

Dipl.-Berg-Ing. Heinrich Otto Buja

Handbuch der Bohrtechnik

Tief-, Flach-, Geothermie- und Horizontalbohrverfahren

Grundlagen – Geräte - Anwendungen

2. Auflage

Inhaltsverzeichnis

C Mechanische Gesteinszerstörung beim Bohren	1
1 Gesteinszerstörung verschiedener Werkzeuge	1
1.1 Elementarvorgänge bei der Gesteinszerstörung	1
1.2 Schematische Darstellung bei der Gesteinszerstörung	2
1.3 Belastungsarten	3
1.4 Kraterbildung	3
1.5 Schlagend arbeitende Bohrwerkzeuge	3
1.6 Gesteinszerstörende Schneidelemente	4
1.7 Kraterbildung beim schlagenden Bohren	4
1.8 Gesteinsablösung durch Spanen	5
1.9 Drehschlagend arbeitende Bohrwerkzeuge	5
1.10 Drehschlagende Gesteinszerstörung	5
1.11 Gesteinszerstörung mit Rollenmeißel	6
2 Drehend arbeitende Bohrwerkzeuge	6
2.1 Werkzeuge mit festen Schneiden od. Schneidkörpern	6
2.2 Bohrschneidkörper	7
2.3 Darstellung des Bohrfortschritts	7
2.4 Geometrische Verhältnisse beim Bohren mit Diamanten	89
2.6 Rillen- (Furchen-) -bildung	9
2.7 Bohren mit Fischschwanz, Blatt- u. Flügelmeißel	10
3 Rollenbohrwerkzeuge	11
3.1 Kraterbildung unter Andruck	11
3.2 Kraterbildung unter Sprödbruch	11
3.3 Gesteinszerstörung bei von Disken Schneidrollen	12
3.4 Kraterbildung in harten und weichen Formationen	12
3.5 Gesteinszerstörung beim Einsatz von Diskenschneidrollen	12
4 Bohrbarkeit der verschiedenen Gesteine	13
4.1 Relative Härteskalen	15
4.2 Gesteinsfestigkeiten und Bohrbarkeit	16
4.3 Hydraulische Einflussgrößen auf den Bohrvorgang	20
4.4 Einfluss von Gebirgsdruckfestigkeiten	21
4.5 Wirtschaftlichkeit verschiedener Bohrwerkzeuge	22
4.6 Klassifikation von Gesteinen nach ihrer Härte	23
3.3 Übersicht über die Bohrverfahren	24
E Bohrplatzeinrichtung und Gerätetechnik	25
1 Allgemeines	25
2 Bohrplatz	27
2.1 Allgemeines	27
2.2 Örtliche Festlegung des Bohrplatzes	34
2.3 Sonstige vorbereitende Arbeiten	36

2.3.6	Kostenbeispiele für den Onshorebereich	41
3	Gerätetechnik	43
3.1	Allgemeines	43
3.2	Bohranlagen	44
3.2.3.1	Historische Bohrgerüste	46
3.2.3.2	Hölzerne Bohrtürme	46
3.2.3.3	Weitere Entwicklungen	47
3.2.3.4	Klappmaste	48
3.2.3.5	Sonderkonstruktionen	49
3.2.3.6	Moderne Mastkonstruktionen	49
3.2.7.1	Allgemeines	69
3.2.7.2	Messung der Schallemission von Bohranlagen	70
3.2.7.3	Immissionswirksame Schalleistungspegel	71
3.2.7.4	Betriebsdaten der Bohranlage zur Zeit der Messungen	71
3.2.7.5	Geländebeschreibung	71
3.2.7.8	Technische Angaben der Hauptkomponenten	71
3.2.7.9	Technische Angaben der verwendeten Mess- und Analysegeräten	72
3.3	Bestimmung der Bohranlagen	72
3.4	Energieversorgung einer Bohranlage	86
5	Anschlagmittel	99
5.1	Einleitung	99
5.2	Arten von Anschlagmitteln ¹⁾	100
5.3	Die Aluminiumpressverbindung	105
5.4	Bolzenpressverbindungen	107
5.7	Endlosseile	108
5.5	Fehler bei der Seilarbeit	109
5.6	Ketten	109
5.7	Tragfähigkeit von Anschlagmitteln	110
5.8	Prüfungen und Schäden von Anschlagmitteln	112
6	Rotationseinrichtungen	113
6.1	Einleitung	113
6.3	Drehtischeinsätze	113
6.4	Topdrives	115
6.4.4	Aufbau von Topdrive Systemen	116
6.4.5	Arbeiten mit dem Topdrive System	120
7	Geräte der Spülungstechnik	122
7.2	Anforderungen an die Pumpen	123
7.2.2.1	Allgemeines	123
7.2.3.1	Bauformen	124
7.2.3.2	Spülungszirkulationseinrichtungen	126
8	Feststoffkontrolle	132
8.1	Allgemeines	132
8.2	Feststoffkontrolltechnik	132
8.2.2.1	Schüttelsieb	133
8.2.2.2	Empfehlungen für den Betrieb von Schüttelsieben	136
8.2.2.3	Sandfallen	137

