Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich: Landschaftsarchitektur, Geoinformatik, Geodäsie und Bauingenieurwesen
Studiengang: Bauingenieurwesen

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur (FH) für Bauingenieurwesen

Beschreibung des HDD-Verfahrens als geschlossene Bauweise für Abwasserkanäle besonders hinsichtlich des ökologischen und ökonomischen Vergleichs zur Bauweise des offenen Grabens

---

vorgelegt von: Nicole Borchardt

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Volker Wagner
Prof. Dr.-Ing. Karl Mallwitz

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0071-2

eingereicht am: 30. Juli 2008

I. Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Werken wörtlich oder sinngemäß übernommenen Gedanken sind unter Angabe der Quellen gekennzeichnet. Ich versichere, dass ich bisher keine Prüfungsarbeit mit gleichem oder ähnlichem Thema bei einer Prüfungsbehörde oder anderen Hochschule vorgelegt habe.

Nicole Borchardt

Neubrandenburg, im Juli 2008

II. Aufgabenstellung

„Beschreibung des HDD-Verfahrens als geschlossene Bauweise für Abwasserkanäle besonders hinsichtlich des ökologischen und ökonomischen Vergleichs zur Bauweise des offenen Grabens“

Die steuerbare Horizontalbohrtechnik hat in den letzten Jahren einen enormen Technologiesprung besonders im grabenlosen Leitungsbau gezeigt. Die Horizontalbohrtechnik, auch HDD (horizontal directional drilling) -Technik genannt, ist ein steuerbares, sanftes und umweltschonendes Nassbohrverfahren. Hier wird nicht in konventioneller mechanischer Weise der Böden durchörtert, sondern mit dünnen, scharfen, gesteinslösenden Wasserstrahlen bzw. Suspensionsstrahlen gebohrt.

In dieser Diplomarbeit sollen alle heutigen HDD-Verfahren mit ihrer Technik und ihrer Geräteschaft vorgestellt werden.
Auch soll ein Überblick über die Baugrundkenntnisse als Voraussetzung für den erfolgreichen Bohrvorgang gegeben werden.
Es soll ein Vergleich auf ökologischer und ökonomischer Grundlage zwischen der offenen Grabenbauweise und der geschlossenen Bauweise mit HDD geführt werden.
Weiter sollen die theoretischen Ansätze mit einem Anwendungsbeispiel aus der Praxis veranschaulicht werden.

III. Inhaltsverzeichnis

I. Eidesstattliche Erklärung I
II. Aufgabenstellung II
III. Inhaltsverzeichnis III
IV. Danksagung V

1 Einleitung 1
2 Stand der Technik 2
2.1 DIN-Normen 2
2.2 Richtlinien und Empfehlungen 2
3 Einordnung in das Gebiet geschlossener Bauweisen 4
4 HDD – Horizontal Directional Drilling 5
4.1 Beschreibung des Bohrens 5
4.2 Aufbau der Maschinen 6
4.2.1 Hauptkomponenten 6
4.2.2 Bohranlage 7
4.2.3 Bohrflüssigkeitsmisch- und Recyclinganlage 8
4.2.4 Bohrstrang 9
4.3 Ortung und Steuerung 11
4.3.1 Ortung des Bohrkopfes 11
4.3.2 Walk-Over-Verfahren 12
4.3.3 Wire-Line-Verfahren 13
4.3.4 Kreiselkompass 14
4.3.5 Vergleich der Ortungs- und Steuerungsverfahren 15
4.4 Rohrmaterialien 16
4.4.1 Auswahlkriterien 16
4.4.2 Rohre aus Stahl 16
4.4.3 Rohre aus duktilem Gusseisen 17
4.4.4 Rohre aus Polyethylen 18
4.4.5 Zusammenfassung Rohrmaterialien 20
4.5 Bohrspülung 20
4.5.1 Zusammensetzung der Bohrspülung 20
4.5.2 Aufgaben der Bohrspülung 21
4.6 Einsatz von Maschinen und Geräten 24
4.6.1 in Abhängigkeit vom Boden 24
4.6.2 in Abhängigkeit vom Medium (Abwasser) 26
4.7 Leistung 26
4.7.1 Einteilung der Maschinen 26
4.7.2 Einflussfaktoren auf die Leistung 26
4.7.3 Leistungsgrenzen 28
4.8 Störungen, Probleme und deren Behebung 31
4.8.1 Hindernisse 31
4.8.2 Verlust der Bohrspülung 31

4.8.3 Einsturz des Bohrlochs 32
4.8.4 Festwerden der Rohrleitung 33
4.8.5 Technische Defekte 34
5 Wirtschaftlichkeitsvergleich 35
6 Beispielbaustelle 38
7 Zusammenfassung 42
8 Ausblick 43

V. Schrifttum VI
VI. Abbildungsverzeichnis X
VII. Tabellenverzeichnis XI
VIII. Abkürzungsverzeichnis XII
IX. Anlagenverzeichnis XIII

IV. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Für die Bereitstellung des Diplomarbeitsthemas möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. V. Wagner danken, der mir als Betreuer zur Seite stand. Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Mallwitz für die hilfreichen Auskünfte und Hinweise.

Mein besonderer Dank gebührt Herr Dr. Kögler, der mir zahlreiche wissenschaftliche Ratschläge gab und damit stets zur Verbesserung dieser Arbeit beitrug. Des Weiteren danke ich an dieser Stelle den Firmen Herrenknecht sowie Bohlen & Doyen, dort insbesondere Herr Schnau und Herr Gutsche, für die Zusammenarbeit und Bereitstellung der erforderlichen Daten.

Auf diesem Wege möchte ich mich auch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir während des gesamten Studiums und gerade in der letzten Zeit viel Rücksicht und Verständnis entgegen brachten.

1 Einleitung

Die Anfänge der horizontalen Bohrungen liegen im deutschen Steinkohlebergbau. Mit Hilfe dieser Bohrungen sollte das in der Kohle enthaltene Methangas freigesetzt werden. Bei der Erschließung von Öl- und Gasfeldern gab es abermals Bedarf an horizontalen Bohrungen, die jedoch ablenkbar sein mussten. Die wachsende Infrastruktur unserer Siedlungsgebiete führte schließlich zu einer enormen Nachfrage zur grabenlosen Verlegung von Leitungen. Somit entwickelten sich in den 70er Jahren in den USA erste Vorläufer des heutigen HDD[1]-Verfahrens. Schon 1972 konnte, damals noch mit einer Vertikalbohranlage, ein Fluss unterquert werden. Der Bau einer Horizontalbohranlage für den oberflächennahen Einsatz glückte einige Jahre später. In Europa wurde die erste HDD-Bohrung Mitte der 80er Jahre durchgeführt. Dieses Ereignis fand auf dem Gelände des Forschungszentrums in Karlsruhe statt. Mit Beginn der 90er Jahre gründeten sich in Deutschland mehrere HDD-Firmen; eine erste Fachtagung zum gesteuerten Bohren fand statt. Im selben Jahrzehnt gründete sich der Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V., kurz DCA[2], welcher ein erstes Handbuch zur HDD-Anwendung in deutscher Sprache herausbrachte.[3]

Einer fortwährenden Forschung und Entwicklung ist es zu verdanken, dass sich das gesteuerte Horizontalbohren im Bauwesen etablierte und uns die heutigen Möglichkeiten bietet. Inhalt dieser Arbeit ist sowohl die Erläuterung dieser unter verschiedenen Randbedingungen gegebenen Möglichkeiten des HDD-Verfahrens als auch der Vergleich zur konventionellen offenen Bauweise.[4]

[1] HDD: Horizontal Directional Drilling, d. h. steuerbares Horizontalbohren [Vgl. Bayer (2005) S. 13]
[2] DCA: Drilling Contractors Association [Vgl. DCA Internet (1)]
[3] Vgl. Elbe (2003) S. 3 und Bayer (2005) S. 14ff
[4] Vgl. Bayer (2005) S. 17

2 Stand der Technik

2.1 DIN-Normen

Speziell zum HDD-Verfahren existiert bisher keine deutschsprachige Norm. Als Ergänzung zur DIN EN 1610, welche die offene Bauweise behandelt, wurde jedoch eine Norm zur grabenlosen Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen (DIN EN 12889) erstellt. Da es für HDD-Maschinen spezielle Anforderungen hinsichtlich der Bohrgeräte und des sicheren Umgangs mit ihnen gibt, sei hier auch die DIN EN 791 (Bohrgeräte Sicherheit) erwähnt, die diesen Punkt aufgreift. Eine einführende Terminologie zu HDD-Maschinen hingegen besteht in der internationalen Norm ISO 21467 (Earth-moving machinery Horizontal Directional Drills Terminology and specifications), welche bisher auf Englisch und Französisch erschienen ist. Hinsichtlich der Vertragsbedingungen gelten die in der VOB/C enthaltenen Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Erdarbeiten (DIN 18300) und für Rohrvortriebsarbeiten (DIN 18319).
Da der Leitungsbau häufig mit dem Erd- und Grundbau gekoppelt ist, gelten auch für das HDD-Verfahren verschiedene Normen bezüglich des Baugrundes, u. a. sind das Normen zur Bodenklassifizierung (ISO 14688-2 und DIN 18196), geotechnischen Untersuchungen (DIN 4020), Baugrunderkundungen und aufschlüssen (DIN 4094, DIN 4021).[5]

2.2 Richtlinien und Empfehlungen

Für die Sicherstellung eines hohen Qualitätsstandards bei der Verfahrensdurchführung von HDD-Projekten wurde von Seiten des Verbandes Güteschutz Horizontalbohrungen e. V. (DCA) bereits im Jahre 1995 eine Grundlagenrichtlinie erstellt, die erste deutsche Richtlinie zu diesem Thema. Der DCA wurde im Dezember 1994 von führenden Unternehmen der Horizontalbohrbranche als europäischer Verband gegründet. Die Ziele des Verbandes sind u. a. die Förderung der Weiterentwicklung der HDD-Technik entsprechend den praktischen Anforderungen, die Verbesserung der Lobby der HDD-Industrie sowie eine verbesserte Vertretung der technischen Belange gegenüber Auftraggebern und Behörden. Aus- und Weiterbildungen der Mitglieder dienen ebenso wie die Unterstützung junger Menschen an Hochschulen der erhöhten Qualifizierung der zukünftigen Mitarbeiter von HDD-Projekten. Zudem versucht der DCA eine Vereinfachung

[5] Vgl. Fraunhofer IRB ; ISO; DIN 18300 und DIN 18319

von Genehmigungsverfahren durchzusetzen und eine Plattform für den ständigen Austausch von Informationen und Erfahrungen zu schaffen. Vorgenannte Technische Richtlinie des DCA soll dazu beitragen, die Qualität von HDD-Projekten zu fördern und weiterzuentwickeln. Sie ist die umfangreichste und grundlegendste Richtlinie hinsichtlich Horizontalbohrverfahren und dient seit ihrer ersten Veröffentlichung in der Branche als Grundlage bei der Planung, Ausführung und Dokumentation.[6]

Des Weiteren existieren für spezifische Probleme einige Informationshefte von der German Society for Trenchless Technology e. V. (GSTT). Diese behandeln sowohl den Kostenvergleich zwischen geschlossener und offener Bauweise (Information Nr. 11), die Anforderungen an Planung, Ausschreibung und Vorbereitung der Bauarbeiten von grabenlosen Unterquerungen (Information Nr. 5) als auch die Weiterbildung zu Geräteführern für HDD (Information Nr. 15). Ebenso hat sich die Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) mit dem Thema HDD auseinandergesetzt. Hier existieren u. a. Richtlinien für steuerbare horizontale Spülbohrverfahren (GW 321), zum Rohrvortrieb und verwandten Verfahren (GW 304), zu Qualitätskriterien für Rohrleitungsbauunternehmen (GW 301), zu grabenlosen Bauweisen (GW 325) und zur Verwendung von Spülungszusätzen (W 116).

[6] Vgl. DCA Internet (2)

3 Einordnung in das Gebiet geschlossener Bauweisen

Die konventionelle Bauweise des Leitungsbaus ist die offene Bauweise. Dort, wo die Leitung verlegt werden soll, wird ein Graben mit entsprechendem Verbau bzw. Böschungen hergestellt. Anschließend wird die Leitung auf einer vorher eingebrachten Bettung verlegt und der Graben wieder verfüllt. Die halboffene Bauweise ist hingegen eine Mischung aus offener und geschlossener Bauweise. Vor dem Rohr, welches von einem Startschacht aus vorgepresst wird, erfolgt von der Geländeoberfläche aus der Bodenabbau. Der auszuhebende Schlitz ist dabei deutlich schmaler als der Rohrdurchmesser, was einen deutlich geringeren Aushub im Vergleich zur offenen Bauweise mit sich bringt. Der Wegfall der Rohrbettung sowie der seitlichen Verfüllung und Verdichtung sind weitere Vorteile. Im Gegensatz zur offenen Bauweise ist für die Leitungsverlegung in geschlossener Bauweise kein Graben erforderlich, weshalb sie auch als grabenlose Bauweise bezeichnet wird. Die Leitung wird in der Regel unter Tage verlegt, sei es durch Rohrvortrieb, HDD-Verfahren, Mikrotunnelbau oder ein anderes Verfahren. Hierzu sind oft nur Start- und Zielbaugrube sowie die dazugehörige Baustelleneinrichtung notwendig. Ein Vorteil ist in jedem Fall der sehr geringe Bodenaushub sowie die zerstörungsfreie Unterquerung des Geländes. [7]

Eine Möglichkeit des grabenlosen Leitungsbaus stellt das HDD-Verfahren dar. HDD ist die Abkürzung für Horizontal Directional Drilling und bedeutet soviel wie oberflächennahes, steuerbares Horizontalbohren. Dieses Verfahren ermöglicht eine grabenlose Verlegung von Leitungen und Kabeln und somit die Unterquerung von Oberflächen und Gewässern. Überdies ist mit diesem Verfahren eine Aufweitung bereits erzeugter Bohrlöcher möglich. Bodenverbesserungsmaßnahmen und die Erschließung von Lagerstätten und Rohstoffvorkommen in der Erdkruste werden ebenfalls immer häufiger in diesem Verfahren ausgeführt. Zum Einsatz kommen dabei u. a. mobile Bohranlagen, 3D-Ortungs- und Steuerungsmöglichkeiten und Spülbohrtechnik.[8]

[7] Vgl. FSB (1999) S. 111f; DVGW (2007) S. 27 und Stein (2003) S. 123
[8] Vgl. Bayer (2005) S. 13 und Fengler (1998) S. 1

4 HDD – Horizontal Directional Drilling

4.1 Beschreibung des Bohrens

Der Bohrvorgang unterteilt sich in drei Phasen; die Pilotbohrung, die Aufweitung des Bohrloches und das Einziehen des Produktrohres. Die Bohrachse verläuft in der Regel bananenförmig unter dem zu unterbohrenden Gebiet.

Der Bohrprozess setzt mit der Pilotbohrung ein (**Abb. 1**). Diese beginnt in einer Startbaugrube und endet in einer vorgegebenen Zielbaugrube. Bei der Pilotbohrung laufen drei Prozesse gleichzeitig ab. Das Bohrgestänge wird eingebracht und die Bohrachse somit festgelegt. Gleichzeitig wird der Boden abgebaut. Dies kann hydromechanisch mit der Spülung oder mechanisch mit entsprechendem Bohrkopf erfolgen. Zeitgleich findet über einen eingebauten Sender die Datenübertragung zum Bohrmeister statt.

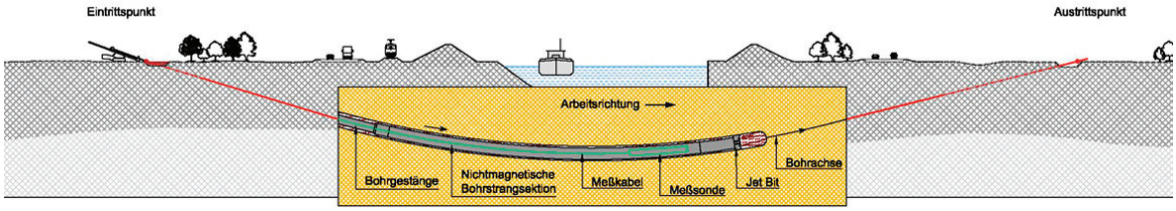


Abb. 1: Pilotbohrung [DCA (2000) Anhang, Abb. 4]

Ist der Bohrkopf in der Zielbaugrube angelangt, wird er vom Bohrgestänge abgeschraubt und stattdessen ein Aufweitkopf, ein so genannter Reamer, angebracht. Damit beginnt die zweite Phase des Bohrvorgangs (**Abb. 2**). Im Rückwärtsgang wird das Gestänge mit dem Reamer durch das Bohrloch gezogen. Der Reamer rotiert und spült währenddessen und erweitert so das Bohrloch. Bei sehr großen Durchmessern und schwierigen geologischen Untergrundverhältnissen können mehrere Aufweitvorgänge notwendig sein.[9]

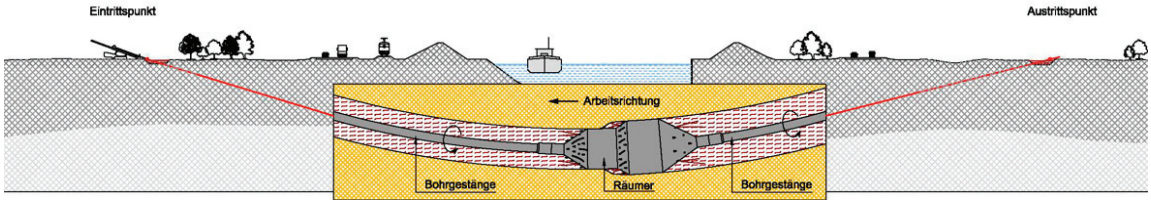


Abb. 2: Räumvorgang [DCA (2000) Anhang, Abb. 4]

Der Einzug des Rohres ist in der Regel mit der letzten Aufweitung gekoppelt. Dabei wird das Rohr direkt hinter dem Aufweitkopf eingehängt. Über Drehwinkel ist eine Einziehvorrichtung, welche dem Rohreinzug dient, mit dem Aufweitkopf verbunden. Beim

[9] Vgl. Bayer (2005) S. 21f; Fengler (1998) S. 4f und Borchardt Aktennotiz (4)

Einziehen des Produktrohres (**Abb. 3**) in das vorbereitete Bohrloch ist zu beachten, dass das Bohrloch größer sein sollte als der Rohraußendurchmesser. In diesem Zwischenraum muss genügend Platz für Bentonit und Bohrklein sein, um eine kraftschlüssige Leitungseinbettung zu gewährleisten.

