Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Freunden bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen beiden Korrektoren, Herrn Dipl. Ing. Jurecka und Dr. Blovsky, die mich durch Ihre hilfreichen Anregungen und Ihre Geduld immer wieder unterstützt haben, sowie Herrn Prof. Jodl für seine Bereitschaft, als Hauptprüfer zu fungieren.

Weiters möchte ich mich beim Institut für Grundbau und Bodenmechanik (Dr. Blovsky) bedanken, dass mir den Arbeitsplatz zu Verfügung gestellt hat.

Des Weiteren möchte ich mich bei Mag. Dr. Latif Havrest für seine sprachliche Korrektur und Verbesserungsvorschläge bedanken.

Mein besonderer Dank gilt der Österreichischen Orientgesellschaft besonders Frau Dr. Theresia Laubichler, dass ohne deren finanzielle und motivierende Unterstützung die Durchführung meines Studiums nicht realisierbar gewesen wäre.

Der größte Dank gebührt meinen Eltern Jalil und Fariba, die mir auch das zweite Studium (im Österreich) nahe legten und mit viel Verständnis, Geduld und Ihrer ganzen Großzügigkeit ermöglichten.

Kurzfassung

Die Anwendung der zahlreichen Technologien für die unterirdische, grabenlose Neuherstellung und Instandsetzung von Leitungen stellte eine aufstrebende Entwicklung im Teil der technischen Innovationen im Tiefbau dar.

Diese Diplomarbeit soll einen umfassenden Überblick über sämtliche derzeit angewendete Bauweisen zur Erstellung von grabenlosen Leitungsquerschnitten ermöglichen. Im ersten Teil werden eine allgemeine Bemerkung zum Leitungsbau sowie Art und Aufbau der Leitungsnetze und ihre Varianten bei der Verlegung behandelt.

Daneben sind die geotechnische Anforderungen bzw. (Vor)Untersuchungen bezüglich des grabenlosen Leitungsbaus und seine Bodenklassifizierungen nach Österreichischen und DIN Normen aufgeklärt.

Der Hauptteil der Arbeit befasst sich überwiegend mit sämtlichen Verfahren der Neuverlegung (gegliedert nach ÖNORM EN 12889) und gibt theoretische Angaben zum Verfahren und seiner Arbeitweise, zur Geotechnik und deren Einsatzbereiche sowie baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte, die mit der Praxis in Österreich verglichen wurde. Dieser Vergleich ist durch zwei Tabellen im Kapitel C zur Verfügung dargestellt.

Abstract

The use of the numerous technologies for the underground, digless new production and repair of lines represented a rising development in the part of the technical innovations in the foundation engineering.

This thesis (diploma) is to make a comprehensive overview possible of all building methods used at present for the production of digless cross sections of a line. In the first part a general remark is treated to the pipe installation as well as kind and structure of the power mains and its variants with the transfer.

Besides the geotechnical requirements and/or (pre)investigations are enlightened concerning the digless pipe installation and its classifications according to Austrian and DIN standards. The main part of the work is concerned predominantly with all procedures of the new transfer (arranged according to OENORM EN 12889) and given theoretical data to muddled and its work way, to the geotechnics and their areas of application as well as build-operational and build-economical aspects, which was compared with practice in Austria. This comparison is represented by two tables in the capital C.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung i

Kurzfassung ii

Abstract iii

Inhaltsverzeichnis iv

Abkürzungen vi

Begriffsdefinition viii

A Allgemeine Bemerkungen zum grabenlosen Leitungsbau 1

1 Einleitung 1

2 Art und Aufbau der Leitungsnetze bzw. –systeme 5

2.1 Wasserleitungen bzw. –systeme 5

2.2 Fernwärmeversorgungssysteme 6

2.3 Entwässerungssysteme 7

3 Varianten der Leitungsverlegung 9

3.1 Einzelverlegung 9

3.2 Mehrfachverlegung 9

4 Geotechnik 12

4.1 Abgrenzung der Bodeneignung 12

4.2 Geotechnische Untersuchungen 12

4.2.1 Voruntersuchungen 13

4.2.2 Aufschlussverfahren 14

4.2.2.1 Direkte Aufschlussverfahren 14

4.2.2.2 Indirekte Aufschlussverfahren 16

4.3 Erkundungsraster und Aufwand 19

4.4 Boden- bzw. Gebirgsklassifizierung 19

4.4.1 Bodenklassen nach DIN 18319 - Rohrvortriebsarbeiten: 20

4.4.2 Klassifizierung nach der Abrasivität 21

4.5 Grundwasser 23

B Verfahren der Neuverlegung 24

1 Unbemannt arbeitende, nicht steuerbare Verfahren 24

1.1 Bodenverdrängungsverfahren 24

1.1.1 Verfahren mit (Erd)Verdrängungshammer - VH oder EVH 24

1.1.2 Verfahren mit Horizontalramme und geschlossenem Rohrende 30

1.1.3 Horizontal-Pressbohrverfahren mit Aufweitungsteil (Horizontal-Pressanlage) 31

1.2 Bodenentnahmeverfahren 35

1.2.1 Verfahren mit Horizontalramme und offenem Rohr 36

1.2.2 Horizontal-Pressbohrverfahren (HPB) 41

1.2.3 Hammerbohrung 50

1.2.4 Horizontal-Pressbohrverfahren mit Räumer 53

2 Unbemannt arbeitende, steuerbare Verfahren 54

2.1 Pilotrohr-Vortrieb 54

2.1.1 Rohrvortrieb durch Einpressen oder Einschieben 54

2.1.1.1 Zweiphasiger Vortrieb 54

2.1.1.2 Dreiphasiger Vortrieb 58

2.1.2 Rohrvortrieb durch Einziehen 59

2.2 Mikrotunnelbau 61

2.2.1 Mikrotunnelbauverfahren mit Schneckenförderung 62

2.2.2 Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung 68

2.2.3 Mikrotunnelbauverfahren mit pneumatischer Förderung 76

2.2.4 Mikrotunnelbauverfahren mit anderer mechanischer Förderung 79

2.3 Spülbohrverfahren 82

2.3.1 Spülbohrverfahren mit Flüssigkeitsspülung 83

2.3.2 Spülbohrverfahren mit Luft-(Gas)-spülung (DDD) 99

3 Bemannt arbeitende Verfahren Rohrvortrieb 103

3.1 Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau (SM-T) 106

3.1.1 Teilflächiger Abbau von Hand (Handschild) 106

3.1.2 Teilflächiger mechanischer Abbau 108

3.1.2.1 Ortsbrust mit Druckluftstützung (SM-T3) 110

3.2 Schildmaschinen mit vollflächigem Abbau (SM-V) 113

3.2.1 Ortsbrust mit natürlicher Stützung (SM-V1) 114

3.2.2 Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung (SM-V4) 114

3.2.3 Ortsbrust mit Erddruckstützung – EPB Schild (SM-V5) 118

C Zusammenfassung 122

Literaturverzeichnis 127

Abbildungsverzeichnis 130

Tabellenverzeichnis 134

Abkürzungen

API: American Petroleum Institut

ATV: Allgemeine technische Vertragsbedingungen

AVN: Automatische Vortriebsmaschine Nassbohrung

BK: Bodenklasse

CAI: CERCHAR Abrasiveness Index

CALTRANS: California Department of Transportation

DCA: Drilling Contractors Association

DCI: Digital Control Incorporated

DDD: Dry Directional Drilling

dgl.: dergleichen

DN/ID: Nennweite Innendurchmesser [mm]

DN/OD: Nennweite Außendurchmesser [mm]

DN: Nennweite [mm]

D_S: Durchmesser des Schildes

DVGW: Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.

