

H.-J. Bayer (Hrsg.)

# **HDD-Praxis Handbuch**

**Vulkan-Verlag · Essen**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Einleitung</b> .....	13
1.1 Definition des Begriffes HDD .....	13
1.2 Historie des HDD .....	13
1.3 Grundsätzliche Unterschiede zwischen horizontaler und vertikaler Bohrtechnik .....	16
<b>2 Verfahrenstechnik des grabenlosen Leitungsbaus mit HDD</b> ....	20
2.1 Methodik der Bohrsteuerung .....	20
2.2 Methodik der Leitungsverlegung .....	21
2.3 Variationsbreite an Horizontalbohranlagen .....	22
2.4 Qualifizierte Durchführung des grabenlosen Leitungsbaus .....	23
2.4.1 Projektierungsphase .....	23
2.4.2 Verlegeprodukt-Kontrollphase .....	24
2.4.3 Maschinen-Kontrollphase .....	24
2.4.4 Bauausführungsphase .....	24
2.4.5 Nachbereitungsphase .....	25
2.5 Verlegbare Leitungsprodukte .....	26
2.6 Vorteile der Horizontalbohrtechnik im Leitungsbau .....	26
<b>3 Baugrundkenntnis als Voraussetzung für den erfolgreichen Leitungsbau</b> .....	29
3.1 Historischer Rückblick .....	29
3.2 Frühe Baugrunderkundungen im Leitungsbau .....	29
3.3 Baugrundverantwortung im Bürgerlichen Gesetzbuch .....	30
3.4 Baugrundkenntnis als Lehrfach .....	30
3.5 Normen für die Baugrundansprache und die Baugrundklassifizierung .....	31
3.6 Erkundungskriterien für den Leitungsbau .....	31
3.7 Risiko und Kalkulationsfaktor Baugrund .....	32
3.8 Baugrunderkundung .....	34
3.9 Fazit .....	34
<b>4 Vergleich zwischen grabenloser und offener Bauweise</b> .....	36
4.1 Einleitung .....	36
4.2 Vergleichende Betrachtung der Bauweisen .....	36

4.2.1	Geräteinsatz und Transportfahrten .....	36
4.2.2	Benötigte Bauzeit .....	38
4.2.3	Beanspruchte Verkehrsflächen .....	38
4.2.4	Faktor Lärm und Staub .....	38
4.2.5	Benötigte Baustoffmengen .....	39
4.2.6	Ressourcenverbrauch und Deponieraum .....	39
4.2.7	Indirekte Kosten .....	40
4.2.8	Verlegewirkung auf die Straßenoberfläche und die Lebensdauer des Rohres .....	42
<b>5</b>	<b>HDD-Gerätetechnik .....</b>	<b>45</b>
5.1	Einteilung der Bohrerätetypen .....	45
5.1.1	Schachtbohrgeräte .....	45
5.1.2	Mini-Bohrgeräte .....	48
5.1.3	Midi-Bohrgeräte .....	48
5.1.4	Maxi-Bohrgeräte .....	48
5.1.5	Mega-Bohrgeräte .....	48
5.1.6	Leistungsgrenzen .....	49
5.2	Hauptkomponenten .....	49
5.2.1	Bohranlage .....	50
5.2.1.1	Bohrlafette .....	50
5.2.1.2	Bohrschlitten (Bohrlafette, Oberteil) .....	50
5.2.1.3	Fahrwerk und Standsicherheit (Bohrlafette, Unterteil) .....	50
5.2.1.4	Antriebssystem und Hydraulikstation .....	51
5.2.1.5	Schlagwerk .....	51
5.2.1.6	Sicherheitseinrichtungen .....	51
5.2.2	Bohrflüssigkeitsmischanlage und Spülpumpe .....	52
5.2.3	Bohrstrang (Bohrgestänge und Bohrwerkzeug) .....	55
5.2.3.1	Bohrgestänge .....	55
5.2.3.2	Bohrstangenmagazin .....	56
5.2.4	Bohrwerkzeuge .....	57
5.2.4.1	Bohrköpfe für Pilotbohrungen .....	57
5.2.4.2	Aufweitwerkzeuge .....	59
5.2.4.3	Drehverbinder .....	61
5.2.4.4	Einziehvorrichtung .....	61
5.2.5	Steuerungs- und Ortungstechnik .....	62
5.2.5.1	Ortung des Bohrkopfes .....	62
5.2.5.2	Walk-Over-Verfahren .....	63
5.2.5.3	Wire-Line-Verfahren .....	64
5.2.5.4	Bedienpult .....	64
5.2.6	Transport- und Versorgungsvorrichtung .....	65
5.2.7	Recycling-Anlage (optional) .....	65
5.3	HDD-Zubehör .....	65
5.3.1	Software zur Planung, Darstellung und Dokumentation von Bohrungen .....	65
5.3.2	Software zur Bodenansprache und Bohrspülungs- und Bohrwerkzeugsdefinition .....	66
5.3.3	Software zur Bohrbedarfs- und Baustellenkalkulation .....	67

---

5.3.4	Zugkraftmessvorrichtung sowie Erfassungs- und Dokumentationssoftware .....	67
5.4	Erfordernisse in der HDD-Großbohrtechnik .....	68
5.4.1	Transport .....	68
5.4.2	Baustellenplanung und Überwachung .....	69
5.4.3	Rollenbahnen und Oberbogen .....	69
5.4.4	Ballastierung .....	70
<b>6</b>	<b>Bohrspülungen</b> .....	<b>71</b>
6.1	Aufgaben von Bohrspülungen .....	71
6.2	Herstellung stabiler Bohrlöcher beim HDD-Bohren .....	71
6.2.1	Kenntnis des Bodens .....	72
6.2.2	Wichtigster Grundstoff: Bentonit .....	72
6.2.3	Ergänzungsbedarf während der Bohrungen .....	74
6.3	Häufige Bohrloch-Gefahrensituationen und Gegensteuerungsmittel ..	74
6.3.1	Verlust der Bohrspülung .....	74
6.3.2	Abströmen der Bohrspülung .....	76
6.3.3	Ausdringen der Bohrspülung .....	76
6.3.4	Verengung eines Bohrloches .....	77
6.3.5	Einstürze im Bohrloch in rolligen Lockergesteinen .....	78
6.3.6	Einstürze (Inkasionen) im Bohrloch .....	78
6.4	Notfallkoffer .....	79
6.5	Handbuch über Bohrspülungen .....	80
<b>7</b>	<b>Felsbohrtechnik mit spülungsarmen Mud-Motoren</b> .....	<b>81</b>
7.1	Grundsätzliche Eigenheiten von Mud-Motoren .....	81
7.2	HDD-Einsatzfelder von Mud-Motoren .....	82
7.3	Arbeitsweise von Mud-Motoren .....	82
7.4	Leistungscharakteristik .....	84
7.5	Besonderheiten von HDD-Mud-Motoren .....	86
7.6	HDD-Mud-Motoren für kleine Bohrgeräte .....	87
<b>8</b>	<b>Anwendungsbreite der Horizontalbohrtechnik</b> .....	<b>88</b>
8.1	Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen .....	88
8.1.1	Längsverlegung für Leitungsnetze .....	88
8.1.2	Druckentwässerungen .....	89
8.1.3	Datenleitungen und Telekomverbindungen .....	89
8.1.4	Datenleitungen für Verkehrsleit- und Mautsysteme .....	90
8.1.5	Signalkabel entlang von Fernleitungen .....	90
8.1.6	Innenrohrrelining .....	90
8.1.7	Querungen, Kreuzungen und Dükerungen .....	91
8.1.8	Verlegungen in Naturschutzgebieten und Grünflächen .....	92
8.1.9	Verlegung im geschützten Untergrund .....	92