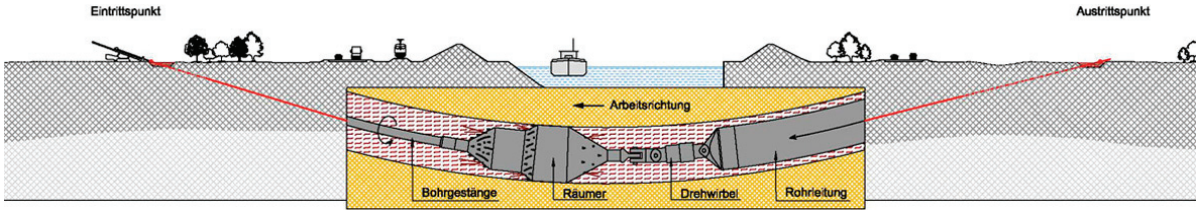


Abb. 3: Einziehvorgang [DCA (2000) Anhang, Abb. 4]

In allen Phasen muss der Kreislauf der Bohrspülung gegeben sein. Die zur hydromechanischen Lösung des Bodens verwendete Spülung wird zusammen mit dem abgetragenen Boden aus dem Bohrloch transportiert, während die frische Spülung durch das Bohrgestänge zum Bohrkopf gepumpt wird.[10]

4.2 Aufbau der Maschinen

4.2.1 Hauptkomponenten

Ein Horizontalbohrsystem besteht in der Regel aus einer Bohranlage, einer Bohrflüssigkeitsmischanlage, dem Bohrstrang, der Steuerungs- und Ortungstechnik, einer Transport- und Versorgungseinrichtung sowie optional einer Recyclinganlage.[11]

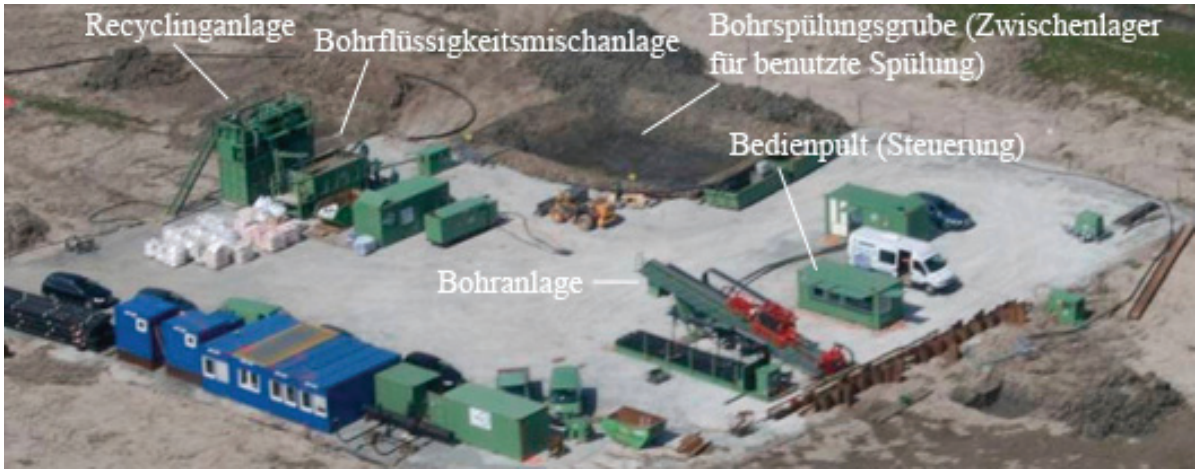


Abb. 4: Startbaugrube mit Hauptkomponenten eines Horizontalsystems [Vgl. Schnau (2008)]

[10] Vgl. Bayer (2005) S. 21 und Fengler (1998) S. 5
[11] Vgl. Bayer (2005) S. 50

4.2.2 Bohranlage

Die Bohranlage ist das Herzstück des gesamten Bohrvorgangs. Durch diese Anlage werden die Kräfte und Drehmomente auf den Bohrstrang übertragen. Bohranlagen können entweder selbstfahrende Arbeitsgeräte oder auf die Erde gestellte Geräte sein; oft stehen sie auf einem Stützgerüst. Die Bohranlage (**Abb. 5**) besteht ebenfalls aus mehreren Teilstücken; die wichtigsten sind Bohrlafette, Klemm- und Lösevorrichtungen, optional ein Schlagwerk, Hydraulikstation, Bedienpult und Sicherheitseinrichtungen.

Die Bohrlafette besteht aus einem Fahrwerk mit Motor für den Fahrbetrieb sowie einem integrierten Hydraulikantrieb für den eigentlichen Bohrbetrieb. Das Unterteil der Bohrlafette stellt lediglich das Fahrwerk dar, das für die Standsicherheit der Bohranlage sorgt, die durch Gummiketten und Stützschilder zusätzlich erhöht werden kann.[12]



Abb. 5: Bohranlage [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

Das Oberteil der Bohrlafette ist der so genannte Bohrschlitten. Mit diesem werden die Kräfte auf das Bohrgestänge übertragen, welches rotiert und im Bohrschlitten geführt wird. Am neigungstiefsten Bereich der Lafette gibt es eine Klemm- und Lösevorrichtung, welche das Gestänge während der Verschraubung festhält. Das so genannte Schlagwerk ist bei kleineren Bohrgeräten für Festgesteinsbohrungen einsetzbar und Grundodrill-Bohranlagen eigen. Es ist am Bohrschlitten angebracht und kann bei Bedarf zugeschaltet werden, was vor allem bei sehr rolligen oder steinigen Böden oder Hindernissen der Fall ist. Treten während der Pilotbohrung unerwartete Hindernisse auf, können diese mit Hilfe der eingeleiteten dynamischen Kraft des Schlagwerkes überwunden werden. Dabei schlägt ein Hammer auf das Gestänge und unterstützt somit den statischen Vortrieb, wobei die hohe Belastung auf Bohrstrang und Vermessungseinheit berücksichtigt werden muss. Das Schlagwerk ist ein zusätzliches Kraftpotenzial während des Bohrvorgangs. Die Schlagzahl kann den Bodenverhältnissen angepasst werden. Der Wirkungsgrad lässt jedoch ab ca.

[12] Vgl. Bayer (2005) S. 50f

70 bis 80 m Bohrlänge nach, weshalb ein Einsatz lediglich bei kurzen Bohrungen effektiv ist. Für den eigentlichen Bohrbetrieb ist die Hydraulikstation verantwortlich. Sie beinhaltet besonders schallgedämpfte und leistungsstarke Antriebsmotoren, meist Dieselmotoren. Kolbenpumpen fördern die notwendige Ölmenge und sorgen somit für die hydraulische Leistung. [13]

Das Bedienpult ist, zumindest bei Großbohranlagen, ein eigener Container. In diesem sitzt der Bohrmeister und steuert die Bohrung (**Abb. 6**). Dazu sind alle Steuerungs- und Überwachungsfunktionen im Container angezeigt und von dort regelbar. Für diese Aufgabe sind ein gewisses Fingerspitzengefühl und einige Weiterbildungen notwendig.[14]



Abb. 6: Bedienpult mit Anzeigen und Joysticks [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

Sicherheitseinrichtungen haben meist keine vorteilhafte Wirkung auf den eigentlichen Vorgang. Anders verhält es sich bei den integralen Sicherheitsvorrichtungen in der HDD-Gerätetechnik. Ein Stromschlagwarngerät löst bei Annäherung an eine Stromleitung einen Alarm aus. Zudem gibt es maschinenspezifische Schutzeinrichtungen, Erdungsmatten, Erdungsvorrichtungen an den Erdankern sowie spezielle Sicherheitsschuhe und -handschuhe für die Mitarbeiter.[15]

4.2.3 Bohrflüssigkeitsmisch- und Recyclinganlage

Meist befindet sich die Mischanlage in separaten Versorgungsfahrzeugen, bei kleineren Geräten ist sie häufig in der Bohranlage selbst platziert. Die Bohrspülung dient in erster Linie der Bohrlochstützung und der Austragung des Bohrkleins. Zudem reduziert die Spülung die Reibung des Bohrgestänges und kühlt das im Boden befindliche Bohrwerkzeug. Somit wird das Durchdringen des Bodens mit jeder Verbesserung der

[13] Vgl. Bayer (2005) S. 50f; Ullrich (1995) S. 374; Elbe (2003) S. 11 und Borchardt Aktennotiz (2)
[14] Vgl. Bayer (2005) S. 64 und Borchardt Aktennotiz (3)
[15] Vgl. Bayer (2005) S. 51f

Spülungseigenschaften leichter. Um Arbeitsunterbrechungen zu vermeiden, kommt häufig eine Mischanlage mit Zweikammersystem zum Einsatz. Während eine Kammer in Betrieb ist, wird in der zweiten eine neue Bohrspülung angemischt. Die Spülung enthält hauptsächlich Wasser und Bentonit[16]. Das Wasser kann aus einem Hydranten oder nahe liegendem Gewässer entnommen werden. Die stützende Funktion der Spülung bewirkt das Bentonit. Die Mischanlage selbst wird über die Hydraulikstation oder einen Stromaggregat angetrieben. Auf Grund der immer kürzer werdenden Quellzeiten für Bentonit und des kleinen und kompakten Aufbaus kommen für kleinere Geräte auch Durchlaufmischanlagen in Frage.[17]

Im Gegensatz dazu stellt die Mischanlage bei Großbohrungen oft eine eigene Transport- und Aufbaueinheit dar, in die die Recyclinganlage integriert ist. In der Recyclinganlage wird die verwendete Bohrspülung mit Siebsätzen und Zyklonen gereinigt und aufbereitet. Das Bohrklein kann hinterher auf einer Erdstoffdeponie entsorgt werden. Diese Variante ist auf Grund der hohen Spülungsmengen vor allem bei großen Bohranlagen ab 40 t eine wirtschaftliche Lösung, da somit sowohl Kosten als auch Transportfahrten eingespart werden können.[18]

4.2.4 Bohrstrang

Der Bohrstrang besteht aus dem Bohrgestänge und dem Bohrwerkzeug. Das Bohrgestänge dient der Kraftübertragung bis hin zum Bohr- bzw. Aufweitkopf. Zusätzlich wird durch den Innenhohlraum des Gestänges die Bohrspülung transportiert. Da die Hauptbelastung, eine große axiale Zugbelastung, während der Aufweitbohrung auftritt, sind HDD-Bohrgestänge in der Regel Zuggestänge. Trotzdem müssen sie vielen weiteren Belastungen standhalten wie dynamischen Druckbelastungen, dem Vorschub während der Pilotbohrung, der Torsion durch den Drehantrieb sowie der enormen Biegebelastung, die durch den bananenförmigen Bohrungsverlauf auftritt. Der Biegebelastung wird man mit speziellen Stahlqualitäten und beanspruchungsfähigem Gewinde gerecht. Das Gewinde ist meist konisch geformt; das Standardgewinde aus der Vertikalbohrtechnik hat sich bewährt.

[16] Bentonit: natürliche Mischung aus verschiedenen quellfähigen Tonmineralen [Vgl. Bayer (2005) S. 72]
[17] Vgl. Bayer (2005) S. 52, 54
[18] Vgl. Bayer (2005) S. 65 und Borchardt Aktennotiz (3)



Es ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmendem Gewindedurchmesser die Flexibilität nachlässt. Die Bohrstangen (**Abb. 7**) selbst werden häufig direkt neben der Bohranlage gelagert, um die Arbeitswege zu verkürzen, denn kurze Wege sparen Zeit und somit Kosten.[19]

Abb. 7: Bohrstangen [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

Bohrwerkzeuge werden eingeteilt in Werkzeuge für die Pilotbohrung und Werkzeuge für die Aufweitbohrung. Beiden gemein ist, dass sie sowohl dem Austritt der Bohrflüssigkeit als auch der mechanischen Zerkleinerung des Bodens bzw. Gesteins dienen. Bei der Pilotbohrung dient das Bohrwerkzeug zudem der Bohrlochfindung. Abhängig vom Boden werden verschiedene Werkzeuge eingesetzt. Somit gibt es Bohrköpfe für Lockergestein, die den Boden vorrangig hydromechanisch lösen und dem Bohrkleintransport dienen, oder aber Bohrköpfe für Fels. Letztere sind in der Regel Meißel, die es in verschiedenen Ausführungen gibt. Der Unterschied zu Bohrköpfen für Lockergestein leitet sich vor allem von der hohen Druckfestigkeit des Felsgesteins ab. Bohrköpfe für Fels werden somit auch bei groben Kiesen, Geröllen, Schutt, Findlingen und in Moränengebieten eingesetzt.[20]

Die Werkzeuge für die Aufweitbohrung dienen der Bohrlochvergrößerung und -glättung. Auf Grund der regionalen Bodenbedingungen und den sich daraus ergebenden Schneidegeschwindigkeiten und Bodenlösemaßnahmen sind acht verschiedene Grundformen an Aufweitwerkzeugen, so genannte Reamer, für Lockergestein entstanden. Diese Reamer benötigen alle einen zusätzlichen Verschleißschutz, z. B. Hartmetallbesatz, Schutzschweißnähte oder Oberflächenvergütungen. Aufweitwerkzeuge für Fels werden in der Regel als Hole Opener bezeichnet. Diese tragen das Gestein ausschließlich mechanisch ab. Die Düsen dienen somit nur noch dem Werkzeugantrieb und der Werkzeugkühlung. Um einen ruhigen Lauf zu erzielen und Querschwingungen zu vermeiden, benötigen Hole Opener und große Barrelreamer[21] (**Abb. 8**) häufig Stabilisatoren hinter den Aufweitwerkzeugen.[22]

[19] Vgl. Bayer (2005) S. 50, 55f und Borchardt Aktennotiz (3)
[20] Vgl. Bayer (2005) S. 57ff und DCA (2000) S. 45f
[21] Barrelreamer: Fassräumer, tonnenförmige Reamer mit Kegelabschlüssen [Vgl. Bayer (2005) S. 60]
[22] Vgl. Bayer (2005) S. 59f



Abb. 8: Barrelreamer mit Schutzschweißnähten [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

Für den Einziehvorgang gibt es kein spezielles Werkzeug. In der Regel wird dem einzuziehenden Rohrstrang ein Reamer vorgeschaltet. Dieser hat üblicherweise keinen Zahnbesatz und dient lediglich der Verminderung der Bohrlochrauhigkeit. Zwischen dem Reamer und der Einziehvorrichtung am Rohr gibt es so genannte Drehverbinder. Sie sind das Bindeelement zwischen Reamer und Ziehkopf und vermeiden infolge ihrer Drehgelenke eine Übertragung der Drehbewegung auf das Rohr. Dieser Abschnitt wird häufig mit einem Schutzrohr überdeckt, womit eine Störung anlässlich einer einfallenden Bohrlochwand verhindert wird.[23]

4.3 Ortung und Steuerung

4.3.1 Ortung des Bohrkopfes

Für den Bohrvorgang ist eine genaue Positionserfassung des Bohrkopfes notwenig. Dies geschieht mit Hilfe eines Senders oder gar Navigationssystems im Bohrkopf. Die Übertragung der Daten, wie Lage, Neigung und Stellung des Bohrkopfes, zum oberirdischen Empfangsgerät kann prinzipiell über zwei Wege erfolgen. Zum einen mit einem elektromagnetischen Feld durch das Erdreich, das so genannte Walk-Over-Verfahren, zum anderen mit einem Kabel, welches sich im Hohlraum des Gestänges befindet. Diese Vorgehensweise ist unter dem Wire-Line-Verfahren bekannt.[24]

Ortung und Steuerung sind verschiedene Vorgänge. Erst wenn der Bohrkopf geortet wurde, kann er gesteuert werden. Beides sind wesentliche Bestandteile der Pilotbohrung. Die Steuerung erfolgt dreidimensional. Der Bohrkopf rotiert und wird linear vorgetrieben. Dabei werden die Kräfte kontrolliert über das Bohrgestänge zum Bohrkopf übertragen. Für gezielte Richtungsänderungen setzt die Rotation aus, während der Bohrkopf orientiert und

[23] Vgl. Bayer (2005) S. 59ff
[24] Vgl. Bayer (2005) S. 62f

vorgeschoben wird. Um Abweichungen von der Sollachse gering zu halten, ist eine ständige Ortung und Kontrolle während der Bohrung notwenig. Diese Abweichungen können verschiedene Ursachen, wie etwa Zentrier- und Ablesefehler, aber auch Gerätefehler oder magnetische Interferenzen, haben.[25]

4.3.2 Walk-Over-Verfahren

Das Walk-Over-Verfahren wird vor allem bei kleineren Bohranlagen eingesetzt. Die unkomplizierte Handhabung und zügige Ortung sind vorteilhaft. Probleme treten in der Regel erst bei Bohrtiefen über etwa 10 m auf, da die darüber liegenden Bodenschichten die Übertragungsgenauigkeit beeinflussen. Auch Stahlstrukturen, wie Gleise oder Bewehrungen, können die Übertragung beeinträchtigen.[26]

Der im Bohrkopf befindliche Sender muss vor jedem Einsatz kalibriert werden, um eine frühzeitige Erkennung von Abweichungen der Ist- von der Sollachse zu gewährleisten. Er sendet Informationen über Lage, Tiefe, Azimuth[27], Inklination[28] und Temperatur an das Empfangsgerät. Um Absolutdaten zu erhalten, muss vor Bohrbeginn das Geländeprofil eingemessen werden. Mit Strom wird der Sender über Batterien oder Akkus versorgt. Obwohl Batterien nur ein begrenztes Energiepotenzial aufweisen, ist diese Variante der Versorgung per Stromkabel in den meisten Fällen vorzuziehen, da der Kabeleinbau sehr zeitaufwendig ist. Der Sender muss infolge seiner Empfindlichkeit in einer separaten Sende- und Batteriekammer im Bohrkopf untergebracht sein. Diese ist in besonderen Dämpfungselementen stoßsicher gelagert. Um eine einwandfreie Übertragung zu gewährleisten, befinden sich im Bohrkopf längliche, mit verschleißfestem Kunststoff vergossene Sendefenster. Es sind definierte Signalfenster, die somit zusätzlich einen Rückschluss auf Verrollung[29] zulassen.[30]

Damit das Empfangsgerät das Sendesignal orten kann, müssen beide auf derselben Frequenz arbeiten. Die maximale Signalstärke kann geortet werden, woraufhin der Ort direkt über dem Sender lokalisiert wird. Da die Signalstärke in Relation zur Tiefe steht, ist zudem eine Tiefenfeststellung möglich. Das Signal geht häufig schon per Funk vom

[25] Vgl. Bayer (2005) S. 62f und Fengler (1998) S. 74
[26] Vgl. Bayer (2005) S. 63 und Fengler (1998) S. 77
[27] Azimuth: Richtungswinkel = Winkel zwischen geografisch Nord und Bohrlochachse [Vgl. Bayer (2005) S. 64]
[28] Inklination: Neigungswinkel [Vgl. Bayer (2005) S. 64]
[29] Verrollung: Verdrehung um die Längsachse
[30] Vgl. Bayer (2005) S. 63 und Fengler (1998) S. 77, 79, 81

Receiver zum Bedienpult der HDD-Anlage. Dort kann es gespeichert werden, was einen direkten Vergleich mit den Solldaten ermöglicht. Da eine direkte Lokalisierung bei Überbauungen und starken Verkehrswegen problematisch ist, gibt es auch die Möglichkeit einer Ortung seitlich des Senders. Häufig wird das Walk-Over-Verfahren jedoch nur in begehbaren Bereichen angewandt.[31]

4.3.3 Wire-Line-Verfahren

Beim Wire-Line-Verfahren findet die Datenübertragung mittels Kabel statt. Dieses ist eine Spezialanfertigung, so dass es der hohen Spülungsgeschwindigkeit und dem Bohrklein standhält. Das Verfahren wird bei großen Tiefen und unter abschirmenden bzw. völlig unzugänglichen Bereichen angewendet, aber auch große Genauigkeiten in Tiefen von ca. 4 -10 m lassen sich mit dem Wire-Line-Verfahren besser realisieren. Nachteilig ist vor allem die sehr zeitaufwendige Installation des Kabels. Dabei muss jede zugefügte Bohrstange bei der Pilotbohrung mit dem innenliegenden Kabel verbunden werden. Der Aufwand und die notwendige Kontrolle verursachen zudem zusätzliche Kosten. Ist das Kabel jedoch erst installiert, kann eine störunanfällige und übertragungssichere Datenübertragung gewährleistet werden.

