

3. Beschreibung einer Bohrlochkonstruktion

3.1. Bezeichnung, Darstellung, Klassifizierung

Die Bezeichnung einer Bohrlochkonstruktion erfolgt im allgemeinen durch das dieser Konstruktion zugrundeliegende Verrohrungsschema - einer Aufzählung der Durchmesser (Größen) der Futterrohtouren in der Reihenfolge ihres Einbaues.

Beispiel: 18 5/8" - 13 3/8" - 9 5/8" - 7" - 5"

Das angeführte Beispiel des Verrohrungsschemas sagt aus, daß eine 18 5/8"-Rohrtour (bestehend aus Futterrohren der Nenngröße 18 5/8") als Leit- oder Ankerrohrtour, die 13 3/8"-Rohrtour als erste technische Rohrtour, die 9 5/8"-Rohrtour als zweite technische Rohrtour und die 5"-Rohrtour als End- oder Produktionsrohrtour auftreten.

Um die Bohrlochkonstruktion eindeutiger zu beschreiben, muß die obige Bezeichnung des Verrohrungsschemas durch folgende Angaben ergänzt werden:

- durch die Einbauteufe (oder Rohrschuhteufe) jeder Rohrtour
- durch den Durchmesser und die Teufe des Bohrloches, in das die Rohrtouren eingebaut werden (Bohrlochteufe und Rohrschuhteufe brauchen nicht übereinzustimmen)
- durch das Zementationsintervall jeder Rohrtour (Zementkopfteufe)
- durch das Verrohrungsintervall für den Fall, daß eine Rohrtour als Liner auftritt (Rohrschuhteufe und Teufe des Linerkopfes)

Mit diesen Angaben ist eine Bohrlochkonstruktion hinreichend dargestellt. Diese Angaben reichen aus, um eine Skizze anzufertigen (Bild 1). Aus einer solchen Skizze ist der allgemeine Aufbau des verrohrten und zementierten Bohrloches erkennbar. Für den konkreten Fall einer Tiefbohrung erscheinen auf dieser Skizze die Zahlenangaben für die Rohrschuhteufe RS, Ze-

mentkopfteufe ZK, Linerkopfteufe LK, Bohrlochteufe BL in Meter und der Rohrtourdurchmesser und Bohrlochdurchmesser in Millimeter oder Zoll. Bei den genannten Angaben handelt es sich ausschließlich um Abmessungen, nicht um die Eigen-

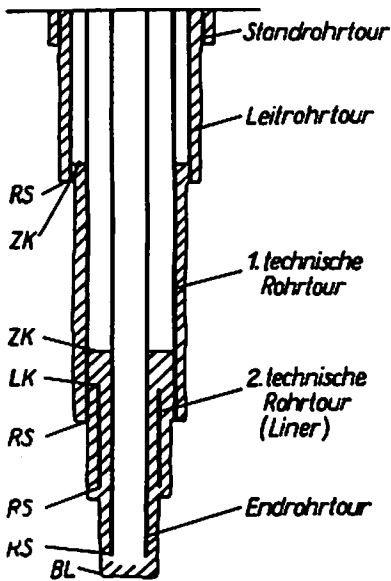


Bild 1
 Skizze einer Bohrlochkonstruktion
 RS Rohrschuhteufe
 BL Bohrlochteufe
 ZK Zementkopfteufe
 LK Linerkopf

schaften der Konstruktion, wie Festigkeit und Dichtheit. Zur Kennzeichnung der Eigenschaften der Bohrlochkonstruktion reicht die Angabe des Rohrtourdurchmessers nicht aus. Es sind Angaben über die Wanddicke, Materialgüte und Verbindungsart der Futterrohre und deren Komplettierung mit Zusatzausrüstungen (Zementiermuffen, Zentralisatoren, Kratzer) u. a. Angaben erforderlich.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die übliche Art der Bezeichnung einer Bohrlochkonstruktion unter Angabe des Verrohrungsschemas und die übliche Form der zeichnerischen Darstellung (Skizze Bild 1) die Bohrlochkonstruktion einer Tiefbohrung nur in ihren Hauptabmessungen nicht aber mit ihren gesamten Eigenschaften erfassen kann.