8.1.10	Verlegung von Fremdstromanoden .....	92
8.1.11	Nachträgliche Flugplatzbefeuerungen .....	93
8.1.12	Unterirdische Beheizungen .....	93
8.1.13	Hausanschlussleitungen .....	93
8.1.14	Hausanschlüsse am Hang .....	94
8.1.14.1	Hausanschlüsse bei Neubauten .....	94
8.1.14.2	Hausanschluss-Erneuerungen im bestehenden Baubestand .....	95
8.1.14.3	Hausanschluss in kriechenden und rutschenden Hangsituationen .....	95
8.1.14.4	Kurze Hausanschlüsse mit Pit-Bohrgeräten .....	96
8.1.14.5	Hausanschlüsse im felsigen Untergrund .....	96
8.1.14.6	Vorteile des grabenlosen Bauens am Hang .....	97
8.2	Wassererschließung, Hydraulische Maßnahmen, Umwelttechnik, Bewässerung .....	98
8.2.1	Horizontale Trinkwasserbrunnen .....	98
8.2.2	Horizontalbrunnen für die Grundwasserabsenkung .....	99
8.2.3	Grundwasserregulierung – Grundwasserhebung .....	99
8.2.4	Hydraulische Sanierungen .....	100
8.2.5	Weitere Altlastensanierungen .....	100
8.2.6	Rutschungsentwässerungen .....	101
8.2.7	Drainagen .....	101
8.2.8	Bewässerungen .....	102
8.2.9	Monitoring .....	102
8.2.10	Sensorleitungen zur Leckageortung .....	102
8.3	Spezialtiefbau, Grundbau, Tunnelbau und geotechnische Anwendungen .....	103
8.3.1	Geotechnische Erkundungen .....	103
8.3.2	Ankerungen .....	103
8.3.3	Tunnelverbesserungen .....	104
8.3.4	Bohrungen für Vereisungsrohre .....	104
8.3.5	Injektionen .....	104
8.3.6	Rutschungssicherung .....	105
8.3.7	Geotechnische Instrumentierungen .....	106
8.3.8	Lastsetzungsbohrungen .....	106
8.3.9	Vorausseilende Firstsicherung .....	106
8.3.10	Sohldichtungen .....	108
8.3.11	Bodenverbesserungen .....	108
8.3.12	Weitere Anwendungsfelder .....	109
<b>9</b>	<b>Anwendungsbeispiele aus der Praxis .....</b>	<b>111</b>
9.1	Verlegung einer Datenleitung parallel zur Autobahn .....	112
9.2	Verlegung einer Gasleitung durch Holzhausen .....	113
9.3	Längsverlegung durch Waldgebiet mit bis zu 50 % Gefälle .....	114
9.4	Verlegung einer Abwasserdruckleitung mit mehreren Querungen .....	115
9.5	Verlegung eines PE-HD-Schutzrohres unter der Kinzig .....	117
9.6	7900 m Kabelschutzrohre in vier Dükern unter der Saale .....	118
9.7	Dükering des Hochrheins auf 400 m Länge und 24 m Tiefe .....	121

---

9.8	Verlegung einer Abwasserleitung (800 mm) unter dem Fluss Oka .....	122
9.9	Dükerbohrung im Kalkfels .....	124
9.10	Dükerung eines „wilden“ Alpenflusses .....	125
9.11	Bohrkurve unter einem Betonschacht .....	126
9.12	Maindükerung – Verlegung einer Stahlrohrleitung DA 250 mm .....	127
9.13	450-m-Bohrung unter „Doppelflughafen“ .....	128
9.14	Dünenquerung für Meerwasserentnahmeleitung auf Sylt .....	130
9.15	Verlegung einer Seewasserentnahmeleitung in Konstanz .....	133
9.16	Verlegung einer Trinkwasserleitung durch das Wattenmeer .....	137
9.17	Verankerung eines Bahndammes zur Herstellung eines U-Bahn-Tunnels .....	140
9.18	Bau von Fußgängertunneln in Abu Dhabi .....	143
9.19	Sanierung eines Setzungsschadens unter einer ICE-Strecke .....	145
9.20	Effektive Bodensanierung unter Fundamenten .....	147
9.21	Verlegung einer Freigefälleleitung in schwierigem Umfeld .....	151
9.22	Sanierung einer Regenwasserableitung .....	155
9.23	Verlegung einer Regenwasserkanalleitung DN 560 durch Fels .....	160
9.24	Hausanschlüsse mit gesteuerter Bohrtechnik .....	163
9.25	Großbohrtechnik in den Niederlanden .....	166
9.26	Einbau von 1100 m Rohrleitung DN 600 aus duktilen Gussrohren .....	169
<b>10</b>	<b>Technische Regeln und Qualitätssicherung im HDD</b> .....	<b>178</b>
10.1	Richtlinien des DCA und der GSTT .....	178
10.2	Bestimmungen und Normen .....	178
10.3	Gesetze, Verordnungen .....	179
10.4	Leitregeln für den Praxisablauf .....	179
<b>11</b>	<b>HDD-Literatur</b> .....	<b>184</b>
11.1	Veröffentlichungen .....	184
11.2	Dokumentationen von Verbänden, Technische Regeln .....	187
11.3	Weiterführende Internetadressen / Links: .....	188
	<b>Marktpartner</b> .....	<b>189</b>
	<b>Inserentenverzeichnis</b> .....	<b>195</b>

# **HDD-Praxis Handbuch**

# 1 Einleitung

## 1.1 Definition des Begriffes HDD

Die steuerbare Horizontalbohrtechnik hat in den letzten Jahren einen internationalen Oberbegriff erhalten, der sich ausgehend von den USA, in nahezu allen Ländern der Erde durchgesetzt hat: HDD = Horizontal Directional Drilling.

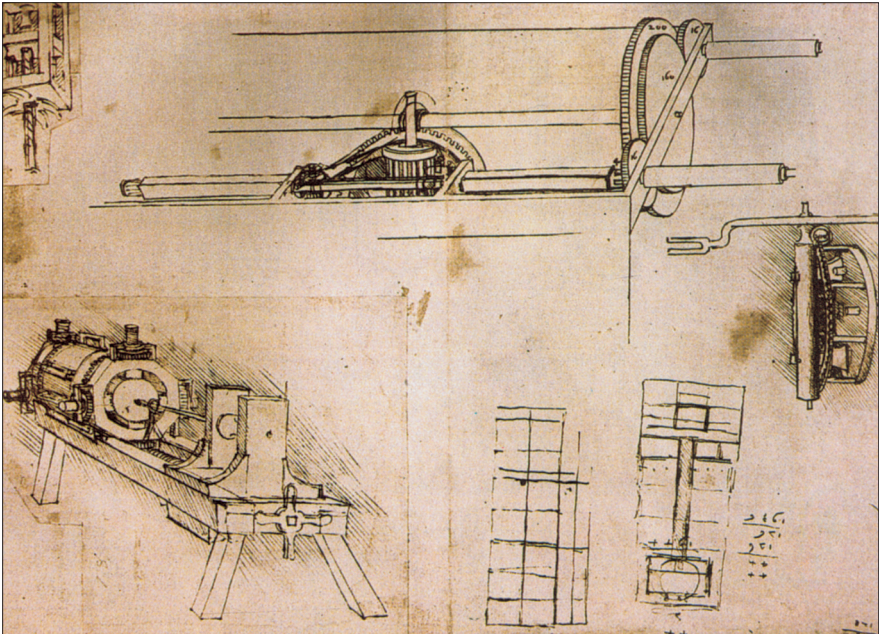
Das horizontale gesteuerte Richtbohren wurde in den 70er Jahren in Kalifornien entwickelt und unter dem Namen verlaufsgesteuertes horizontales Spülbohrverfahren 1986 in Europa eingeführt. Da innerhalb der Versorgungstechnik der Begriff „Spülbohrverfahren“ mit Leitungen „einspülen“ gleichgesetzt wurde, hat man den Begriff auf das sachlich beschreibende oberflächennahe steuerbare Horizontalbohren zurückgeführt.

Verstanden wird unter diesem Begriff sowie unter der internationalen Abkürzung HDD, im Gegensatz zum inzwischen im Erdöl-/Erdgassektor üblich gewordenen tiefen abgelenkten und horizontalen Bohren, ein oberflächennahes Verlegen von Leitungen, Kabeln, Filterbrunnen, länglichen Strukturen und Vorrichtungen, Haltesystemen u. a. mit mobilen Bohranlagen mit geneigter Bohrlafette, mit 3D-Ortungs- und Steuerungsmöglichkeiten, mit verbundener Bohrspülungstechnik und der Möglichkeit erzeugte Bohrlöcher beliebig aufweiten zu können, wobei dies bevorzugt im Rückwärtsgang erfolgt.

