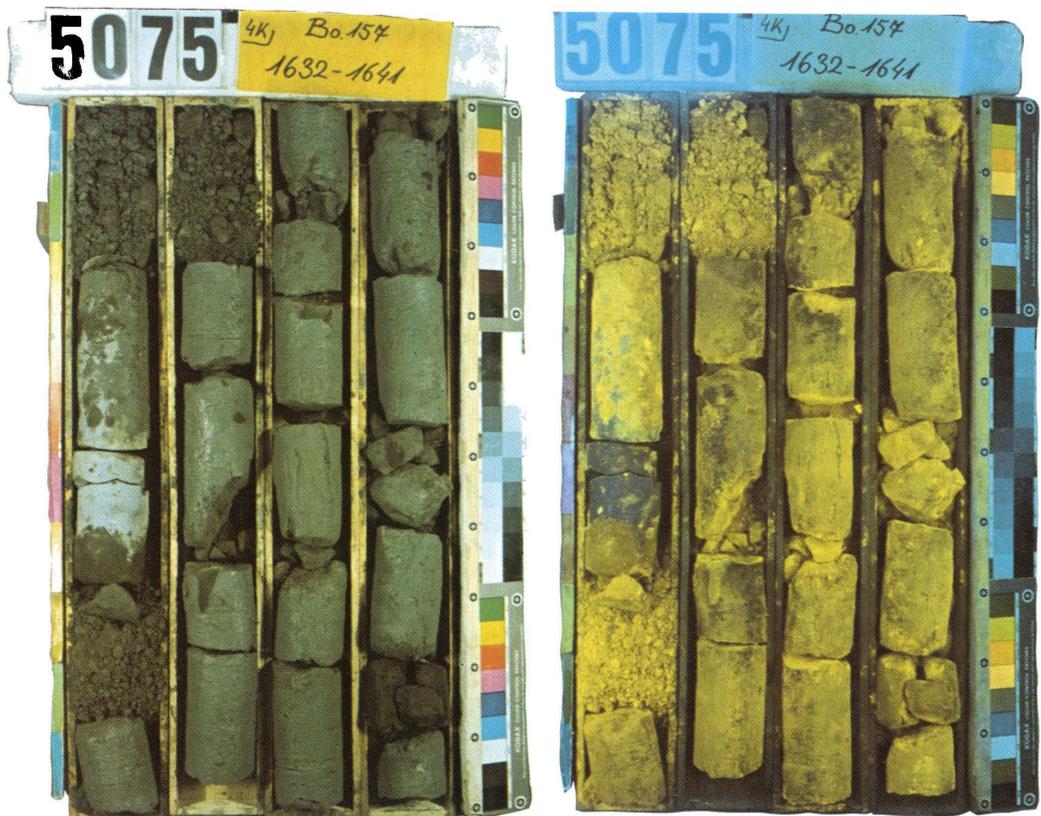


Abb. 68. Ölprägnierter Bohrkern in normalem Auflicht (links) und im UV-Licht (rechts, mit gelber Fluoreszenz)

Die lithologische Beschreibung eines Kernes erfolgt von oben nach unten etwa in der Art, wie man die Schichtfolge eines Steinbruches darstellen würde. Es kommen aber noch die besonderen Angaben über KW-Führung, Porosität, Eignung als Deckgebirge, Speichergestein oder Erdöl-muttergestein dazu, soweit dies mit freiem Auge oder mit einer Lupe möglich ist. Alle diese Angaben erfolgen in einer bestimmten Reihenfolge, damit nichts Wesentliches vergessen wird.

Der nächste Schritt ist die Auswahl von Gesteinsproben für die Laborbearbeitung (siehe Kapitel II.3.5.). Öl imprägnierte Kernstücke werden z. B. in Aluminiumfolie gewickelt und möglichst umgehend in das Labor geschafft, damit die Probe unverfälscht dort ankommt. Alle mit der Entnahme, der lithologischen Beschreibung, der Probennahme und weiteren Aufbewahrung eines Bohrkernes zusammenhängenden Vorgänge sind bei den einzelnen Gesellschaften zwar etwas unterschiedlich, aber ähnlich geregelt.

Bei orientierten Kernen kommt neben der üblichen, bereits geschilderten Bearbeitung noch die spezielle Auswertung dazu. Die einzelnen Bohrstrecken zwischen den Stillstandszeiten sind am Kern anzumerken. Alle Beobachtungen, wie Lage und Meßwerte der Schicht- oder Kluffflächen und von sedimentären Strukturen, sind auf diese Kernsektionen zu beziehen. Die Teufenangaben werden immer auf den „Kopf“ des Kernes bezogen, d. h. auf den lagemäßig höchsten Punkt der Kernstrecke. Um die Richtung des jeweiligen Einfallens festzustellen, wird an der Außenseite des Kernes die Entfernung Hauptmarke zum tiefsten oder höchsten Punkt, z. B. einer Schichtfläche, in Millimetern gemessen und entsprechend festgehalten. Die Meßrichtung von der Hauptmarke im oder gegen den Uhrzeigersinn (bei Betrachtung der Kernachse von oben) sowie der Durchmesser des Kernes an der Meßstelle sind zu berücksichtigen. Der Einfallswinkel der Flächen wird am Kern mit einem Inklinometer direkt gemessen. Alle diese Daten werden notiert und gemeinsam mit den Daten aus der Fotoauswertung mit Hilfe eines Rechenpro-

gramms weiterverarbeitet. Unter Berücksichtigung der wahren Lage und Teufe des Kernapparates bei den einzelnen Kernsektionen erhält man als Ergebnis die Richtungen des Einfallens (bezogen auf magnetisch Nord) und die wahren Einfallswinkel der ausgewählten Flächen.

Alle Bohrkerns sind in ihrer ganzen Länge so zu markieren, daß die Lage einzelner Kernstücke rekonstruierbar ist. Bewährt hat sich z. B. die Methode, einen schwarzen und roten Doppelstrich anzubringen, wobei bei Betrachtung von der Kernsohle her der schwarze Strich rechts und der rote links zu liegen kommt. Damit wird eine verkehrte Lage von Kernstücken, z. B. verursacht durch falsches Zurücklegen von Kernstücken in die Kernkisten, sofort erkennbar. Alle Kernkisten werden an der Sohlenseite etikettiert (Bohrungsname, Kernstrecke, Kistennummer, Entnahmedatum des Bohrkernes).