Engl.: English

EPB: Earth Pressure Boring

FZ: Faserzement

g.: Gram

GFK: Glasfaserverstärkter Kunststoff

GGG: Gegossen Gusseisen Globular

HDD: Horizontal Directional Drilling

HPB: Horizontal Press Bohrung

i.d.R.: in der Regel

I.J.S: Intermediate Jacking Station

ISTT: International Society for Trenchless Technology

LWL-Kabel: Lichtwellenleiterkabel

MT: Microtunneling (Mikrotunnelbau)

ÖGL: Österreichische Vereinigung für Grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen

ÖVGW: Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach

PC: Polymerbeton (Polymerconcrete)

PE 100 RC^+: Polyethylen Resistance to Crack

PE: Polyethylen

PP: Polypropylen

PTMT: Pilot Tube Microtunneling

PVC: Polyvinylchlorid

SPT: Standard Penetration Test

ST: Stahl

STB: Stahlbeton

VH: Verdrängungshammer

VOB: Verdingungsordnung für Bauleistungen

VPE: Vernetzte Polyethylen

VV: Verdrängungsvortrieb

Z.: Zitat

Zw.: zwischen

Begriffsdefinition

Abrasivität: Ist eine Eigenschaft von Locker und Festgestein, beim Bohren am Bohrwerkzeug einen mehr oder weniger großen Verschleiß auszuüben.

Aufweitbohrung: Vergrößern des Bohrlochdurchmessers durch Aufbohren (Erweiterungsbohrloch) (auch Erweiterungsbohrung genannt).

Bemannt arbeitende Verfahren: Ist ein Verfahren mit Einsatz von Personal an der Ortsbrust während des Vortriebs.

Bohrgestänge: Ist ein- oder mehrteilige Verbindungsteile zwischen Bohrwerkzeug und Bohrmaschine aus Vollprofilen, Hohlprofilen oder Rohren.

Bohrgestängestrang: Ist verschraubte Bohrgestänge

Bohrgut: Beim Trockenbohren im Lockergestein anfallendes Gut

Bohrklein: Bei Bohrverfahren mit Spülmittel und beim Bohren im Festgestein anfallendes Gut.

Bohrkopf: Gerät oder Kombination von Geräten, das/die an der ortsbrust Boden abbaut/abbauen und üblicherweise für mechanische Abbauverfahren eingesetzt wird/ werden.

Bohrlafette: Einrichtung, auf der die in einem Führungsschlitten angebrachte Bohrmaschine in Vorschubrichtung hin- und herbewegt werden kann.

Bohrspülung: Ist Flüssigkeit, Gas oder eine Mischung aus beiden, vornehmlich zum Austragen des gelösten Bohrkleins (in Abhängigkeit des Vortriebsverfahrens) aus dem Bohrloch oder von der Ortsbrust nach über Tage

Bruttobohrzeit: Gesamtbohrzeit als Summe aus Nettobohrzeit, Umsetzzeit, Anbohrzeit, Rüstzeit und den Zeiten für alle weiteren Arbeiten, die dem Bohren unmittelbar dienen

Findling: Durch Eistransport in einem fremden geologischen Bereich verlagerter Gesteinsblock

Hydroschild: Vollflächig abbauende Schildmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust, bei der die Stützdrucksteuerung über ein regelbares Druckluftpolster in der Druckkammer erfolgt

Interimsrohr: Ist ein wiedergewinnbares Rohrsystem für die temporäre Stützung des Bohrloches. Es wird auch als Stützrohr, Hilfsrohr, Futterrohr oder Temporärrohr genannt.

Mantelrohr: Im Baugrund verbleibende Rohrleitung zur Aufnahme und zum Schutz mehrerer Produktleitungen oder Schutzrohre gleicher oder unterschiedlicher Art.

Nachläufer: Eine Gruppe von zusätzlichen Geräten, die das Arbeiten einer Schildmaschine ermöglichen und Einrichtungen für die Arbeit der Mannschaft bereitstellen. Die sind normalerweise mit einer Schildmaschine verbunden oder angehängt und werden mit dieser bewegt (auch Back-Up-Gerät genannt).

Nennweite: Numerische Bezeichnung für den Durchmesser eines Rohrleitungsteiles, die dem Durchmesser in mm entspricht. Sie bezieht sich entweder auf Innendurchmesser

(DN/ID) oder auf den Außendurchmesser (DN/OD) (auch Rohr- oder Vortriebsrohrnennweite genannt).

Nettobohrzeit: Ist Zeit für das eigentliche Bohren

Ortsbrust: Ausbruchfläche eines Hohlraumes bzw. Bohrloches in Vortriebsrichtung (auch Brust genannt)

Pilotbohrgestänge: Beim Pilotrohr-Vortrieb in der ersten Phase eingesetzte Bohrgestänge, die zur Maschinenausrüstung gehören und wiedergewonnen werden.

Pilotbohrgestängestrang: Miteinander verschraubte Pilotbohrgestänge

Pilotbohrstrang: Pilotbohrgestängestrang einschließlich Pilotbohrkopf

Räumer: Am Ende eines Bohrgestänges montierter Bohrkopf zur Herstellung einer Aufweitbohrung

Sacklochbohrung: Bohrung die nicht in einem Zielschacht oder anderen Hohlraum endet bzw. angeschlossen wird (auch Blindbohrung genannt).

Schildmaschine: Verschiebliche Verbaukonstruktion, in deren Schutz der Ortsbrust händisch, mechanisch oder hydraulisch abgebaut wird

Schildschneide: Vorderen Kante der Schneidenschusses, welche die Aufgabe hat, beim Vortrieb in den anstehenden Baugrund einzudringen

Schildschwanz: Hinterer Teil eines Schildes; Übergang zum Vortriebsrohr

Schneidenschuss: Vorderteil einer Schildmaschine

Schutzrohr: Im Baugrund verbleibende Rohrleitung zur Aufnahme und zum Schutz einer Produktrohrleitung oder eines Kabels gegenüber äußeren Beanspruchungen

Slurryschild: Vollflächig abbauende Schildmaschine mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust, bei der die Stützdrucksteuerung innerhalb der Abbaukammer durch den über Pumpen gesteuerten Zu- und Abfluss der Stützflüssigkeit erfolgt

Spülbohrverfahren: Bohrtechnik die für das Austragen des abgelösten Bohrkleins aus dem Bohrloch nach über Tage ein zirkulierendes Spülmittel benötigt.

Standfestigkeit: ist eine Baugrundeigenschaft die angibt ob eine freie Fläche oder eine Bohrloch von selbst steht oder eine Stützung benötigt.

Standzeit: Bezeichnet im Hohlraum die Zeit, in der das Gebirge nach Herstellung freier Flächen ohne Ausbau standfest bleibt, d.h. steht (auch Stehzeit genannt)

Suspension: Verteilung feinster Feststoffe in einer Flüssigkeit, so dass diese darin schweben

Überschnitt: Ringspalt um das Rohr, der planmäßig infolge Verwendung eines Bohrkopfes oder Schildes mit größerem Außendurchmesser als dem Außendurchmesser des Rohres entsteht.

A Allgemeine Bemerkungen zum grabenlosen Leitungsbau

1 Einleitung

Grabenlose Technik, im englischen Sprachraum ''no-dig'', ''Trenchless Technology'' oder ''Microtunneling'' genannt, als umweltschonende und hocheffiziente Bauweise ist seit drei Jahrzehnten eine vollkommen gleichwertige Alternative zur konventionellen Bauweise im Bereich der Neuverlegung bzw. der Sanierung von Leitungen und Kanälen.