Eine Klassifizierung der Bohrlochkonstruktionen wird allgemein nach der Anzahl der technischen Rohrtouren vorgenommen. So unterscheidet man beispielsweise nach N. I. SCHATZOW /1/ folgende Konstruktionstypen:

- Einkolonnenkonstruktion (die Bohrung hat keine technische Rohrtour - s. Bild 4a)
- Zweikolonnenkonstruktion (die Bohrung hat eine technische Rohrtour - s. Bild 4b)
- Mehrkolonnenkonstruktion (die Bohrung hat zwei oder mehrere technische Rohrtouren - s. Bild 4c bis f).

Allgemein üblich sind die Begriffe der einfachen, leichten und der schweren oder komplizierten Bohrlochkonstruktion. Unter einer einfachen Konstruktion versteht man eine Bohrlochkonstruktion ohne oder mit nur einer technischen Rohrtour. Im Falle mehrerer technischer Rohrtouren, die zudem noch in Sektionen, als kombinierte Rohrtouren oder Liner eingebaut werden, spricht man von einer komplizierten Bohrlochkonstruktion. Unter einer leichten Bohrlochkonstruktion versteht man solche, die aufgrund der geringen Rohrtourdurchmesser und Rohrwanddicken ein geringes Gewicht (Gesamtgewicht aller Rohrtouren) haben.

Eine Bohrlochkonstruktion, die einfach und leicht ist, ist im Hinblick auf den Rohrverbrauch am wirtschaftlichsten. Auf die Vereinfachung und Erleichterung einer Bohrlochkonstruktion wird im Kapitel 10. näher eingegangen.

3.2. Elemente der Bohrlochkonstruktion

Im vorliegenden Abschnitt sollen die Bestandteile (Elemente) der Bohrlochkonstruktion und deren typischen Merkmale betrachtet werden.

Futterrohrtouren

Die konzentrisch zueinander in das offene Bohrloch eingelassenen Futterrohrtouren (auch Futterrohrstränge oder Futterrohrkolonnen genannt) sind die wichtigsten Bestandteile der fertiggestellten Tiefbohrung (Sonde). Sie bilden deren Gerüst. Sie

geben der Bohrung die notwendige mechanische Festigkeit gegen die beim Bohren, Testen und beim Fördern auftretenden hohen Belastungen.

Die Anzahl der Rohrtouren schwankt je nach den anzutreffenden geologischen und den vorhandenen technisch-technologischen Bedingungen zwischen zwei und sechs. Jede der Rohrtouren hat spezifische Aufgaben (s. Kapitel 4.).

Die Dimensionen der Rohrtouren (Durchmesser) entsprechen dem Nenndurchmesser der verwendeten Futterrohre. Werden Futterrohre unterschiedlichen Durchmessers für eine Rohrtour verwendet, so spricht man von einer kombinierten Rohrtour. Wird die Rohrtour nicht durchgehend eingebaut, so spricht man unabhängig davon, ob sie aus Futterrohren eines oder mehrerer Durchmesser besteht, von einer sektionierten Rohrtour. Eine Rohrtour kann also durchgehend oder in zwei oder in mehreren Sektionen eingebaut werden.

Wird eine Rohrtour nur zur Überdeckung eines Bohrlochabschnittes eingebaut und reicht nicht bis übertage, so nennt man diese Rohrtour eine "verlorene Rohrtour" oder einen Liner (s. Kapitel 6.).