Raumgewichtsbestimmungen von Kernstücken können bei Vorhandensein der nötigen Geräte auch am Bohrplatz ausgeführt werden. Es wird dabei ein sauberes Kernstück im Gewicht von 3–5 kg ausgewählt und sowohl in Luft wie in reinem Wasser auf Dekagramm genau gewogen. Zur Befestigung beim Wiegen verwendet man ein dünnes Plastiknetz. Nach Abzug der jeweiligen Tara (in Luft, bzw. im Wasser) wird das Raumgewicht nach dem archimedischen Prinzip berechnet: Nettogewicht in Luft – Nettogewicht in Wasser = Volumen; Nettogewicht in Luft durch Volumen = Raumgewicht. Diese Raumgewichtsbestimmungen sind wichtige Hilfen bei der Auswertung gravimetrischer Messungen (siehe Kapitel II.2.4.5.1.).

Weitere Untersuchungen von Bohrkernmaterial am Bohrplatz sind Bestimmungen des Karbonatgehaltes mit Hilfe eines „Calcimeter“ genannten Gerätes. Nach Zugabe einer bestimmten Menge von kalter, verdünnter Salzsäure auf die Gesteinsprobe wird die entstehende Menge an Kohlendioxid gemessen. Es werden dabei der Gesamtkarbonatgehalt, der Kalk- und der Dolomitgehalt sowie der nichtkarbonatische Rest ermittelt.

Ein Kalziumsulfatgehalt einer Probe (Gips oder Anhydrit) läßt sich mit einfa-

chen Mitteln bestimmen: verdünnte Salzsäure und eine Bariumchlorid-Lösung auf die Probe, es tritt eine perlmutterartige, weiße Entfärbung des Gesteins ein.

Die Untersuchung von Kernmaterial auf das Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen geschieht nach mehreren Methoden. Mit freiem Auge sind gegebenenfalls auf der Spülungshaut (vor dem Waschen des Kernes) schillernde Ölsuren und zerspritzende Gasbläschen erkennbar. Schlecht durchlässiges Gestein läßt beim Ausdringen von Gas ein leises Knacken hören. Schließlich kann Rohöl durch den Geruch nach Benzin oder Petroleum erkannt werden. Der gewaschene Kern wird an einigen Stellen zerklopft, um auch KW-Spuren an Schicht- oder Klufflächen und im Gestein selbst erkennen zu können. Immer ist aber auf Verunreinigungen durch Destillate (Spindelöl, Schmieröl, Gestängefett), die beim Bohrvorgang vorkommen können, zu achten. Die wichtigste Methode für die Rohöl-Erkennung am Bohrplatz ist das Ableuchten mit der Quarzlampe in einem abgedunkelten Raum. Naturgas ohne flüssige KW fluoresziert nicht. Leichtöle bzw. Kondensate (z. B. mit einem spez. Gewicht von $0,731 \text{ g/cm}^3 = 62,1^\circ \text{ API}^*)$) zeigen eine blaßblaue Fluoreszenz, die nach wenigen Minuten verschwindet. Je schwerer das Öl ist, umso intensiver wird zunächst das Blau. Ab einem spez. Gewicht des Rohöles von $0,825 \text{ g/cm}^3 (= 40^\circ \text{ API})$ beginnt die Fluoreszenz von Blau auf Gelb umzuschlagen, ab $0,850 \text{ g/cm}^3 (= 35^\circ \text{ API})$ treten nur mehr gelbe, dann goldgelbe und schließlich braungelbe Fluoreszenzfarben auf (Abb. 68). Je schwerer das Öl ist, um so geringer ist auch der korrespondierende Gasgehalt der Spülung im Gasmeßgerät. Leider zeigen die oben genannten Destillate ebenfalls verschiedene Blautönungen bei UV-Bestrahlung, reines Benzin fluoresziert nicht. Eine Klärung kann nur durch eine chemische Untersuchung im Labor herbeigeführt werden.

Andere Hilfen zum Erkennen von flüssigen KW sind die Heißwasserprobe und Lösungsmittel. Bei der Heißwasserprobe werden zerkleinerte Gesteinsstücke in

einen entsprechend großen Topf gegeben und mit reinem, kochenden Wasser übergossen, sodaß die Probe völlig bedeckt ist. Schon nach kurzer Zeit wird bei Vorhandensein von Öl in der Gesteinsprobe auf dem Wasser ein in den Regenbogenfarben schillerndes Häutchen schwimmen, das nun mit der Quarzlampe abgeleuchtet wird (Effekte wie oben). Mit entsprechender Vorsicht kann man ölverdächtiges Gestein auch direkt über Feuer erhitzen. Vorhandenes Öl wird sich bald durch den Geruch bemerkbar machen. Bei stärkerer Ölprägung kann die Probe sogar zu brennen beginnen.

Eine weitere Methode ist die folgende: Gesteinsprobe kleinstückig zerklopfen, in der Luft etwas trocknen lassen, dann das Material in eine Epruvette (oben offenes, gläsernes Probenröhrchen) bis zu einem Drittel einfüllen, ein organisches Lösungsmittel (Azeton, reines Benzin, Tetrachlorkohlenstoff) daraufschütten bis das Gestein etwa 2 cm bedeckt ist, mehrmals gut durchschütteln. Nun wird der Inhalt der Epruvette mit der Quarzlampe abgeleuchtet (Effekte wie oben), wobei es zweckmäßig ist, ein zweites Probenröhrchen zu Vergleichszwecken nur mit dem Lösungsmittel zu füllen, um Farbunterschiede leichter erkennen zu können. Eine aussagekräftigere Methode besteht darin, die Epruvette nach dem Durchschütteln etwa 15 Minuten stehen zu lassen und dann die Flüssigkeit durch ein weißes Filterpapier zu schütten. Das Filtrat wird in einer sauberen weißen Porzellanschale aufgefangen. Beim Vorhandensein von Öl zeigt sich am Filterpapier ein brauner oder schwarzer „Ölring“. In der Schale bleibt dann nach dem Verdampfen des Lösungsmittels Öl zurück. Bei Ölschiefern sind diese Methoden nicht anwendbar, da das darin enthaltene Kerosin in organischen Lösungsmitteln unlöslich ist. Die oben beschriebenen Öluntersuchungs-Methoden sind nicht nur bei Bohrkernen, sondern auch bei Seitenwandkernen, Spülproben und Gelände-proben zu empfehlen.