## 1.2 Historie des Bohrens und des HDD

Um 600 v.Chr.	In China werden bis etwa 500 m tiefe Vertikalbohrungen ermöglicht
Um 1420 n. Chr.	Erste Nachweise vertikaler Bohrtechnik in Europa
Vor 1495	Leonardo da Vinci erfindet und konstruiert die erste übertägige Horizontalbohrmaschine. Sie dient zur Aufbohrung von Holzstämmen zur Erstellung von Deichelrohren (hölzerne Wasserrohre). Zu seinen Lebzeiten werden vermutlich zehn Horizontalbohrmaschinen gebaut ( <b>Bild 1.1</b> ). Leonardo da Vinci verbessert auch die Mechanik der vertikalen Bohrtechnik.
Um 1780	Bis 300 m tiefe vertikale Bohrlöcher können abgeteuft werden
Um 1850	Geschmiedete Bohrgestänge, die Dampfmaschine und Diamantbohrköpfe bieten der Bohrtechnik neue Möglichkeiten
1860 – 1890	Durch wesentliche Erfindungen in der Vertikalbohrtechnik kann um 1890 eine Teufe von 2000 m erreicht werden
Um 1910	Erste Rollenmeißel (Zahnrollenmeißel)
Um 1920	Erste untertägige Horizontalbohrmaschinen zur Absaugung von Grubengas (Methangas) aus Steinkohlenflözen des Ruhrgebietes (Maschinenhersteller aus Sprockhövel/ südliches Ruhrgebiet)
Um 1920	Dieselmotoren und Benzinmotoren, Elektro- und Druckluftmotoren, Bohrturbinen, imprägnierte Diamantbohrwerkzeuge





**Bild 1.1:** Horizontalbohrmaschine, entworfen und gezeichnet von Leonardo da Vinci

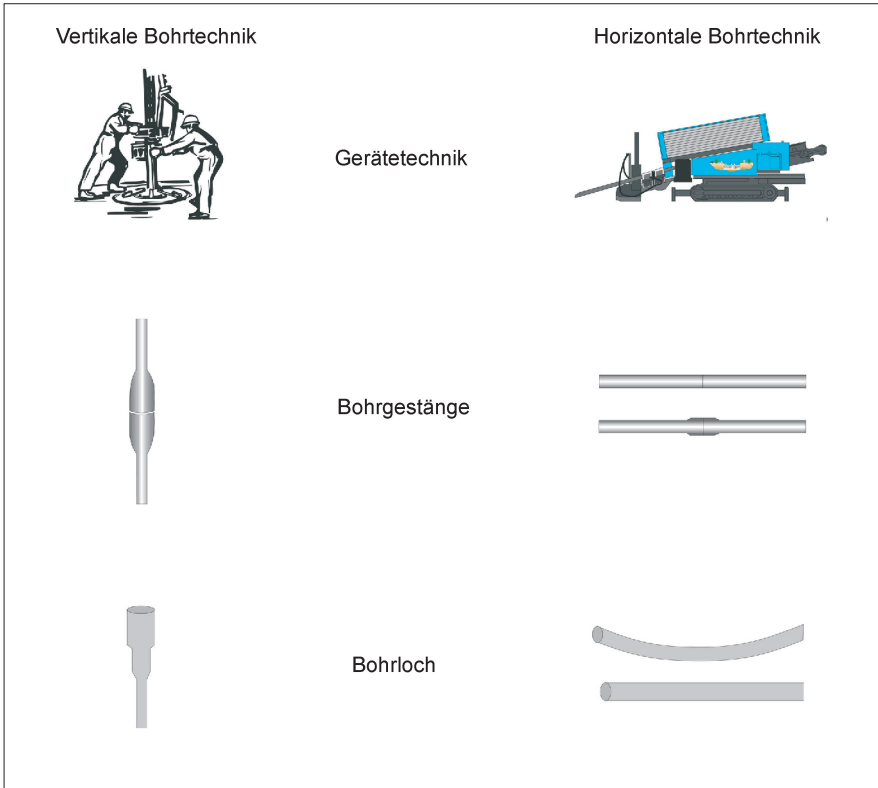
1938	4500 m Bohrteufe werden erreicht
1958	7700 m vertikale Bohrteufe
1962	Einsatzerprobung erster Schraubenmotoren (Mudmotoren)
1972	9160 m vertikale Bohrteufe
1972	Erste horizontale Flussunterbohrung des Pajara River bei Watsonville in Kalifornien durch Martin Cherrington mit einer geeigneten Vertikalbohranlage
1972 – 1979	Martin Cherrington und andere erstellen 36 Kreuzungsbohrungen unter Flüssen und Verkehrswegen
1979	Bau der „Urform“ einer Horizontalbohranlage für den oberflächennahen Einsatz mit einer flachschrägen Bohrlafette zur Verlegung von Pipelines
Um 1980	Beginn der Datenerfassung in der Bohrtechnik

- 1982 –1985 Ehemalige Flugzeugingenieure der Fa. Boeing entwickeln zusammen mit Wissenschaftlern des EPRI (Elektr. Stromforschungsanstalt der USA) den bohrend-schneidenden Bodenabtrag mit Düsenstrahlen. Als Resultat (Fa. FlowMole) entstehen kleine HDD-Anlagen zur Verlegung von 1-kV-Stromkabeln. Die Anlagen besitzen (Flugzeug-)Intensiver zur Spülungshochdruckerzeugung, eine eigene Sender-Empfänger-Ortungstechnik, hochflexibles Bohrgestänge und asymmetrische Bohrköpfe sowie stumpfe, stufige Reamer.
- 1983 – 85 Das US Gas Research Institute, Chicago und the Charles Maschine Works (Ditch Witch) entwickeln ein trockenes horizontales Bohrsystem mit Positionsortung. Kombiniert wird ein hydraulischer Bohrschlitten (Drill-Rig) mit einem angeschrägten Bodenverdrängungshammer (Drucklufferdrakete) an einem hohlen Bohrgestänge. Eine lange schräge Steuerfläche am Vortriebskopf kennzeichnet die trockene Bohranlage, die Jahre später auch mit Bohrflüssigkeit arbeitet.
- 1985 In der Tiefbohrtechnik werden 13000 m erreicht
- 1986 Im Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe wird die erste HDD-Bohrung in Europa durchgeführt. Die hierzu gegründete Firma FlowTex beginnt als Lizenznehmer von FlowMole mit dem geschäftsmäßigen Verlegen von Kabeln und Versorgungsleitungen.
- 1987 Mit zwei, dann mit vier Bohrgeräten wird die HDD-Technologie im Raum Karlsruhe, Mannheim, Stuttgart, München und Hamburg eingesetzt. Es werden überwiegend Erdgas- und Trinkwasserleitungen verlegt.
- 1987 Erste HDD-Anwendungen in England
- 1987 Entwicklung der ersten deutschen steuerbaren Trockenbohranlage (Grundomole) bei Tracto-Technik
- 1989 Erste HDD-Unterbohrung eines Bürokomplexes (Flügelhochhaus)
- 1989 Entwicklung der ersten HDD-Flüssigkeitsbohranlagen in Deutschland (Ettlingen/KSK und Lennestadt/GrundoJet)
- 1989 Erste umwelttechnische HDD-Anwendungen im militärischen Teil des Frankfurter Flughafen (Bau von Absaugverbindungsleitungen unter dem Rollfeld)
- 1989 Gleichzeitiger Paralleleinzug mehrerer Versorgungsleitungen
- 1990 Erster HDD-Brunnenbau zur Altlastsanierung in Günzburg/Bayern
- 1991 Beginn der HDD-Großbohrtechnik mit einer italienischen Überkopfböhranlage
- 1991 Bau der GrundoDrill-Bohranlagen bei Tracto-Technik
- 1991 Erste HDD-Einsätze in Brno (Brünn) für Osteuropa

1991	Erste horizontalbohrtechnische Hochdruckinjektionen (Versuchsfeld im Tagebau Goitsche bei Bitterfeld)
1989–1991	Mehrere HDD-Firmen in Deutschland gründen sich
1992	Mit dem gleichzeitigen Einsatz mehrerer HDD-Anlagen werden innerhalb weniger Monate komplette Trinkwasser- und Erdgasnetzwerke in den neuen Bundesländern gebaut.
1993	Erste Fachtagung gesteuertes Bohren (FAGEBO)
1993	Einzug von Neurohren in Altrohren mittels HDD bei gleichzeitiger Ringraumverdrämmung
1994	Gründung des DCA
1995	HDD-Verlegung von zugkraftschlüssigen Gussrohren in Krefeld
1995	Erster (Tiefbohr-)Mudmotoreneinsatz für HDD
1995	HDD-Altlastsanierungen durch Bodenluftabsaugungen
1996	Rutschungssanierungen mittels HDD
1996	Erstes Handbuch zur HDD-Anwendung erscheint
1998	Die erste vollautomatisierte HDD-Anlage wird als Prototyp auf dem Flugplatz Söllingen bei Baden-Baden erprobt. Dort gelingt auch die erste HDD-Verlegung von Steinzeugrohren.
2001	Entwicklung spezieller HDD-Mudmotoren
2002	Einbau von horizontalen Ankern mit HDD-Anlagen in Frankfurt/Main
2002	Festgesteinsbohren mit Hammerbohrlanzen für GrundoS-Pit-Bohranlagen
2003	GW 321 als technisches Regelwerk für HDD-Gas- und Wasserleitungsverlegungen tritt in Kraft
2004	Die größte HDD-Anlage Europas wird in Wenden bei Olpe gebaut (450-t-Anlage von Prime Drilling)