Die kombinierte Rohrtour hat den Vorteil, daß aufgrund ihres kleinen Gesamtgewichtes Futterrohre mit einer geringeren Zugfestigkeit verwendet werden können. Der Nachteil einer Durchmesserkombination liegt darin, daß im unteren Teil der Rohrtour mit dem kleineren Durchmesser immer eine Verengung eintritt, die zu einem Durchmesserverlust der Endrohrtour führt.

Nicht selten wird die kombinierte Rohrtour nach einem Liner eingebaut (s. Bild 4e), der bereits eine Durchmessererringerung verursacht hat, so daß der oben genannte Nachteil nicht gegeben ist.

Die verschiedenen Arten von Rohrtouren, deren Aufgabe und Bedeutung für die Bohrung und die besonderen Merkmale dieser Rohrtouren werden gesondert in den Kapiteln 4. und 6. geschildert.

Die einzelnen Bestandteile der Rohrtouren selbst (Futterrohre in ihrer Konstruktion, Rohrschuhe, Linerhänger, Zementiermuffen u. a.) sind in den betreffenden Fachbroschüren /3, 4/ näher beschrieben.

Eine Rohrtour wird zementiert, d. h., es wird in den Ringraum zwischen Futterrohraußenwand und Bohrlochwand eine Zementschlämme eingebracht, die zu einem festen Zementsteinmantel aushärtet.

Die Ausbildung des Zementsteinmantels hat großen Einfluß auf die Qualität der Bohrlochkonstruktion. Der Zementstein muß sich gleichmäßig dick, ringförmig um das Futterrohr legen, am Futterrohr und an der Bohrlochwand gut haften, eine gewisse Druckfestigkeit aufweisen und resistent gegen aggressive Einflüsse der Schichtmedien sein.

Ein gut ausgebildeter Zementstein erhöht die mechanische Festigkeit der Bohrlochkonstruktion und, was seine wesentlichste Aufgabe ist, er dichtet die Ringräume ab, so daß kein Schichtmedium aus einem Horizont in einen anderen, durkschwächeren Horizont abwandern kann. Man spricht davon, daß der Zementstein und somit die Bohrlochkonstruktion die Aufgabe der Schichtentrennung erfüllt.

Bedingt durch die übliche Zementationstechnologie, erstreckt sich der Zementmantel immer vom Rohrschuh bzw. im Fall, daß die Rohrtour eine Schiebemuffe hat, die sich öffnen und schließen kann, von dieser Schiebemuffe aus nach oben bis zum Zementkopf. Der Zementkopf liegt im Regelfall immer in den Rohren (mindestens 50 bis 100 m) der vorherigen Rohrtour. Damit ist die durchgehende (von übertage bis Endteufe) Schichtentrennung gesichert. Die spezifischen Aufgaben des Zementsteines der einzelnen Rohrtouren und deren Zementkopfteufen sind im Kapitel 4. angeführt. Nähere Angaben über die Festigkeit und Dichtheit, die der Zementstein der Bohrung (Sonde) verleiht, enthält Kapitel 9.

Bohrlochkopf

Der Bohrlochkopf einer fertiggestellten Tiefbohrung (Sonde) ist Bestandteil der Bohrlochkonstruktion, da in ihm die Rohrtouren übertage mechanisch befestigt sind und er die unzementierten Ringräume der Rohrtouren dicht verschließt. Der Bohrlochkopf dient der übertägigen Verankerung der Rohrtouren. Alle der Ankerrohrtour folgenden Rohrtouren sind im Bohrlochkopf verankert, und der Bohrlochkopf wiederum ist auf der Anker-

rohrtour (über einen Landeflansch) befestigt, die über ihre gesamte Länge im Gebirge voll einzementiert ist.

Nähere Angaben über den Aufbau und die Aufgaben des Bohrlochkopfes sind in der betreffenden Fachbroschüre /5/ enthalten.