Seitenwandkerne (geschossen oder gebohrt) werden vom Geologen entnommen, abgeleuchtet, von Spülung gesäu-

*) API = American Petroleum Institute

bert, wieder abgeleuchtet und lithologisch beschrieben. Die zu gewinnende Kernmenge entspricht bei vollem Kerngewinn etwa dem Volumen eines Daumens. Man setzt auf dieselbe Schicht meist mehrere Seitenwandkerne an, da nicht selten Kernverluste oder Versager (bei Schußkernen) vorkommen. Die Kernstückchen werden in entsprechende Glasfläschchen gegeben, diese etikettiert, gut verschlossen und sodann in das Labor gebracht, wo die weitere Bearbeitung erfolgt.

Spülproben: Es hat sich die Methode bewährt, von jeder Entnahmeteufe zwei Proben vom Schüttelsieb zu entnehmen. Die erste Probe (etwa 500 cm³) wird mit einem engmaschigen Küchensieb zur Geologenkaue gebracht, abgeleuchtet (Fluoreszenz der Spülung), gewaschen, nochmals abgeleuchtet (Fluoreszenz des Bohrkleins), getrocknet und zur Bearbeitung für den Bohrgeologen in beschriftete Säckchen gefüllt. Bei der zweiten Probe wird das Bohrklein zusammen mit der Bohrspülung in einen gut verschließbaren Kunststoffbehälter (Inhalt ca. 300 cm³) gefüllt, etikettiert und für den Abtransport in das Labor bereitgestellt.

Der Bohrgeologe hat nun die erste Probe zu untersuchen. Dabei werden die Volumsprozente der auftretenden Gesteinsarten mit Hilfe einer Lupe oder mit einem Binokular-Mikroskop etwa auf 5 % genau abgeschätzt. Zu beachten sind dabei einerseits das Auftreten einer neuen Gesteinsart („erster Einsatz“) und andererseits das Vorkommen von Nachfall-Material. Letzteres ist meist größer (12–15 mm Durchmesser), als das von der Bohrlochsohle stammende Bohrklein (meist bis etwa 5 mm Durchmesser). Je besser der Bohrgeologe die Lithologie der bereits durchbohrten Strecke kennt, umso besser wird er Nachfall von echten Spülproben unterscheiden und umso leichter wird er erste Einsätze richtig ansprechen können.

Die zweite (Labor-)Probe ist vor allem für die mikropaläontologische Bearbeitung bestimmt (siehe Kapitel II.3.5.2. und VI.1.3.). Es können aber bei Bedarf auch Gasinhalts-, Schwermineral-, Dünnschliff-

und andere Untersuchungen ausgeführt werden (siehe Kapitel II.3.5.1.).

Von tonig-mergeligen Spülproben wird zur Feststellung möglicher Hochdruckzonen (siehe Ende dieses Kapitels) auch das Raumgewicht mit der Spülungswaage am Bohrplatz bestimmt, wobei der Geologe die entsprechenden Gesteinsstückchen erst aus der betreffenden Spülprobe herausuchen muß. Die Bestimmung des Karbonatgehaltes der Gesamtprobe oder von selektierten Probenstückchen kann analog wie bei Bohrkernen ausgeführt werden, das gleiche gilt für das Ableuchten mit der Quarzlampe, die Heißwasserprobe und den Einsatz von Lösungsmitteln.

Für alle Arten von Bohrkernen und für die Spülproben gibt es entsprechende Formulare, die bei der Beschreibung am Bohrplatz hilfreich sind, da durch spezielle Rubriken auf wichtige Daten aufmerksam gemacht wird. Diese Kern- und Spülprobenberichte sind die Grundlagen für mehrere weitere Berichte, auf die später eingegangen wird (siehe Kapitel II.3.7.).

Eine überaus hilfreiche und effiziente Methode die geologischen Ergebnisse darzustellen, ist das Klebelog (Abb. 69). Dabei werden, meist im Maßstab 1 : 1000, ausgesuchte Spülprobenstückchen (ohne Nachfall) in einem 3–6 cm breiten Streifen teufengerecht auf eine kräftige Kunststoff-Folie geklebt. Für die endgültige Fassung eines solchen Klebelogs benötigt man noch die Bohrlochmessungen für die betreffende Bohrstrecke. Man vergleicht die aus den Diagrammen ablesbaren Daten über die Schichtfolge mit den durch die Spülprobenbearbeitung erhaltenen geologischen Angaben, wobei natürlich erste Einsätze besonders beachtet werden. Ebenso werden Bohrkern-Ergebnisse mit eingearbeitet. Falls vorhanden, kann jetzt auch eine Teufendifferenz zwischen den in den Diagrammen angegebenen Kabelteufen und den Gestängeteufen bei Bohrkernen, bzw. die Teufenkorrektur bei Spülproben durchgeführt werden. Man erhält so eine teufenkorrigierte Folge aufgeklebter Spülproben und Kernstückchen im Maßstab 1 : 1000, die einen ausgezeichneten Überblick über die Lithologie der jeweils durchbohrten Strecke gibt. Liegen