C Mechanische Gesteinszerstörung beim Bohren

8.2.2.4	Desander und Desilter (Hydrozyklone)	138
8.2.2.5	Mud Cleaner (Sandseparator)	139
8.2.2.6	Zentrifugen	140
8.2.2.7	Arbeitsweise von Zentrifugen in der Spülsauberung	142
8.2.3.1	Allgemeines	144
8.2.3.2	Grundlagen der Spülungsentgasung	145
9	Instrumentierung von Bohranlagen	147
9.1	Allgemeines	147
9.2	Bohrdaten	151
9.3	Spülungsdaten	156
9.4	Sonstige Daten	158
9.5	Datenaufzeichnung	158
F	Drehbohrverfahren	160
1	Allgemeines	160
2	Rotary-Bohrverfahren	160
2.1	Entwicklung des Rotary-Bohrverfahren	160
2.2	Das Prinzip des Rotarybohrens	161
G	Gestänge und Werkzeuge	166
1	Allgemeines	166
2	Bohrstrang beim Rotary-Bohrverfahren	167
2.1	Zusammensetzung des Bohrstranges	167
2.2	Mitnehmerstange	168
2.3	Bohrgestänge	170
2.4	Schwerstangen	173
2.5	Heavy-Weight-Drill-Pipe (Schwerstangen)	175
2.6	Übergänge und Passstücke	177
2.7	Hinweise zu API	177
2.8	Stabilisatoren	178
2.9	Stoßdämpfer	180
2.10	Schlagschere	181
3	Bohrgestängeantrieb	182
3.1	Drehtisch (Rotary Tables)	182
3.2	Topdrive – [Kraftdrehkopf]	183
3.3	Bohrmotor – (Downhole Motor)	184
3.4	Downhole-Systeme	185
3.5	Ein weiteres neues System in der Tiefbohrtechnik	190
3.5.6.4	Datenübertragung mittels Schlamm	192
4	Drehbohrwerkzeuge	193
4.1	Allgemeines	193
4.2	Bohrwerkzeuge für das Rotary-Bohrverfahren	194
4.2.1.1	Grundlagen der Meißelkonstruktion	194
4.2.1.2	Rollenmeißel-Lager	196
4.2.1.3	Zähne	198
4.2.1.4	Spülungswege	200