Unter grabenlosem Bauen werden alle grabenarmen unterirdischen Baumethoden, Verfahrenstechniken und Technologien verstanden. Diese lassen sich je nach Art und Umfang der Aufgabenstellung sowie den spezifischen Fachgebieten wie unten unterteilen:

- Das unterirdische Neuverlegen
- Das unterirdische Ersetzen von bestehenden Rohrleitungen
- Die Renovierung und die Reparatur von bestehenden Rohrleitungen

Die erste Baumaßnahme wird im grabenlosen Leitungsbau als *Neuverlegung* und die zwei letzte werden als *Sanierung* der Leitungen bezeichnet [28]. Die Abbildung A.1 zeigt die schematische Klassifizierung bzw. Anwendungsfälle der grabenlosen Leitungsbauten nach Normen und ÖGL[1]. Für jedes Verfahren kommt noch immer überwiegend die ''offene Bauweise'' zur Anwendung. Es darf angenommen werden, dass dem Leser diese Bauweise zureichend bekannt ist.

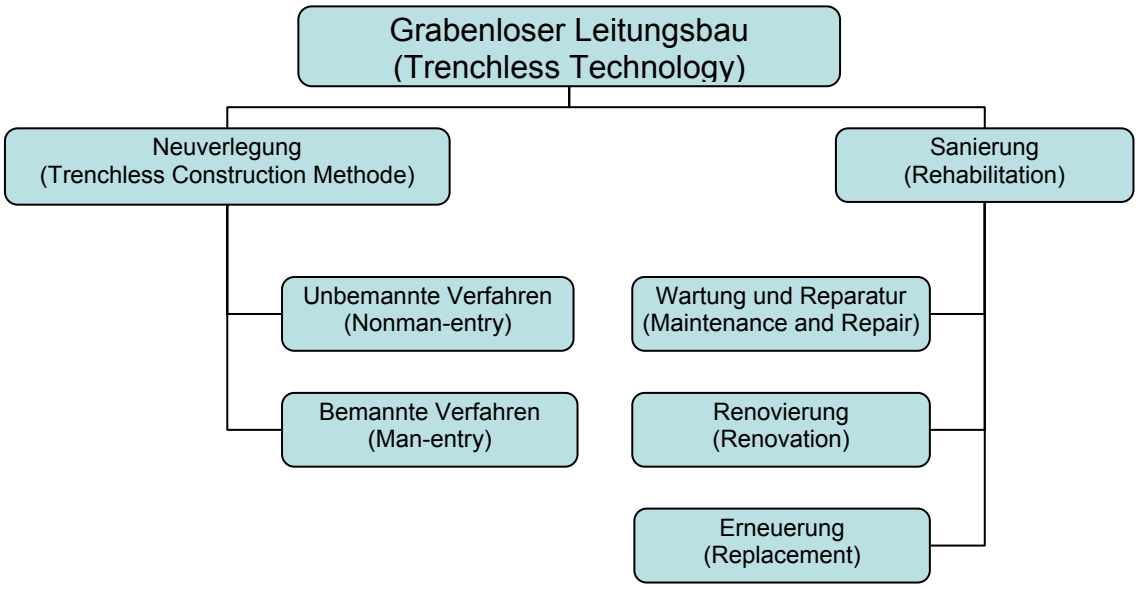


Abbildung A.1, Anwendungsfälle des Grabenlosen Leitungsbaus nach ÖGL

[1] Österreichische Vereinigung für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen, seit 1991

Unter Neuverlegung werden statische tragende Maßnahmen zur Errichtung von neuen Leitungen nach vorgegebener topographischer und tiefenmäßiger Achslage verstanden.
Zur Sanierung gehört alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung der Funktion eines Rohrleitungssystems.
Diese Diplomarbeit befasst sich mit einem Überblick über das gesamte Verfahren in der Neuverlegung. Die Abbildung A.2 zeigt ''das Verfahren der grabenlosen (Neu)Verlegung und Prüfung von Leitungen'' Nach ÖNORM EN 12889:

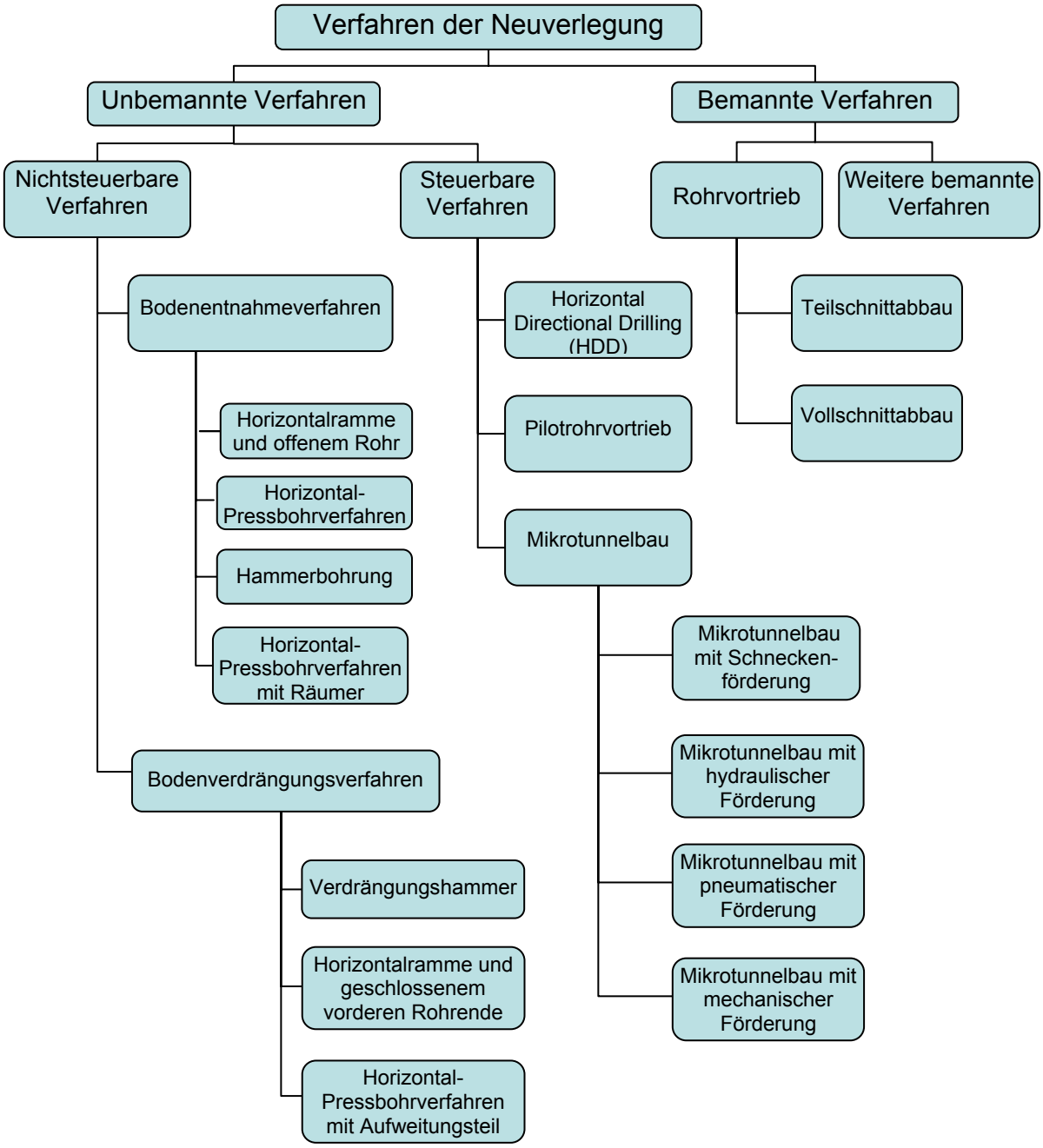


Abbildung A.2, Schematische Darstellung des Verfahrens Neuverlegung nach DIN 12889