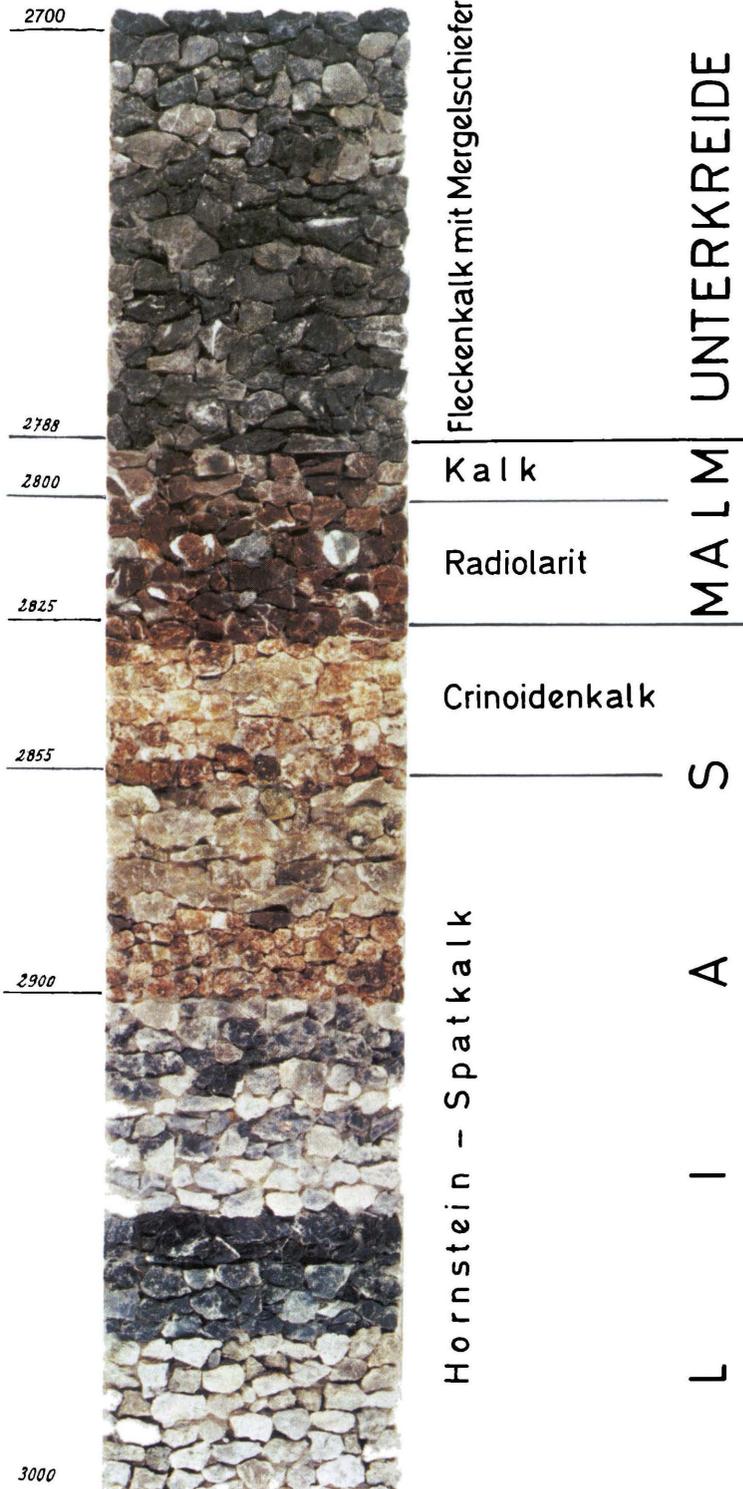


Abb. 69. Klebelog der Aufschlußbohrung Aderklaa 82

mehrere Bohrungen in einem näheren Bereich vor, so sind diese Klebelogs ganz hervorragende Korrelationshilfen, die zum leichteren Erkennen von Störungszonen, Diskordanzen, Schichtauskeilen usw. zwischen diesen Bohrungen benützt werden, umso mehr als es sich dabei um Originalmaterial aus diesen Bohrungen handelt.

Spülungsflüssigkeit: Die Spülungseigenschaften, die kontinuierlich direkte und indirekte Informationen von der Bohrlochsohle sowie z. T. auch von der Bohrlochwand liefern, werden laufend überwacht. So führt der Sampler mehrmals täglich während der Bohrphase Spülungsuntersuchungen durch, wie z. B. Bestimmungen des spezifischen Gewichts, der Viskosität, des Feststoffgehalts, des Filtrationsverhaltens und der Filterkuchenbildung, des pH-Wertes, des Sand-, Chlorid-, Sulfat- und Karbonatgehaltes.

Der Unterschied zwischen der geringeren Temperatur der Spülung beim Einpumpen in das Bohrloch und der höheren Temperatur beim Wiederaustritt kann mehrere Ursachen haben. Allgemein tritt eine Erwärmung durch die Zunahme der Gesteinstemperatur mit der Tiefe ein (geothermische Tiefenstufe). Die zweite Ursache kann die Reibungswärme des Meißels auf der Bohrlochsohle sein, die von der Spülung abtransportiert werden soll. Eine dritte Ursache kann im Zutritt heißer Flüssigkeiten (z. B. heiße Thermalwässer) bestehen. Im Zweifelsfall kann eine Bohrloch-Temperaturmessung Aufklärung schaffen.

Die Menge der Bohrspülung wird im Spülungstank laufend registriert. Bei der Zunahme des Bohrlochvolumens mit der Tiefe nimmt naturgemäß auch die eingesetzte Spülungsmenge adäquat zu, da das Bohrloch aus Sicherheitsgründen immer voll gehalten werden muß. Nimmt nun die Spülungsmenge ab, so ist irgendwo im unverrohrten Bohrloch ein Spülungsverlust eingetreten. Für den Geologen bedeutet das, daß eine poröse oder klüftige, durchlässige Gesteinslage einen deutlich geringeren Druck aufweist als die Spülungssäule und daher größere Spülungsmengen in das Gebirge eintreten können. Eine Bohrlochmessung (Kaliber-

messung) zeigt dann bei dieser Gesteinslage eine starke Filterkuchenbildung (Kapitel II.3.3. und II.3.4.).

Ist dagegen die obertags ausfließende Spülungsmenge deutlich größer, als sie sein sollte, so muß aus einer Gesteinslage im unverrohrten Bohrlochteil Flüssigkeit zuströmen, da der Druck in dieser Lage offenbar größer ist als der Gegendruck der Spülung. Tritt dabei Salzwasser in das Bohrloch, so wird der Chloridgehalt der Spülung bemerkbar ansteigen, da die Spülung normalerweise mit Süßwasser zubereitet wird. Ein Gaszustrom wird sofort im Gasmeßgerät registriert werden. Beim Zufluß von Öl ist dies obertags in der Spülrinne bemerkbar, dazu steigt auch meistens der Gasgehalt. Außerdem tritt durch Wasser-, Gas- und Ölzufluß in verschiedenem Maße eine Verringerung des Spülungsgewichtes ein, was eine Gefahr für das Bohrloch bedeuten kann. Durch Beschwerden der Spülung (Erhöhung des spezifischen Gewichtes) ist dieses Überlaufen meist beherrschbar.