### **1.3 Grundsätzliche Unterschiede zwischen horizontaler und vertikaler Bohrtechnik**

Die inzwischen sehr verbreitete Horizontalbohrtechnik zur grabenlosen Verlegung von Leitungen wird sehr oft mit Grundzügen der Vertikalbohrtechnik, wie für die Erdöl-/Erdgasgewinnung üblich, gleichgesetzt oder weitestgehend daraus abgeleitet. Letzteres ist nur in wenigen Bereichen der Fall, die Anzahl der grundsätzlichen Unterschiede gerade bei kleinen und mittleren HDD-Anlagen ist erheblich, was nachstehend aufgezeigt werden soll. Über 90 % der hergestellten und im Einsatz befindlichen HDD-Anlagen gehören zur Klasse der kleinen und mittleren Bohrgeräte (bis max. 25 t Zugkraft), und



**Bild 1.2:** Wesentliche Unterschiede zwischen vertikaler und horizontaler Bohrtechnik

diese sind in ihrer gerätetechnischen Konstruktion als auch in ihrer Handhabung grundsätzlich unterschiedlich zur klassischen Bohrtechnik (**Tabelle 1.1, Bild 1.2**).

Lediglich bei HDD-Großbohranlagen und Vertikalbohranlagen gibt es technisch größere Gemeinsamkeiten, so ist Vertikalbohrgestänge auch bei HDD-Maxi- (ab 40 t Zugkraft aufwärts) und Mega-Rigs verwendbar, Hartgesteinsbohrköpfe und Bohrspülungsanlagen zeigen ebenfalls im HDD-Großbohr- und im Vertikalbohrbereich viele Gemeinsamkeiten. Im Bereich Mudmotoren für Bohrarbeiten in Fels gibt es mittlerweile spezielle Low-Flow-Motoren für HDD-Anlagen, die Differenzierungsmerkmale von Erdöl-/Erdgas-Mudmotoren aufweisen. Diese konstruktiven Unterschiede sind erst in den letzten drei Jahren geschehen.

Es ist wesentlich, in einer immer leistungsfähiger werden Bohrtechnologie die hieraus sich ergebenden Spezialisierungs- und Differenzierungsmerkmale zu kennen, um diese richtig zu vermitteln und anwenden zu können. Davon hängt der technische Durchsetzungs- und Markterfolg dieser neuen Sektoren der Bohrtechnologie ab.

**Tabelle 1.1:** Grundsätzliche Unterschiede zwischen horizontaler und vertikaler Bohrtechnik

	HDD	Vertikalbohrtechnik
Bohranlagen	<p>HDD-Anlagen der kleinen und mittleren Klasse sind immer mobil, selbstfahrend, selbstverankerungsfähig, benötigen einen nur minimalen Aufstellungsraum und sind für das Arbeiten im und am Straßenraum geschaffen. Entsprechend müssen Baustellenvorbereitungen und Sicherheits-Maßnahmen für den Straßenraum getroffen werden.</p> <p>Sie benötigen essentiell eine Ortungstechnik mit Positions- und Signalübertragung, besitzen dafür eine vollkommen im drei-dimensionalen Raum gegebene Steuerbarkeit. Die Ortungstechnik muss schwierigen Umständen gerecht werden und bei Störfeldern, z. B. Stahlstrukturen, oder Abschirmungen, einsatzfähig sein.</p>	<p>Hier sind feste oder mobile Anlagen mit starren oder klappfähigem Mast üblich, Stellplattformen sind essentiell, der Bohransatz ist zunächst vertikal oder steil schräg, die Gestängeaufhängung ist in der Regel vertikal.</p>
Peripheriegeräte	<p>Notwendig ist eine mobile Versorgungseinheit mit integrierter Bohrspülmischanlage sowie ein Transportfahrzeug für die Bohranlage.</p>	<p>Erforderlich ist ein großer Lagerplatz zur Aufnahme von künstlichen Bohrspülungsbecken und einer externen Bohrspülmischanlage, erforderlich sind Container für den Steuerstand, für Büros, für die Mannschaft und für die Gerätetechnik.</p>
Bohrkopf	<p>Der Bohrkopf ist für Lockergestein grundsätzlich asymmetrisch und immer ortbar (Er hat einen Sender bzw. ein Navigationssystem und eine Stromversorgung). Der Vortrieb im Gestein erfolgt primär hydro-mechanisch und sekundär mechanisch.</p>	<p>Der Bohrkopf ist immer symmetrisch, die Bohrung erfolgt teleskopierend. Der Vortrieb erfolgt primär durch mechanisches Zerkleinern, die Bohrspülung dient zur Kühlung und zur Förderung des Bohrkleins.</p>
Bohrgestänge	<p>Für das HDD-Verfahren benötigt man ein Zuggestänge, weil die Hauptbeanspruchung des Bohrstranges beim Aufweiten, d. h. im Rückzug erfolgt. Das Pilotbohrgestänge muss hochelastisch, dünn und stabil sein, es muss enorme Walkkräfte in den Muffenbereichen aufnehmen können.</p>	<p>Für den vertikalen Bohrweg benötigt man ein Andruckbohrgestänge, das schwer, relativ unflexibel und gelenksteif ist. Es dient primär der Kraftübertragung nach unten und nutzt daher einen Stahl mit anderen Material- und Vergütungseigenschaften.</p>
Bohrloch	<p>Für das grabenlose Bauen ist das Bohrloch immer oberflächennah (manchmal im tieferen Straßenraum), meist im Lockergestein und es hat häufig vibrierende Auflasten zu verkraften. Der Faktor Gravitation sorgt für eine ständige Stabilisierungsnotwendigkeit gegenüber der latenten Kollabiergefahr (Inkasionpotential), für die Bohrlochwandung müssen Verbundwirkungen aufgebaut werden.</p>	<p>Mit zunehmender Tiefe wird häufig eine größere Gesteinsfestigkeit erreicht, die Wandungsfestigkeit nimmt zu. Eine rundumläufige Auskesselungsgefahr kann z. B. durch Zementieren beseitigt werden. Mit zunehmender Tiefe (Teufe) werden Druck und Temperatur bestimmende Faktoren.</p>

**Tabelle 1.1:** Grundsätzliche Unterschiede zwischen horizontaler und vertikaler Bohrtechnik (Fortsetzung)

	HDD	Vertikalbohrtechnik
Bohrlochvergrößerung	Spezielle Aufweitwerkzeuge (Reamer) sind hier erforderlich. Der Einbau erfolgt in der Zielgrube (die Bohrung hat zwei Zugänge) und die Aufweitung wird während der Rückwärtsfahrt durch das Bohrloch vorgenommen.	Eine Aufweitung wird aufgrund des Teleskopierens normalerweise nicht benötigt und wenn, könnte sie nur durch Überbohren von oben erfolgen.
Bohrspülung	Die Bohrspülung dient der Reibungsreduktion, der vorübergehenden Stabilisierung des Bohrloches, dem Austrag von Bohrklein. Die Bohrspülung muss etwas in die Bohrlochwandung eindringen, den Porenraum verschließen, das Korngefüge tragen und in der Lage sein, die Bohrlochfirse durch Verbundwirkung zu tragen. Es können nur leichte Spülungsprodukte verwendet werden, schwere (Schwerspat), blättrige faserige Zusatzprodukte sind nicht verwendbar. Der Gefahr von Spülungsüberdruck verbunden mit möglichen Straßenhebungen muss permanent begegnet werden. Die Bohrspülung dient auch der Einbettung des Produktrohres. Insgesamt muss die Bohrspülung im HDD viel höhere Ansprüche erfüllen.	Die Spülung dient primär der Kühlung, der Reibungsreduktion und der Austragung von Bohrklein. Für die Seitengebirgsstabilisierung können diverse Zusatzprodukte (z. B. Schwerspat, Glimmer, Späne) eingesetzt werden. Die beim Vertikalbohren vorhandene Gefahr von Spülungsverlusten kann ebenfalls durch eine ganze Bandbreite an Gegenmitteln (Spülungsadditiven) abgewehrt werden.
Produktrohereinzug	Die gesamte HDD-Bohrung muss in ihren Biegeradien und ihrem Verlauf so konzeptioniert und durchgeführt werden, damit auch das Produktrohrmaterial alle Belastungen und Biegemomente erfüllen kann und funktionsoptimal im Boden eingebettet werden kann.	