Auf Grund des ohnehin schon vorhandenen Aufwands werden oft sehr präzise Ortungssysteme verwendet. Informationen hinsichtlich Inklination, Azimuth und Verrollung können während des Abbohrens der einzelnen Bohrstangen problemlos abgerufen werden. Beim Einbau einer neuen Stange muss das Kabel jedoch gelöst werden, was die Datenübertragung unterbricht. Die Azimuth-Messung wird oft über Magnetometer realisiert, welche sich nach dem magnetischen Nordpol richten. Dazu ist jedoch ein antimagnetischer Stahl für den Bohrkopf nötig, der kostenintensiv und belastungsempfindlich ist. Um wenigstens die Störungen im natürlichen Magnetfeld zu umgehen, werden oft künstliche Magnetfelder an der Erdoberfläche oder im Flussgrund mittels Kabelschleife ausgelegt. Sie kompensieren die Interferenzen oder dienen selbst zur magnetischen Orientierung. Messungen mit dem Wire-Line-Verfahren werden oft nur externen Experten anvertraut, was wiederum zusätzliche Kosten verursacht.[32]

[31] Vgl. Bayer (2005) S. 63f und Fengler (1998) S. 78f
[32] Vgl. Bayer (2005) S. 64 und Fengler (1998) S. 84, 85

4.3.4 Kreiselkompass

Da vor allem magnetische Störungen zu erheblichen Problemen bei vorgenannten Verfahren führen können, kommt zunehmend der Einsatz eines Kreiselkompasses in Betracht. Da dieser sich nach dem geographischen Nordpol richtet, arbeitet er unabhängig vom Magnetfeld der Erde. Zudem erhält man bei diesem Verfahren sehr präzise Ergebnisse. Nachteilig sind zum einen die Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen und zum anderen die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten. Obwohl momentan keine ausreichende Anzahl an Herstellern und qualifiziertem Personal zur Bedienung dieses Vermessungssystems existieren, ist der Einsatz von Kreiselkompassen in den letzten zwei bis drei Jahren gestiegen; eine Tendenz, die anhält.[33]

[33] Vgl. Fengler (1998) S. 93f; DCA (2000) S. 52f; Stein (2003) S. 935 und Borchardt Aktennotiz (4)

4.3.5 Vergleich der Ortungs- und Steuerungsverfahren

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Vermessungssysteme für das HDD-Verfahren [Fengler (1998) S.97, Abb. 83]

Verfahren →	A		B		C		D		E	
Parameter ↓	Walk-Over-Verfahren		A + externe Stromver-sorgung		Wire-Line-Verfahren, Vermessung anhand des Erdmagnet-feldes		C + künstlich erzeugtes Magnetfeld		Kreisel-gestütze Verfahren	
max. mögl. Einsatztiefe										
< 13 m	ja	+	ja	+	gut	++	gut	++	gut	++
< 25 m	nein	-	ja	+	gut	++	gut	++	gut	++
> 25 m	nein	-	nein	-	gut	++	Grenze	+	gut	++
Gelände über Bohrachse Zugänglichkeit gewährleistet										
immer	gut	++	gut	++	gut	++	gut	++	gut	++
zeitweise	mäßig	+	mäßig	+	gut	++	gut	++	gut	++
nie	nein	-	nein	-	gut	++	nein	-	gut	++
Einflüsse bei Dükerungen										
Schiffahrt	mäßig	+/-	mäßig	+/-	gut	++	mäßig	+/-	gut	++
keine Schiffahrt	mäßig	+	mäßig	+	gut	++	mäßig	+/-	gut	++
starke Fließgeschwindigeit	nein	-	nein	-	gut	++	mäßig	-	gut	++
Ferromagn. Störeinflüsse in Arbeitsbereichen										
keine/schwach	gut	++	gut	++	gut	++	gut	++	gut	++
einige/mittel	mäßig	+/-	mäßig	+/-	mäßig	+	gut	++	gut	++
viele/stark	nein	-	nein	-	nein	-	gut	++	gut	++
antimagn. Gestänge möglich	nicht nötig	+	nicht nötig	+	ja	+	ja	++	ja	++
antimagn. Gestänge nötig	nein	+	nein	+	ja	-	wenige r	+	nein	+
Zeitaufwand für Vermessung	gering	++	mäßig	+	mäßig	+	groß	-	groß	-
erfordl. Erfahrung des Personals	mäßig	+	mäßig	+	hoch	-	hoch	-	hoch	-
Genauigkeit	mäßig	+	mäßig	+	gut	++	besser	+++	sehr gut	++++ [93]
"Pannensicherheit"	mäßig	+	mäßig	+	mäßig	+	hoch	++	gut	+

4.4 Rohrmaterialien

4.4.1 Auswahlkriterien

Das Material des Produktrohres wird unter Berücksichtigung der Randbedingungen, u. a. Baugrund, Verlauf der Bohrachse, das Rohr durchfließende Medium, gewählt. Es können nahezu alle längskraftschlüssigen Leitungsprodukte verlegt werden, die gängigsten sind aus Stahl, duktilem[34] Gusseisen oder Polyethylen.[35]

4.4.2 Rohre aus Stahl

Die hohen mechanischen Anforderungen, die an das einzuziehende Rohr gestellt werden, erfüllen Stahlrohre im besonderen Maße. Sie sind mit ZM-Auskleidung, PE-Umhüllung und FZM-Ummantelung ausführbar. Stahlrohre können auf zwei Arten längskraftschlüssig miteinander verbunden werden; zum einen durch Stumpfschweißverbindungen und zum anderen durch Steckmuffenverbindungen. Der Vorteil der Schweißverbindungen liegt vorrangig in der Verwendbarkeit für alle Rohrdurchmesser und Einsatzgebiete. Bei Abwasserleitungen sind jedoch die Zusatzmaßnahmen, z. B. eine Nachauskleidung mit Zementmörtel, notwendig. Im Gegensatz dazu sind Steckmuffenverbindungen nicht für alle Nennweiten erhältlich und somit nicht immer eine universelle Verbindungsart. Vorteilhaft ist die Beweglichkeit der Verbindungen, welche gummigedichtet und bis ± 3° abwinkelbar sind und zudem eine axiale Verschiebung um ± 30 mm ermöglichen. Durch Schubsicherungsringe oder auch Klemmringe kann sowohl die Längskraftschlüssigkeit als auch die Übertragung von Biegemomenten gewährleistet werden.[36]

Bei Stahlrohren ist ein aktiver wie auch ein passiver Korrosionsschutz möglich. Man unterscheidet beim passiven Korrosionsschutz zwischen Umhüllungen, Ummantelungen und Auskleidungen. Während Auskleidungen vor innerer Korrosion schützen, ist eine Umhüllung i. d. R. eine werkseitig hergestellte elektrisch isolierte Beschichtung zum Schutz gegen Außenkorrosion. In diesem Bereich haben sich auf Grund der hohen chemischen Beständigkeit, des guten Haftvermögens in einem großen Temperaturbereich und des Dauerschutzes hinsichtlich kathodischer Unterwanderung PE-Umhüllungen durchgesetzt. Ihr Einsatz ist ferner in den meisten Bodenklassen möglich. Ummantelungen

[34] duktil: verformbar bzw. dehnbar, ohne dass das Material bricht oder splittert [Vgl. Microsoft Encarta, Suchbegriff: Verformbarkeit]
[35] Vgl. Bayer (2005) S. 26 und Fengler (1998) S. 185
[36] Vgl. Fengler (1998) S. 185ff

sind für den mechanischen Schutz der Umhüllungen notwendig. Die Anforderungen an sie werden durch die auftretenden Kräfte beim Einziehen der Rohre bestimmt. Häufig wird eine Kombination aus einer PE-Umhüllung und einer FZM-Ummantelung angewendet, wobei die Ummantelung eine Mindestdicke von 7 mm aufweist. Eine Möglichkeit der nachträglichen Umhüllung bieten hingegen glasfaserverstärkte Kunststoffmatten, die mit einem Epoxydharz mehrlagig um das Rohr gewickelt werden. Es ist zu beachten, dass ein durchgängiger passiver Korrosionsschutz erst gegeben ist, wenn alle korrosionsanfälligen Flächen, also auch die Rohrverbindungen, mit Schutzschichten versehen sind. Die Nachumhüllung der Rohrverbindungen erfolgt bauseitig. Dabei ist zu beachten, dass die Montage ein hohes Maß an Fachwissen und Sorgfalt erfordert. Bei Schweißnähten sind glasfaserverstärkte Epoxydharze gängig, bei Steckmuffenverbindungen hingegen ist ein wärmeschrumpfendes Material auf Grund der Durchmesseränderungen auf kurzer Wegstrecke von Vorteil.[37]

4.4.3 Rohre aus duktilem Gusseisen

Der Vorteil von gusseisernen Rohren liegt hauptsächlich in der schnellen Montage der Verbindungen. Dieser Vorgang erfordert nur wenige Minuten, wodurch das Risiko einer Verfestigung der Bohrsuspension entfällt. Da zudem immer nur das letzte Rohr in die Baugrube abgelassen wird, genügt eine kurze Baugrube. Mit den geeigneten Auskleidungen und Umhüllungen sind gusseiserne Rohre nahezu allen Betriebs- und Umgebungsbedingungen gewachsen. Ein weiterer Vorteil ist zweifellos die Kompatibilität mit den meisten Trinkwasser-Netzen.[38]

Die Verbindungen von Rohren aus duktilem Gusseisen werden unterteilt in automatische und mechanische Verbindungen. Bei automatischen Verbindungen werden keine zusätzlichen Bauteile benötigt, um die Dichtung zu komprimieren, da diese z. B. bei der häufig eingesetzten TYTON-Steckmuffenverbindung schon beim Einschieben des Einsteckendes in die Muffe komprimiert wird. Somit wird die Dichtheit gegen Wasser-Innendruck, Gas-Innendruck und äußeren Überdruck während der gesamten Nutzungsdauer und sogar unter außergewöhnlichen Belastungen gewährleistet. Bewegliche Steckmuffenverbindungen hingegen können keine Längskräfte übertragen, weshalb die auftretenden Kräfte in den Baugrund eingeleitet werden müssen. Das kann zum einen über

[37] Vgl. Fengler (1998) S. 191ff
[38] Vgl. Fengler (1998) S. 196, 202

Widerlager geschehen, zum anderen besteht die Möglichkeit einer zugfesten Verbindung, bei der mehrere Rohre miteinander verbunden werden. Bei letzterer Variante erhöht sich durch die größere Oberfläche auch die Mantelreibung, über welche die Kräfte in den Baugrund übertragen werden. Bei Verwendung zugfester Verbindungen müssen Vorkehrungen getroffen werden. Dementsprechend sollte der gesamte Rohrstrang ständig unter ausreichender Zugspannung stehen. Bei optimaler Vorbereitung reicht die Reibung, die beim Anfahren erzeugt wird, aus. Die drei häufigsten Konstruktionen zugfester Muffenverbindungen sind für kleine Nennweiten und Betriebsdrücke TYTON-SIT und für Nennweiten bis DN 1400 und sehr hohe Betriebsdrücke TKF und TIS-K. Die genauere Beschreibung der Wirkungsweise dieser Verbindungen führt unter dem Thema dieser Diplomarbeit zu weit und ist anderer Fachliteratur vorbehalten.[39]

Ein geeigneter Korrosionsschutz wird an Hand der Aggressivitätsstufe des Bodens zugewiesen. Da das Risiko einer Verletzung der Umhüllung gering ist, werden vorwiegend PE-Umhüllungen verwendet. In felsigen Böden hingegen ist auf Grund der mechanischen Widerstandfähigkeit eine glasfaserbewehrte ZM-Umhüllung vorzuziehen. Die Verbindungen werden mit wärmeschrumpfenden Manschetten geschützt.[40]

4.4.4 Rohre aus Polyethylen

PE-Rohre werden zum Verarbeiten erhitzt und kristallisieren beim Abkühlen. Die Kristallinität sowie die Dichte, die zwischen 0,91 und 0,96 kg/cm³ liegt, hängen dabei vom Herstellungsverfahren ab. Es ist zu beachten, dass mit zunehmender Dichte die Zugfestigkeit, das Elastizitätsmodul, die Härte und die Beständigkeit gegen Korrosion steigen, während die Schlagzähigkeit sowie der Widerstand gegen Spannungsrissbildung sinken. Ferner sind nur Polyethylene mit gleichem Schmelzindex verschweißbar. Es besteht für kleine Rohrdurchmesser zudem die Möglichkeit, vernetztes Polyethylen (PE-X) einzusetzen. Es weist gegenüber herkömmlichem PE einige Vorteile auf, u. a. höhere Temperaturbeständigkeit, verbessertes Langzeitverhalten, geringere Kerbempfindlichkeit und bessere Chemikalienbeständigkeit.[41]

[39] Vgl. Fengler (1998) S. 196ff
[40] Vgl. Fengler (1998) S. 201f
[41] Vgl. Fengler (1998) S. 206ff

PE-Rohre sind anfällig gegenüber Abriebserscheinungen. Diese können entweder mit einem aufextrudierten[42] Schutzmantel aus Polypropylen oder auf Grund der örtlichen Zulässigkeit von Kerben und Riefen mit der größten erhältlichen Wanddicke entkräftet werden.[43]

Die gängigste Verbindungsmethode von PE-Rohren ist das Schweißen. Dabei wird zwischen dem Heizelementstumpfschweißverfahren und dem in seltenen Fällen angewendeten Heizwendelmuffenschweißen unterschieden. Längskraftschlüssige Muffenverbindungen bieten zudem die Möglichkeit des Klemmens oder Steckens. Der Vorteil dieser Verbindung liegt in der Zeitersparnis bei der Montage, nachteilig ist einzig der erhöhte Platzbedarf im Bohrloch sowie die geringen Praxiserfahrungen mit dieser Methode. Einen großen Vorteil bei PE-Rohren bietet jedoch die Trommelware. Rohre mit kleinem Durchmesser können somit bis zu einer Länge von 2000 m verbindungslos verlegt werden.[44]

[42] aufextrudiert: durch so genannte Extrusion auf das Rohr aufgebracht; Extrusion ist ein Verfahren, bei dem Kunststoff durch eine Düse gepresst und dabei mittels Heizung und innerer Reibung aufgeschmolzen und homogenisiert wird. Beim Austritt aus der Düse erstarrt der Kunststoff. [Vgl. Wikipedia, Suchbegriff: Extrusion]

[43] Vgl. Fengler (1998) S. 215

[44] Vgl. Fengler (1998) S. 208, 213f

4.4.5 Zusammenfassung Rohrmaterialien

Tabelle 2: Vergleich von Stahlrohren, duktilen Gussrohren und PE-Rohren [Fengler (1998) S. 216, Abb. 154]

Einsatzparameter	Stahl		Duktiles Gußeisen		PE-Rohre	
Endlosstrang	ja	++	nein	-	ja	++
Einzelrohrlängen [m]	12 - 18 m	+	6 m	-	12-20 m	+
Muffenstöße	Schweißen	+	Steckver-bindung	-	Schweißen	+
Korrosion (innen)	ja	-	ja	-	nein	+
Korrosion (außen)	ja	-	ja	-	nein	+
Chemische Angriffe	kritisch	-	kritisch	-	unkritisch	+
Alterungsbeständigkeit	groß	++	groß	++	ausreichend	+
Isolierung erforderlich	ja	-	ja	-	nein	+
Zusätz. Schutz für Isolierung	ja	-	ja	-	nein	+
Große Biegeradien	ja	-	ja	-	ja	-
Kleine Biegeradien	nein	--	teilweise	-	ja	++
Flexibilität	gering	-	mittel	+	groß	++
Druckkräfte übertragbar	sehr gut	++	gut	+	teilweise	-
Zugkräfte übertragbar	sehr gut	++	teilweise	-	gut	+
Rohrbelastung vertikal	sehr hoch	++	sehr hoch	++	teilweise	-
Gefahr der Rißfortpflanzung	gering	+	gering	+	vorhanden	-
Maximaler Innendruck	PN 70 und mehr	++	PN 40	+	PN 16	+
Lieferfristen	lang	--	lang	--	lang	--
Max. Wanddicke für z.B. DN 300 [mm]	20	++	8	+	43,5	++
Preis [44]	hoch	-	hoch	-	gering	+
Lieferbare Durchmesser	DN 40 - DN 2000	++	DN 40 - DN 2000	++	DN 20 - DN 1200	+

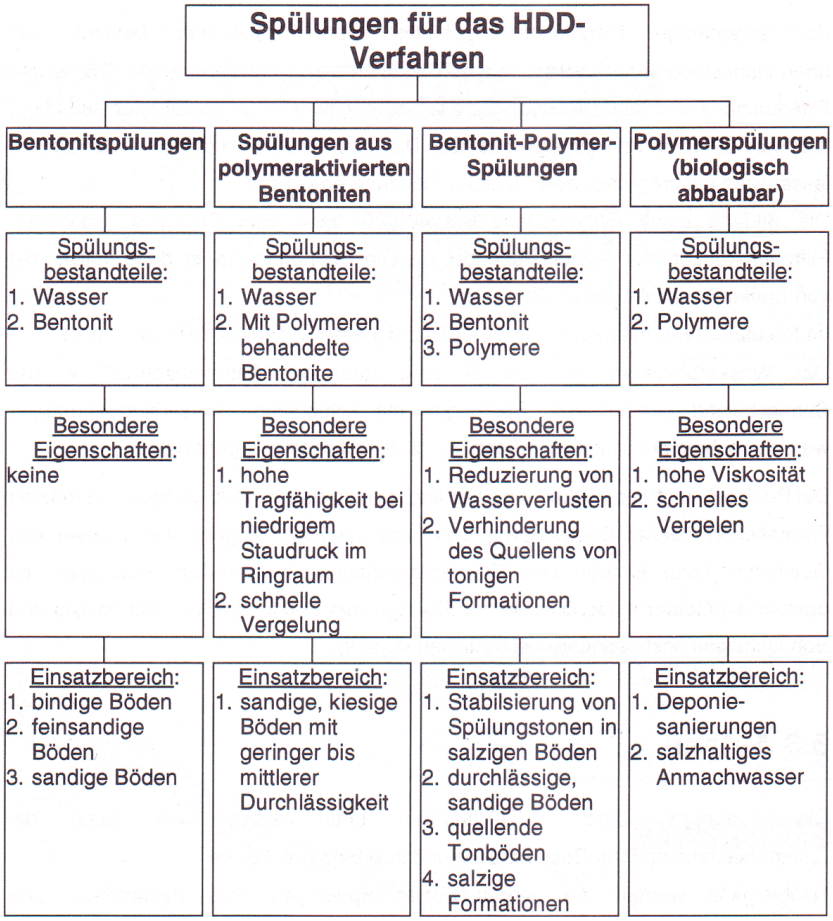
4.5 Bohrspülung

4.5.1 Zusammensetzung der Bohrspülung

Wie so vieles in der Horizontalbohrtechnik findet auch die Bohrspülung ihren Ursprung in der Vertikalbohrtechnik. Bohrspülungen bestehen hauptsächlich aus Wasser und Bentonit. Bentonit ist eine natürliche Mischung aus verschiedenen quellfähigen Tonmineralen. Da die Bohrspülung dem vorliegenden Baugrund angepasst werden muss, werden dieser gegebenenfalls Zusätze zur Verbesserung der bohrtechnischen Eigenschaften hinzu gegeben. So erhöht sich durch Zugabe von Polymeren die Viskosität. Mit Natriumcarbonat oder Kalziumhydroxid lässt sich der pH-Wert und damit das Wasserbindevermögen regulieren und durch Zugabe von Holzfasern vermindert sich der Spülungsverlust in

rissigem Baugrund. Somit lassen sich Bohrspülungen nach der Zusammensetzung ihrer Bestandteile unterscheiden. Die vier gängigsten Spülungsarten und ihre Einsatzbereiche werden in folgender Tabelle aufgeführt (**Tabelle 3**).[45]