Nach der Größe des erzeugten Hohlraumquerschnittes und nach dem Automatisierungsgrad des Vortriebsverfahrens werden unbemannte und bemannte (ab DN 900 bzw. 36 ’’ [4]) Rohrvortriebe unterschieden.
Bei unbemannten Rohrvortrieben differenziert man zwischen ungesteuerten und gesteuerten Verfahren. Ferngesteuerte, unbemannte Rohrvortriebsverfahren werden meist unter dem Begriff Mikrotunnelbau zusammengefasst [45].
Die Zukunft des modernen Kanalbaus wird zweifellos der grabenlosen Rohrverlegung gehören. Die *Vorteile* dieser umweltfreundlichen und ressourceschonenden Bauweise gegenüber dem konventionellen Kanalbau liegen auf der Hand und verdeutlichen sich, wie unten dargestellt, immer mehr bei steigenden Energiekosten:

- Verringerung von Straßenaufbrüchen
- Minderung der ursprünglichen Qualität der Verkehrswege
- Wegfall von Aushub und Transport von großen Bodenmassen
- Reduzierung von Leitungsverlegungen
- Einschränkung der Grundwasserhaltung
- Beschränkung von Verkehrsbeeinträchtigungen
- problemlose Verlegung von Kanälen in großen Tiefenlagen
- Vermeidung von Schäden an benachbarten Baulichkeiten
- Beschränkte Lärm- und Staubemissionen
- Wegfall von witterungsbedingten Ausfallzeiten (100%-iger Winterbau möglich)
- Schonung und Erhalt von oft sehr alten Baumbeständen

Außerdem ist festzustellen, dass eine Verlegeleistung von 15 – 50 m/Tag (entsprechend den Baugrundverhältnissen) erreicht werden kann, was deutlich über die Leistung der offenen Kanalverlegung liegt. Eine verkürzte Bauzeit bringt ausnahmslos Vorteile für Bauherren und Auftragnehmer.
Neben den Vorteilen müssen auch die *Nachteile* der geschlossenen Verlegungen berücksichtigt werden:

- Baugrundrisiko durch fehlende umfangreiche Baugrunderkundung,
- Unwirtschaftliche Vortriebsleistungen bei schwierigen Baugrundverhältnissen mit unbekannten Hindernissen,
- Problematische Abschätzung und Vorhersage der Art, Größe und Häufigkeit von Hindernissen erfordert entsprechende Positionen und Bauzeitregelungen,
- Hohe Investitionskosten der Vortriebskosten für eine vorausschauende Einsatzplanung der Unternehmer,
- Kurze Abschreibungszeiten und Investitionsintervallen wegen rascher Entwicklung,
- Spezialisierte Bedienungspersonal wegen Komplexität der Verfahren.

Auf Grund des nicht so großen Markts in Österreich und noch aus wirtschaftlichen Gründen – wegen Gerätepreis – ist jede ausführende Firma in einem Bereich tätig oder spezialisiert.
Die Firmen die im grabenlosen Leitungsbau im Bereich Neuverlegung tätig sind, waren mit ihren qualifizierten Erfahrungen durch persönliche Kontakte im Büro oder auf der Baustelle behilflich und haben ausreichende praxisbezogene Informationen durch einen Fragebogen zur Verfügung gestellt. Sie sind nachfolgend mit eigenem Tätigkeitsbereich in Österreich (oder auch im Ausland) wie unten aufgeführt:

- Fa. WIBEBA: Bodenverdrängung, Bodenentnahme und Pilotbohrung
- Fa. Braumann: Mikrotunnelbau und Rohrvortrieb (Teil- und Vollschnittmaschine)
- Fa. Watzinger: Bodenentnahme, Mikrotunnelbau und HDD Verfahren
- Fa. RBS Rohrbau – Schweißtechnik: HDD Verfahren und Rohrvortrieb (mechanische Teilschnittmaschine)

Die anderen Firmen wie Angerlehner, Rabmer und Kraft & Wärme (Tochter der Firma WIBEBA) sind im Bereich Sanierung von Wasser-, Abwasser- und Gasleitungen in Österreich und meist europaweit tätig.
Alle ausführenden Firmen werden von der ÖGL als Interessensvertretung dieser innovativen Bauweise vertreten. ÖGL konnte auch als Mitglied der ISTT auf ein weltweites Netzwerk zurückgreifen.
Verfahren, von denen hier keine Angaben (in der Praxis) gegeben wurden, sind jene, die nicht üblicherweise auf dem österreichischen Markt eingesetzt werden.
Hauptteil dieser Diplomarbeit ist vom Buch grabenloser Leitungsbau von Prof. Stein [1] als aktuellste Literatur und Hauptreferenz angewendet.

2 Art und Aufbau der Leitungsnetze bzw. –systeme

Mit Hilfe der Ver- und Entsorgungsleitungen (Produktleitungen) werden einzelne Grundstücke, Siedlungen, Stadtteile oder Regionalbereiche erschlossen oder miteinander verbunden und in Leitungsnetze integriert.

Nach Abbildung A.2 unterscheidet man zwischen Rohrleitungs- und Kabelleitungsnetzen, in Abhängigkeit des zu transportierenden Stoffes oder Mediums.

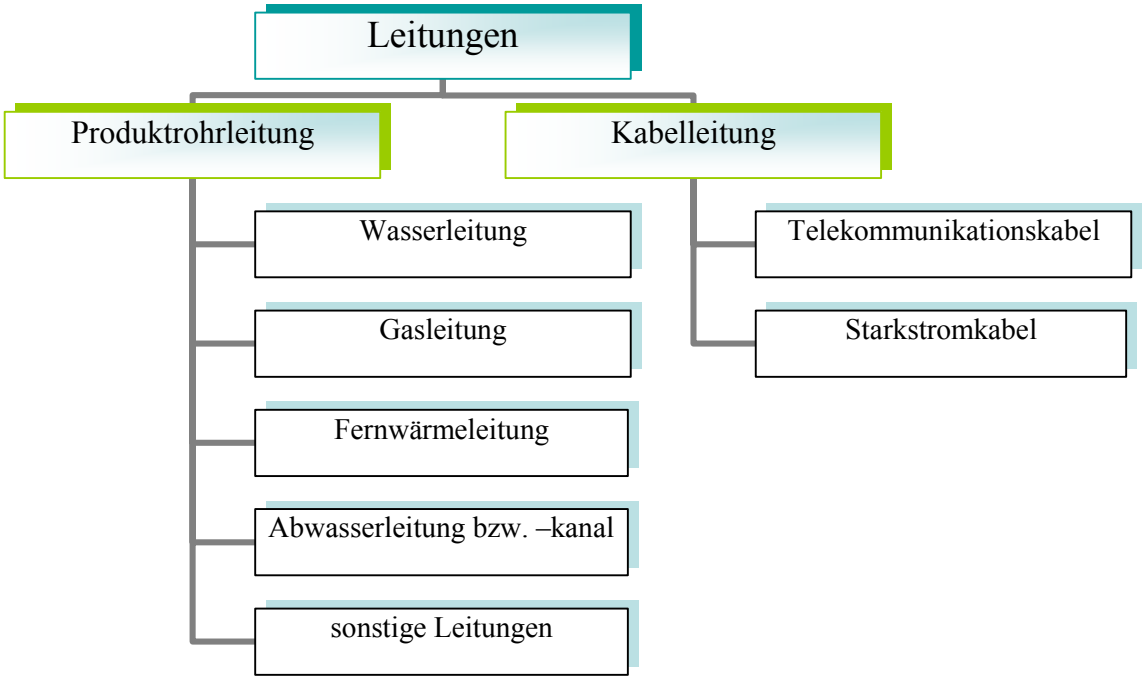


Abbildung A.2, Arten von Ver- und Entsorgungsleitungen [1]

Unter den sonstigen Leitungsarten kann man die Leitungen wie Mineralölrohrleitungen (Pipelines), Rohrpostleitungen, Fahrrohrleitungen für den Gütertransport und Abluftleitungen verstehen.