## 2 Verfahrenstechnik des grabenlosen Leitungsbaus mit HDD

Der grabenlose Leitungsbau geschieht beim HDD-Verfahren hydromechanisch und mechanisch, es ist ein steuerbares, sanftes, umweltschonendes Nassbohrverfahren. Der konventionelle Leitungsbau (offener Graben, Wiederverschluss der Straßenoberfläche) wird bei diesem Verlegeverfahren durch oberflächennahes, hydromechanisches Bohren, auch um Kurven herum, vermieden. Beim genannten System arbeitet der unterirdische Bohrvortrieb nach einem kombinierten Wirkungsprinzip. Gebohrt wird primär nicht in konventioneller mechanischer Technik, sondern mit dünnen, scharfen, gesteinslösenden Wasserstrahlen bzw. Bohrsuspensionsstrahlen, die aus Düsen an der Bohrkopfspitze austreten und ein hydromechanisches Durchdringen von Lockergestein bewirken. Zum Teil wird das gelöste Material über den Rückfluss entlang des Bohrgestänges ausgetragen, zum anderen Teil kommt es zu einer partiellen Umlagerung des Lockergesteines im Umgebungsbereich der aufgefahrenen Bohrung, wobei in diesem Bereich eine neue, nun dichtere Lagerung durch Einsparung von Porenraum bewirkt wird. Zugleich wird eine stabilisierende Porenraumauffüllung mit Bohrsuspension vorgenommen, der den Hochdruckstrahlen beigemischt ist. Untergeordnet findet auch ein mechanisches Ablösen des Lockergesteines im Bohrungsquerschnitt im Erdreich statt. Beim schlagunterstützten HDD-Bohren wird der mechanische Anteil an der Gesteinslösearbeit höher. Beim Felsbohren mittels Mudmotoren herrscht mechanische Lösearbeit durch den Bohrkopf vor, gekühlt und unterstützt durch Bohrsuspension.

### 2.1 Methodik der Bohrsteuerung

Bei den kleineren Horizontalbohranlagen wird die vertikale und laterale Verlaufssteuerung durch folgende zwei Komponenten bewirkt:

Zum einen hat die Bohrlanze einen eingebauten Sender, der ein elektromagnetisches Feld erzeugt. Direkt über dem Bohrkopf im Boden ist dieser Sender mit einem Ortungsgerät (Feldstärkemessgerät) an der Erdoberfläche zu verfolgen, so dass die Position des Bohrkopfes jederzeit ortbar ist.

Zum anderen ist die vom Grundkörper zylindrische Bohrlanze selbst asymmetrisch aufgebaut und hat eine schräge Anstellfläche und eine seitliche schräge Abstützfläche am Bohrkopf. Diese seitliche schiefe Ebene ist als Steuerfläche wirksam, indem sie beim Kurvenfahren auf der Gegenseite der gewünschten Kurvenrichtung durch die Aktivierung des passiven Erddrucks die Schrägabstützung der Lanze übernimmt. Die Raumlage des Bohrkopfes ist sowohl an der Maschine an einem Anzeigegerät als auch am Ortungsgerät, das direkt oberhalb der Bohrlanze auf der Straße entlang geführt wird, jederzeit nachvollziehbar. Ein besonders flexibler Bohrstrang bei den kleinen Horizontalbohranlagen ermöglicht es zudem, dass Kurvenradien mit minimal 12 m gebohrt werden können. Auch mehrere einander in Gegenrichtung verlaufende Kurven kann dieses Nassbohrverfahren bewältigen. Bei den kleinen Bohranlagen betragen die einzelnen Bohrabchnittslängen bis zu 500 m, die maximale Tiefe liegt hier bei 8 bis 12 m, da die Ortbarkeit des Bohrkopfsenders auf diese Tiefe begrenzt ist. Bohrbar sind mit den kleineren Anlagen alle Lockersedimente mit Lockergesteinsausrüstung und alle Felsformationen mit speziellen Mudmotoren.

Bei den größeren Horizontalbohranlagen wird die vollkommene Verlaufssteuerung in größerer Tiefe (in der Regel über 10 m) einerseits durch die schon beschriebene asym-



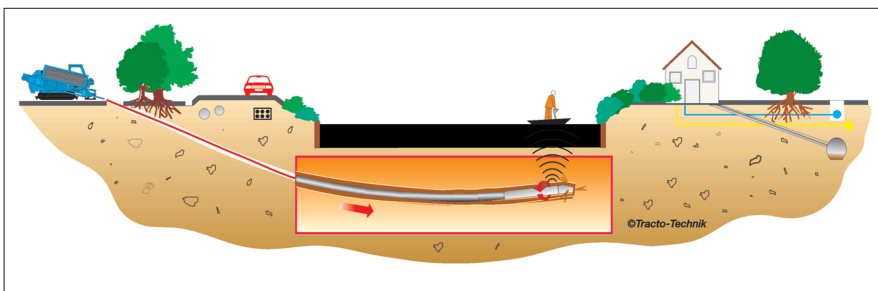
metrische, nun größere Bohrlanze bewirkt, zum anderen jedoch durch ein völlig anderes Ortungssystem, das auf einer elektromagnetischen Präzisionsnavigation beruht. Im Anschlussbohrgestänge hinter dem Bohrkopf, das hier aus antimagnetischem Stahl bestehen muss, befinden sich auf wenigen Metern Länge, jedoch in stabförmiger Aufreihung, Sensoren (meist Magnetometer, Accelerometer und Neigungssensoren), die die Position der Steuerfläche, die aktuelle horizontale Bohrrichtung und die aktuelle vertikale Neigung ständig ermitteln. Die erfassten Daten werden permanent über ein im Bohrgestänge verlaufendes Kabel (Monodraht) zu einem Steuerstand am Bohrgerät übertragen. Von hier aus erfolgt die ständige Überwachung und komplette Steuerung der gesamten Bohrung. Ortungen von der Erdoberfläche aus können bei diesem Kabelsondenprinzip entfallen.

Da mit den größeren Horizontalbohranlagen Bohrlängen von bis zu 2000 m und mehr realisierbar sind, muss die Kabelsondenavigation in beliebigen Tiefen (300 m und mehr) funktionieren. Die Steuergenauigkeit des Verfahrens beträgt in beliebiger Tiefe und Entfernung immer 4 % bezogen auf die Tiefe und horizontale Abweichung.

Deutsche Horizontalbohranlagen ab der 10-t-Klasse sind für die meisten geologischen Untergrundarten geeignet, mit speziellen Mud-Motoren sind auch Bohrungen durch Felsgestein verlaufsgesteuert möglich.