Tabelle 3: Gängige Spülungsarten für das HDD-Verfahren [Fengler (1998) S. 110, Abb. 88]



4.5.2 Aufgaben der Bohrspülung

Die Bohrspülung hat im HDD-Verfahren verschiedene Aufgaben. Die wesentlichen sind:

- Bodenabtrag
- Bohrlochreinigung
- Bohrlochstabilisierung
- Schmierung und Kühlung des Bohrgestänges und werkzeuges
- Korrosionsschutz
- ggf. Antrieb des Mud-Motors[46]

[45] Vgl. Bayer (2005) S. 72; Fengler (1998) S. 105f, 109, 115ff und Bayer u. a. (1996) S. 42f
[46] Vgl. Elbe (2003) S. 10

Bodenabtrag und Antrieb

Der Bodenabtrag kann je nach Baugrund hydromechanisch oder mechanisch erfolgen. Beim hydromechanischen Bodenabtrag tritt die Suspension unter hohem Druck, 10 bis 350 bar, aus den Düsen am Bohrkopf und löst so den Boden. Spülbohrlanzen können auch mit Steuerplatten ausgerüstet sein. In diesem Fall wird der Boden nicht ausschließlich mit den Düsenstrahlen, sondern zum Teil mit Hilfe der rotierenden Steuerplatte gelöst. Der Druck, mit dem die Bohrspülung austritt, ist niedriger als beim vorgenannten Verfahren. Existiert ein Schlagwerk an der Bohranlage und kommt dieses zum Einsatz, unterstützt es die Umlagerung und Zertrümmerung der Bodenteilchen, wodurch das Eindringen der Bohrspitze erleichtert wird. Bei felsigen Böden findet der Bodenabtrag nur noch mechanisch statt. Die Bohrspülung dient dann in der Regel als Antrieb, d. h. der Düsenstrahl verursacht die Rotation des Rollenmeißels, wodurch ein Bodenabtrag möglich ist. Für dieses Prinzip ist ein Spülungsmotor, auch Mud-Motor genannt, notwenig.[47]

Bohrlochreinigung

Auf Grund der horizontalen Ausrichtung der Bohrtrasse sinken die Feststoffteilchen bei Unterbrechung des Bohrvorgangs relativ schnell auf die Bohrlochsohle ab. Vor allem im geneigten Bereich besteht bei einer großen Masse an Ablagerungen die Gefahr der Abrutschung, wodurch das Festfahren des Bohrstranges gefördert wird. Um eine ausreichende Bohrlochreinigung zu erreichen, sind sowohl die Bohrlochneigung, die Strömungsgeschwindigkeit als auch die Eigenschaften der Spülung, wie Dichte und Viskosität, von Bedeutung. Der so genannte Pfropfenfluss ist eine sehr gute Lösung für die Bohrlochreinigung. Dabei ist die Strömungsgeschwindigkeit im Bohrloch annähernd konstant und die Viskosität der Bohrspülung relativ hoch. Das ergibt eine schnell vergelende Spülung, die den Austrag des Bohrkleins fördert und die Erosionsgefahr reduziert. Die Fließgeschwindigkeit der Bohrspülung sollte mindestens 0,5 m/s betragen. Bei kleinen Bohrlochdurchmessern darf die Spülgeschwindigkeit einen gewissen Wert jedoch nicht überschreiten, da durch den erhöhten Druck die Gefahr von Erosion besteht. Im Gegensatz dazu ergibt sich bei Bohrlochdurchmessern von 300 mm und mehr zwangsläufig eine laminare Strömung. Somit kommt es zu Ablagerungen auf der Bohrlochsohle. Durch eine erhöhte Strangrotation kann eine turbulente Strömung

[47] Vgl. Elbe (2003) S. 10f

verursacht werden, die den Austrag des Bohrkleins fördert. Leider führt das gleichzeitig zur Abnahme der Viskosität und somit zu einer Verringerung der Vergelung. Haben sich viele Ablagerungen gebildet, ist deshalb ein Räumvorgang mit erhöhter Spülrate für die Bohrlochreinigung effektiver. Grundsätzlich sind Ablagerungen jedoch zu vermeiden, was mit entsprechenden Spülungsgeschwindigkeiten möglich ist.[48]

Bohrlochstabilisierung

Beim Bohren bleibt trotz des Austrages des Bohrkleins ein geringer Teil dessen im Bohrloch. Zusammen mit der Spülung bildet das Bohrklein eine verdichtete Lagerung an der Bohrlochwand. Die Feststoffe setzen sich auf Grund des Spülungssäulendruckes, der 0,2 bar über dem des umgebenden Erdreichs bzw. Grundwassers liegt, an der Bohrlochwand ab und stabilisieren diese. Eine Druckdifferenz löst an der Bohrlochwand einen Filtrationsprozess aus, d. h. die Spülung wird wie ein Schwamm gegen die Bohrlochwand gedrückt. Somit wird das Wasser der Suspension verdrängt, die Tonminerale legen sich wie Schuppen übereinander und bilden eine Schicht an der Bohrlochwand aus. Kommt der Filtrationsprozess nahezu zum Stillstand, hat sich der so genannte Filterkuchen gebildet. Im Idealfall ist dieser für Flüssigkeiten undurchdringlich. Ein dünner, glatter und elastischer Filterkuchen ist von Vorteil, da bei diesem weder das Risiko des Festsetzens des Bohrstranges noch das der Eindickung der Spülung besteht. [49]

Schmierung, Kühlung und Korrosionsschutz

Die Schmierung und Kühlung des Bohrgestänges und -werkzeuges scheint auf den ersten Blick nur ein angenehmer Nebeneffekt zu sein. Die bei der Bohrung auftretenden Reibungen, etwa zwischen Bohrstrang und Bohrlochwand oder zwischen Bohrwerkzeug und Boden, sind jedoch nicht zu unterschätzen. Die entstehende Wärme kann nicht schnell genug in den Boden abgeleitet werden, weshalb vor allem der Wasseranteil der Spülung eine Kühlungsfunktion übernehmen muss. Für den Schmiereffekt, also die Reduzierung des Verschleißes, hingegen sind die Tonminerale in der Spülung verantwortlich. Die sich am Gestänge ablagernden Tonminerale und der Filterkuchen sorgen für geringe Reibung und somit auch geringen Verschleiß; zudem werden die Erschütterungen am Bohrkopf gedämpft. Tonminerale lagern sich auf Grund ihrer negativen Ladung an Stahlteilen und

[48] Vgl. Elbe (2003) S. 12ff
[49] Vgl. Elbe (2003) S. 14f

somit auch am Gestänge ab. Diese dünne Tonschicht wirkt gleichzeitig als Korrosionsschutz.[50]

4.6 Einsatz von Maschinen und Geräten

4.6.1 in Abhängigkeit vom Boden

Für Erdarbeiten wird der Boden nach DIN 18300 in sieben Bodenklassen unterteilt. Für Rohrvortriebsarbeiten gibt es eine weitere Vorschrift, die DIN 18319, welche den Boden entsprechend der Kriterien für den Rohrvortrieb einteilt. Eine spezifische Bodenklassifizierung für Horizontalbohrungen existiert bisher nicht. Problem hierbei ist, dass es innerhalb einer Bodenklasse erhebliche Unterschiede für die Horizontalbohrtechnik gibt. Somit lassen sich Bauzeit und Kosten schlecht kalkulieren. Die eigentlichen Entscheidungsparameter für Horizontalbohrtechnik sind u. a. Kornform, Lagerungsdichte, Art des Feinstkornanteils, Anteil an bindigem Boden und Scherfestigkeit. Sie bestimmen in entscheidender Weise die möglichen Bohrlochlängen und -durchmesser, vor allem aber auch die Bohrgeschwindigkeit und die Bohrlochstabilität.[51]

Aus vorgenannten Gründen minimiert man Risiken mit einer enormen Baugrundkenntnis. Diese kann mit umfangreichen Baugrundgutachten erzielt werden. Der Baugrund hat erhebliche Auswirkungen auf den gesamten Bohrvorgang. Auf Grund seiner physikalischen Eigenschaften finden die Maschinen- und Werkzeugauswahl sowie die Festlegung der Bohrspülzusammensetzung statt. Alles zusammen entscheidet über die Vortriebs- und Verlegeleistung und somit über die Baukosten. Es muss berücksichtigt werden, dass die Bohrung selbst immer nur Mittel zum Zweck ist. Für die Kalkulation ist dabei egal, ob es sich um einen Einheitspreisvertrag (z. B. 1000 m Pilotbohrung) oder einen Pauschalvertrag (z. B. 1 psch Pilotbohrung) handelt. Das Risiko liegt immer beim Auftragnehmer. Schätzungsweise nimmt der Baugrund 50% der Kalkulation der gesamten Baumaßnahme, bei Felsbohrungen sogar 75%, ein. Deshalb ist eine Baugrunderkundung enorm wichtig. Unter Gewässern wie einem zu unterquerenden Fluss sind diese sehr teuer und werden üblicherweise von einem Ponton aus vorgenommen. Es kann jedoch nur selten auf Baugrunderkundungen verzichtet werden, da nur unvorhersehbare Bodenbedingungen beim Auftraggeber Verständnis finden und bezahlt werden.[52]

---

[50] Vgl. Elbe (2003) S. 17
[51] Vgl. Bayer (2005) S. 31f; Fengler (1998) S. 49 und DIN 18300
[52] Vgl. Bayer (2005) S. 32 und Borchardt Aktennotiz (4), (5)

Ist der Baugrund weitestgehend bekannt, können die optimalen Geräte ausgewählt werden. Bohrköpfe, die den Boden hydromechanisch lösen, finden ihre Verwendung in Lockergesteinen. Allein an Räumwerkzeugen gibt es eine große Auswahl, u. a. Stufenreamer, Flügelreamer, Barrelreamer und Reamer mit Schaufelelementen. Fly Cutter (**Abb. 9**) zählen auch dazu, jedoch sind diese auch für mittelharte Böden geeignet. Für Festgesteine, d. h. in der Felsbohrtechnik kommen Werkzeuge zum Einsatz, die den Boden ausschließlich mechanisch lösen. Das sind verschiedene Meißel bei der Pilotbohrung und Hole Opener für den Räumvorgang.[53]

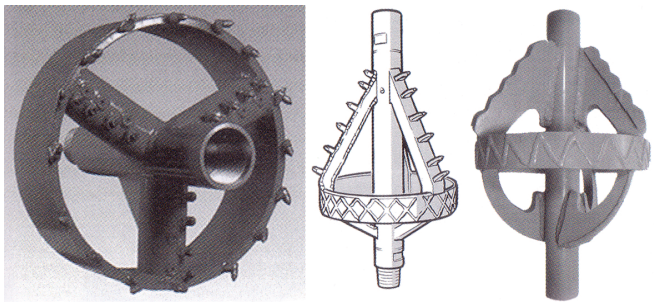


Abb. 9: verschiedene Fly Cutter [Vgl. Stein (2003) S. 907, Bild 16-33]

Mud-Motoren

Mud-Motoren sind Bohrlochmotoren, die ihren Ursprung in der Erdöl- und Ergas-Erkundungsbohrtechnik haben und seit einigen Jahren in der HDD-Felsbohrtechnik angewendet werden. Sie kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn die üblichen Werkzeuge der Horizontalbohrtechnik auf Grund des Baugrundes versagen. Mud-Motoren sind in dicht und steif gelagerten Lockergesteinen, Festgesteinen und sogar in Gesteinsformationen einsetzbar. Entsprechend dem Boden werden zusätzlich die Bohrwerkzeuge wie Rollenmeißel oder Hartgesteinskronen ausgewählt. Die Motoren sind vereinfacht ausgedrückt Schraubenmotoren, die mit der Bohrspülung angetrieben werden. Das besondere daran ist, dass die über Tage erzeugte hydraulische Leistung in Form von Spülungsdurchfluss und -druck vom Mud-Motor in mechanische Leistung umgewandelt wird. Die Spülung trifft abgesehen vom Reibungswiderstand auf keinerlei Hindernisse; demnach kommt es nur zu unbedeutenden Leistungsverlusten. Da das Bohrgestänge nur gedreht wird, um Neigung und Richtung vorzugeben bzw. um ein Absetzen des Bohrkleins zu verhindern, wird der Gestängeverschleiß reduziert. Aus der Arbeitsweise von Mud-Motoren ergibt sich ihr Aufbau. Die erste Komponente ist die Antriebssektion. Hier befinden sich Rotor und Stator, welche für die Leistungsumwandlung zuständig sind. Die zweite Komponente ist der so genannte Lagerstuhl. Er dient zur Aufnahme und

[53] Vgl. Bayer (2005) S. 57ff

Übertragung der Kräfte auf den Bohrkopf, welcher im Lagerstuhl eingeschraubt wird. Das Zwischenstück zwischen Antriebssektion und Lagerstuhl ist eine flexible Antriebswelle, die die Nutzung eines geknickten Gehäuses für die Steuerung der Neigung ermöglicht.[54]

4.6.2 in Abhängigkeit vom Medium (Abwasser)

Der Geräteeinsatz beim HDD-Verfahren ist völlig unabhängig vom Medium, das nach Fertigstellung der Leitung durch diese fließt. Das Medium hat ausschließlich Einfluss auf die Wahl des Rohrmaterials, des Korrosionsschutzes und der Rohrverbindungen. Obwohl dieses wiederum den Geräteeinsatz beeinflusst, ist keine direkte Abhängigkeit erkennbar.[55]

4.7 Leistung

4.7.1 Einteilung der Maschinen

Bohrgeräte werden in der Regel nach ihrer maximalen Zugkraft eingeteilt. Dabei werden vier Gerätegrößen unterschieden (**Tabelle 4**).

Tabelle 4: Klassifizierungsmöglichkeit für Horizontalbohrgeräte [Vgl. DCA (2000) S. 41]

Bohrgerät (Typ)	Max. Zugkraft in kN	Max.Moment in kNm	Gewicht in t
Mini	≤150	10 – 15	< 10
Midi	> 150 bis ≤ 400	15 – 30	10 – 25
Maxi	> 400 bis ≤ 2.500	30 – 100	25 – 60
Mega	> 2.500	> 100	> 60

Weiterhin gibt es Schachtbohrgeräte Kleinstbohranlagen oder auch Pit-Bohrgeräte genannt. Sie sind vor allem bei sehr beengten Platzverhältnissen einsetzbar, was sich bei der Herstellung von Hausanschlüssen oft vorteilhaft auswirkt. Vorgenannte Einteilung gibt ausschließlich Auskunft über die Größe und Leistungskapazitäten der Bohranlage und soll nicht als allgemeingültige Definition verstanden werden.[56]

4.7.2 Einflussfaktoren auf die Leistung

Das gesamte System der Horizontalbohrtechnik kann nur die Leistung aufbringen, der das schwächste Glied des Systems standhält. Darum hängt die Leistung der Bohrgeräte von

[54] Vgl. Bayer (2005) S. 81ff
[55] Vgl. Borchardt Aktennotiz (3), (6)
[56] Vgl. Bayer (2005) S. 45; Fengler (1998) S. 7 und DCA (2000) S. 38f

verschiedenen Faktoren ab, z. B. den mechanischen Parametern der Bohranlage und den hydraulischen Kapazitäten von Pumpen und Mischeinrichtungen. Aber auch die Art der Kraftübertragung, der Baugrund und der Verlauf der Bohrlochachse nehmen Einfluss auf die Leistung. Sogar die Rohreinzugsprodukte und die damit verbundenen maximalen Biegeradien, Oberflächenrauhigkeit und Verbindungstechniken beeinträchtigen die Leistung.[57]

Art der Kraftübertragung

Die Kraftübertragung erfolgt über den Bohrschlitten. Es gibt drei Möglichkeiten seines Antriebs bei HDD-Bohrgeräten; durch Zahnräder und Zahnstangen, durch Seile oder Schwerlastketten oder durch Hydraulikzylinder. Jede Art der Kraftübertragung hat Vor- und Nachteile. Zahnstangen z. B. weisen eine hohe Betriebssicherheit und Robustheit auf. Sie können sehr hohe Kräfte übertragen und sind schnell zu reparieren. Nachteilig ist vor allem die niedrige Fahrgeschwindigkeit des Bohrschlittens. Zudem erhöhen Zahnstangen auf Grund ihres hohen Eigengewichtes das Gewicht der gesamten Bohranlage. Zugseilsysteme hingegen sind sehr leicht. Wenn ein Seil während des Betriebes jedoch reißt, besteht hohe Lebensgefahr. Besser sind hier Schwerlastketten. Sie weisen eine bessere Kraftübertragung als Seile auf und können schnell und einfach repariert und kontrolliert werden. Eine weitere Alternative sind Hydraulikzylinder. Sie können große Kräfte übertragen und besitzen mitunter ein günstiges Kraft-Geschwindigkeits-Verhältnis. Wesentliche Nachteile sind die große Empfindlichkeit und die aufwendige Reparatur im Falle eines Ausfalls, die nur von speziellem Personal durchgeführt werden kann.[58]

Baugrund

Wie schon in 4.6.1 erwähnt, ist die Wahl der Maschinen und Geräte stark vom anstehenden Baugrund abhängig. Leider steht nicht für jeden Boden das perfekte Gerät zur Verfügung. So halten die ausführenden Firmen z. B. Reamer vor, die auf 80% ihrer Projekte passen. Somit ist das Optimum an Leistung nicht erreichbar, jedoch werden die Kosten gespart, die aufkommen, wenn für jedes Projekt ein spezieller Reamer angefertigt wird. Es ist immer von Vorteil, wenn der Boden über die gesamte Bohrlänge gleiche oder ähnliche

[57] Vgl. Bayer (2005) S. 49
[58] Vgl. Fengler (1998) S. 11f und DCA (2000) S. 41

Eigenschaften aufweist. Somit ist kein Wechsel des Bohrkopfes im Laufe der Bohrstrecke notwendig, wodurch Zeit gespart, Kosten reduziert und somit die Leistung erhöht wird.[59]

4.7.3 Leistungsgrenzen

Die erreichbare Bohrlänge ist im Laufe der Zeit gestiegen. In Saudi-Arabien wurden bereits über 3000 m im HDD-Verfahren gebohrt. Eine Grenze, die bald einer höheren weichen muss. Andere Grenzwerte ergeben sich aus dem verwendeten Rohrmaterial, u. a. sind dadurch Rohrdurchmesser, Krümmungsradius und Oberbogen auf einen bestimmten Bereich festgelegt. Rohre mit 900 mm Durchmesser waren 2007 die bisher größten in Europa im HDD-Verfahren verlegten Rohre aus Gusseisen. Mit anderen Rohrmaterialen wurden schon 2005 Rohrdurchmesser von DN 2200 erreicht. Ebenso von Rohrmaterial und sogar -durchmesser abhängig sind Ein- bzw. Austrittswinkel des Rohrstranges, die in der Regel zwischen 6° und 15° liegen. Allgemein gilt je flacher der Winkel bzw. je geradliniger das Bohrloch, desto geringer ist die Belastung. Erschwerend kommt vor allem bei Rohren mit großen Biegeradien hinzu, dass der übertägige Oberbogen bei größeren Winkeln ebenfalls größer wird. Der Oberbogen schützt das Rohr vor unzulässigen Belastungen und einem möglichen Abknicken, da er den Rohrstrang aus der horizontalen Lage in den Eintrittswinkel überführt (**Abb. 10**).