Rohrleitungen werden noch neben den Produktleitungen aus Schutz- und Mantelrohren sowie der Leitungskanal und der begehbare Leitungsgang unterschieden.

Zwischen den oben aufgeführten Leitungen (in Abbildung B.1) werden die drei wichtigste Leitungen wie Wasser-, Fernwärme- und Entwässerungssysteme aufgeklärt.

2.1 Wasserleitungen bzw. –systeme

Sie sichern die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser, Brauchwasser für Handel, Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft sowie mit Löschwasser.

Ein Wasserverteilungssystem besteht aus Rohr(Wasser)leitungen, Wasserbehältern, Förderanlagen und sonstigen Einrichtungen.

Es beginnt nach der Wasseraufbereitungsanlage oder nach der Wassergewinnung und endet an der Übergabestelle zum Verbraucher (DIN EN 805).

Bei den Netzformen für Wasserverteilungen unterscheidet man zwischen Verästelungsnetz, Ringnetz und vemaschtes Ringnetz mit folgenden Netzvarianten. Die Tabelle A.1 zeigt die Netzformen mit angeführten Kriterien.

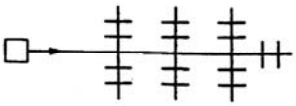
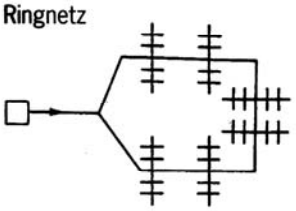
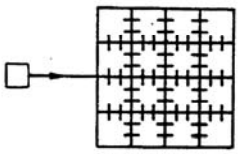
Netzform	Baukosten	Verweilzeiten	Versorgungs-sicherheit	Leistungs-reserven
Verästelungsnetz 	Geringe Baukosten	Zwangsdurchströ-mung in einer Rich-tung. Lange Verweil-zeiten in zu groß bemessenen End-leitungen möglich	Geringe Versor-gungssicherheit, da jeder Verbraucher nur über eine Leitung versorgt werden kann	Sehr begrenzte Leistungs-reserven
Ringnetz 	Die Baukosten sind höher als beim Ver-ästelungsnetz	Lange Verweil-zeiten sind nicht zu erwarten	Hohe Versorgungs-sicherheit, da jeder Punkt der Haupt-leitung auf zwei Wegen erreicht werden kann	Leistungsreser-ven sind durch die Ringbildung sichergestellt. Löschwasser-bereitstellung ist einfacher
Vermaschtes Ringnetz 	Hohe Baukosten	In Teilbereichen können niedrige Fließgeschwindig-keiten bzw. lange Verweilzeiten auf-treten	Sehr hohe Versor-gungssicherheit, Versorgungsunter-brechungen sind räumlich begrenzt	Hohe Leistungs-reserven; gute Verfügbarkeit von Löschwasser

Tabelle A.1, Varianten der Rohrnetze für Wasserverteilung [1]

Was die Wassergewinnung betrifft, wird nach der Art der Quelle zwischen Grund-, Quell-, Seewassergewinnung und Reservoir unterschieden.

In der Schweiz wird 40 % der Wassergewinnung durch Quellwasser, 40% durch Grundwasser und 20 % durch Seewasser mit 53.000 km lange Versorgungsnetze in Tausende Reservoire abgeleitet.

Das Wasserleitungsnetz in Wien umfasst mehr als 3.200 Kilometer öffentliche Rohrstränge und über 100.000 Anschlussleitungen [40].

Folgende Werkstoffe sind als Wasserversorgungsmaterialien zulässig:

Stahl, duktiles Gusseisen, Faserzement, Kunststoffe (PE-HD, PE-LD, PE-X bzw. PVC-U), Beton, Stahlbeton- und Spannbeton, GFK, Polymerbeton (PRC) und Steinzeug.

2.2 Fernwärmeversorgungssysteme

Fernwärme ist eine Leitungsgebundene Energie und wird von einer Heizzentrale (Heizkraftwerk) erzeugt und mit Hilfe eines Druckerzeugers über Druckleitungen dem

Verbraucher für Raumheizung, Wassererwärmung oder Produktionszwecke zugeführt und wieder zum Heizkraftwerk zurückgeleitet.
Warmwasser dient als Hauptanteil (80 %) des Wärmeträgers mit Temperatur bis 130 °C. Bis ca. 20 % von gesamten vorhandenen Netzlängen wird mit Dampf (ca. 200 °C) versorgt.
Die Verteilung der Fernwärme erfolgt über Fernwärmeverteilungssysteme analog der Wasserverteilungssysteme. Sie werden entweder als Zweileiternetz mit je einer Vor- und Rücklaufleitung oder Dreileiternetze mit zwei Vorlaufleitungen verschiedenartiger Betriebsweise und einem Rücklauf, oder als Vierleiter-System aus parallel verlegten Zweileiternetzen konzipiert [1].
Die gebräuchlich wichtigsten Fernwärmeleitungen sind in der unten geführten dargestellt:

	Temperatur/Druck	Nennweiten [mm]	Lieferlängen [m]
Stahlmantelrohre (SMR)	STA bis 300 °C, SOA bis 500 °C/ bis 64 bar	25< DN/ID ≤1200	Bis 16 m Rohrstangen
Kunststoffmantelrohre (KMR)	DBT bis 120 °C, SPT bis 140 °C/ 16, 25 bis 40 bar	20< DN/ID ≤1000	6 -16 m Rohrstangen
Kunststoffmediumrohre (PMR)	DBT bis 80 °C, SPT bis 90 °C/ 5 bar	Bis DN/OD 110	Als Rollenware bis 360 m, ab DN/OD 63 als Rohrstangen bis 12 m
Metallmediumrohre (MMR)	120 – 130 °C/ 16 -25 bar	WM: bis DN/OD 28, KM: bis DN/OD 35	GS: bis DN/OD 35: als Rollenware bis 125 m, ab DN/OD 42: als Rohrstangen bis 12m

Tabelle A.2, wichtigste Mediumrohre in der Fernwärmeleitungen nach eigenen besonderen Eigenschaften, STA: Standardausführungen – SOA: Sonderausführungen – DBT: Dauerbetriebstemperatur – SPT: Spitzentempratur – WM: Weichstahl-Mediumrohr – KM: Kupfer-Mediumrohr – GS: Gerade Systeme [1]

Die Fernwärmeleitungen werden wegen der Empfindlichkeit gegen äußere Beschädigungen beim Einpressen, Einschieben oder Einrammen in grabenlosen Leitungsbau in der Regel nur in Schutzrohr aus Stahl oder Beton bzw. bei direkter Erdverlegung durch Verfahren mit Verdrängungshammer oder mittels Spülbohrverfahren hergestelltes Bohrloch eingezogen.