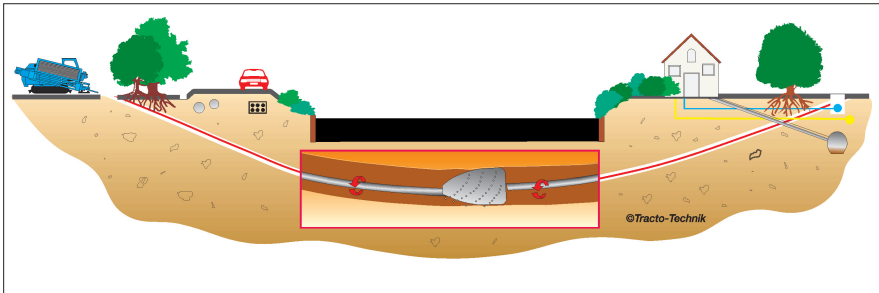
## 2.2 Methodik der Leitungsverlegung

Bei der Horizontal-Spülbohrtechnik (HDD) wird zunächst eine sogenannte Pilotbohrung mit dem Durchmesser der Bohrlanze erstellt (**Bild 2.1**). Diese Pilotbohrung endet an einer vorgegebenen Zielgrube. In dieser Zielgrube wird die Bohrlanze vom eingebrachten Bohrgestänge abgeschraubt und dafür ein in Gegenrichtung orientierter Aufweitkopf (Reamer) angeschraubt. Dieser Aufweitkopf wird im Rückwärtsgang rotierend und spülend durch die Pilotbohrstrecke gezogen und somit der Bohrungsquerschnitt aufgeweitet (**Bild 2.2**). Sollte der Querschnitt schon eine Verlegung des gewünschten Leitungsproduktrohres zulassen, so wird dieses direkt hinter dem Aufweitkopf angehängt und ins Erdreich eingezogen. Zum Rohreinzug dient eine Innenziehvorrichtung, die über einen Drehwirbel mit dem Aufweitkopf verbunden ist (**Bild 2.3**). Der Aufweitdurchmesser des Mikrotunnels sollte mindestens 30 % größer sein als der Außendurchmesser des Produktrohres, damit im Zwischenraum genügend Bentonit und Bohrklein (quellfähige Mischung Bentonit/Boden/Ton) für eine allseitige und kraftschlüssige Leitungseinbettung vorhanden ist. Bei größeren Leitungsdurchmessern und

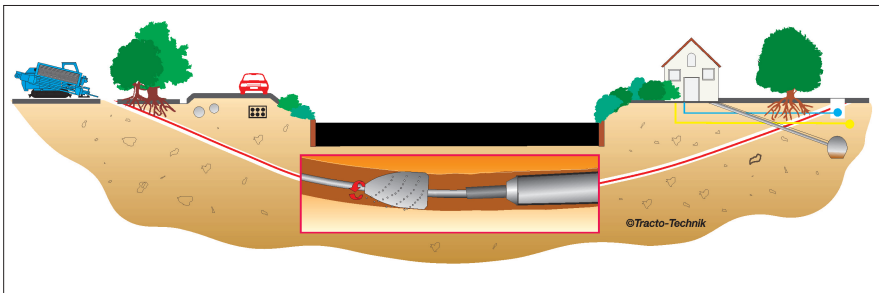


**Bild 2.1:** Beim HDD-Verfahren wird zunächst eine sog. Pilotbohrung durchgeführt





**Bild 2.2:** Nach der Pilotbohrung wird im nächsten Schritt der Bohrlochquerschnitt mit einem Aufweitkopf (Reamer) vergrößert



**Bild 2.3:** Nach der Aufweitung oder bereits mit der Aufweitung des Bohrlochquerschnittes wird das Produktrohr eingezogen

bei schwierigen geologischen Untergrundverhältnissen sind stufenweise mehrere Aufweitungsvorgänge erforderlich, wobei bei den Zwischenaufweitungen „leeres“ Bohrgestänge hinter dem Aufweitkopf angehängt wird. Lediglich bei der letzten Aufweitung wird das Produktrohr mit eingezogen.

Mit den kleineren Bohranlagen (Midi-Geräten) sind Produktrohre mit Außendurchmessern bis 600 mm und mit den größten Bohranlagen bis max. 2200 mm verlegbar.

### 2.3 Variationsbreite an Horizontalbohranlagen

Nach der geologischen und eventuell geophysikalischen Erkundung und nach Definition der zu verlegenden Produktrohrgröße und der gewünschten Bohrabchnittslänge erfolgt die Auswahl einer für die Bauaufgabe „passenden“ Horizontalbohranlage. Fachfirmen des grabenlosen Leitungsbaues verfügen häufig über eine ganze Variationsbreite an Horizontalbohranlagen in sehr unterschiedlichen Leistungsklassen. Hierdurch lässt sich das für die Bauaufgabe und für Aufstellverhältnisse im Verlegebereich unter Aspekten der Kostenoptimierung geeigneteste Gerät heraussuchen. Da die Ortungsmethode, wie schon dargelegt wurde, in Relation zum Bohrungstiefgang steht, sind größere Bohranlagen mit elektronischem Navigationssystem mit Kabelübertragung zum Leitstand ausgestattet, während die kleineren Anlagen mit Bohrkopfsendern bestückt sind.

Die am häufigsten benötigten Horizontalbohranlagen liegen im Leistungsbereich zwischen 7 t und 20 t Schub- und Zugkraft, da diese Anlagen für Standardaufgaben der Leitungsverlegung im Wohnstraßen- und Innenstadtstraßenbereich sehr gut dimensioniert sind. Kleinere Anlagen dienen häufig längeren Hausanschlüssen oder Einsätzen in sehr beengten Verhältnissen, während die größeren Anlagen häufige Aufgaben im Dükerbau, im großer dimensionierten Leitungsbaus, in der Umwelt- und Geotechnik, im Grundbau sowie im Pipeline- und Abwasserrohrbau erfahren. Die Auswahl des für die jeweilige Bauaufgabe optimalen Gerätes wird eine Fachfirma in der Regel immer in Rücksprache mit dem Kunden treffen.

## 2.4 Qualifizierte Durchführung des grabenlosen Leitungsbaus

Nach Formulierung der Bauaufgabe, nach geologischer und eventuell nach georadar-technischer Trassenerkundung und nach Bohrgeräteauswahl gilt es die eigentliche Bauaufgabe durchzuführen. Damit diese Aufgabe auch den künftigen Anforderungen eines Qualitätsmanagements nach ISO 9000 entspricht, werden alle Projektierungs- und Bauausführungsphasen dargestellt und danach in ihrem Umfang beschrieben:

1. Projektierungsphase (Bestandsplaneinholung, Trassenerkundung, Erörterung unterirdischer Hindernisse, Detailfestlegung der Trasse)
2. Verlegeproduktkontrollphase
3. Maschinenkontrollphase
4. Bauausführungsphase (Start- und Zielgrubenöffnung, Vortriebsphase, Sicherheitsabstandsüberwachung, Trassenmarkierung, Schweißen des Verlegeproduktes, Aufweit- und Einzugsphase des Verlegeproduktes, Verschließen der Gruben, Säuberung der Baustelle)
5. Nachbereitungsphase (Einmessen der Leitung, Produktrohr-Rückstellprobe, Abnahmeprotokolle) und Dokumentation

In den einzelnen Projektphasen ist an folgende Arbeitsschritte zu denken:

### 2.4.1 Projektierungsphase

- *Bestandsplaneinholung*: Beschaffung sämtlicher Fremdleitungspläne für die vom Kunden angefragte Trasse. Vergleich der projektierten Trasse des Kunden mit den anstehenden Untergrundverhältnissen durch Einsichtnahme in geologische, bodenkundliche und eventuell stadtgeschichtliche Kartenwerke. Falls vorhanden, Baugrundgutachten-Auswertung. Baustellenbesichtigung (eventuell gemeinsam mit dem Auftraggeber). Anwohnerbefragung hinsichtlich ehemaliger Bebauung oder unterirdischer Einfüllungen.
- *Geologisch-geophysikalische Trassenerkundung* (Kontrolle des vom Auftraggeber gestellten Baugrundgutachtens): Einsicht und Bewertung sämtlicher Fremdleitungspläne. Einholung von Sondiergenehmigungen. Geologische und eventuell geophysikalische Untersuchung der gesamten Trassenbandbreite durch geologische Umfelderkundung, Pürkhauer- und Rammkernsondierungen und eventuell Georadarmessungen. Erkundet wird die Bohrbarkeit, mögliche Bohrhindernisse (z. B. Felsen, Bebauungsreste, u. a.) sowie ggf. über Georadar die tatsächliche Lage von Fremdleitungen. Durch Vergleiche der Fremdleitungspläne mit den Georadar-Messergebnissen und den aufgefundenen Einbindepunkten der Leitungen kann die tatsächliche Lage der Leitungen auf der Straßenoberfläche markiert werden.

- *Erörterung unterirdischer Hindernisse, Detailfestlegung der Trasse:* Die Ergebnisse der geotechnischen Untergrunderkundung müssen mit den Vertretern der Auftraggeberseite eingehend diskutiert werden. Aus der Verknüpfung der Erkundungsergebnisse mit den versorgungstechnischen Parametern der Auftraggeberseite und den bohrtechnischen Kriterien der Auftragnehmerseite kann eine Detailfestlegung der Trasse getroffen werden. Aufgrund dieser Abstimmung können die Startgruben im Plan und auf der Straßenoberfläche angezeichnet werden. Ebenso wird die Verlegetiefe, die Über- oder Unterfahrung kreuzender Leitungen sowie deren Sicherheitsabstand, ein- und angezeichnet. Aufgrund der Detailfestlegung wird auch der zu einzusetzende Bohrgerätetyp, sein Bohrwerkzeug und seine bodenspezifische Bohrsuspension bestimmt.