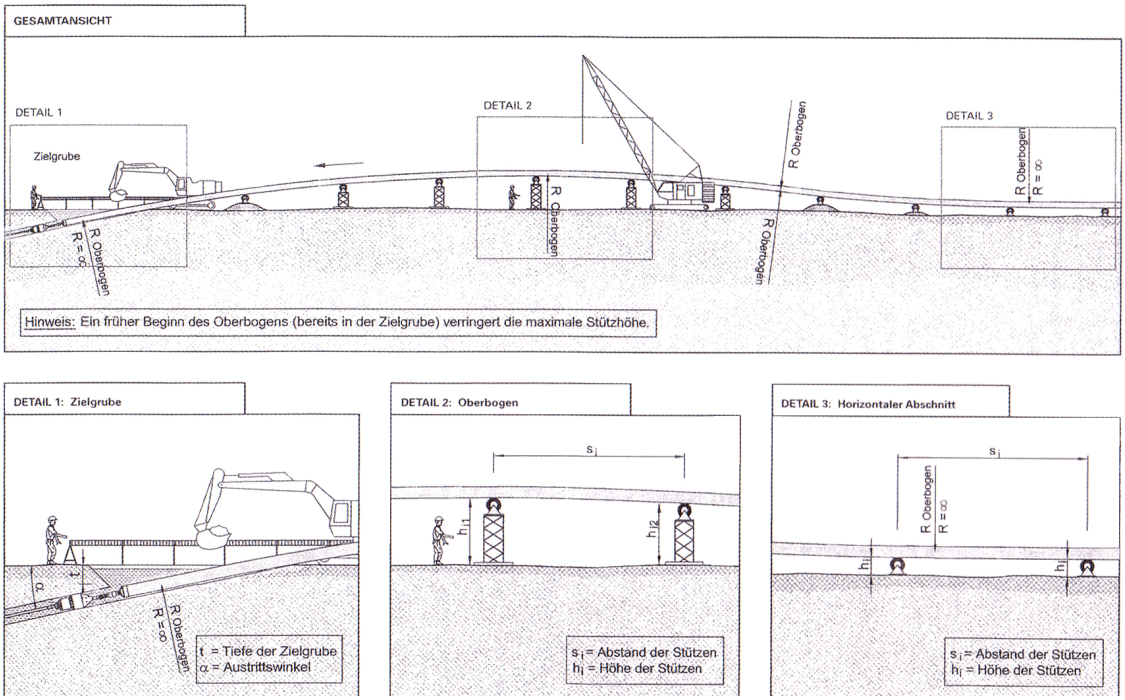


Abb. 10: Prinzipielle Darstellung eines Oberbogens [DCA (2000) Anhang, Abb. 5]

[59] Vgl. Bayer (2005) S. 57ff und Borchardt Aktennotiz (3)

Die minimalen Biegeradien sind in der Regel festgelegt. Es muss jedoch unterschieden werden zwischen den minimalen Biegeradien des Bohrgestänges und den des einzuziehenden Rohrstranges. Bei kleinen Durchmessern und PE-Rohren ist häufig das Bohrgestänge der Maßstab. In der Regel ist der Minimalradius vom Hersteller angegeben. Die Erfahrungswerte hingegen variieren. Während die Technischen Richtlinien des DCA einen Radius zwischen 30 m und 250 m vorschlagen, ist das HDD-Praxishandbuch von H.-J. Bayer präziser und berücksichtigt die Abhängigkeit vom Durchmesser des Bohrgestänges (**Tabelle 5**). Ähnlich detaillierte Werte sind im Grabenlosen Leitungsbau von D. Stein zu finden (**Tabelle 6**).[60]

Tabelle 5: Mindestbiegeradien für Bohrgestänge in Abhängigkeit des Gestängedurchmessers [Vgl. Bayer (2005) S. 55]

Durchmesser Bohrgestänge	minimaler Radius
38 - 44 mm	12 m
ca. 50 mm	20 m

Tabelle 6: Mindestbiegeradien für Bohrgestänge in Abhängigkeit der Gerätegröße bzw. des Bohrgestängedurchmessers [Stein (2003) S. 912, Tabelle 16-10]

Bohrgerätegröße	Bohrgestängedurchmesser [mm]	[Zoll]	Minimaler Biegeradius [m]
Mini-Bohrgerät	48 bis 54	2,0 bis 2,5	35 bis 60
Midi-Bohrgerät	60 bis 86	2,5 bis 3,5	80 bis 120
Maxi-Bohrgerät	86 bis 160	3,5 bis 6,5	120 bis 200
Mega-Bohrgerät	130 bis 160	5,5 bis 6,5	> 200

Ist der minimale Biegeradius des Rohres maßgebend, muss zwischen dem Radius im Bohrloch und dem Oberbogen unterschieden werden. Für die Berechnung beider Radien stellen die technischen Richtlinien das DCA Formeln zur Verfügung. Der gesuchte Radius ist immer vom Durchmesser des Rohres abhängig. Somit gilt als Faustregel, dass der Radius des Oberbogens in Metern das ca. 0,8-fache des Rohrdurchmessers in Millimetern ist. Bei einem Stahlrohr DN 600 hat der Oberbogen also einen Radius von 480 m.[61]

[60] Vgl. Bayer (2005) S. 22, 55, 69f; Ertelt u. a. (2007) S. 20; DCA (2000) S. 16f; Stein (2003) S. 912 und Borchardt Aktennotiz (4)
[61] Vgl. DCA (2000) S. 17ff

Zusätzlich zu den vom Rohrmaterial abhängigen Grenzwerten muss eine ausreichende Fläche für die Baustelleneinrichtung vorhanden sein als praktische Faustregel gilt pro kN Zugkraft der Bohranlage wird 1 m² Baustelleneinrichtung benötigt. Wird das Einzugsrohr geschweißt, geschieht das vor dem Einzug, so dass der Rohrstrang in seiner gesamten Länge ausgelegt werden muss. Das Rohr wird dabei an einigen Stellen unterstützt, um eine hohe Flexibilität zu erreichen und den Reibungswiderstand zu reduzieren. Diese Unterstützung stellen in der Regel Stahlstützen mit Hartgummirollen, so genannte Rollböcke (**Abb. 11**), oder Gleitbahnen dar. Der Platz für die Auslegung des Rohrstrangs ist für große Bohrlängen meist nur in ländlichen Gegenden vorhanden.[62]



Abb. 11: Rollbock [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

Für die Überdeckung existieren ebenfalls Mindestmaße. Als Überdeckung wird der Abstand zwischen Bohrachse und Geländeoberfläche bzw. Gewässersohle bezeichnet. Laut DVGW ist die Überdeckung unter Berücksichtigung einiger Aspekte, u. a. Mindestverlegetiefe, Spülflüssigkeitsdruck, Auftriebssicherheit und Baugrundbeschaffenheit, festzulegen. Die Überdeckung hat ebenso Einfluss auf Verformungen an der Geländeoberfläche, welche jedoch in einer Entfernung vom 5- bis 6-fachen des Rohrdurchmessers nicht mehr von Bedeutung sind. Laut Technischen Richtlinie des DCA sollte die Überdeckung vor allem bei Gewässern das 10- bis 15-fache des Rohrdurchmessers betragen. Für kleine Leitungen ist eine Überdeckung kleiner 5 m jedoch trotzdem nicht empfehlenswert; denn je größer die Überdeckung, desto kleiner das Risiko von Ausbläsern, Spülungsausbrüchen oder Tagbrüchen.[63]

[62] Vgl. DCA (2000) S. 16f; Bayer (2005) S. 69 und Borchardt Aktennotiz (4)
[63] Vgl. DCA (2000) S. 21; Stein (2003) S. 922 und DVGW (2003) S. 19

4.8 Störungen, Probleme und deren Behebung

4.8.1 Hindernisse

Als Hindernis werden in der Regel Gegenstände wie Findlinge oder andere Leitungen verstanden, die in der Bohrtrasse liegen und somit der Pilotbohrung im Weg sind. Doch auch unerwartet harte oder weiche Bodenformationen oder Bauwerke in der näheren Umgebung, z. B. mit Verankerungen, können ein Hindernis sein. Wird während der Pilotbohrung ein Hindernis angetroffen, gibt es zwei Möglichkeiten. In dieser Phase besteht die erste Möglichkeit häufig in der Umgehung des Hindernisses. Dazu wird das Bohrwerkzeug ein Stück zurückgezogen und das Hindernis vertikal und/oder horizontal umbohrt. Ist das Hindernis groß, d. h. hat es eine große räumliche Ausdehnung, ist darauf zu achten, dass der „neue“ Radius den für Bohrgestänge und Produktrohr zulässigen nicht überschreitet. Die Abweichung von der ursprünglichen Bohrachse sollte zudem ein gewisses Maß nicht übersteigen, so dass der geplante Zielpunkt unter Beachtung aller Randbedingungen immer noch erreicht werden kann. Die zweite Möglichkeit ist das Durchörtern des Hindernisses. Geht das nicht mit dem im Einsatz befindlichen Bohrwerkzeug, muss dieses durch ein geeigneteres, z. B. einen Rollenmeißel, ersetzt werden. Schlagen alle Versuche fehl, bleibt nur noch die Wahl einer neuen Bohrtrasse. Ein Hindernis, das erst beim Räumvorgang auftaucht, kann nicht mehr umgangen werden, da der Verlauf der Bohrachse bereits festgelegt ist. Im oberflächennahen Bereich kann das Hindernis, sofern es sich um einen Findling o. ä. handelt, allenfalls in den Seitenbereich gedrückt werden. In tieferen Bodenschichten ist das auf Grund der hohen Bodendichte fast unmöglich . Eine Durchörterung ist somit der günstigste Weg. Ebenso wie bei der Pilotbohrung kann entweder ein geeignetes Werkzeug, z. B. ein Hole Opener, oder aber ein anderes Bohrverfahren, z. B. Mikrotunnelbau, zum Einsatz kommen.[64]

4.8.2 Verlust der Bohrspülung

Während der Bohrung kann ein Verlust der Bohrspülung auftreten. Das geschieht oft auf Grund einer hohen natürlichen Porosität oder Klüftigkeit des Baugrundes. Die Spülungsmenge fließt durch diese Risse und Hohlräume in größere Tiefen ab, wodurch der Spülungskreislauf unterbrochen ist. Wegen des erhöhten Spülungsverbrauchs und des zusätzlichen Zeitaufwandes für neue Spülungsgemische kommt es zu einer

[64] Vgl. Fengler (1998) S.139f und Borchardt Aktennotiz (2), (3), (4)

Kostensteigerung. Um den Filterkuchen zu stabilisieren, können langkettige Hochpolymere zur Bohrspülung zugegeben werden. Diese bewirken eine starke Bindung von Sand und Kies in der Bohrlochwand. Sollte das jedoch nicht ausreichen, eignet sich Tonsteinmehl als Ergänzung. Es verschließt die Hohlräume bis in den Grobkiesbereich. Kommt zur hohen Porosität des Bodens eine starke Grundwasserströmung hinzu, besteht die Gefahr des Abströmens; wiederum ein Verlust der Bohrspülung. Hier reichen Hochpolymere keinesfalls mehr aus. Das Bohrloch muss mit Tonsteinmehl geflutet werden, um den Spülungsverlust durch strömendes Grundwasser zu reduzieren. Steht rein bindiger Boden an, werden häufig keine Bentonit- sondern Wasserspülungen verwendet. Eine Überdosierung an Ton, z. B. aus Spülung und Bohrklein, kann Spülungsaustritte zur Folge haben. Tritt dieses Problem auf, werden Toninhibitoren[65] eingesetzt. Sie bringen die Tone zum Flocken. Weisen tonige Böden zusätzlich quellfähige Tonmineralien auf, sorgt die natürliche Tonquellung für eine fortwährende Verengung des Bohrlochs das Bohrgestänge bleibt stecken. Auch hier werden Toninhibitoren eingesetzt, da sie die Wasseraufnahme und somit die Quellung der Tone verhindern.[66]

4.8.3 Einsturz des Bohrlochs

Die Gefahr eines Bohrlocheinsturzes besteht vor allem in rolligen Böden ohne tonhaltige Komponenten. Ist der Boden zudem gleichkörnig, reicht die Stützwirkung des Bentonits nicht aus. Um das Bohrloch zu stabilisieren werden CMC-Produkte[67] und Hochpolymere eingesetzt. CMC-Produkte verbessern zusätzlich den Austrag des Bohrkleins, reduzieren die Reibung im Bohrloch und vermindern die Klumpbildung in der Spülung. Handelt es sich um keinen gleichkörnigen Boden, überwiegt jedoch der Anteil der großen und schweren Körner, fallen diese häufig allein auf Grund ihres Gewichtes ins Bohrloch zurück. Folglich erhöht sich das Risiko einer Verklemmung des Bohrgestänges oder -werkzeuges. Mit Hochpolymeren und Tonsteinmehl kann dem entgegengewirkt werden. Bei größeren Einzelsteinen reicht diese Maßnahme jedoch nicht aus. Im oberflächennahen Bereich können die Steine allenfalls in den Seitenbereich gedrückt werden. In der Regel ist ein

[65] Toninhibitor: ein Polyacrylamid, das mit Wasser angemischt oder der Spülung zugegeben wird [Vgl. Bayer (2005) S. 77]
[66] Vgl. Bayer (2005) S.74ff und Fengler (1998) S. 182
[67] CMC: Carboxylmethylcellulose [Vgl. Bayer (2005) S. 78]

zusätzlicher Räumvorgang jedoch effektiver. Scheitern alle Maßnahmen, ist eine neue Bohrung zu erwägen.[68]

4.8.4 Festwerden der Rohrleitung

Das Festwerden der Rohrleitung beschreibt einen unvorhergesehenen Zustand im Bohrloch. Dieser Fall tritt ein, wenn die auftretende Zugkraft die maximale Zugkraft der Bohranlage übersteigt und somit kein Einziehfortschritt mehr stattfindet. Das ist absehbar, wenn die auftretenden Zugkräfte die erwarteten weit übersteigen. Es ist jedoch ein Unterschied, ob die auftretende Zugkraft kontinuierlich oder schlagartig ansteigt. Bei einem plötzlichen Anstieg kann von einem Einbruch des Bohrlochs zwischen Räumer und Ziehkopf ausgegangen werden. Obwohl der Räumer entgegengesetzt der eigentlichen Arbeitsrichtung eher als Anker wirkt, glückt das Zurückziehen des Produktrohres mit Winden oder einem Pipe Thruster[69] bisweilen. Dieser Schadensfall ist häufig bei kiesigen, nicht standfesten Böden zu beobachten. Eine Vermeidung dieses Problems kann mit einer Abdeckung der Einziehgarnitur erfolgen (**Abb. 12**). Nachteilig ist dabei die schwierige Montage der Komponenten der Garnitur. Zudem sollte in diesem wie auch im nächsten Fall die Zusammensetzung der Bohrspülung kontrolliert werden. Sie muss immer optimal auf den Baugrund abgestimmt sein, damit sie ihre Stützfunktion sowie den Austrag des Bohrkleins erfüllen kann.[70]

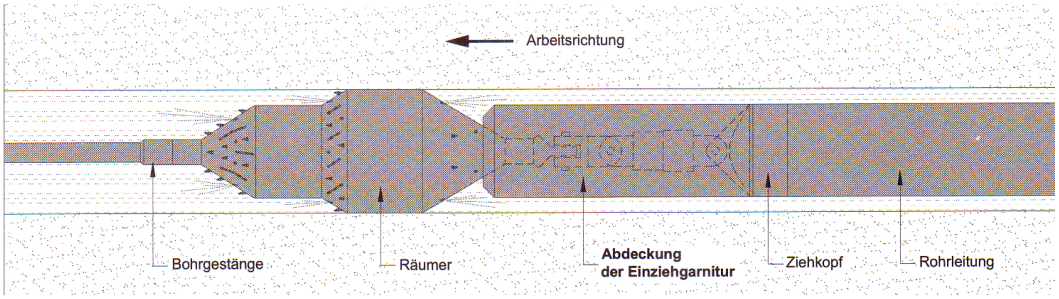


Abb. 12.: Einziehgarnitur mit Abdeckung [Kögler (2001) S. 14]

Der kontinuierliche Zugkraftanstieg hingegen stellt sich eher bei tonigen Böden ein. Er weist auf einen gesamtheitlich schlechten Bohrlochzustand hin. Oftmals wurde das Bohrloch nicht ausreichend von Bohrklein gereinigt, was beim Einzug zu enormen Reibungskräften führen kann, die kontinuierlich ansteigen. Das kann durch einen zweiten

[68] Vgl. Bayer (2005) S.78f und Borchardt Aktennotiz (2)
[69] Pipe Thruster: Vorschubeinheit der Herrenknecht AG [Vgl. Herrenknecht Internet (1)]
[70] Vgl. Kögler (2001) S. 12ff

Räumvorgang nach jedem Aufweitvorgang behoben werden. Während der eigentliche Aufweitvorgang mit einem Fly Cutter den gewünschten Bohrlochdurchmesser erzielt, wird mit einem Barrelreamer des gleichen Durchmessers bei einem zweiten Räumvorgang das Bohrloch von überflüssigem Bohrklein gereinigt. Zusätzlich kann eine Bohrkleinbilanz erstellt werden ein Vergleich zwischen dem theoretisch anfallenden und dem ausgetragenen Material. Wird das Festwerden der Rohrleitung trotz aller Maßnahmen nicht verhindert, muss das eingezogene Rohrstück aufgegeben werden. Dazu ist der über Tage befindliche Teil des Rohrstrangs vom eingezogenen zu trennen und zu bergen. Auf Grund des nun blockierten Bohrloches müssen die Vorkehrungen für eine neue Bohrung getroffen werden.[71]