Neben der üblichen lithologischen Analyse des Bohrschmants erhält der Geologe durch die Spülungsflüssigkeit selbst weitere Hinweise über die Art der durchbohrten Schichten, etwa durch einen erhöhten Sandgehalt und durch Verfärbungen der Spülung. Kohlenlagen färben die Spülflüssigkeit dunkelgrau bis schwarzgrau, rote Tone je nach Verdünnung rosa bis rot, weiße, kreidige Kalke hellen die Spülung stark auf. Steigt der Sulfatgehalt der Spülung, ist das ein Anzeichen, daß gips- oder anhydrithältige Lagen durchbohrt wurden.

Schließlich können noch Geruchsphänomene aus der Spülung Informationen liefern. Benzin- oder Petroleumgeruch weist auf Ölzufluß hin. Stechender Geruch nach faulen Eiern zeigt an, daß offenbar Schwefelwasserstoff (H_2S) mit Gas oder Öl zugeflossen ist. H_2S kann man außerdem mit speziellen Prüfröhrchen erkennen.

Tests: Das Intervall einer Teststrecke wird vom Geologen, Bohrlochgeophysiker und Lagerstätteningenieur gemeinsam festgelegt. Der Geologe hat bei den wichtigen Testphasen anwesend zu sein, um

die Ergebnisse direkt beobachten und registrieren zu können, wie die Zuflußart (Gas, Öl, Wasser) die Zuflußmenge und die Zuflußzeit. Ist der Lagerstättendruck hinreichend, um den Wasserpolster und den Lagerstätteninhalt bis zutage zu fördern, kann unmittelbar beobachtet werden, woraus dieser Lagerstätteninhalt besteht. Gas wird über eine Rohrleitung (Testleitung) in der Windrichtung vom Bohrturm weggeleitet, dann über ein senkrechtes Rohrstück abgelassen und angezündet (abgefackelt), womit das Gas keinen Schaden mehr anrichten kann. Kommen Rohöl oder Salzwasser zutage, so werden diese Flüssigkeiten in vorbereitete Tanks geleitet.

Es besteht durch entsprechende Schieber laufend die Möglichkeit, aus der Testleitung Proben zu entnehmen. Ist der Test beendet, so richtet sich das Augenmerk auf den Inhalt des Bohrstranges und der Testgarnitur, die jetzt ausgebaut werden. Bei druckschwachen Lagerstätten befinden sich die Zuflüsse in diesen Rohren.

Vom Lagerstätteningenieur wird die Auswertung der Diagramme der Meßeinrichtungen durchgeführt. Es werden die Druckverhältnisse während des Zufließens (Fließdruck) sowie vor und nach dem Fließvorgang (Schließdruck) ermittelt. Von besonderer Wichtigkeit ist, ob der Fließdruck bis zum Ende der Testzeit noch angestiegen ist oder nicht. Weiters können aus den Testdaten Aussagen über die Temperatur des Fördergutes sowie über die Permeabilität (Durchlässigkeit) der Teststrecke gemacht werden (siehe auch Kapitel VI.2.2.). Der Bohrgeologe hat über seine Beobachtungen einen Testbericht zu verfassen.

Bohrtechnische Daten: Viele dieser Daten sind von den geologischen Gegebenheiten der Bohrstrecke abhängig und werden daher einer Bearbeitung und Interpretation durch den Bohrgeologen unterzogen (siehe auch Kapitel II.3.2.3.). Die Penetration in Minuten pro Meter ist bei gleichen Bohrparametern von der Gesteinsbeschaffenheit und den Druckverhältnissen abhängig, ebenso wie der schon erwähnte D-Faktor.

Wird im Bohrloch die Drehbewegung des Meißels erschwert (Drehmomentanstieg), so kann dies durch eine starke Zunahme der Menge und der Größe des Bohrschmants bewirkt worden sein, was auf eine unmittelbar bevorstehende Hochdruckzone hindeuten kann. Es kann weiters vorkommen, daß in der Bohrstrecke quellende Tone (Montmorillonit) auftreten, die Wasser aus der Spülungsflüssigkeit entziehen und dadurch das Bohrloch verengen. Dies kann zu Klemmungen beim Bohren und zum Ziehen von Überlast beim Ausbauen des Bohrstranges führen, in Extremfällen zum Festwerden des Meißels oder des Gestänges. Da solche Bohrschwierigkeiten auch durch große Nachfallstücke aus der Bohrlochwand (Kavernebildung) auftreten können, wird unter Umständen eine Untersuchung der letzten hochgekommenen Spülproben Auskunft geben können, bzw. eine Kalibermessung.

Weicht ein Bohrloch unbeabsichtigt ab einer bestimmten Teufe stark von der Vertikalen ab, so sind meist deutliche Änderungen im Schichteinfallen der durchbohrten Gesteine die Ursache. Das kann sich auch in Form von Klemmungen und einem Drehmomentanstieg äußern. Hier klärt eine Schichteinfallsmessung (Dipmeter) den Sachverhalt.

Diese Auswahl einiger bohrtechnischer Daten soll die Komplexität der Auswertemöglichkeiten aufzeigen. Daraus folgt, daß eine optimale Erfassung der Informationen und Daten sowie deren geologische Interpretation nur durch eine möglichst lückenlose Ausnützung aller verfügbaren technischen und wissenschaftlichen Hilfsmittel erreicht werden kann.

Hochdruckzonen-Früherkennung: In den letzten Jahrzehnten ist das Auftreten von Gesteinszonen mit deutlich höherem Druck als dem hydrostatischen Druck häufiger geworden, da immer mehr Bereiche von tektonisch stark beanspruchten oder tief abgesenkten geologischen Zonen exploriert wurden und werden. Unter dem hydrostatischen Druck versteht man, vereinfacht ausgedrückt, den Druck einer gleich hohen Säule aus

reinem Wasser in bar. In 1000 m Teufe beträgt z. B. der hydrostatische Druck 98,07 bar (1 bar = 10,19716 m Wassersäule, wozu noch der atmosphärische Druck und das erhöhte spezifische Gewicht von Salzwasser kommt, was in Summe etwa 100 bar ausmacht.