3.3. Konstruktions- und Qualitätsparameter

Im vorliegenden Abschnitt sollen die üblichen Konstruktionsparameter (Verrohrungsschema, Radialspiele, Austrittslänge, Radialspielverhältnis) und gebräuchliche Qualitätsparameter einer Bohrlochkonstruktion erläutert werden. Unter einem Verrohrungsschema versteht man die der Bohrlochkonstruktion zugrundeliegende Futterrohr-Durchmesserkombination. Die möglichen Varianten einer solchen Kombination sind im Kapitel 7. umfassend dargestellt.

Unter einem Radialspiel versteht man den seitlichen Abstand konzentrisch eingebauter Futterrohre zueinander und zur Bohrlochwand. Die Größe des Radialspiels ist bestimmend für die Einbaumöglichkeiten. Je größer das Radialspiel ist, um so leichter und tiefer kann eine Rohrtour eingebaut werden. Hohe Radialspiele haben jedoch den Nachteil des intensiven Durchmesserverlustes der Bohrlochkonstruktion über die Teufe.

Um die Besonderheiten der Radialspiele (Bild 2), ihre Vor- und Nachteile richtig erfassen zu können, müssen diese wie folgt untergliedert werden

- Radialspiel zwischen der Außenwand der Rohrmuffe (Verbindung) und der Bohrlochwand (entspricht dem Schneiddurchmesser des Bohrmeißels) - r_1
 $r_1 = 0,5 (D_m - D_M)$
- Radialspiel zwischen der Außenwand des Rohres und der Bohrlochwand - r_2
 $r_2 = 0,5 (D_m - D)$

Mit Ausnahme der stumpfgeschweißten Rohrtouren ist r_2 immer größer als r_1 .

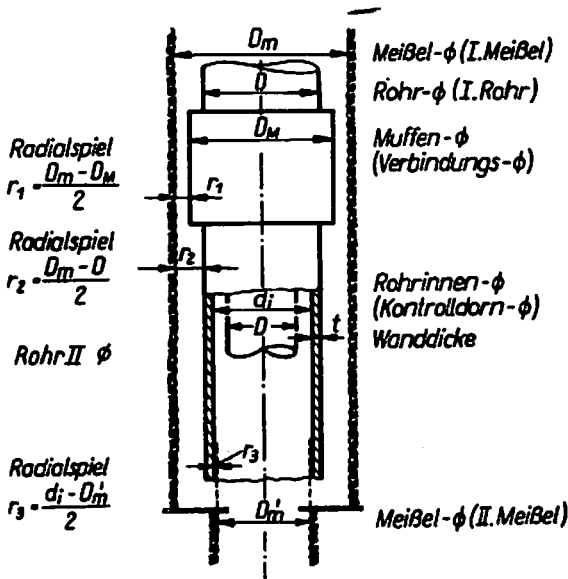


Bild 2
Darstellung der Radial-
spiele /4/

- Radialspiel zwischen der Innenwand des Rohres und dem Bohrmeißel, der durch die Rohrtour eingefahren wird - r_3
 $r_3 = 0,5 (d_i - D'_m)$

Das Radialspiel r_1 ist für die Einbaumöglichkeit der betreffenden Rohrtour das entscheidende Spiel. Es läßt sich theoretisch (nach obiger Formel) aber auch für den praktischen Fall errechnen, wenn der Bohrl Lochdurchmesser durch Auskesselungen größer oder durch Verengungen kleiner ist als D_m . Um den letzteren, für den Erfolg des Rohreinbaues kritischen Fall auszuschließen, wird das Bohrloch vor dem Einbau der Futterrohre sorgfältig nachgeräumt.

Einen wesentlichen Einfluß auf die Einbaumöglichkeit hat die Biegeelastizität des Futterrohrstranges. Sie verringert sich mit der dritten Potenz des Rohrdurchmessers. Großkalibrige Rohrstränge sind also wesentlich steifer, unflexibler als kleinkalibrige Stränge und können nur bei weitaus größeren Radialspielen eingebaut werden. Das gilt umso mehr für krumme Bohrlöcher.