4.2.6.1	Allgemeines	207
4.2.6.2	Konstruktionsmerkmale von Diamantbohrwerkzeugen	208
4.2.6.3	Diamantbohrwerkzeuge mit PDCs	209
4.2.6.5	Kosten der Diamantkronen.....	211
4.3	Werkzeuge für das Bohren mit in direkter Spülung	214
H	Spülung-Verrohrun-Zementation	229
1	Allgemeines	229
2	Spülung.....	229
2.1	Spülungskreislauf.....	229
2.3	Spülungsbestandteile	237
2.4	Fließverhalten von Bohrspülungen und Bohrlochhydraulik	241
2.5	Spülungsuntersuchungen	243
3	Verrohrung (Futterrohre, Casing)	246
3.1	Bohrlochkonstruktion	246
3.2	Arten von Rohrtouren (Casing String)	247
3.3	Futterrohrverbinder	250
3.4	Berechnung von Futterrohren	253
4	Zementation	255
4.1	Zementationsverfahren	255
4.2	Tiefbohrzemente.....	262
4.3	Zementationskontrolle.....	263
I	Bohrlochsicherheit	265
1	Grundlagen	265
1.1	Einleitung	265
1.2	Prävention.....	265
1.3	Empfehlungen der WEG zur Bohrlochkontrolle	266
1.3.3	Besonderheiten von Horizontalbohrungen	267
1.3.6	Verantwortung an Bohr- und Workoveranlagen	274
2	Bohrlochkontroll- und Bohrlochsicherheitsmaßnahmen	275
2.1	Grundlagen	275
2.2	Blowoutentstehung	276
2.3	Erkennen und verhindern eines Blowout.....	277
3.3	Preventer-Schließenanlage	280
2	Ölunfall im Golf von Mexiko	281
2.1	Allgemeines.....	281
2.2	Bohrplattform Deepwater Horizon.....	281
2.3	Unfallhergang.....	282
2.4	Verfahrensfehler.....	283
2.5	Versagen des Blowout-Preventers.....	283
2.6	Auslaufendes Öl und Ölkatastrophe	284
2.7	Maßnahmen zur Schadensbegrenzung	285
2.8	Ergänzendes zum Blowout Preventer	286
2.9	Weitere Versuche zur Schadensbeseitigung.....	287
2.10	Gründe für Bohrungen in großen Meerestiefen.....	287

2.11	Letzter Stand der Arbeiten	288
2.12	Bisherige Kosten	288
2.13	Schlussfolgerung des Autors.....	289
K	Besonderheiten der Offshore-Bohrtechnik	290
1	Offshore- (Meeres-) Bohrtechnik	290
1.1	Allgemeines	290
1.2	Entwicklung der Offshore-Bohrtechnik	290
1.3	Besonderheiten in der der Offshore-Bohrtechnik	291
1.4	Gruppen von Offshore Bohranlagen	293
1.5	Offshore-Bohrungen in der Nordsee	299
1.6	Erdgas aus dem „Entenschnabel“	299
1.7	Erdöl- und Erdgasgewinnung in der Tiefsee	301
1.8	Geschichte eines „Giganten“	303
1.9	Horizontal-Bohrsystem in der Tiefbohrtechnik	305
1.9.3	Frac-Technik	305
2	Erdgas- und Erdölgewinnung im Tiefseebereich	306
3	Erdöl und Erdgas in der Nordsee.....	306
4	Offshore-Tiefbohranlage aus deutscher Produktion	307
4.1	Allgemeines	307
4.2	Aufbau und Kenndaten	307
L	Onshore-Bohrtechnik	310
1	Allgemeines.....	310
2	Aufbau und Einrichtung	311
2.1	Arbeitsvorbereitungen.....	311
2.2	Einrichtung und Aufbau	311
2.3	Probelauf.....	313
2.4	Setzen der Ankerrohtour	313
3	Voruntersuchungen	314
3.1	Allgemeines	314
3.2	Geowissenschaftliche Untersuchungen.....	315
3.2.3.1	2D-Seismik	319
4	Gewinnung von Bohrkernen	323
4.2	Allgemeines	323
4.3	Beschreibung des Seilkernrohr-Verfahrens	324
5	Technische Rohrtouren.....	327
5.1	Allgemeines	327
5.2	Festlegung des Anfangsdurchmessers.....	328
5.3	Senkrechte Bohrungen	328
6	Bohrmotore, Bohrturbinen und MWD-Antriebe	329
6.1	Allgemeines	329
6.2	Beschreibung des Verfahrens.....	329
6.3	Datenübertragung durch Schlamm.....	330
6.4	Bohrmotore und -turbinen für das Senkrechtbohren	331
6.5	Anwendung, Bedienung und Auswertung	333