In Hochdruckzonen kann der Lagerstättendruck bis rund das 2,4fache von reinem Wasser ausmachen, z. B. bei 3000 m Teufe bis 720 bar. Es ist klar, daß dies eine eminente Gefahr für das Bohrgeschehen darstellt. Um dieser Gefahr zu begegnen, wurden mehrere Methoden ausgearbeitet, um Hochdruckzonen möglichst frühzeitig zu erkennen.

Der Porenraum eines tonig-mergeligen Deckgebirges ist normalerweise mit Wasser gesättigt. Steht die darunter liegende Lagerstätte unter Hochdruck, wird das Deckgebirge von unten gleichsam aufgeladen, die Mineralplättchen etwas auseinander gedrängt und der dabei entstehende zusätzliche Porenraum mit Hochdruckgas gefüllt. Erfahrungsgemäß hat diese Zone eine Mächtigkeit bis zu etwa 90 m; sie wird Übergangszone (transition zone) genannt. Es geht also darum, diese Zone rechtzeitig zu erkennen. Dafür stehen u. a. folgende Hilfsmittel zur Verfügung:

- Raumgewicht der tonig-mergeligen Spülproben. Bei normalen, hydrostatischen Druckverhältnissen nimmt das Raumgewicht dieser Gesteine durch die Kompaktion und den Wasserverlust ständig mit der Tiefe zu. Beim Anbohren einer Übergangszone wird dieser Trend umgekehrt, das Raumgewicht nimmt nun mit der Tiefe ab, da die Porenfüllung leichter ist als das Gestein.
- D-Faktor: Hier ist die gleiche Tendenz zu beobachten. Der Bohrbarkeitsfaktor (eine dimensionslose Zahl) nimmt im Normalfall mit der Teufe zu, bei Antreffen der Übergangszone nimmt er deutlich ab.
- Gasanzeige: Bei Erreichen der Übergangszone steigt der Gasgehalt der Bohrspülung markant an.
- Penetration: Die Bohrzeit in Minuten pro Meter nimmt bei gleichbleibenden

Bohrparametern aus den schon genannten Gründen normalerweise mit der Tiefe zu. Beim Anbohren der Übergangszone nimmt der besseren Bohrbarkeit wegen (aufgelockertes Deckgebirge) die Bohrzeit ab oder, anders ausgedrückt, die Bohrgeschwindigkeit (rate of penetration, drilling speed) nimmt zu.

- Spülungstemperatur: Es erfolgt entsprechend der geothermischen Tiefenstufe im Fall von Normaldruck eine Temperaturzunahme mit der Teufe (z. B. 3° C pro 100 m). Bei Erreichen und innerhalb der Übergangszone bleibt die Temperatur konstant oder steigt nur sehr gering an, da diese Zone eine schlechte Wärmeleitfähigkeit besitzt. Die Temperatur der Spülung nimmt jedoch beim Eintritt in die Hochdrucklagerstätte stark zu.

Dazu kommen, wenn auch meist erst nachträglich, die Ergebnisse von Bohrlochmessungen. Besonders die Ultraschallmessungen (Sonic-Log, Acoustic-Log) sind sehr aussagekräftig, da durch diese Messungen kompaktere Gesteine von aufgelockerten Gesteinen, wie sie in der Übergangszone vorliegen, unterscheidbar sind. Während die Geschwindigkeit der Wellen im Normalfall im homogenen Gebirge mit der Teufe zunimmt, tritt in der Übergangszone eine deutliche Geschwindigkeitsverminderung ein. Es muß bemerkt werden, daß bei einem karbonatischen Deckgebirge die oben genannten Hilfsmittel nicht anwendbar sind.

Es gehört zu den Aufgaben des Bohrgeologen auf die genannten Warnzeichen zu achten. Eine klare Schlußfolgerung, daß der Bohrmeißel in eine Übergangszone aus tonig-mergeligen Gesteinen über einer Hochdrucklagerstätte eingedrungen ist, kann aber erst dann gezogen werden, wenn mehrere Parameter eindeutig in die gleiche Richtung weisen. Ein sehr enger Kontakt mit den Bohrtechnikern ist daher unerlässlich.

Bohrlochmessungen: Einige wichtige Meßarten sind in Kapitel II.3.3. und in Tabelle 10 kurz beschrieben, die rechnerische Auswertung wird in Kapitel II.3.4. behandelt. Hier soll nun ergänzend

einiges über die geologische, lagerstättenkundliche und bohrtechnische Nutzenanwendung ausgesagt werden.

Über die geologische Anwendung sind in den vorangegangenen Kapiteln mehrere Beispiele erwähnt worden. Daraus geht hervor, daß Bohrlochmessungen unentbehrliche Informationsquellen sind, ohne welche eine effiziente, kostengünstige und umfassende Bearbeitung und Interpretation nicht möglich wäre. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den physikalisch voneinander unabhängigen Meßdaten, die eine Einengung der möglichen Ergebnisse gestatten, sodaß in Kombination mit den geologischen Informationen zumeist eindeutige Resultate und Aussagen über die durchbohrte Strecke gewonnen werden können. Neben der exakten lithologischen Erfassung der Schichtfolge mit präzisen Angaben über die Schichtgrenzen ebenso wie über tektonische Grenzen ist es auch möglich, durch Einbeziehung der Raumlage des Bohrloches die absolute Tiefe dieser Grenzen zu berechnen. Durch die Abweichung des Bohrloches von der Vertikalen können nämlich z. T. erhebliche Verkürzungen auftreten, sodaß die wahren Teufen von Grenzen im Bohrloch höher liegen als die ursprünglichen Bohrteufen angeben.

Von besonderer Wichtigkeit für ein Bohrvorhaben sind jene bohrlochgeophysikalischen Messungen, die auf den Formationsinhalt schließen lassen, d. h. angeben können, ob mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Speichergestein Gas, Öl oder Wasser enthalten sind. Solche Messungen sind z. B. der spezifische elektrische Widerstand (Wassersättigung des Porenraumes, Kontaktflächen Gas – Öl – Wasser des Porenraumes im Speichergestein), Neutronmessung und radioaktive Dichtemessung (Unterscheidung Gas – Flüssigkeiten im Speichergestein).