2.3 Entwässerungssysteme

Entwässerungssysteme dienen zur Sammlung und Ableitung von Abwasser in Form von reinem Schmutzwasser oder Mischwasser (mit Regenwasser).
Dabei können drei Betriebsarten oder Kombinationen derselben zur Anwendung kommen:

- Schwerkraftentwässerungssystem (Freispiegelsystem)
- Druckentwässerungssystem
- Unterdruckentwässerungssystem

Bis vor einigen Jahren ist das Freispiegelsystem als Standardentwässerungssystem verwendet worden. Heutzutage werden in weniger dicht besiedelten Gebieten so wie im ländlichen Raum als Alternativen Druck- oder Unterdruckentwässerungssysteme verlegt.
Die Kanalisationsnetze der Abwasserleitungen werden in verschiedenen Anordnungen wie Quernetz, Abfangnetz, Längsnetz, Verästelungsnetz und Radialnetz (Abbildung A.3) gegliedert.
Die wichtigsten Querschnittsformen von Kanälen der Entwässerungssysteme, (auch Kanalprofile) sind der Kreis-, oder normale Ei- und Maulquerschnitte. Diese sind auch nach DIN 4263 als Regelprofil benannt.

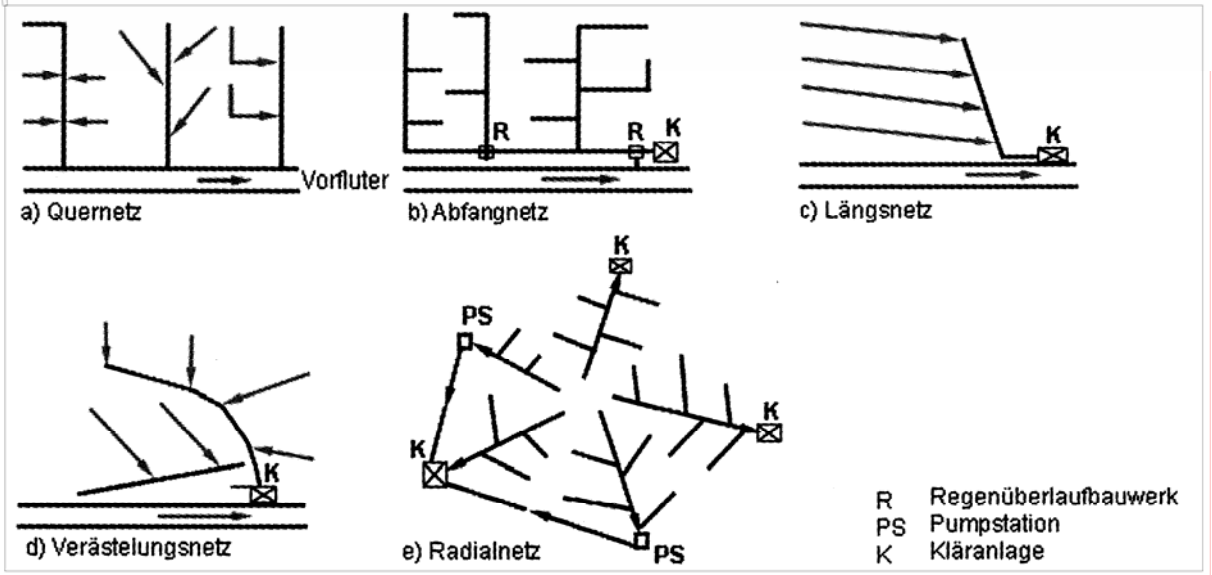


Abbildung A.3, Verschiedene Rohrnetze der Abwasserleitungen [1]

3 Varianten der Leitungsverlegung

In der grabenlosen Verlegung wird zwischen zwei Verlegungsarten unterschieden:

- Einzelverlegung bzw. einzelne Leitung und
- Mehrfachverlegung mehrerer gemeinsamer Leitungen auch unterschiedlicher Art in gleicher Trasse und Gradiente.

3.1 Einzelverlegung

Darunter wird separate Verlegung einzelner Leitungen z.B. im Straßenquerschnitt (nach DIN 1998) verstanden. Sie können durch Erdverlegung oder Verlegung in Schutzrohr ausgeführt werden.

Bei *Erdverlegung* ist der unmittelbare Einbau der Produktrohrleitung in den unterirdischen Hohlraum zu verstehen. Die Belastungen im Bau- und Betriebszustand werden durch die Produktrohrleitung abgefangen.

Schutzrohre fungieren als Schutz gegen äußere Beanspruchungen auf Produktrohrleitungen bzw. Kabel sowie in Versagensfall als Schutzhülle. Sie finden aus bauverfahrenstechnischen und ökologischen Gründen Verwendung bei:

- problematischen Baugrubenverhältnissen(kontaminierte Böden)
- Fernwärmeleitungen
- Abwasserleitungen und –kanälen in Wassergewinnungsgebieten

Sie finden Verwendung in:

- Telekommunikationskabeln (durch Einziehen oder Einblasen)
- Starkstromkabel (durch Einziehen oder Einschieben)
- Fernwärmeleitungen (durch Einziehen)
- Abwasserleitungen und –kanäle und
- Gas- und Wasserleitungen (durch Einziehen oder Einschieben).

3.2 Mehrfachverlegung

Unter Mehrfachverlegung versteht man die gemeinsame Verlegung mehrerer Leitungen (nacheinander oder gleichzeitig) auch unterschiedlicher Art in gleicher Trasse und Gradiente. Sie kann erfolgen durch:

- Erdverlegung
- Verlegung im Mantelrohr
- Verlegung im Leitungskanal
- Verlegung im Leitungsgang

- Verlegung in Produktionsleitungen

Die *Erdverlegung* wird durch das unmittelbare gemeinsame Einziehen der Produktrohrleitungen und/oder Kabel in einem Hohlraum ausgeführt. Dabei wird zwischen nichtgebündelter und gebündelter Verlegung unterschieden.

Mantelrohre sind unterirdisch begehbare oder nichtbegehbare Leitungen die verfahrensabhängig zur Herstellung und/oder Stützung des aufgefahrenen Hohlraumes und Aufnahme der Belastungen im Bauzustand dienen.

Als Mehrfachverlegung werden die Leitungen im Mantelrohr in drei Varianten wie lose Verlegung, gebündelte Verlegung (Abbildung A.4) oder Blockverlegung (mit oder ohne verfüllte Zwischenräume) angewendet.