6.6	Horizontalbohrtechnik.....	333
6.7	Weiterer Verlauf der Bohrung.....	334
6.8	Einbau der Produktionstour und Produktionsstrang.....	335
7	Neue Verfahren in der Bohrtechnik.....	335
7.1	Allgemeines.....	335
7.2	Dehnbare Futterrohre.....	336
7.3	Bohr-Futterrohre mit Elastomere.....	337
8	Einsatzbericht über eine moderne Tiefbohranlage.....	337
8.1	Allgemeines.....	337
8.2	Beschreibung des Projektes ¹⁾	338
8.3	Beschreibung der Bohranlage.....	339
8.4	Unterbau, Rigfloor und Pipehandler.....	342
8.5	Bohrmast.....	342
8.6	Top-Drive mit integriertem Hebewerk.....	343
8.7	Driller-Kabine.....	343
8.8	Hydraulische Power-Packs.....	344
8.9	Spülpumpen.....	344
8.10	Feststoffkontrolle.....	344
8.11	Tankanlage.....	345
8.12	Energieversorgung.....	345
8.13	Besondere Features im Zusammenhang mit dem Projekt.....	346
8.14	Ergänzungen zu den STREICHER Tiefbohranlagen.....	347
M	Erdöl- und Erdgasgewinnung in Deutschland.....	349
1	Übersicht.....	349
2	Überwindung ungünstiger geol. Verhältnisse.....	349
3	Öl- und Gasreserven.....	349
4	Förderung.....	350
5	Horizontalbohrtechnik und Multi-Frac-Technik.....	350
6	Erdöl-Förderung.....	351
6.1	Sekundär- und Tertiärverfahren.....	354
9	Offshore - Förderung in der Nordsee.....	355
10	Erdölförderung im Wattenmeer.....	355
10.1	Erdöl-Aufbereitung.....	357
11	Exploration und Produktion 2007.....	357
11.1	Kurzfassung.....	357
11.2	Einleitung.....	358
11.3	Bohrtätigkeit.....	358
11.4	Explorationsbohrungen.....	358
11.5	Aufschlussbohrungen.....	359
11.6	Teilfeldsuchbohrungen im Gebiet Elbe-Weser.....	359
11.7	Feldesentwicklungsbohrungen.....	360
11.8	Bohrmeter.....	360
12	Erschwernisse bei der Bohrerlaubnis.....	361
12.1	Allgemeines.....	361
13	Historik der Öl- und Gasgewinnung in Deutschland.....	362

O Bohrungen in der Bautechnik	365
1 Allgemeines.....	365
2 Geräte	365
2.1 Seilbagger	365
2.1.2.1 Allgemeines	367
2.1.3.1 Allgemeines	369
2.2 Hydraulikbagger	373
2.2.3.1 Allgemeines	374
2.3 Drehbohrgeräte	376
2.3.4.1 Allgemeines	379
2.3.4.2 Gerätebaugruppen.....	380
2.2.4.3 Großdrehbohrgeräte einiger Hersteller	391
2.2.4.1 PDE – Prozessdatenerfassung.....	394
2.3 Spülbohrgeräte	395
2.4 Verrohrungseinrichtungen	397
2.5 Sondergeräte	409
2.6 Verrohrung.....	410
2.7 Schlagbohrwerkzeuge	416
3 Drehbohrwerkzeuge	423
3.1 Allgemeines	423
3.2 Meißel und Pilotbohrer für Drehbohrwerkzeuge	425
3.2.7.1 Allgemeines	428
3.2.7.2 Schneckenformen	429
3.2.7.3 Bohreimer	430
3.2.7.4 Schwere Felsbohreimer	431
3.2.7.5 Imrohrbohrgerät System Leffer Typ IBG (Bohreimer)	432
3.2.7.6 Kernrohre.....	432
3.2.7.7 Rollenmeißelkernrohr	434
3.2.7.8 Pfahlfuß-Erweiterungsbohrer.....	438
3.3 Bohrverfahren mit durchgehenden Bohrschnecken	439
3.4 Tiefloch-Bohrhämmer.....	449
3.4.9.13 Nutzungshinweise für Imloch-Bohrhämmer.....	452
3.5 Spülbohrverfahren mit Rollenmeißel-Flachbohrköpfen	456
Q Bohrungen in der Offshoretechnik und im Bergbau	458
1 Allgemeines	458
3.1 Allgemeines.....	458
3.2 Großloch-Bohrtechnik	460
3.2.2.1 Schachtausbau	462
3.2.3.1 Vorbemerkungen	463
3.2.3.2 Systembeschreibung	464
3.2.4.1 Vorwort)	466
3.2.4.2 Erfahrungen während der Bauphase	469