4.8.5 Technische Defekte

Technische Defekte können zu jeder Zeit der Bohrung auftreten. Oft lassen sie sich schnell und einfach beheben oder durch regelmäßige Wartung gar vermeiden. Verstopfen z. B. die am Bohrkopf befindlichen Düsen, wird das Bohrwerkzeug in der Regel zurückgezogen und nach Reinigung der Düsen kann der Bohrvorgang fortgesetzt werden. Erfolgt während der Räumung ein Gestängebruch, müssen beide Teilstücke geborgen werden. Anschließend wird das Pilotgestänge erneut eingebracht und der Räumvorgang fortgeführt. Eine fehlerhafte Einziehgarnitur ist beim Einziehen der Rohrleitung einer der zwei häufigsten Schadensfälle. Die Teile der Einziehgarnitur, besonders häufig Drehwirbel und Schäkel sowie Gelenkverbinder, sind entweder defekt oder falsch montiert. Unterdimensionierung der Schäkel, keine ausreichende Sicherung der Bolzen oder Einbau beschädigter Teile sind nur einige Ursachen. Eine Vermeidung dieser Fehler kann durch regelmäßige Wartung der Teile, eine angemessene Dimensionierung mit Sicherheitszuschlag und eine Prüfung direkt vor dem Rohreinzug erzielt werden. Die Montage sollte zudem immer unter Aufsicht eines fachkundigen Mitarbeiters erfolgen, um Montagefehlern vorzubeugen.[72]

[71] Vgl. Kögler (2001) S. 13f und Borchardt Aktennotiz (2)
[72] Vgl. Kögler (2001) S. 9f ,12 und Borchardt Aktennotiz (2)

5 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Einen allgemeinen Vergleich zwischen der grabenlosen und der offenen Bauweise liefert zum einen das HDD-Praxishandbuch von H. J. Bayer, zum anderen die GSTT-Information Nr. 11. In beiden Quellen wird besonders auf die indirekten Kosten hingewiesen, die bei der Vergabe in der Regel nicht mit einbezogen werden. Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich muss somit nicht nur unter Berücksichtigung der direkten Herstellkosten, sondern auch unter den Aspekten Umweltbilanz, indirekte Kosten, Langlebigkeit sowie Folgekosten und -wirkungen für die Straßenlastträger erfolgen.[73]

Beispiel 1

Das erste Beispiel liefert die Fa. Bohlen & Doyen. Es soll eine Trinkwasserleitung, DN 160, mit einer Länge von 350 m in der Bahnhofstraße in Müllrose/ Brandenburg verlegt werden. Bei folgender Vergleichsrechnung werden lediglich die direkten Herstellkosten berücksichtigt. Trotzdem ergibt sich für das Horizontalbohrverfahren eine Kosteneinsparung von 5.236,88 € (**Tabelle 7**).[74]

Tabelle 7: Vergleich der direkten Herstellkosten bei der Verlegung einer Trinkwasserleitung [Vgl. Borchardt Aktennotiz (1)]

Leistung	**Einheitspreis**	**Menge**	**Gesamtpreis**
Ausführung in offener Grabenbauweise			
Rohrgraben, 1,50 m tief, ausheben und wieder verfüllen	18,00 €	350 m	6.300,00 €
Verlegung des Rohres DN 160 inklusive aller Formteile	17,96 €	350 m	6.286,00 €
Betonstein aufnehmen und wieder verlegen	14,73 €	280 m²	4.124,40 €
			16.710,40 €
Ausführung im Horizontalbohrverfahren			
Baugrube, 1,50 m tief, ausheben und wieder verfüllen	680,00 €	4 Stck	2.720,00 €
Horizontalbohrung mit gleichzeitiger Verlegung des Rohres, DN 160	24,00 €	350 m	8.400,00 €
Betonstein aufnehmen und wieder verlegen	14,73 €	24 m²	353,52 €
			11.473,52 €

[73] Vgl. Bayer (2005) S. 36 und GSTT (2002) o. S.
[74] Vgl. Borchardt Aktennotiz (1)

Beispiel 2

Als zweites Beispiel dient die Neuverlegung einer 1000 m langen Netzleitung aus einem PE-Rohr mit 110 mm Rohrdurchmesser. Die direkten Herstellkosten und die Umweltbilanz lassen sich relativ einfach zusammenfassen (**Tabelle 8**).[75]

Tabelle 8: Vergleich der Herstellkosten und der Umweltbilanz von offener und geschlossener Bauweise [Vgl. Bayer (2005) S. 36ff]

Vergleichs-aspekt	Faktor	offene Bauweise	geschlossene Bauweise	Verhältnis
direkte Herstell-kosten	Erdbewegungen	-	-	50:1
	Geräteeinsatz (Anz.)	3	3	-
	Verbauelemente (Anz.)	70	2	-
	Transportfahrten (Anz.)	75	3	-
	Bauzeit (in Wochen)	7,5 – 9	3	2,5:1
	benötigte Baustoffmengen (in m³)	590	< 6	100:1
Umwelt-bilanz	beanspruchte Verkehrsfläche (in m²)	700 – 800	12 - 16	50:1
	Lärm & Staub	-	-	min. 10:1
	Ressourcen (in m³)	550	2,5	220:1
	Deponie	500	5	100:1

Die indirekten Kosten hingegen können nicht in Zahlen ausgedrückt werden, was den unmittelbaren Vergleich erschwert. Die Begleitkosten einer Baumaßnahme sind nicht zu verachten. Verkehrsbeeinträchtigungen sind fast unumgänglich. Es entstehen Kosten für Verkehrslenkungsmaßnahmen wie Schilder, Ampeln und manchmal sogar provisorische Umgehungsstraßen. Zudem haben sowohl die PKW wie auch die öffentlichen Verkehrsmittel in der Regel längere Wege, was einen erhöhten Kraftstoffverbrauch und somit mehr Abgasausstoß zur Folge hat. Die veränderten Wege wirken sich ebenso auf den Einzelhandel aus. Umleitungen und die dadurch eingeschränkte Erreichbarkeit können Einkommensausfälle verursachen. Ein weiterer Kostenfaktor ist die Schädigung des Bewuchses. Es kommt während einer Baumaßnahme häufig zu Wurzel-, Rinden- und Astschäden. Aber auch Grundwasserabsenkungen und Bodenverdichtungen können eine Veränderung der Bodenstruktur bzw. eine Unterbrechung des Nährstoffzyklusses zur Folge haben. Gesundheitliche Folgen sind für die Anwohner der Baumaßnahme in Anbetracht der Abgas- und Staubemission ein zusätzliches Risiko. Häufigste Erkrankungen sind Gehörschäden, Atemwegserkrankungen und Stressbelastungen. Bei der offenen Bauweise

[75] Vgl. Bayer (2005) S. 36

entstehen außerdem erhebliche Oberflächenfolgekosten. Da sich bei einem offenen Graben die Verfüllung oft anders verhält als das ursprüngliche Bodenmaterial, kommt es zu physikalischen Reaktionsunterschieden, die sich vor allem bei starken Klimaschwankungen, wie einem Wechsel der Jahreszeit, bemerkbar machen. Es entstehen Schäden wie Risse oder sogar Niveauunterschiede im Straßenbelag (**Abb. 13**). Die Reparaturkosten betragen bei einer Zeitspanne von etwa 10 Jahren ungefähr dasselbe wie die Baumaßnahme selbst. Diese Kosten müssen vom jeweiligen Straßenlastträger übernommen werden.[76]

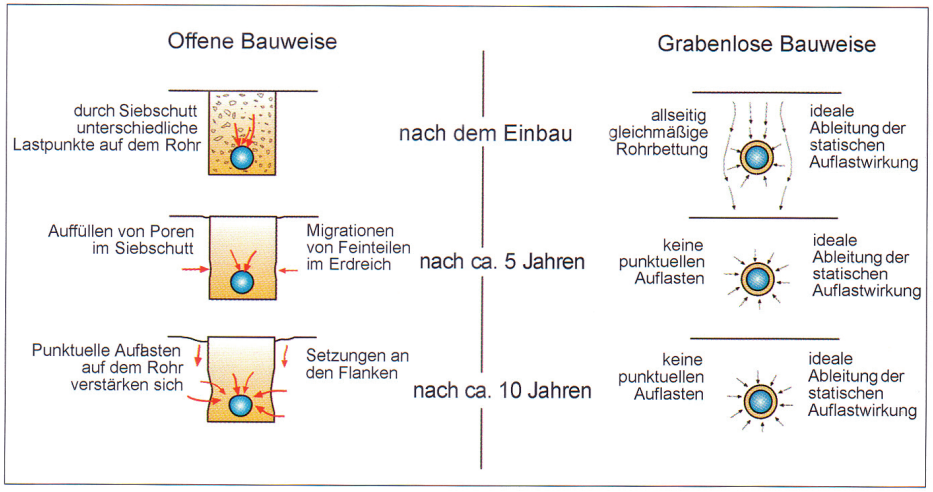


Abb. 13: Migration und Setzungen in der offenen Bauweise [Bayer (2005) S. 43, Bild 4.6]

Langlebigkeit ist ein wichtiger Aspekt bei Baumaßnahmen. Der Vorteil der HDD-Verfahren liegt zum einen im Bohrloch, das rund und somit ideal zur Ableitung der Erddruckkräfte um das Rohr herum ist. Der quellfähige Ton, mit dem das Rohr allseitig umschlossen und gleichzeitig gebettet ist, stellt einen weiteren Vorteil dar. Im Gegensatz dazu besteht die Bettung bei der offenen Bauweise in der Regel aus Sand, welcher grober und rauer als Ton ist. Zudem ist eine wirklich gleichmäßige Verdichtung technisch nicht machbar, was punktuell stärker verdichtete Bereiche und somit eine unregelmäßige Wirkung auf das Rohr hat. Ist das ursprüngliche Bodenmaterial tonhaltiger als die Auffüllung des Grabens, kann es zu Migrationen kommen. Diese verstärken die Setzungen und folglich auch die unterschiedlichen Auflastwirkungen (**Abb. 13**). In den Folgejahren wird somit Spannung auf das Rohr ausgeübt, was die Lebensdauer des Rohres enorm verkürzt.[77]

[76] Vgl. Bayer (2005) S. 41f und GSTT (2002) o. S.
[77] Vgl. Bayer (2005) S. 43f

6 Beispielbaustelle

Als Beispiel dient das Projekt „Emsbohrungen Jemgum/Nüttermoor“. Auftraggeber ist die EWE AG, ein großes Energieunternehmen in Deutschland. Auftragnehmer ist die Bohlen & Doyen Bauunternehmung GmbH.

Östlich der Ems, in Nüttermoor, existieren 16 Speicherhohlräume für Erdgas, so genannte Kavernen. Das Erdgas wird hier in unterirdischen Salzstöcken gelagert. Der Vorteil dieser ohne schon Platz sparenden Art der Lagerung ist zum einen, dass das Erdgas mit 164 bar komprimiert wird. Zum anderen ist dieser Gasvorrat jederzeit abrufbar und kann ins Gasnetz eingespeist werden. Westlich der Ems, bei Jemgum, sind weitere Kavernen geplant, welche an das vorhandene Netz angebunden werden sollen. Hierzu ist die Verlegung von vier Leitungen mit einer Länge von jeweils ca. 1000 m unter der Ems notwendig; zwei Stahlrohre DN 600 (Gasleitung) und zwei Stahlrohre DN 400 (Schutzrohr) (**Abb. 14**). Dieses Vorhaben wird mit dem HDD-Verfahren verwirklicht, wodurch sowohl das Vogelschutzgebiet als auch angrenzende Straßen unterbohrt werden können.[78]

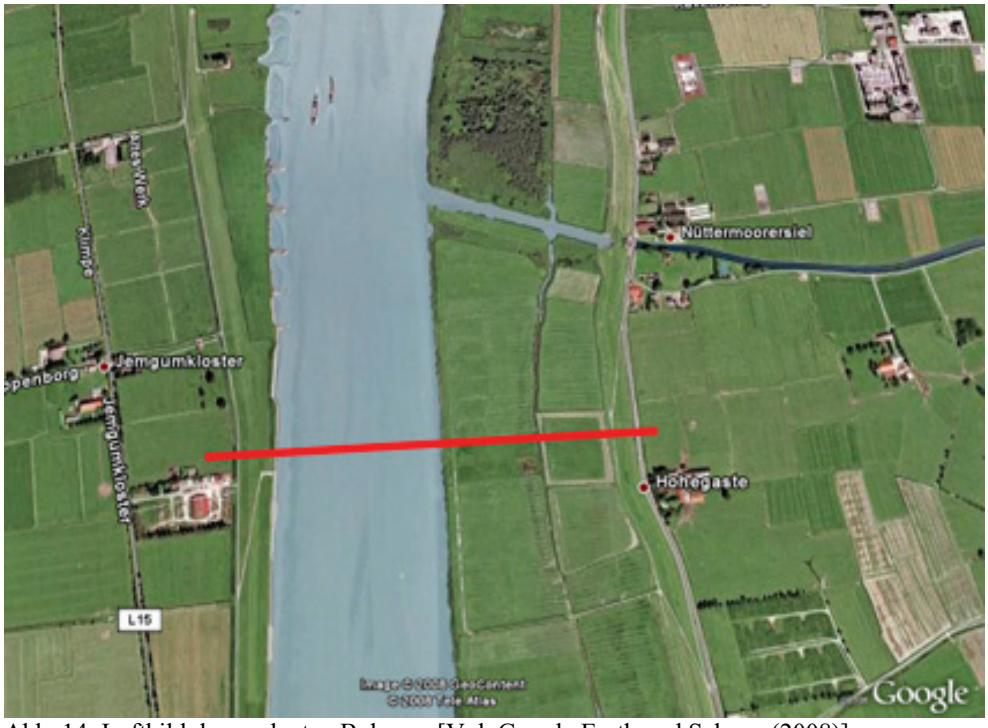


Abb. 14: Luftbild der geplanten Bohrung [Vgl. Google Earth und Schnau (2008)]

[78] Vgl. Schnau (2008) und Borchardt Aktennotiz (5), (7)

Die Leitungen sollen in einem Abstand von 10 m verlegt werden, womit der Leitungsabstand nur 1% der Leitungslänge beträgt. Obwohl derartige Genauigkeiten in der Horizontalbohrtechnik praktikabel sind, wird jedes Rohr nach Einzug nochmals mit dem Kreiselkompass nachgemessen um kleine Nachbesserungen im Leitungsabstand zu ermöglichen. Das Bohrgerät ist eine 250t-Bohranlage der Herrenknecht AG. Als Widerlager für die Anlage dienen Spundbohlen, die ca. 10 m tief in den Boden gerammt werden (**Abb. 15**). Es wird ein Standardbohrgestänge von 5 ½“ (139,7 mm) Durchmesser und 9,5 m Länge verwendet. Die durchschnittliche Bohrgeschwindigkeit beträgt ca. 30 m/h.[79]



Abb. 15: 250t-Bohranlage und Spundbohlen vor der Pilotbohrung [Vgl. Schnau (2008)]

Damit sich das Bohrklein nicht absetzt, muss die Bohrspülung ständig in Bewegung sein. Dementsprechend entsteht Nacht- und Wochenendarbeit. Folglich kostet das Projekt ohne Material und „Vorarbeiten“, also nur Lohn und Gerät, ca. 2 Mio. €. Der Durchmesser des Bohrloches ist ca. 30% größer zu wählen als der Außendurchmesser des einzuziehenden Rohres. Der dadurch entstehende Hohlraum dient als Transportweg für die Bohrflüssigkeit und das Bohrklein sowie als Sicherheit, falls nach dem Räumvorgang Boden in das Bohrloch fällt. Ist der Rohrstrang eingezogen dient der quellfähige Ton, mit dem das Rohr allseitig umschlossen ist, gleichzeitig als Bettung. Vorteilhaft erweist sich die ländliche Umgebung dieses Bauvorhabens, da das einzuziehende Rohr schon vorher verschweißt und auf dem Gelände „ausgelegt“ wird. Dort wird erstmals der Korrosionsschutz überprüft (**Abb. 16**). Eine zweite Prüfung erfolgt direkt beim Einzug. Dabei muss das Rohr möglichst genau in Position gebracht werden. Bei einem Eintrittswinkel von 12° und einem Kurvenradius von 800 m ergibt sich eine nicht zu verachtende Oberbogenhöhe.[80]



Abb. 16: Überprüfung des Korrosionsschutzes [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

[79] Vgl. Schnau (2008) und Borchardt Aktennotiz (5)
[80] Vgl. Bayer (2005) S 43; Schnau (2008) und Borchardt Aktennotiz (4), (5)

Insgesamt darf nicht vernachlässigt werden, dass das gesamte System nur so gut bzw. schnell arbeiten kann, wie das schwächste Glied dieser Kette, die Recyclinganlage eingeschlossen. Bei Großbohrungen wie diesen wird die Bohrflüssigkeit meist aufbereitet, da dies bei derart großen Mengen wirtschaftlicher ist. Eine Ausnahme gab es hier beim ersten Rohreinzug, bei dem die tatsächliche Zugkraft am Ende des Vorgangs bedeutend höher als die errechnete war (**Abb. 17**). Der Grund dafür ist nicht eindeutig, doch wird sicherheitshalber für die zweite Bohrung frische Bohrspülung verwendet. Weitere Konsequenzen dieser erhöhten Zugkraftaufwendung sind z. B. eine neue Anpassung der Bohrspülung an den Boden oder eine Vergrößerung des Durchmessers des Räumers.[81]

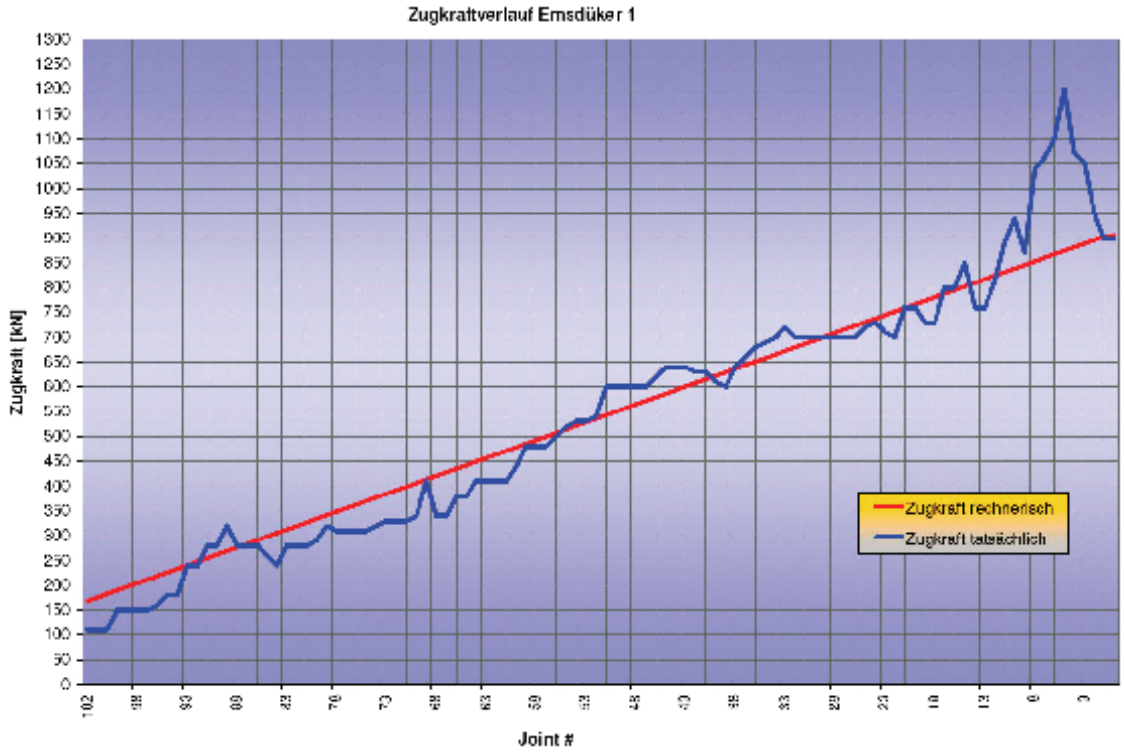


Abb. 17: Zugkraftverlauf beim Rohreinzug [Vgl. Schnau (2008)]

Die Recyclinganlage befindet sich auf der Startseite, der so genannten Rig Site der Bohrung. Um die verwendete Bohrspülung von der Zielseite, auch Pipe Site genannt, zur Recyclinganlage zu transportieren, musste vorab eine Leitung oberhalb der Ems eingerichtet werden. Die Bohrspülung selbst ist in der Regel nicht das Hauptproblem einer HDD-Bohrung. Sie ist jedoch schwer kontrollierbar und braucht vor allem bei Großbohrungen wie diesen ein enormes Volumen zur Zwischenlagerung (**Abb. 18**).[82]

[81] Vgl. Schnau (2008) und Borchardt Aktennotiz (3), (5)
[82] Vgl. Borchardt Aktennotiz (4), (5)



Abb. 18: Zwischenlagerung der Spülung [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

Die Baustellenbesichtigung erfolgte am 21.05.2008. Zu jener Zeit fand die zweite Aufweitung des zweiten Bohrloches statt. Dazu wurde ein Barrelreamer mit einem Durchmesser von 34“ (etwa 865 mm) verwendet. Damit der schon erwähnte Hohlraum zwischen Rohr und Bohrlochwand verbleibt, sollte der in (**Abb. 19**) gekennzeichnete Abstand a dem Rohrdurchmesser entsprechen.