Die lagerstättenkundliche Anwendung ist in den Kapiteln II.3.6. und VI.2.2. behandelt. Eine lagegenaue Ausführung von Tests im offenen oder verrohrten Bohrloch sowie von Perforationen der Verrohrung wäre ohne Bohrlochmessungen unmöglich. Das gilt auch für Stimulationsarbeiten, Errichtung von Wassersperren, Ein-

bringung von einer Zementabdichtung bei ausgeförderten und daher aufgegebenen Lagerstättenteilen usw.

Die bohrtechnische Anwendung von Bohrlochmessungen liegt einmal bei der Teufenkontrolle und bei der Aufzeichnung der Geometrie des Bohrloches. Die Festlegung von Verrohrungsteufen, die Höhe der Zementsteigerung hinter den Rohren, dann Beschädigungen, Korrosionsfolgen und Leckstellen an der Verrohrung sowie die Teufenlage von Gestängebrüchen sind weitere Beispiele für die Bedeutung dieser Messungen.

Die Dokumentation der Bohrlochmessungen erfolgt zum einen durch die Erstellung und Übergabe bestimmter Diagramme am Bohrplatz unmittelbar oder kurz nach den betreffenden Messungen, z. B. über die Porositäten, die Wassersättigung, die Öl- und Gasführung erdölgeologisch interessanter Intervalle. In dringenden Fällen kann so eine Auswertung direkt am Bohrplatz erfolgen.

Die Dokumentation aller Ergebnisse einer Bohrung ist in den Kapiteln II.3.7.2–II.3.7.7 dargestellt.

II.3.2.5. Geologische Beratung bei Bohrungen

Die Vorarbeiten für die Erstellung eines detaillierten Programmes für ein bestimmtes Bohrprojekt wurden bereits in den Kapiteln II.2.7. und II.2.8. beschrieben. Im Kapitel II.3.2.1. wird ein Überblick über die Daten gegeben, die im Bohrlochstammblatt und im Arbeitsprogramm anzugeben sind.

Die eigentliche Tätigkeit des Bohrgeologen nimmt bei Bohrbeginn den Anfang und wird in den Kapiteln II.3.2.2. bis II.3.2.4. dargestellt. Über diese Routinearbeiten hinaus obliegt es dem Bohrgeologen für jene Fälle, in denen unvorhergesehene geologische oder technische Vorkommnisse eintreten, beratend zur Verfügung zu stehen. So wird er angeben, ob die Spülproben- und Kernentnahmen sowie die Bohrlochmessungen planmäßig erfolgen sollen oder geologisch bedingte Änderungen notwendig geworden sind.

Teststrecken werden gemeinsam mit den Lagerstätteningenieuren und den Bohrlochgeophysikern festgelegt. Eine besonders wichtige Aufgabe des Geologen und seiner Hilfskräfte ist es, alle während des Bohrgeschehens auftretenden Hinweise auf Öl, Gas und Hochdruckzonen sofort den Bohrtechnikern mitzuteilen, damit von diesen die entsprechenden Maßnahmen eingeleitet werden können.

Beratende Funktion übt der Bohrgeologe bei der Festlegung der gesteinsmäßig günstigsten Verrohrungsteufen und bei der Angabe der Höhe der Zementsteigerung hinter den Rohren aus. Diese Verrohrungsteufen sind zwar im Bohrlochstammblatt angegeben, doch sind das nur Näherungswerte, die entsprechend der jeweiligen geologischen Situation adaptiert werden müssen. Soll ein verrohrtes Bohrloch perforiert werden (siehe Kapitel II.4.1.1.), so wählt der Geologe nach Absprache mit dem Lagerstätteningenieur die Perforationsstrecke aus.

Aus verschiedenen Gründen kann es notwendig werden, daß ein Bohrloch abgelenkt werden muß. Für diesen Fall hat der Geologe die korrigierte Teufe des Zielhorizontes sowie einen Zielkreis mit lagemäßig definiertem Mittelpunkt und entsprechendem Radius anzugeben.

Bei der Auswahl der Bohrmeißel wird der Geologe den Bohrmeister beraten, damit dieser den für die in Angriff zu nehmende Bohrstrecke günstigsten Meißeltyp einsetzt. Ebenso wird entsprechend dem bei einer Kernstrecke zu erwartenden Gebirgsverhältnissen der passende Kernapparat (Gummikernrohr, Doppelkernrohr) vorgeschlagen.

Der Bohrgeologe hat im Einvernehmen mit seinem Vorgesetzten das Abteufen einer Bohrung vorzeitig zu beenden, wenn das geologische Ziel schon vor der geplanten Endteufe erreicht wurde. Das gleiche gilt für den Fall, daß ein Bohrloch bei der Endteufe das geologische Ziel noch nicht erreicht hat. Hier gibt es einen Spielraum bis zur sogenannten maximalen Endteufe, die auch durch die Teufenkapazität der Bohranlage gegeben sein kann. Ebenso hat der Geologe beratend mitzuwirken, ob ein Bohrloch zu liquidie-

ren, oder ob es etwa für eine spätere Verwendung (z. B. als Speicher- oder Flutsonde) nur zu konservieren ist.

Bei Förder sonden obliegt es dem Geologen, alle notwendigen Angaben zu machen, die fördertechnisch von Bedeutung sind: z. B. Verbreitung, Mächtigkeit, Homogenität oder Nichthomogenität, Aufsplitterung und lithologischer Charakter eines Förderhorizontes und der Deckschicht (siehe auch Kapitel II.4.3.). Eine wichtige Hilfe bei Stimulationsarbeiten (siehe Kapitel II.3.6. und II.4.1.2.) kann der Geologe dadurch geben, daß er den Technikern Angaben über die Lithologie im Stimulationsbereich macht. So ist z. B. eine Säuerung mit Salzsäure nur dann sinnvoll, wenn das Gestein des betreffenden Horizontes aus Karbonaten besteht oder zumindestens ein karbonatisches Bindemittel vorliegt. Bei einer Säuerung mit Flußsäure müssen genügend silikatische Minerale im Gestein vorhanden sein.