3.2.4.3 Weiterentwicklungen und weitere Schachtbauprojekte	470
3.3 Aufsatzbohranlagen	471
3.3.1 Aufsatzbohranlagen System Wirth	471
4 Bohrungen im Salzbergbau	477
4.1 Allgemeines	477
4.2 Bohrverfahren	477
4.3 100ste Bohrung für Solvay hergestellt ¹⁾	478
4.4 Neues Verfahren reduziert Flächenverbrauch	478
R Geothermiebohrungen	481
1 Was ist Geothermie?	481
1.1 Allgemeines	481
1.2 Gewinnung der Erdwärme	482
1.3 Bedingungen zur Erdwärmenutzung in Deutschland	483
1.4 Geothermische Potenziale in Deutschland	484
2 Geothermiequellen	484
2.2 Niedertemperatur-Geothermiequellen	485
2.3 Mitteltemperatur-Geothermiequellen	485
2.4 Hochtemperatur-Geothermiequellen	486
3 Gewinnungsarten	487
3.1 Erdwärmesonden	487
3.2 Bohr- und Einbautechnik für Erdwärmesonden	491
3.4 Erdberührte Bauteile	501
3.4.3 Energie-Spiralkörbe	504
3.5 Neuere Entwicklungen	507
3.6 Energie aus dem Grundwasser	510
3.7 Saisonale Wärmespeicher	511
4 Tiefengeothermie	512
4.1 Allgemeines	512
4.2 Entstehung und Vorrat der Erdwärme	512
4.3 Tiefe Erdwärmesonden	513
4.4 Petrothermale Systeme	515
4.5 Geräte für Geothermie-Tiefbohrungen	517
4.6 Genehmigungsverfahren	522
4.7 Ausführung einer Geothermie-Tiefbohrung ¹⁾	523
4.7.1.1 Projektbeschreibung	523
4.7.1.2 Ausführung	524
4.7.1.3 Tiefenzirkulationskonzept	526
4.7.1.4 „Huff-Puff-Konzept“	527
4.7.1.5 Bohrarbeiten	527
4.7.1.6 Abschluss der Arbeiten	533
4.7.1.7 Genehmigungsverfahren	534
5 Risikobewertung von Geothermiebohrungen	535
5.1 Allgemeines	535
5.2 Beispiele für Schadensfälle	535
5.3 Fehlerquellen	539