Abb. 19: Barrelreamer [Vgl. Borchardt, Fotos vom 21.05.2008]

7 Zusammenfassung

Inhalt der Diplomarbeit ist die Darstellung des HDD-Verfahrens, eines gesteuerten Horizontalbohrverfahrens als Möglichkeit der grabenlosen Leitungsverlegung. Neben Erläuterungen zur Gerätschaft und Funktionsweise des Verfahrens wird besonders auf gegebene Randbedingungen verwiesen, die den Bohrvorgang wesentlich beeinflussen. Zu den genannten Bedingungen gehört u. a. der Baugrund, welcher erhebliche Auswirkungen auf den gesamten Bauablauf hat. Es werden verschiedene Möglichkeiten zur Minimierung von Zeit, Risiken und Kosten aufgezeigt. Des Weiteren wird unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ein Vergleich zur konventionellen offenen Bauweise gezogen. Die Abläufe werden an Hand einer Beispielbaustelle veranschaulicht. Abschließend werden neuste Verfahren vorgestellt, die sich aus dem HDD-Verfahren entwickelt haben.

8 Ausblick

Wie in vielen anderen Bereichen findet auch im Leitungsbau eine fortwährende Entwicklung statt. Konventionelle Vorgehensweisen werden verworfen, bekannte Verfahren erweitert und neue Ideen verwirklicht.

Ein Beispiel dafür ist das Direct Pipe Verfahren, das im Herbst 2007 bei einer Rheinunterquerung Weltpremiere feierte. Das Direct Pipe Verfahren wurde von der Herrenknecht AG und Dr. Kögler entwickelt und patentiert. Dieses Verfahren vereinfacht die grabenlose Leitungsverlegung und ist eine Kombination aus Microtunneling, HDD und einer von der Herrenknecht AG entwickelten Vorschubeinheit. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber den bestehenden ist die Verlegung in einer Stufe, d. h. es wird bei diesem Verfahren nur noch ein Arbeitsschritt benötigt, um das Bohrloch zu erstellen und das Rohr einzuschieben. Das hat den Vorteil der Zeit- und Kostenersparnis.[83]



Abb. 20: Pipe Thruster, Vorschubeinheit [Herrenknecht Internet (1)]

Das zu verlegende Rohr wird geschweißt, geprüft und auf der Startseite auf Rollenblöcken gelagert. Das Einmessen erfolgt über einen Kreiselkompass. Dem Rohr ist beim Einbau eine Microtunnelling-Maschine vorgeschaltet. Um diese mit dem Rohr zu verbinden, existieren zwischen Maschine und Rohr verwinkelbare Stahlrohre und ein Gelenk. Die Vorschubeinheit, der so genannte Pipe Thruster (**Abb. 20**), umfasst an der Startbaugrube das Rohr und presst Maschine wie auch Rohr schubweise in den Boden vor. Der Bodenabbau erfolgt, anders als beim HDD, ausschließlich mechanisch mittels Microtunnelling-Maschine. Somit sind auch Felsbohrungen kein Problem. Über einen Flüssigkeitskreislauf mit Separationsanlage wird das anfallende Material aus dem Bohrloch transportiert. Die Maschine wie auch die Rohre sind konisch ausgebildet, was

[83] Vgl. Jaguttis u. a. (2008) S. 29, 31 und Herrenknecht Internet (3)

einen Ringspalt zwischen Rohrmantel und Baugrund zur Folge hat. In diesen Ringspalt wird Bentonit als Schmiermittel eingepresst. So wird die Reibung zwischen Rohr und Boden möglichst gering gehalten. Der Pipe Thruster hat bezüglich der üblichen Pressrahmen bei Vortriebsverfahren Vorteile. Somit ist ein Vorschub von Endlosrohren ebenfalls möglich. Die Vortriebseinheit ist für Rohrdurchmesser von DN 500 bis DN 1200 und für Zug- und Druckkräfte bis 5000 kN ausgelegt. Da beim Direct Pipe Verfahren eine permanente Bohrlochstützung vorhanden ist, besteht im Gegensatz zum HDD keine Gefahr eines Bohrlocheinsturzes. Auf Grund des spärlichen Überschnittes ist zudem eine erheblich kleinere Menge an Bohrspülung notwendig. Der geringe Platzbedarf an der Start- und Zielbaugrube ist ebenfalls günstig (**Abb. 21 und 22**). Der größte Vorteil scheint jedoch in der Risikominimierung der Faktors Baugrund zu liegen. Auch unvorhersehbar mit Findlingen durchsetzte Böden sind für Microtunneling-Maschinen kein Problem.[84]



Abb. 21: Startbaugrube [Herrenknecht Internet (1)]



Abb. 22: Zielbaugrube[Herrenknecht Internet (1)]

[84] Vgl. Jaguttis u. a. (2008) S. 29, 31f und Herrenknecht Internet (2), (3)

Eine zweite Neuheit ist der grabenlose Kabelaustausch. Erdkabel können, ebenso wie andere Leitungen, im HDD-Verfahren verlegt werden; die Verfahrenstechnik zum grabenlosen Erdkabelaustausch wurde jedoch erst in den letzten Jahren praxisreif entwickelt. Bei diesem Überbohrverfahren wird das Altkabel in gleichmäßigem Abstand vom umgebenden Erdreich freigeschnitten. Dieser Freischnitt erfolgt mit der Bohrspülung. Der von der Fa. Tracto-Technik patentierte Überbohrkopf (**Abb. 23**) ist so konstruiert, dass er das Kabel nicht berührt, wodurch ein sehr schmaler Ringkranz entsteht.[85]

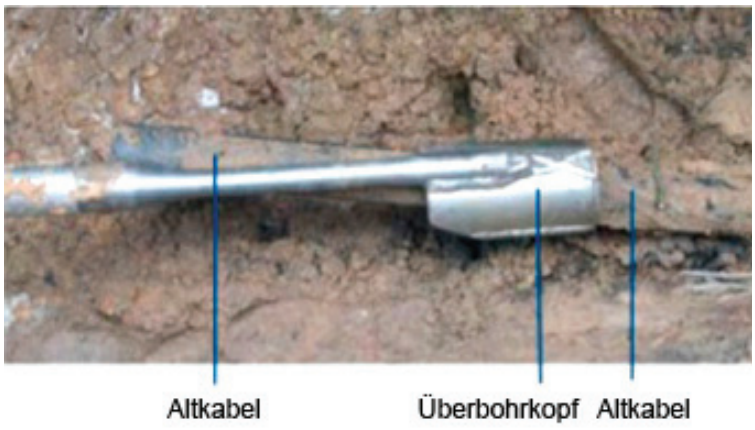


Abb. 23: Kabel im Überbohrkopf [Vgl. Tracto-Technik]

Ist der Überbohrkopf an der Zielseite angelangt, wird dieser vom Bohrgestänge abgeschraubt und gleichzeitig das Altkabel von der Startseite aus gezogen. Danach wird das neue Kabel mit einem Ziehstrumpf oder Kabelschuh in den nun freigewordenen Altkabelverlauf eingezogen. Durch dieses Verfahren werden Vermessungskosten gespart, da das neue Kabel exakt an derselben Stelle wie das alte Kabel liegt; es wird nur in den jeweiligen Karten vermerkt. Zudem kann mit hoher Geschwindigkeit gearbeitet werden, in ein bis zwei Stunden werden 120 m Kabel überbohrt. Somit ist der grabenlose Kabelaustausch ein zeit- und kostensparendes und damit sehr wirtschaftliches Verfahren.[86]

[85] Vgl. Bayer (2008) S. 40 und Tracto-Technik
[86] Vgl. Bayer (2008) S. 40 und Tracto-Technik

V. Schrifttum

A Normen

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN 18300. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) Erdarbeiten. Berlin, Beuth Verlag, 2006

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN 18319. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) Rohrvortriebsarbeiten. Berlin, Beuth Verlag, 2006

B Richtlinien und Merkblätter

DCA (Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V.) (Hrsg.) (2000): Horizontal Directional Drilling. Technische Richtlinien des DCA. Informationen und Empfehlungen für Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten. 2. Auflage, Aachen: 2000

DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.) (Hrsg.) (2007): DVGW-Arbeitsblatt GW 304. Rohrvortrieb und verwandte Verfahren. Bonn: 2007

DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.) (Hrsg.) (2003): DVGW-Arbeitsblatt GW 321. Steuerbare horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung. Bonn: 2003

FSB (Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V.) (Hrsg.) (1999): Technisches Handbuch. Bonn: 1999

GSTT (German Society for Trenchless Technology e. V.) (Hrsg.) (2002): GSTT-Information Nr. 11. Kostenvergleich offener und geschlossener Bauweisen unter Berücksichtigung der direkten und indirekten Kosten beim Leitungsbau und der Leitungssanierung. 2. Auflage: 2002

C Fachbücher und Nachschlagewerke

Bayer, H.-J., Gänger, J., Back, M., Achleitner, P., Hüttig, M., Harms, G., Hillen, W., Penke, L. (1996): Die Bohrtechnik. In: Moser, H. (Hrsg.): Der grabenlose Leitungsbau. Schriftenreihe Energie und Umwelttechnik, Essen: Vulkan Verlag, 1996

Bayer, H.-J. (Hrsg.) (2005): HDD-Praxis Handbuch. Essen: Vulkan Verlag, 2005

Elbe, L. (2003): Bohrspülungen im HDD. Iro-Schriftenreihe Bd. 26, Essen: Vulkan Verlag, 2003.

Fengler, E.-G. (1998): Grundlagen der Horizontalbohrtechnik. Iro-Schriftenreihe Bd. 13, Essen: Vulkan-Verlag, 1998

Kögler, R. (2001): Risikoschwerpunkte beim Horizontal Directional Drilling aus Gutachtersicht. In: Messe München International, Mikrotunnelbau. 5. Internationales Symposiom Mikrotunnelbau München, Deutschland, 5. 6. April 2001 im Rahmen der Bauma 2001. Essen: Glückauf Verlag, 2001

Stein, D.(2003): Grabenloser Leitungsbau. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2003

Ullrich, E. (1995): Mit „durchschlagender“ Kraft. Grundodrill Neues hydrodynamisches, steuerbares Bohrsystem von Tracto-Technik. In: Lenz, J. (Hrsg.): Rohrleitungen im Boden. Umweltschonend und wirtschaftlich. Iro-Schriftenreihe Bd. 8, Essen: Vulkan Verlag, 1995

D Fachzeitschriften und Notizen

Bayer, H.-J. (2008): Grabenlose Erdkabelverlegung. Eine Anwendungswelt voller Vorteile. bi Umweltbau, Heft 2/08, S. 38 41

Borchardt, N. (2008): Aktennotizen.

(1) Gutsche, M. (Bohlen und Doyen Bauunternehmung GmbH): E-Mail vom 16.06.2008, (siehe Anlage 4)

(2) Kögler, R. (Ingenieurbüro für Horizontalbohrtechnik): E-Mail vom 21.07.2008, (siehe Anlage 5)

(3) Kögler, R. (Ingenieurbüro für Horizontalbohrtechnik), Schnau, M. (Bohlen und Doyen Bauunternehmung GmbH): Gespräch am 21.05.2008

(4) Kögler, R. (Ingenieurbüro für Horizontalbohrtechnik): Grundlagen der Horizontalbohrtechnik. Vortrag in der Steuerwarte der EWE bei Leer am 21.05.2008

(5) Schnau, M. (Bohlen und Doyen Bauunternehmung GmbH): Projektvorstellung Emsbohrungen Jemgum/ Nüttermoor. Vortrag in der Steuerwarte der EWE bei Leer am 21.05.2008

(6) Wagner, V. (Professor an der HS Neubrandenburg): Gespräch am 17.07.2008

(7) O.V. (EWE AG): Gasspeicher in Nüttermoor. Vortrag in der Steuerwarte der EWE bei Leer am 21.05.2008

Ertelt, S., Lübbers, H., Ramón, P. (2007): Rekordbohrung in Valencia. bi Umweltbau, Heft 5/07, S. 20 23

Jaguttis, J., De La Motte, P. W., Peters, M., Pfeff, D. (2008): Weltpremiere für Direct Pipe. bi Umweltbau, Heft 1/08, S. 28 32

E elektronische Medien

Borchardt, N. (2008): Fotos von der Baustellenbegehung Projekt „Emsbohrungen Jemgum/Nüttermoor“ am 21.05.2008

DCA (Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V.) (Hrsg.): Internet.

(1) DCA Newsletter Nr. 22 vom Juni 2007. Als Download verfügbar unter: http://www.dca-europe.de//index.php?option com_docman&task cat_view&gid 23&dir DESC&order date&limit 5&limitstart 0, [Stand 24.07.2008]

(2) Ziele des Verbandes. Online im Internet unter: http://www.dca-europe.de//index.php?option com_content&task view&id 13&Itemid 29, [Stand 27.05.2008]

Fraunhofer IRB (Informationszentrum Raum und Bau) (Hrsg.): Online im Internet unter: www.baufachinformation.de/publikationen.jsp, [Stand 23.07.2008]

Google Earth. © 2008 Tele Altas. Image © 2008 GeoContent. Version 24.04.2008

Herrenknecht AG (Hrsg.): Internet.

(1) Direct Pipe: Tailor-Made Pipe laying with the dual power of Microtunnelling and the Herrenknecht Pipe Thruster. Informationsmaterial. Als Download verfügbar unter: www.herrenknecht.de/verfahren-technologie/forschung-entwicklung/direct-pipe.html, [Stand 02.07.2008], (siehe Anlage 2)

(2) Grabenlose Direktverlegung von Produktrohrleitungen und Pipelines. Online im Internet unter: www.herrenknecht.de/verfahren-technologie/forschung-entwicklung/direct-pipe.html, [Stand 02.07.2008]

(3) Weltpremiere für Herrenknecht Direct Pipe. Rheindüker bei Worms wird in nur 13 Tagen realisiert. Online im Internet unter: www.herrenknecht.de/aktuelles/presse/weltpremiere-fuer-herrenknecht-direct-pipe-rheindueker-bei-worms-wird-in-nur-13-tagen-realisiert.html, Artikel vom 19.10.2007, [Stand 02.07.2008]

ISO (International Organization for Standardization) (Hrsg.) (2008): ISO 21467:2004 Online im Internet unter: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber 34546, [Stand 23.07.2008]

Microsoft Encarta 2007. © 1993-2006 Microsoft Corporation

Schnau, M. (2008): Projektvorstellung Emsbohrungen Jemgum/ Nüttermoor. Präsentation in der Steuerwarte der EWE bei Leer am 21.05.2008 (siehe Anlage 1)

Tracto-Technik GmbH & Co. KG (Hrsg.): Kabelaustausch mit Überbohrtechnik. Prospekt. Online im Internet unter: http://rohrverlegung.tracto-technik.de/index.cfm?menuID 24&showBlaetterkatalog 1, [Stand 03.07.2008], (siehe Anlage 3)

Wikipedia. Die freie Enzyklopädie. Online im Internet unter:
http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite, [Stand 25.07.2008]

VI. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Pilotbohrung 5
Abb. 2: Räumvorgang 5
Abb. 3: Einziehvorgang 6
Abb. 4: Startbaugrube mit Hauptkomponenten eines Horizontalsystems 6
Abb. 5: Bohranlage 7
Abb. 6: Bedienpult mit Anzeigen und Joysticks 8
Abb. 7: Bohrstangen 10
Abb. 8: Barrelreamer mit Schutzschweißnähten 11
Abb. 9: verschiedene Fly Cutter 25
Abb. 10: Prinzipielle Darstellung eines Oberbogens 28
Abb. 11: Rollbock 30
Abb. 12.: Einziehgarnitur mit Abdeckung 33
Abb. 13: Migration und Setzungen in der offenen Bauweise 37
Abb. 14: Luftbild der geplanten Bohrung 38
Abb. 15: 250t-Bohranlage und Spundbohlen vor der Pilotbohrung 39
Abb. 16: Überprüfung des Korrosionsschutzes 39
Abb. 17: Zugkraftverlauf beim Rohreinzug 40
Abb. 18: Zwischenlagerung der Spülung 41
Abb. 19: Barrelreamer 41
Abb. 20: Pipe Thruster, Vorschubeinheit 43
Abb. 21: Startbaugrube 44
Abb. 22: Zielbaugrube 44
Abb. 23: Kabel im Überbohrkopf 45

VII.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Vermessungssysteme für das HDD-Verfahren 15

Tabelle 2: Vergleich von Stahlrohren, duktilen Gussrohren und PE-Rohren 20

Tabelle 3: Gängige Spülungsarten für das HDD-Verfahren 21

Tabelle 4: Klassifizierungsmöglichkeit für Horizontalbohrgeräte 26

Tabelle 5: Mindestbiegeradien für Bohrgestänge in Abhängigkeit des Gestängedurchmessers 29

Tabelle 6: Mindestbiegeradien für Bohrgestänge in Abhängigkeit der Gerätegröße bzw. des Bohrgestängedurchmessers 29

Tabelle 7: Vergleich der direkten Herstellkosten bei der Verlegung einer Trinkwasserleitung 35

Tabelle 8: Vergleich der Herstellkosten und der Umweltbilanz von offener und geschlossener Bauweise 36

VIII. Abkürzungsverzeichnis

CMC	Carboxylmethylcellulose[87]
DCA	Drilling Contractors Association, englische Bezeichnung für den Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e. V.[88]
DN	Rohraußendurchmesser in mm
FZM	Faserzementummantelung bestehend aus Quarzsand, Zement, Kunststoff- oder Glasfasern sowie einer oder mehrerer Kunststoffgewebebandagen[89]
HDD	Horizontal Directional Drilling oberflächennahes, steuerbares Horizontalbohren
PE	Polyethylen
PE-X	Vernetztes Polyethylen, d. h. Makromoleküle des PE sind zu dreidimensionalen Raumnetzmolekülen verbunden[90]
PP	Polypropylen
psch	Pauschal
TIS-K	Tyton mit integrierter Sicherungskammer
TKF	Torus-Kegel-Fenster
TYTON	Muffenverbindung
TYTON-SIT	Sicherung im TYTON-Ring
ZM	Zementmörtel