Bei der Liquidation einer Bohrung oder Sonde gibt der Geologe die Verfüllungstrecken im offenen Bohrloch oder in den Rohren an, damit alle jene Bereiche durch Zement abgeschlossen werden, die gute Porosität und Durchlässigkeit aufweisen, um ein späteres Ein- und Hochdringen, z. B. von Salzwasser, in das Bohrloch zu verhindern.

Die im Hauptkapitel II.3.2. dargestellten mannigfachen und sehr verantwortungsvollen Aufgaben von Geologen bezüglich der verschiedenen Arbeitsbereiche (Projektierung, Bohrungsbetreuung, Fördergeologie, Beratung) sind in den meisten Gesellschaften auf mehrere Fachleute aufgeteilt. Immer aber fungieren die Geologen als Teile eines Teams aus Wissenschaftlern und Technikern, um das Endziel, die Auffindung und Förderung von Kohlenwasserstoff-Lagerstätten in kooperativer Weise und kostengünstig zu erreichen.

II.3.2.6. Bohrkategorien und Art der geologischen Betreuung

II.3.2.6.1. Bohrkategorien

Die im KW-Bergbau abzuteufenden Bohrungen werden, je nach der Aufgabe,

die sie zu erfüllen haben, in 5 Kategorien eingeteilt, wobei die Angaben im Österreichischen Montanhandbuch 1980 (Seiten 47–48) als Grundlage genommen und etwas modifiziert wurden. Einige Synonyme, bzw. frühere Bezeichnungen sind in Klammern beigefügt:

Untersuchungsbohrungen sind solche, die der geologischen Vorerkundung dienen. Es geht dabei um die Erkundung von Stratigraphie, Tektonik, Auftreten von Speichergesteinen und von Deckgebirge, ohne daß die Endteufe eine Rolle spielt (Handbohrungen, Counterflush-Bohrungen, Craelius- oder K-Bohrungen, Strukturbohrungen, Schurfbohrungen, Kartierungsbohrungen).

Aufschlußbohrungen sind solche, die in einer durch geologische und/oder geophysikalische Methoden angezeigten Struktur wirtschaftlich ausbeutbare KW-Führung nachweisen sollen (Explorationsbohrungen, Wildcats, vertikale Erweiterungsbohrungen).

Erweiterungsbohrungen sind solche, die zur Begrenzung als wirtschaftlich fündig erkannter Lagerstätten abgeteuft werden (Horizontale Erweiterungsbohrungen, Entwicklungsbohrungen, Begrenzungsbohrungen, Teilfeldsuchbohrungen).

Produktionsbohrungen sind solche, die zur Ausbeutung (Abförderung) einer als wirtschaftlich erkannten KW-Lagerstätte dienen (Exploitationsbohrungen, Förderbohrungen).

Hilfsbohrungen sind solche, die nur indirekt zur Förderung von Kohlenwasserstoffen beitragen (Wassereinpreßbohrungen, Flutbohrungen, Gaseinpreßbohrungen, Gasspeicherbohrungen, technische Bohrungen, Wassergewinnungsbohrungen).

II.3.2.6.2. Art der geologischen Betreuung

Die Zuordnung eines Bohrprojektes wird schon bei der Zusammenstellung des Bohrprogrammes festgelegt. Aus dieser Festlegung resultieren dann bestimmte technische und geologische Bearbeitungsgrundsätze.

Es weisen also die einzelnen Bohrkategorien gewisse Unterschiede in der Art

der geologischen Betreuung auf. Untersuchungs- und Aufschlußbohrungen werden am intensivsten betreut, da diese zumeist in geologischem Neuland abgeteuft werden. In den Kapiteln II.3.2.1. bis II.3.2.5. wurden die dabei verwendeten Methoden beschrieben.

Bei Erweiterungsbohrungen wird eine intensivere geologische Bearbeitung manchmal auf den produktionsgeologisch interessanten Teufenbereich beschränkt sein. Ähnliches gilt in verstärktem Maße für Produktionsbohrungen. Bei beiden Kategorien sind die geologischen Verhältnisse zumeist bis ins Detail bekannt. Bei Hilfsbohrungen wird der Geologe nur dann in Aktion treten, wenn besondere Verhältnisse oder Anforderungen dies notwendig machen.

Zusammenfassend muß aber festgehalten werden, daß grundsätzlich jede Bohrung einen Fall für sich darstellt und die geologischen Betreuungs- und Bearbeitungsmaßnahmen flexibel immer auf diesen Fall abgestimmt werden. Dies tritt besonders dann ein, wenn, aus welchen Gründen auch immer, die bei der Bohrvorbereitung ermittelten prognostischen Daten sich mit der Realität nicht oder nicht ganz decken, d. h. größere oder kleinere Abweichungen vom geologischen Vorausprofil auftreten.

Literaturauswahl für das Hauptkapitel II.3.2.:

ANDERSON, G. 1975; BÁRDOSSY, G. 1962; BECKMANN, H. 1963b und 1984; BENTZ, A. & STROBEL, E. 1933; BRIX, F. 1960 und 1985a; DORN, D. & WERNER, R. 1977; EHRISMANN, W., SCHARRINGHAUSEN, R. & WILDELAU, J. 1981; FOLLE, S. & MÜLLER, K. 1988; FRAUDE, D. J. 1961; FRICKE, D. 1979; HAWORTH, J. H., SELLENS, M. & WHITTAKER, A. 1985; HLAUSCHEK, H. 1928; HUSMANN, H. 1984; McPHATER, D. & MacTIERNAN, B. 1983; MÖBUS, G. & FÖRSTER, A. 1983; PESCHEL, G. & MÖBUS, G. 1986; PETERSS, K. 1980a und 1980b; PILGER, H. 1937; PISKE, J. & BLESCHERT, K.-H. 1985; PREUL, F. 1969; RINGHOFER, W. & VALEK, P. 1985; RINGHOFER, W. 1986 und 1990; RIZZI, P. W. 1973; SCHETTLER, H. 1954 und 1960; SCHMITZ, G. 1956; SCHOTT, W. & MAYER-GÜRR, A. 1968; SCHOTT, W. 1984c; SCHOWALTER, T. T. & HESS, P. D. 1982; SCHRÖDER, L. 1984; TRUSHEIM, F. 1956; VIRUS, W. 1958.