6	Zusammenfassung.....	540
S	Horizontalbohrtechnik.....	541
1	Horizontalbohrsysteme.....	541
1.2	Allgemeines	541
1.2	Baugrundverhältnisse.....	542
2	Horizontal-Schneckenbohrverfahren.....	545
2.1	Allgemeines	545
2.2	Langrahmenmaschinen System Bohrtec	545
2.5	Kompaktmaschinen System Bohrtec	546
2.6	Ungesteuerter Vortrieb.....	547
2.7	Gesteuertes Vortriebsverfahren	556
3	Horizontalbohrungen nach dem AVN-Verfahren	558
3.1	Allgemeines	558
3.2	Start- und Zielschächte	558
3.3	Dehnerstationen	559
3.4	Schmierung	559
3.5	Rohrmaterial.....	561
3.6	Mess- und Navigationstechnik	561
3.6	Microtunnelbau	562
3.6.1	Allgemeines	562
3.6.7	Vorteile des Minitunnelverfahrens.....	567
4	Horizontal-Spülbohrtechnik (HDD).....	568
4.1	Allgemeines	568
4.2	Vorteile des Verfahrens.....	568
4.3	Pilotbohrung (Arbeitsschritt 1)	569
4.4	Räumen des Bohrkanals (Arbeitsschritt 2)	570
4.5	Einziehvorgang (Arbeitsschritt 3).....	571
4.6	Anwendungsgebiete des HDD Verfahrens	571
4.7	Geräte und Werkzeuge.....	572
4.7.2.1	Beispiele für Mini-HDD-Bohranlagen	573
4.7.2.2	Beispiele für Midi-HDD-Bohranlagen	574
4.7.2.3	Beispiele für Maxi-HDD-Bohranlagen.....	576
4.7.2.4	Beispiele für Mega-HDD-Bohranlagen	577
4.7.2.5	Hersteller von Mega-HDD-Anlagen	578
4.7.3.1	Zug- und Druckkraft.....	584
4.7.3.2	Drehmoment	587
4.7.3.3	Vorschub- und Zugsystem.....	587
4.7.3.4	Geräteabmessung und Gewicht.....	587
4.7.3.5	Transportsysteme.....	587
4.7.5.1	Bedienungscontainer bzw. Fahrerkabine	591
4.7.5.2	Spülungskomponenten.....	591
4.7.5.3	Spülmischanlage.....	592
4.7.5.4	Recyclinganlage (Separationsanlage)	593
4.7.5.5	Feststoffkontrolle.....	594
4.7.5.6	Sieben	594

4.7.5.7	Absetzen.....	594
4.7.5.8	Anordnung der Geräte	594
4.7.5.9	Hydrozyklone	596
4.7.5.10	Zentrifugen.....	596
4.7.6	Bohrspülungen.....	597
4.7.6.1	Allgemeines	597
4.7.6.2	Selbsthärtende Bohrspülungen für das HDD-Verfahren	606
4.7.6.3	Gefahr von Ausbläsern.....	608
4.7.6.4	Herstellung stabiler Bohrlöcher beim HDD-Bohren	609
4.7.6.5	Kenntnis des Bodens	609
4.7.6.6	Verlust der Bohrspülung	610
4.7.6.6	Ausdringen der Bohrspülung	610
4.7.7.1	Bohrgestänge.....	611
4.7.7.2	Bohrstangenmagazin	613
4.7.7.3	Bohrwerkzeuge.....	613
4.7.7.4	Aufweitvorgang	618
4.7.7.5	Einziehvorgang	620
4.7.8.1	Ortung des Bohrkopfes	624
4.7.8.2	Walk-Over-Verfahren	624
4.7.8.3	Wire-Line-Verfahren.....	627
4.7.11	HDD-Kompaktanlagen mit Mischanlage	629
4.7.12	Recycling-Anlage (optional).....	630
4.7.13	HDD-Zubehör	630
4.8	HDD-Felsbohrtechnik mit spülungsarmen Mud-Motoren	631
4.8.3	Besonderheiten von HDD-Mud-Motoren.....	633
4.9	Beispiele für Baumaßnahmen im HDD-Verfahren	635
4.9.2	Feldbohrung mit einem GRUNDOROCK – Mudmotor.....	636
4.9.5.1	Vorbemerkungen.....	642
4.9.5.2	Bauausführung.....	644
5	Sonstige Rohrvortriebsverfahren.....	646
5.1	Allgemeines.....	646
5.2	Bodenverdrängungsverfahren.....	647
5.2.3.1	Einsatzmöglichkeiten	651
5.2.3.2	Horizontalramme mit offenem Rohr	654
5.2.3.3	Bohr-Pressverfahren.....	659
5.2.4	Vortriebswiderstände.....	659
5.2.6	Abbausysteme	661
	Anhang.....	662
	Stichwortverzeichnis.....	670
	Werbung.....	678