[87] Vgl. Bayer (2005) S. 78
[88] Vgl. DCA Internet (1)
[89] Vgl. Fengler (1998) S. 193
[90] Vgl. Fengler (1998) S. 207

IX. Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Projektvorstellung „Emsbohrungen Jemgum/ Nüttermoor“,
Präsentation von Dipl.-Ing. (FH) M. Schnau der Fa. Bohlen & Doyen XIV

Anlage 2: Direct Pipe, Informationsmaterial der Fa. Herrenknecht XXXVIII

Anlage 3: Kabelaustausch mit Überbohrtechnik, Prospekt der Fa. Tracto-Technik XLII

Anlage 4: Vergleichskalkulation für die Verlegung einer Trinkwasserleitung
E-Mail von M. Gutsche der Fa. Bohlen & Doyen XLIV

Anlage 5: Möglichkeiten der Problembehebung beim HDD-Verfahren
E-Mail von Dr. R. Kögler XLV

Anlage 6 unter Datei: "Anhang-Borchardt-2008.ZIP"

Anlage 6: Fotos von der Baustellenbegehung Projekt „Emsbohrungen Jemgum/ Nüttermoor“ am 21.05.2008

Anlage 1

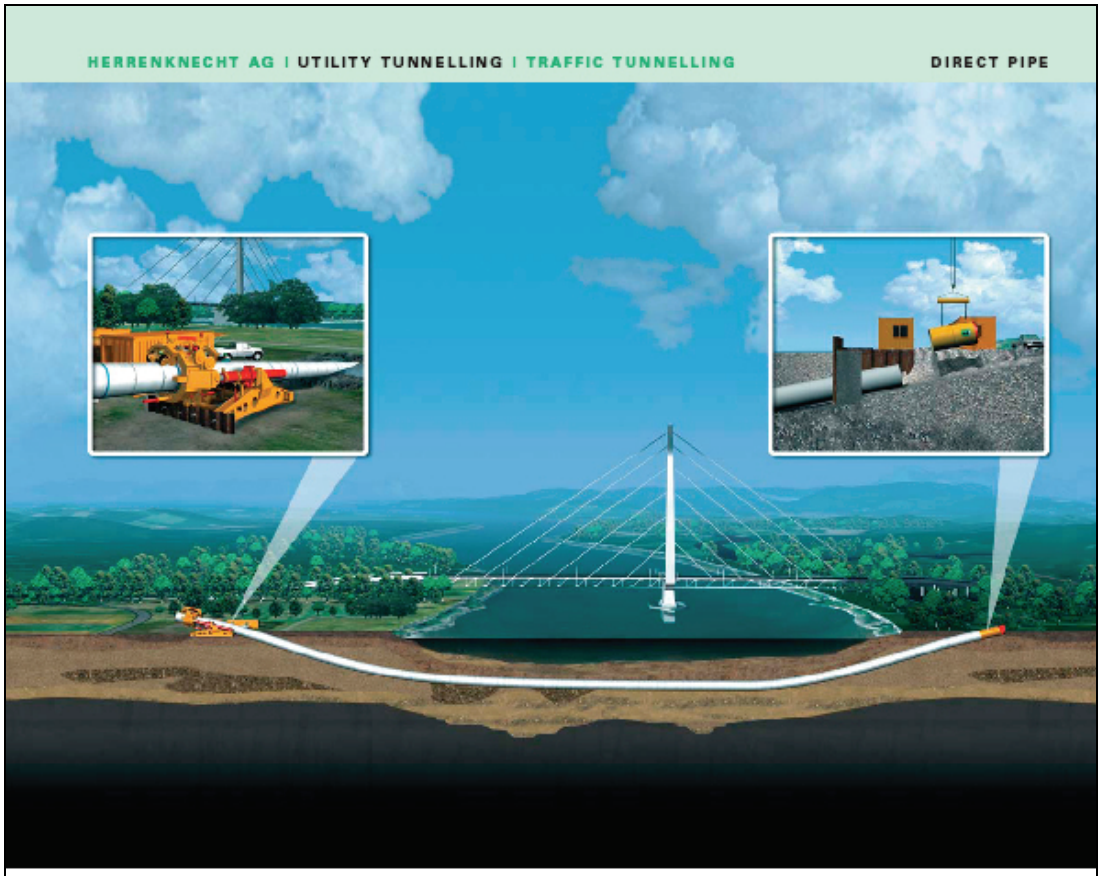
Projektvorstellung „Emsbohrungen Jemgum/ Nüttermoor“

Präsentation von Dipl.-Ing. (FH) M. Schnau der Fa. Bohlen & Doyen vom 21.05.2008

nicht verfügbar, da keine Rechte zur Veröffentlichung

Anlage 2

Direct Pipe, Informationsmaterial der Fa. Herrenknecht



DIRECT PIPE: TAILOR-MADE PIPE LAYING WITH THE DUAL POWER OF MICROTUNNELLING AND THE HERRENKNECHT PIPE THRUSTER.



Pipe Thruster installed at the launch pit.

DIRECT PIPE: FOR DIRECT LAYING OF PRODUCT AND OTHER PIPELINES.



In the past numerous methods and machines were developed for the trenchless installation of pipelines to enable the undercrossing of sensitive surface areas. The Direct Pipe method combines the advantages of the well-established construction methods Microtunnelling and Horizontal Directional Drilling (HDD) and thus opens up new application potentials. Geological ground conditions, specified time and costs targets are the decisive criteria for the selection of the most suitable technology.

The Direct Pipe Method allows the excavation of the borehole and the simultaneous trenchless installation of a prefab and tested pipeline in one single continuous step. Similar to pipe jacking, the soil is excavated with a HERRENKNECHT microtunnelling machine. The position along the specified tunnel route is monitored by state of the art techniques of controlled pipe jacking. The excavated material is removed through the slurry circuit placed in the prefab pipeline.

The forces which are necessary for pushing the pipeline are exerted by a novel push mechanism known as the Pipe Thruster, an innovation of HERRENKNECHT AG. The pressure necessary for tunnelling is transmitted to the cutter head via the pipeline.

ADVANTAGES OF DIRECT PIPE.

Technical advantages

- Single-phase mode of operation.
- Permanent borehole support.
- Borehole collapse breaking the surface is thus not possible.
- The cutting wheel can be equipped for any geological condition.
- Excavated material is transported safely out of the borehole by conveyor lines, sedimentation in the borehole is not possible.
- Curved routes can be tracked, precise to the centimeter, thereby avoiding excessive bending stress on the pipeline and excessive laying forces.
- Operations at the target pit only to dismantle the cutting head.

Economic advantages

- Limited work areas required at the launch pit and target pit.
- A minimum volume of slurry is required.
- Due to a very small overcut a minimum borehole diameter can be realized, thus minimizing the amount of excavated material.
- Boring time can be reduced, no coupling times are necessary and the pipeline can be laid continuously in one single step.
- No permanent protective piping/casings are necessary.





Pipeline embraced by the clamping device of the Pipe Thruster.

THE DIRECT PIPE METHOD.

The Pipe Thruster

The Herrenknecht Pipe Thruster can be used for all pipe diameters ranging between 20" and 48" by just changing the clamping inserts. The clamping device is suitable for all types of pipelines and coatings. The modular design does not require special cargo transports.

- Max. push and pull force 500to (5,000kN)
- Max. speed: 5m/min
- Stroke: 5m
- Dimensions: 9 x 4,1 x 4,4m
- Weight: 45t



Launch Situation

A remote-controlled microtunnelling machine is prepared in the launch pit. At the same time the Pipe Thruster is positioned and anchored to a sheet piling. The pipeline is lead through the Pipe Thruster and coupled to the microtunnelling machine with specially designed adaptor parts able to withstand the compressive and tensile forces.



Tunnelling Process

The tunnelling machine loosens the soil and hydraulically removes it from the borehole through the slurry lines inside the pipeline. The Pipe Thruster pushes the pipeline from the start to the target point while providing the necessary pressure on the cutter head for the drilling process.

Herrenknecht Universal Navigations System (U.N.S.) allows curved tunnelling by using a Gyro-System and hydraulic water leveling.



Ready to connect

The tunnelling process along the planned tunnel route is continued until the tunnelling equipment reaches the target point. Consequently the complete pipeline is installed and the machine can now be recovered. In a final step the conveying system has to be removed out of the pipeline. The crossing is ready!








WWW.HERRENKNECHT.COM

Herrenknecht AG is a technology and market leader in mechanized tunnelling. As the only provider offering a complete range throughout the world, Herrenknecht delivers high-tech tunnel boring machines for all ground conditions and with all diameters – ranging from 0.1 to more than 16.0 meters.

Herrenknecht's tailor-made machines create pipeline systems for water and sewage, for gas and oil as well as cable tunnels (Utility Tunnelling) and tunnelling systems for road, metro and railway traffic (Traffic Tunnelling).

Herrenknecht sees itself as a partner in teamwork tunnelling in all phases of a project. Comprehensive services for all aspects of tunnel boring activities complement our range.

Today, the Herrenknecht Group employs more than 1,600 people in numerous national and international subsidiaries and associated companies.

Herrenknecht AG
D-77963 Schwanau
Phone +49 7824 302-923
Fax +49 7824 302-364
utility@herrenknecht.de

Tunnelling Systems

Anlage 3

Kabelaustausch mit Überbohrtechnik, Prospekt der Fa. Tracto-Technik

Info Nr: 362900J02/07.2006



Der **patentierte** Überbohrkopf von TRACTO TECHNIK

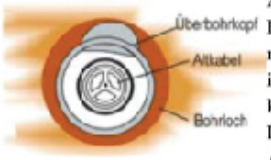
Kabelaustausch mit Überbohrtechnik

Die Energieversorger stehen zunehmend vor der Aufgabe, stillgelegte oder beschädigte Erdkabel (insbesondere Ölkabel) gegen neue Kabel auszutauschen. Dass auch Erdkabel altern und schadhaft werden ist völlig normal, ihr notwendiger Austausch ebenso.

Damit sich das Auswechseln der Altkabel rentabel darstellt, ist ein einfaches und wirtschaftliches Verfahren gefragt. Die TRACTO-TECHNIK - HDD-Bohrtechnologie bietet mit sogenannten Überbohrköpfen die Möglichkeit der grabenlosen Entfernung bzw. Auswechslung der Kabel.

Verfahrensablauf

Der Überbohrkopf wird über das in der Startgrube abgetrennte Altkabel gefahren. Durch ständige links-rechts Schwenkbewegungen wird das Bohrgestänge in einer Geschwindigkeit von ein bis zwei Meter pro Minute über das Altkabel gefahren. Der TT-Überbohrkopf ist so konstruiert, dass er dem Lageverlauf des Altkabels folgt. Das Altkabel bildet die Zwangsführung für den Überbohrkopf, der berührungsfrei in gleichmäßigem Abstand um das Altkabel das anhaftende Erdreich/ Sandbett und möglichem Wurzelwerk in einem schmalen Ringkranz freischneidet. Das freigegeschnittene Altkabel lässt sich anschließend einfach mit einer Seilwinde oder einer Baumaschine (z. B. Bagger) aus dem Erdreich ziehen. Der Überbohrkopf fädelt sich in der Zwischengrube aus und gleich wieder in das nächste Kabelstück ein.





An dem Gestänge der Grundodril-Bohranlage wird in der Startgrube nach dem Abtrennen der Altkabel der Überbohrkopf angeschraubt.



Startphase: Das Kabel liegt im Überbohrkopf und das Fre- bzw. Überbohren kann beginnen. Der Freischnitt vom umschließenden Sandbett / Erdreich erfolgt mit der Bohrspülung. Der Überbohrkopf ist so konstruiert, dass er nicht mit dem Kabel in Berührung kommt.

In der freigewordenen Trasse kann mit dem im Bohrloch befindlichen Bohrgestänge nun das neue Kabel mit einem Ziehstrumpf oder Kabelschuh lagegleich eingezogen werden.

TT-GROUP

ERSTE WAHL FÜR PERFEKTE ROHRVERLEGUNG

TRACTO-TECHNIK GmbH · Postfach 4020 · D-57356 Lennestadt
Tel: +49 (0) 27 23 / 80 80 · Fax: 80 81 80 · www.tracto-technik.de

Erdkabelaustausch mit Überbohrtechnik

Info-Nr.: 362900UC2/07.2005

Verfahrensablauf



Der Überbohrkopf hat sein Ziel erreicht. Das Kabel ist frei und kann nun mit einem Bagger oder ähnlichem herausgezogen werden.



Herausziehen des Kabels



Der Überbohrkopf löst sich in der Zwischenrohre aus und gleich wieder in das nächste Kabelstück ein.

Vorteile

- grabenlose Bauweise mit TT-HDD-Bohrtechnik
- die Alttrasse wird lagegetreu genutzt
- eine Neutrassierung mit Einmessung, Katastierung und dem Genehmigungsaufwand entfällt ⇨ Einsparung von Vermessungskosten
- hoheAustauschgeschwindigkeit; etwa 5 schneller als die offene Bauweise.
- optimale Leitungsbettung durch Bentonit und anderen weichen Füllstoffen
- Bäume (Straßenbäume, Alleen, Parks), Grünanlagen, Straßen- und Gehwegoberflächen bleiben erhalten bzw. nahezu unberührt
- Die Arbeit verläuft unauffällig, geräuscharm und schnell
- Überbohrlängen von 100 bis max.120 m sind möglich
- Wiederverwertung von Al-Kabeln mit Kupferadern
- Auch zum Freibohren festsitzender Bohrstangen geeignet
- Die Überbohrtechnik von TRACTO-TECHNIK ist mehrfach ***patentrechtlich geschützt*** ⇨ ***Verkauf ausschließlich an TT-Kunden***



Kabeltrasse unter Baumallee

Herausgezogene Kabel





Überbohrkopf mit Flexstück **ID 72 mm** oder **ID 98 mm** oder mit Flexstück **ID 135 mm** Typ SW TD61 für Kabel, PE Rohre, festsitzende Bohrgestänge, etc.

Wegen der großen Kabelvielfalt sind natürlich auf Anfrage auch andere Größen erhältlich.

Kontakt: thorsten.clemens@tracto-technik.de
Tel.: 02723 / 908210

Kabelaustausch mit Überbohrtechnik

TT-GROUP

ERSTE WAHL FÜR PERFEKTE ROHRVERLEGUNG

TRACTO-TECHNIK GmbH · Postfach 4020 · D-57356 Lennestadt
Tel: +49 (0) 27 23 / 80 80 · Fax: 80 81 80 · www.tracto-technik.de

Anlage 4

Vergleichskalkulation für die Verlegung einer Trinkwasserleitung

E-Mail von M. Gutsche der Fa. Bohlen & Doyen vom 16.06.2008

Nicole Borchardt

Von: Gutsche, Maik [m.gutsche@bohlen-doyen.com]
Gesendet: Montag, 16. Juni 2008 16:18
An: Nicole Borchardt
Betreff: Vergleich Horizontalbohrung.doc/ Muster

Hallo Nicole,anbei eine Vergleichskalkulation

Bauvorhaben Verlegung Trinkwasserleitung in Müllrose, Bahnhofstraße

1. Rohrgraben bis 1,50 m ausheben und wieder verfüllen	350 m x 18,00 €	= 6.300,00 €
2. TW-Rohr d 160 incl. aller Formteile verlegen	350 m x 17,96 €	= 6.286,00 €
3. Betonstein aufnehmen und wieder verlegen	280 m² x 14,73 €	= 4.124,00 €
		16.710,00 €

Alternative Ausführung in Horizontalbohrverfahren

1. Baugrube bis 1,50 m Tiefe ausheben und wieder verfüllen	4 Stück x 680,00 €	= 2.720,00 €
2. Horizontalbohrung mit gleichzeitiger Verlegung des TW-Rohres d 160	350 m x 24,00 €	= 8.400,00 €
3. Oberfläche für Baugrube in Betonsteine	24 m² x 14,73 €	= 353,00 €
-		11.473,00 €

Sitz der Gesellschaft: Wiesmoor
Eingetragen beim Amtsgericht Aurich, HRB 200441
Geschäftsführer: Dipl. Ing. Jan G. Koop, Dipl. Oec. Gerd Schröder, Dipl. Ing. Hartmut Wegener
UST.-Id.-Nr.: DE254277000

Registered office: Wiesmoor
Registered at the district court Aurich, HRB 200441
Managing Directors: Dipl. Ing. Jan G. Koop, Dipl. Oec. Gerd Schröder, Dipl. Ing. Hartmut Wegener
VAT.-Id-No.: DE254277000

The information in this email may be confidential or protected by privilege. If you are not the intended recipient please inform us immediately and do not disclose or copy its contents.
Diese Email ist vertraulich und nur für den Adressaten bestimmt. Falls Sie als Empfänger mit dem Adressaten nicht identisch sind informieren Sie uns bitte umgehend. Jede Verbreitung und Vervielfältigung dieser Email ist untersagt.

Anlage 5

Möglichkeiten der Problembehebung beim HDD-Verfahren

E-Mail von Dr. R. Kögler vom 21.07.2008

Nicole Borchardt

Von: Dr. Rüdiger Kögler [ruedigerkoegler@t-online.de]
Gesendet: Montag, 21. Juli 2008 17:02
An: 'Nicole Borchardt'
Betreff: HDD

Sehr geehrte Frau Borchert,

da ich zurzeit in Urlaub bin und auch in der ersten Arbeitswoche danach (KW 31) bereits wieder vollständig ausgebucht bin, kann ich Ihnen die Vielzahl Ihrer Fragen nur stichpunktartig beantworten.

1. Festwerden des Produktrohres
- Zurückziehen mit Winden oder einem Pipe Thruster
- Aufgabe des eingezogenen Rohrstücks, Trennung (Abschießen) des freien Teils und Bergung; neue Bohrung

2. Bohrlocheinsturz beim Räumen
- zusätzliche Räumgänge
- angepasste Bohrspülung
- neue Bohrung

3. Hindernis während der Pilotbohrung
- Durchbohren (z.B. mit Gesteinswerkzeug)
- zurückziehen, umbohren (vertikal und/oder horizontal)
- neue Bohrtrasse wählen

4. Verstopfte Düsen beim Räumen
- Werkzeug zurückziehen, Düsen reinigen, weiterbohren

5. Gestängebruch beim Räumen
- beide Teilstücke bergen, Pilotgestänge erneut durchschieben, weiter räumen

6. Schlagwerke
- nur bei kleineren Bohrgeräten für Festgesteinsbohrungen (z.B. auch Ankerbohrgeräte)
- hohe Belastung des Bohrstrangs und der Vermessungseinheit beachten

Ich würde mich freuen, wenn Sie mir nach Abschluss Ihrer Arbeit ein Exemplar für mein Archiv zukommen lassen würden (digital oder Druck).

Mit freundlichen Grüßen

R. Kögler

PD Dr.-Ing. habil. R. Koegler
Obenende Nord 102
D-26670 Nordgeorgsfehn
GERMANY
Phone: ++49 4956 912971
Fax: ++49 4956 912972
Mobile: ++49 171 770 9096
E-mail: info@dr-koegler.de
Internet: www.dr-koegler.de