Nach /1/ kann eine Unterteilung der Rohrtouren in flexible bis 9 5/8" Durchmesser) und steife Rohrtouren (10 3/4" und größer) vorgenommen werden.

Von weiterem Einfluß auf das mögliche Radialspiel zwischen Bohrlochwand und Rohrtour sind folgende Faktoren:

- die Form der Außenwand der Rohrverbindung (ein seichter Übergang vom Rohr zur Verbindung wie das beispielsweise bei einer Omegaverbindung der Fall ist) erfordert geringere Radialspiele als ein plötzlicher Übergang einer Standardmuffenverbindung
- die Qualität der Bohrspülung (eine gute Bohrspülung verhindert ein Quellen der Bohrlochwand, setzt keine dicke Kruste ab und verhindert Nachfall)
- die Technologie des Rohreinbaues (Einfahrtgeschwindigkeit, Einbauverfahren, Spülintervalle, Rohreinbauzeit u. a.)

Die Größe des Radialspiels r_1 hängt also von einer Vielzahl konkreter Faktoren ab, die in ihrer Gesamtwirkung erst erkannt werden, wenn im betreffenden Gebiet mehrere Rohrtouren eingebaut bzw. Bohrungen niedergebracht worden sind. Es gibt aber auch allgemeine Angaben über die erforderlichen Mindestwerte des Radialspiels zwischen Rohrverbindung und Bohrlochwand (Tabelle 1).

Tabelle 1. Mindestradialspiele zwischen Rohrmuffe und Bohrlochwand (nach /1/)

Rohrgröße in Zoll	4 1/2	5 1/2	6 5/8	7	8 5/8	11 3/4	13 3/4	16 3/4
	5	5 3/4	7 5/8		9 5/8	12 3/4	13 3/8	
Radialspiel r_1 in mm	15	20	25		30	35	45	50

Das Radialspiel zwischen der Innenwand der Rohrtour und dem Bohrmeißel, der durch die Rohrtour eingefahren wird, kann zum Zwecke der Vermeidung eines Durchmesserverlustes der Bohrung minimal gehalten werden. Wichtig hierbei ist, daß

der Schneiddurchmesser des Bohrwerkzeuges bei maximaler Plustoleranz (bis zu 1 mm) gleich oder kleiner als der Kontrolldorndurchmesser jener Rohre der Rohrtour ist, die die größte Wanddicke haben. Im kritischen Falle muß auf die Verwendung dickwandiger Futterrohre in der Rohrtour verzichtet werden (zu Kosten höherer Materialgüten).

Zahlenwerte über die in der Praxis üblichen Radialspiele r_1 und r_3 können aus der Skizze des Bildes 3 auf der Seite 33 entnommen werden. Diese maßstabsgerechte Skizze gibt anschaulich Übersicht zu den Radialspielen bei verschiedenen Varianten des Verrohrungsschemas.

Unter einer Austrittslänge versteht man jene Bohrstrecke als Teufenintervall, die aus einer eingebauten, zementierten Rohrtour herausgebohrt wird. Die Austrittslänge hängt in hohem Maße von den geologischen Verhältnissen ab und kann wenige Meter aber auch 2000 und mehr Meter betragen.

Spricht man von der Austrittslänge einer Rohrtour L_A , so versteht man darunter die Teufendifferenz zwischen dem Rohrschuh dieser Rohrtour und dem Rohrschuh, aus dem diese Rohrtour heraus in ein offenes Bohrloch eingebaut wird.

Da die Austrittslänge der Rohrtour vom Radialspiel zwischen Rohrtour und Bohrlochwand abhängt (sie hängt auch von der Form der Rohrverbindung, von der Neigung und Krümmung des Bohrloches sowie von anderen Faktoren ab), ist das Verhältnis von Radialspiel r_2 zur Austrittslänge L_A ein Maß für den Verrohrungserfolg einer Tiefbohrung.