#### **2.4.2 Verlegeprodukt-Kontrollphase**

- Bevor eine Anlieferung des Verlegeproduktes an die Baustelle erfolgt, sollten Qualitätszertifikate für das Leitungsmaterial vorliegen.
- Davon unabhängig sollte nach Anlieferung auf der Baustelle eine optische, bei Stahlrohren auch eine physikalische Kontrolle erfolgen. Bei schadhaftem Material durch Produktion oder Transport ist entweder eine abschnittsweise oder komplette Rückgabe zu veranlassen. Eine fotografische Schadensdokumentation ist in jedem Fall ratsam.
- Für die schnellstmögliche Anlieferung von Ersatzmaterial ist Sorge zu tragen.

#### **2.4.3 Maschinen-Kontrollphase**

- Die Verlegemaschinen sind täglich vor Baubeginn auf die Vollständigkeit ihrer Ausrüstung und auf ihren Wartungszustand zu überprüfen. Auch die Beleuchtungs- und Baustellensicherungsrichtungen sowie Maschinenverbrauchstoffe sind zu kontrollieren. Mit einer Maschinen-Checkliste lassen sich vor dem Transport der Maschinen zu ihrem Einsatzort alle wichtigen Parameter kontrollieren.
- Schon bei der Herstellung der Bohrmaschinen sollte auf europäische Standards, auf qualitätsgeprüfte Werkstoffe und Komponenten sowie eine Zertifizierung des Herstellers geachtet werden. Maschinen europäischer Bauart haben eine deutlich höhere Qualität, höheres Leistungsvermögen und eine wesentlich höhere Lebensdauer als z. B. Bohranlagen aus Übersee.

#### **2.4.4 Bauausführungsphase**

- *Start- und Zielgrubenöffnung, sonstiger Tiefbau:* Tiefbaufremdleistungen sollten von zertifizierten Unternehmen, möglichst mit DVGW-Zulassung, durchgeführt werden. Aushubarbeiten in Fremdleitungsnähe, sachgemäße Lagerung des Aushubs, Sicherung der Baugruben und deren Sauberkeit sind permanent überwachungsbedürftig.
- *Bohrvortriebsarbeiten:* Dieser Leistungspart liegt ausschließlich im Verantwortungsbereich des Horizontalbohrunternehmers. Vor dem Bohrbeginn ist eine Eichung der Ortungsinstrumente vorzunehmen und die Bohr- und Stützsuspension ist auf ihre baustellenoptimale Zusammensetzung zu überprüfen bzw. gegebenenfalls jetzt noch zu optimieren. Die Trassenerkundungsbefunde sind beim Bohrvortrieb permanent zu beachten, die vorgegebenen Sicherheitsabstände, z. B. zu querenden

Fremdleitungen, sind permanent zu berücksichtigen. Unvorhergesehene Änderungsnotwendigkeiten sind nur nach zumindest fernmündlicher Rücksprache mit dem Auftraggeber durchführbar, sofern nicht im Vorhinein mögliche Alternativen vereinbart wurden. Während der Bohrung sind Bohrverlaufsmarkierungen auf der Straße/Oberfläche sowie eine exakte Dokumentation im Messprotokoll (Bohrprotokoll) vorzunehmen. Beim Austritt des Bohrkopfes in der Zielgrube ist auf rechtzeitiges Abschalten der Hochdruckdüsen zu achten.

- *Schweißen des Verlegeproduktes:* Schweißarbeiten an Produktrohren sind grundsätzlich nur von zugelassenen Fachfirmen (DVGW-Bescheinigung) oder von speziell ausgebildeten und DVGW-geprüften Mitarbeitern auszuführen. Nur bei Leitungen, die nicht der Versorgung dienen, sind Ausnahmen möglich. Alle Schweißarbeiten müssen von einem Schweißingenieur oder einer anerkannten Schweißfachkraft auf der Baustelle geleitet werden. Von allen Schweißungen sind Schweißparameterprotokolle zu erstellen (geschieht in der Regel durch Protokollplotter am Schweißgerät) und nachtragessicher aufzubewahren.
- *Aufweit- und Einzugsphase* des Verlegeproduktes: Auch dieser Leistungspart liegt vollständig im Verantwortungsbereich des grabenlosen Leitungsverlegers. Auch hier ist vor Arbeitsstart eine Bohr- und Stützsuspensionskontrolle erforderlich. Entsprechend dem gewünschten Leitungsquerschnitt ist die Pilotbohrstrecke im Rückwärtsgang ein- oder mehrfach aufzuweiten, wobei beim letzten Aufweit- bzw. Räumvorgang der Produktrohreinzug erfolgt. Auf eine nicht verkehrsbeeinträchtigende Auslegung des Produktrohres vor dem Einzug ist zu achten. Der Rohreinzug selbst hat nahezu reibungsfrei zu geschehen, Gleitrollen und Umlenkrollen müssen versatzfrei und einzugs optimal installiert sein. Vom komplett durchgezogenen Rohr ist das Rohranfangsstück als Rückstellprobe zu bergen. Eine Entsorgung des Bohrspülgutes aus den Start- und Zielgruben hat durch Fachfirmen mit Entsorgungsnachweis zu erfolgen. Die Gruben selbst sind vom Spülgut zu reinigen. Die für die Aufweitbohrung verwendeten Werkzeuge sind auf Abrieb und Verschleiß zu kontrollieren. Von Zeit zu Zeit bedürfen sie einer technischen Überholung.
- *Verschließen der Gruben, Säuberung der Baustelle:* Für diese Tiefbaufremdleistung sollte das Unternehmen tätig sein, das auch die Öffnung der Gruben vorgenommen hat. Dies gebieten Qualitätssicherungs- und Haftungsgründe. Beim Wiedereinbau von Erdaushub (falls geeignet) und Siebschutt sind in strenger Weise alle technischen Regeln einzuhalten, damit eventuelle spätere Schäden nicht der grabenlosen Technik zugeordnet werden können. Auf eine gute Säuberung der Baustelle ist ebenfalls zu achten, da optische Mankos sonst ebenfalls zu Lasten der grabenlosen Technik gereichen würden.

#### **2.4.5 Nachbereitungsphase**

- Im Anschluss zu den Bauarbeiten ist ein Einmessen der verlegten Leitung im System des Ver- oder Entsorgers oder der Landesvermessung erforderlich. Der tatsächlich erfolgte, nicht der projektierte, Bohrungsverlauf sind samt Tiefenprofildaten in einen Ausführungsplan einzuzeichnen (wenn möglich auf CAD). Ebenso sollte eine Archivierung aller Untersuchungsdaten erfolgen, einen Kopiensatz davon sollte dem Auftraggeber überreicht werden. Bei einer gemeinsamen Abschlussbegehung mit dem Kunden zur Erstellung des Aufmaßes und eines Abnahmeprotokolls sollten auch die Bohrprotokolle übergeben werden. Dem Auftraggeber sollte auch eine Produktrohr-Rückstellprobe überreicht werden.

## 2.5 Verlegbare Leitungsprodukte

Mit den Mini- und Midi-Horizontalbohranlagen lassen sich prinzipiell nahezu alle längskraftschlüssigen Leitungsprodukte verlegen. Dies sind insbesondere:

- Kommunikations-, Melde- und Steuerkabel
- Stromkabel
- Leerrohre aus Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)
- Dünnwandige Stahlrohrleitungen
- Wasserleitungen aus PE oder PP
- Erdgasleitungen aus PE-HD
- Flexible Fernwärmeleitungen mit maximalen Außendurchmessern von 220 mm
- Drainageleitungen mit geschlitzten, gelochten oder porösen Oberflächen bis 355 mm sowie Leitungsbündel mit max. sechs Leerrohren zu 50 mm bzw. fünf zu 63 mm
- Gussrohre mit längskraftschlüssigen Muffenverbindungen bis 144 mm AD.

Mit den großen Horizontalbohranlagen sind neben den oben genannten Leitungstypen auch folgende Leitungssorten verlegbar, wobei deren Länge und Außendurchmesser in Relation zur HDD-Gerätegröße steht. Für Mega-Rigs sind die unten genannten Durchmesser keine Obergrenze.