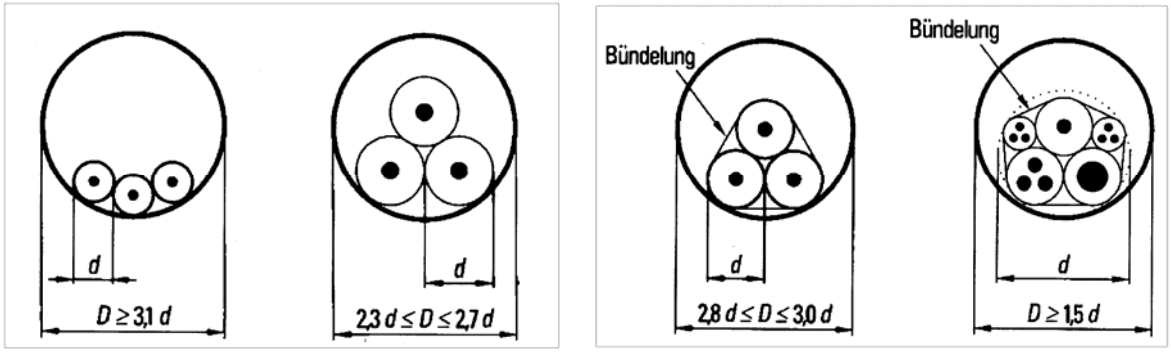


Abbildung A.4, Lose (nichtgebündelte) und Gebündelte Mantelrohre mit erforderlichem Innendurchmesser [1]

- *Leitungskanäle* sind geordnete Verlegung von Ver- und/oder Entsorgungsleitungen mit Hilfe von Dübeln, Spanschellen, Mehrfachschellen oder Leitungsunterstützungen ohne Verfüllung der Zwischenräume. Sie übernehmen folgende Funktionen [1]:
- Aufnahme aller äußeren Lasten
- Abdichtung gegenüber Sicker-, Druck- und Niederschlagwasser und Würzeleinwuchs
- Aufnahme der geplanten Leitungsbelegung nach Anzahl, Art und Dimension
- Sicherung betrieblicher Forderungen wie Gefälle, Dehnung, Entlüftung, Entleerung, Spülung und etc.

Bei der Verlegung im *Leitungsgang* geht es um eine begehbare bauliche Anlage zur zugänglichen Verlegung von Leitungen, bestehend aus Leitungsgangstrecke sowie Zugangs-, Montage-, Belüftungs-, Abzweig- und Vereinigungsbauwerken.

Sie werden auch als Sammelkanal, Werkstollen, Kollektor, Rohrkanal, Infrastrukturkanal oder Leitungstunnel in der Literatur bezeichnet.

- Sie können aus verschiedenen Querschnittsformen wie nachfolgend bestehen:
- kreisförmige Querschnitte (Vollkreise, Kreisabschnitte)
- bogenförmig begrenzte Querschnitte (Parabeln, Hyperbeln, Ellipsen und etc.)
- quadratische und rechteckige Querschnitte

- zusammengesetzte Querschnitte

Die *Produktrohrleitungen* kommen dann zur Verwendung wenn deren Querschnittsfläche während der betrieblichen Nutzungsdauer nicht vollständig beansprucht wird. Die Abwasserkanäle sind im Paris (Abbildung A.5) durch dieses System seit vergangenem Jahrhundert zur Aufnahme von Wasser-, Druckluft-, und Kabelleitungen und auch im Regenfluten untergebracht.
Es werden aber neuerlich auch Telekommunikationskabel und insbesondere LWL-Kabel nachträglich mit oder ohne Roboterunterstützung in nichtbegehbaren Querschnitten eingebaut. Das Einbauverfahren wird mit Roboter in Bohr- und Dübelverfahren, Spannschellen-/Bridenverfahren und Klebeverfahren unterschieden.

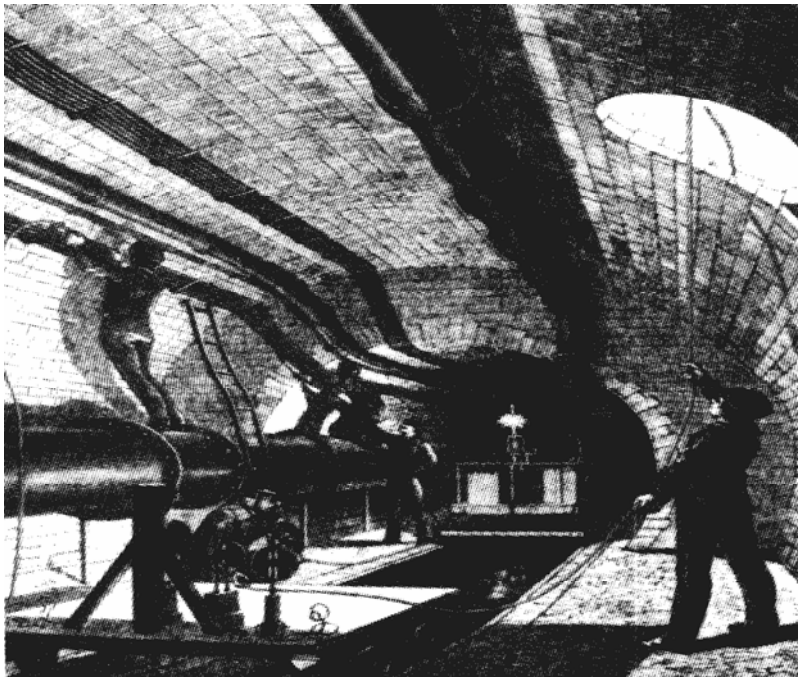


Abbildung A.5, Abwasserkanal mit Versorgungsleitungen in Paris, 19. Jahrhundert [1]

4 Geotechnik

Die geologischen und hydraulischen Informationen über den Boden bilden die Grundlage für die Planung und Ausführung von Leitungsbau- bzw. Rohrvortriebsprojekten. Die fachmännische Auswertung geotechnischer Gutachten besitzt daher einen hohen Stellenwert, da sie die Schnittstelle zwischen Baugrund und maschinentechnischer Konstruktion darstellt [48].
Im Zuge einer intensiven und detaillierten geotechnischen Vorerkundung, werden die wichtigsten Bodenparameter erfasst, die wiederum die Lösbarkeit und Verlagerungsfähigkeit des Bodens, sowie die Standfestigkeit der Bohrlochwandung mitbestimmen und damit starken Einfluss auf die Mischung der Bohrsuspension und letztlich den Bohrvortrieb haben.

4.1 Abgrenzung der Bodeneignung

Auf Grund des eingeschränkten Einsatzbereiches jedes Verfahrens bzw. Geräts, soll darauf geachtet werden, dass jeder Boden nur für bestimmte Vortriebsarten geeignet ist. Beispielsweise können Geröll und Schutt einen Verlust der Steuerbarkeit bewirken, da größere Einzelsteine den Bohrkopf einlenken können bzw. mehrere größere Einzelsteine zur einen Verspannung des Bohrgestänges führen können. Fels und Beton verursachen eine vollständige Vortriebsblockade, da die Festigkeit des Felses größer ist als das Lösevermögen des Bohrkopfes. Ob der Boden überhaupt für einen unterirdischen Rohrvortrieb geeignet ist kann mittels [9]:

- geologischer Kartenstudien zur Groborientierung der geologischen Situation,
- direkte Aufschlussverfahren (Umfelderkundung) und Aufsuchen vorhandener Aufschlüssen (Baugruben, Hanganschnitte etc.) in unmittelbare Trassennähe (siehe Kapitel A.4.2.2.1) sowie
- Indirekte Aufschlussverfahren (siehe Kapitel A.4.2.2.2)

ermittelt werden.

4.2 Geotechnische Untersuchungen

Nach ÖNORM B 4402 [12] beinhaltet die geotechnische Untersuchung eines Baugrundes (Locker- und Festgestein) die Beschreibung der Baumaßnahme um maßgebende Baugrundeigenschaften zu erkunden und um die erforderlichen Baugrundskenngrößen zu liefern und zu überprüfen.

Dies wird im allgemeinen Sprachgebrauch auch als Baugrunderkundung oder als geotechnische Erkundung bezeichnet.
Zur bautechnischen Beschreibung und Beurteilung von Locker- und Festgestein sind ingenieurgeologische, hydrogeologische, geophysikalische, geochemische, bodenmechanische und felsmechanische Untersuchungsarbeiten durch Labor- und Feldversuche notwendig [12].