Dieses Verhältnis ($r_2 : L_A$) nennt man das Radialspielverhältnis.

Um die Qualität einer Bohrlochkonstruktion bezüglich ihrer Effektivität und des Materialeinsatzes (Futterrohre, Zement, Bohrspülung, Bohrwerkzeuge u. a.) einschätzen zu können, bedient man sich folgender Qualitätsparameter

- spezifisches Bohrlochvolumen v_0 in m^3 je m
- spezifischer Zementverbrauch q_2 in kg je m
- spezifischer Futterrohrverbrauch q_0 in kp je m

Das spezifische Bohrlochvolumen ist das Verhältnis des Gesamtvolumens V des Bohrloches im unverrohrten, nicht ausgekesselten Zustand in m^3 zur Endteufe T der Bohrung in m .

$$v_0 = \frac{V}{T} \text{ in } m^3 m^{-1}$$

Dieser Qualitätsparameter ist ein Maß für die Größe des durchschnittlichen Durchmessers einer Tiefbohrung. Je komplizierter die Konstruktion ist, um so größer ist v_0 . Der spezifische Futterrohrverbrauch ist das Verhältnis des Gesamtgewichtes G aller in das Bohrloch eingebauten Rohrtouren (Gewicht in Luft, d. h. ohne Auftrieb) in kp zur Endteufe der Bohrung in m .

$$q_0 = \frac{G}{T} \text{ in } kp m^{-1}$$

Dieser Parameter ist ein Maß für den Verbrauch an Futterrohren. Je komplizierter die Bohrlochkonstruktion ist (im Falle komplizierter oder unbekannter geologischer Verhältnisse und großer Teufen) und je größer der gewählte Enddurchmesser, um so größer ist q_0 . Auf diese Weise schwankt der spezifische Futterrohrverbrauch in den Grenzen von 30 bis 150 $kp m^{-1}$.

Der spezifische Zementverbrauch ist das Verhältnis der verbrauchten Zementmenge (Trockenmenge) bei nicht ausgekesseltem Bohrloch zur Endteufe der Bohrung. Er hängt im wesentlichen vom Bohrlochdurchmesser, vom Radialspiel r_2 und von den Zementkopfteufen der Rohrtouren ab.

Die aufgezählten Parameter können Qualität und Effektivität einer Bohrlochkonstruktion immer nur unter Berücksichtigung anderer, konkreter Bedingungen kennzeichnen. Allgemein gilt, daß mit der Reduzierung der Größen v_0 , q_0 und q_2 eine Bohrlochkonstruktion besser und effektiver wird. So ist man in jedem Bohrgebiet bestrebt, mit zunehmenden Erfahrungen über eine Reduzierung von v_0 , q_0 und q_2 einen ökonomischen Effekt zu erzielen.

In der Praxis sind diesem ökonomischen Effekt häufig deutlich erkennbare Grenzen gesetzt. So stößt beispielsweise eine Reduzierung des spezifischen Zementverbrauches auf eine hohes

Risiko bezüglich der Bergbausicherheit. Eine Verringerung von v_0 auf Werte, die einem Bohrlochdurchmesser von weniger als 190 bis 150 mm entsprechen, führt zu einer Verringerung der Bohrleistungen in einer Tiefbohrung, die so groß ist, daß der ökonomische Effekt der Einsparung an Futterrohren völlig zunichte gemacht wird.

Daß die aufgezählten Qualitätsparameter allein keine umfassende Einschätzung der Qualität einer Bohrlochkonstruktion zulassen, soll noch daran verdeutlicht werden, daß neben dem Gewicht der Futterrohre auch deren Konstruktion (Verbindung) und Güte (Stahlgüte, Korrosionsbeständigkeit) ein entscheidendes Qualitätsmerkmal darstellen.