- Gussrohre mit längskraftschlüssigen Muffenverbindungen bis 842 mm Außendurchmesser
- Stahlrohre bis max. 820 mm Außendurchmesser
- Elastische Kunststoffrohre bis ca. 1400 mm Außendurchmesser
- Leitungsbündel mit zusammen max. 1400 mm
- Horizontale Brunnenfilterrohre
- Stahlstangen und Erdanker für bautechnische Unterfangarbeiten.

## 2.6 Vorteile der Horizontalbohrtechnik im Leitungsbau

Der markanteste Vorteil ist der Erhalt der Straßendecke als statisch/dynamisches Tragelement, da kein Leitungsgraben die Straße in physikalisch unterschiedlich reagierende Hälften trennt, sondern dank der unterirdischen Leitungsverlegung die Gewölbetragefunktion der Straßendecke und der darunterliegenden Tragschichten und des anstehenden Bodens vollkommen erhalten bleibt. Die Leitung kann kraftschlüssig eingebettet werden. Sie kann sogar allseitig gleichmäßig kraftschlüssig eingebettet werden, da das Bettungsmedium in der Regel quellfähige Tone (Bentonite) sind, deren Nachquellverhalten in jedem Umgebungsbereich der Leitung (oberhalb, seitlich, unterhalb) für eine gleichmäßige sanfte „Einspannung“ sorgt. Punktuelle Belastungen können bei fachlich richtiger Leitungseinbettung in der unmittelbaren Leitungsumgebung ausgangsmäßig nicht auftreten. Die grabenlose Leitungsverlegung bietet bei richtigem Handling beste Voraussetzungen für eine hohe Lebensdauer der Leitung.

Der natürliche Aufbau des Bodengefüges oberhalb der unterirdisch verlegten Leitung bleibt in voller Weise erhalten. Ein sanft und statisch optimal in Röhrenform durchörterter, jedoch bodenmechanisch im Gefügeverbund erhaltener Untergrund sorgt für

gleichmäßig statische Lastverhältnisse über und um die Leitung herum, so dass punktuelle Auflasten, wie angesprochen, bei kraftschlüssiger Leitungseinbettung vollkommen entfallen. Die Leitung wird in einem runden Bohrloch verlegt. Die bodenmechanisch wirksamen Spannungen werden aufgrund der zylindrischen Geometrie des Bohrloches bzw. Mikrotunnels relativ ideal bogenförmig um den Zylinder herum abgeleitet, da auch eine sehr gute Gewölbetragswirkung des unverletzten Überbaus besteht. Die kraftschlüssige Verfüllung des Ringraumes zwischen Leitung und dem zylindrischen Hohlkörper sorgt für eine noch bessere Ableitung der bodenmechanischen Spannungslinie. Druck- und Zugspannung sind relativ ausgeglichen. Die Lastverhältnisse auf der Leitung sind bei vorschriftsmäßiger Überdeckung entscheidend geringer als bei einer in offener Bauweise verlegten Leitung.

Durch den Erhalt des natürlichen Bodenaufbaus wird nahezu kein Bodenaustausch erforderlich. Ein Abtransport von Bodenaushub entfällt bis auf geringe Mengen bei den Start- und Zielgruben. Gleichzeitig werden Sand-, Kies- und Brechmateriallagerstätten geschont, da im Gegensatz zur offenen Bauweise der Verbrauch dieser Ressourcen äußerst gering ist.

Da die Abfuhr von Erdaushub und der Antransport der genannten Ressourcen nahezu entfallen, werden hohe Verkehrs- und Lärmbelastigungen für die Anwohner vermieden, während andererseits Verkehrs- und Zufahrtsbehinderungen für die Anwohner nicht entstehen. Die weitgehend witterungsunabhängige Bauweise erlaubt zugleich hohe Arbeitsgeschwindigkeiten, so dass für die geschlossene Leitungsverlegung nur ein Bruchteil (zum Teil nur ein Viertel) der Zeit benötigt wird, wie sie die offene Bauweise erforderlich macht.

Die Leitungsverlegetiefe ist bei der geschlossenen Bauweise kein Kostenfaktor, da nur der Bohrvortrieb und die Bohraufweitung die Kosten bestimmen. Tief zu verlegende Leitungen sind mit der Horizontalbohrtechnik besonders kostengünstig herzustellen.

Unterquerungen von belebten Verkehrswegen (Straßen, Eisenbahnen, Wasserwege, Start- und Landebahnen) erfahren bei der Großbohrtechnik keinerlei und bei der Standardbohrtechnik nur sehr kurzzeitige und fast punktuelle Verkehrseinschränkungen während der Ortung des Pilotvortriebes. Da es sich hierbei um einen fortschreitenden Vorgang handelt, ist die Verkehrseinschränkung in der Regel auf wenige Minuten begrenzt.

In Hanglagen, bei denen eine konventionelle offene Leitungsverlegung einen besonderen Aufwand erforderlich macht, arbeitet die Horizontalbohrtechnik mit nahezu gleicher Vortriebsgeschwindigkeit wie im ebenen Gelände.

Unter wertvollen Anpflanzungen, in Parkanlagen, unter Alleebäumen oder Biotopen bringt das Horizontalbohrverfahren keinerlei Beeinträchtigungen für den pflanzlichen Bewuchs mit sich, da Wurzelkronen ohne Kostenmehraufwand jederzeit problemlos unterbohrt werden können. Gleiches gilt für Uferbepflanzungen bei Dükerungen.

Da der Bohrkopf von der Oberfläche aus über einen magnetfeldempfindlichen Sensor geortet und gesteuert werden kann, ist eine direkte Steuerung der Bohrungsbahn möglich. Damit ist ein flexibles Reagieren auf zu unter-/überfahrende Hindernisse gegeben, auch kann bereits im Boden befindlichen Leitungen (z. B. Wasser-, Gas-, Telefonleitungen), die eventuell nicht genau in der in Verlegeplänen angegebenen Tiefe und Position liegen, ausgewichen werden. Voraussetzung dazu ist die vorherige Ortung dieser schon im Boden befindlichen Leitungen. Für Stromleitungen verfügt der beim

HDD-Verfahren eingesetzte Bohrkopf über eine Art Warnsystem, das sich einschaltet, wenn der Bohrkopf zu nah an bereits verlegte Leitungen herangefahren wird.

Ein besonders deutlicher Vorteil, der beim direkten Vergleich zwischen offener und geschlossener Leitungsbauweise leider kaum eine Beachtung erfährt, ergibt sich erst bei langfristiger Betrachtung von Folgekosten jeglicher Art. Besonders bei der Oberflächenversiegelungen werden Folgeschäden vermieden, die gewöhnlich erst im zweiten oder dritten Jahr nach einer offenen Verlegung entstehen und dem Straßenlastträger, d. h. in der Regel der Kommune und den Kreisen, zu einer wirklichen Last werden. Gemeint sind Riss-, Aufbruch- und Setzungsschäden, die vor allem über den Randbereichen des ehemals offenen Grabens auftreten und aus unterschiedlichem physikalischem Verhalten zwischen altem, neuem und wiederum altem Oberflächeneinbau resultieren. Diese Folgekosten, die den Kommunen, Kreisen, Ländern oder öffentlichen Trägern als Straßenlastträgern anfallen, können bei Einsatz der Horizontalbohrtechnik eingespart werden.

Mit den Anlagen der horizontalen Großbohrtechnik sind zudem in besonders vorteilhafter Weise große Dükerbaumaßnahmen aber auch innerstädtische Rohrverlegungen größerer Dimension und größeren Rohrgewichtes verlegbar. Rohrprodukte aus schwerem Material (duktilen Guss, Stahl, dickwandigem PE oder PP) sowie Verlegestrecken in mehreren Metern Tiefe oder in schwerem oder gar felsigem Untergrund sind mit Großbohranlagen sehr vorteilhaft zu bewältigen und im Gegensatz zur offenen Bauweise sowohl bautechnisch als auch ökonomisch attraktiver. Gerade für Freigefälleleitungen im Abwasserbereich, die auch durch eine erhebliche Verlegetiefe geprägt sind, sind Verlegungen im HDD-Großbohrverfahren selbst noch in weniger dicht besiedelten Bereichen und selbst für neu zu erschließende Baugebiete attraktiv, da der technisch und ökologisch geringere Verlegeaufwand auch in der Regel einen finanziell geringen Aufwand bedingt.