Anhand der geotechnische Untersuchungen für Locker- und Festgestein als Baugrund, können folgende Faktoren (nach ÖNORM B 4402) festgestellt werden:

- Eignung von Bauverfahren, Arten von Gründungen und Stützkonstruktionen
- Verformungen, die durch die Baumaßnahme, das Bauwerk oder durch geotechnische Ursachen hervorgerufen werden
- Die Sicherheit gegen Grenzzustände, z.B. gegen Grundbruch, Geländebruch, Auftrieb, Gleiten, Instabilität von Hängen und Knicken von Pfählen
- Lasteinwirkungen auf das Bauwerk aus dem Baugrund
- Dynamische Einwirkungen und Erdbeben
- Die Auswirkungen der Bauausführung, des Bauwerks und seines Betriebes auf die Umgebung
- Wirksamkeit einer Maßnahme zur Eingrenzung oder Beseitigung einer Untergrundkontamination

Der Umfang einer geotechnische Untersuchung muss je nach Bedeutung und Größe der Baumaßnahme rechtzeitig und etappenweise nach Tabelle A.3 ausgeführt werden.
Zur unterirdischen Verlegung von Ver- und Entsorgungsleitungen werden zuverlässige und ausführliche Angaben über die geotechnischen Parameter des anstehenden Baugrundes benötigt. Hierfür stehen nachfolgenden Untersuchungsmethoden zur Verfügung:

4.2.1 Voruntersuchungen

Voruntersuchungen sind nach ÖNORM B 4402 die Maßnahmen im Vorfeld zu Beginn der Planung und lassen eine erste Orientierung über die Baugrundverhältnisse zu. Die Voruntersuchungen bzw. Vorerkundungsmaßnahmen gliedern sich nach folgenden Möglichkeiten:

- Sichtung und Bewertung von vorhandenen Unterlagen,
- stichprobenartige Bodenaufschlüsse zur Verifizierung der Vorerkundungsergebnisse und zur Feststellung der Bodenschichten,
- stichprobenartige Feststellung von maßgebenden Bodeneigenschaften (z.B. Bodenarten, Konsistenz, Lagerungsdichte).

4.2.2 Aufschlussverfahren

Aufschlüsse sind nach ÖNORM B 4402 [12] Mittel und Maßnahmen zur Festlegung von Art, Aufbau und Verbreitung des anstehenden Baugrundes (Locker- und Festgestein), der Grundwasserverhältnisse sowie des Verhaltens bei Durchströmung.

Sie dienen zur Feststellung von Folge, Mächtigkeit und räumliche Lage, Art, Zusammensetzung und Zustand der einzelnen Schichten, Wasserverhältnisse im Baugrund und insbesondere zur Gewinnung von Proben für die bautechnische Beurteilung und für die Durchführung von boden- und felsmechanischer Untersuchungen [1].

Etappe	Ziel	Methoden	Ergebnis
Abstimmen der Aufgaben (oft in zwei Etappen: Prognose; Perspektivplanung)	Ermittlung der allg. ingenieurgeologischen Verhältnisse	Bekannt machen mit dem Gelände und den regionalen geologisch-tektonischen Bedingungen, geomorphologische und geologisch-strukturelle Analyse des Gebietes aufgrund von Literatur und Archivunterlagen	Vorgutachten ohne technische Leistungen, Übersichtskarten
Vorerkundung (1. Untersuchungsstadium)	Untersuchungen der Varianten, Standort- oder Trassenwahl, Abschätzung der zweckmäßigsten Gründung, Erkundung von natürlichen Baustoffen und Überprüfung ihrer Eignung	Ingenieurgeologische Kartierung, geologische, geomorphologische Beobachtungen und Auswertung von Erfahrungen vorangegangener Untersuchungsarbeiten (Brunnen, Steinbrüche, Zustand von Bauwerken), Aufschlussarbeiten (Schürfe, Bohrungen), in geringem Umfang geophysikalische Methoden	Gutachten (oder Vorgutachten): ingenieurgeologische Bewertung des Gebietes, allg. qualitative Charakteristik der geologischen, geomorphologischen und hydrogeologischen Verhältnisse
Haupterkundung (2. Untersuchungsstadium)	Unterlagen für die sichere und ökonomische Ausführung von Maßnahmen, räumliche Verteilung der einzelnen Objekte, Wahl der Konstruktion und Ausführungstechnologie, sicherer Nachweis der Eignung von natürlichen Baustoffen	Geotechnische Untersuchungen im Rahmen einer ausführlichen geologischen Aufnahme, ingenieurgeologische Kartierung mit Aufschlussarbeiten, boden- und felsmechanische Untersuchungen (Labor- und Feldversuche), geophysikalische Untersuchungen, spezielle Felduntersuchungen (Wasserdurchlässigkeit, Injektionsversuche, Versuchsschüttungen, optimale Sprengtechnologie), Detailerkundung der natürlichen Baustoffe (Fels- und Laborversuche, Vorratsberechnung)	Gutachten mit quantitativer Bewertung der ingenieurgeologischen Verhältnisse für konkrete Objekte
Untersuchungen während der Bauzeit	Laufende Beratung bei geologisch bedingten Problemen, Baugrundabnahme, Dokumentation zeitweiliger Aufschlüsse	Ingenieurgeologische Dokumentation (Detailkartierung) aller Baugruben und sonstiger Aufschlüsse, Mitwirkung bei der Einrichtung geeigneter Anlagen zur messtechnischen Überwachung des Bauwerkes, Überwachung des Einbaus bei Verwendung natürlicher Baustoffe, Kontrolle und Auswertung von Vergütungsarbeiten	Dokumentationen, Protokolle, Stellungnahmen, Berichte
Untersuchungen nach Beendigung des Bauwerkes	Vergleich der Erkundungsergebnisse mit den Ergebnissen der laufenden Aufnahmen, Vergleich des Verhaltens des Bauwerkes und des Baugrundes mit den geotechnischen Vorhersagen	Auswertung von Messergebnissen, Überprüfung der Wirksamkeit spezieller Maßnahmen, Studium der Prozesse, die durch das Bauwerk oder seinen Betrieb in der Nähe entstehen	Berichte, Veröffentlichungen, Mitarbeit bei der Erstellung des Bauwerkspasses

Tabelle A.3, Allgemeiner Ablauf und Umfang der ingenieurgeologischen Baugrunderkundung [58]

4.2.2.1 Direkte Aufschlussverfahren

Direkte Aufschlussverfahren sind natürliche oder künstliche Aufschlüsse, die eine visuelle und manuelle Beurteilung für Entnahme von Boden- oder Felsproben, sowie die Durchführung für die Felsversuche ermöglichen [12].

Von Auftraggeber oder dessen Beauftragten werden die Art und der Umfang der Entnahme von Proben vorgegeben. Sie sind nach ÖNORM B 4401-1 [13], unter Beachtung der für den Einzelfall erforderlichen Güteklassen nach Tabelle A.4 zu entnehmen.

Güte-klasse	Bezeichnung	Bestimmbare Eigenschaften	weiters feststellbar
1	ungestörte Probe[1])	Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Konsistenzgrenzen, Korndichte, Porenanteil, Porenzahl, lockerste und dichteste Lagerung, organische Bestandteile Scherfestigkeitsparameter, Wasserdurchlässigkeit, Zusammendrückbarkeit } des ungestörten Materials	Feinschicht-grenzen, Struktur, Gefüge
2	gestörte Probe	Kongrößenverteilung, eventuell Wassergehalt, Konsistenz-grenzen, Korndichte, lockerste und dichteste Lagerung, organische Bestandteile, Proctordichte Scherfestigkeitsparameter, Wasserdurchlässigkeit, Zusammendrückbarkeit } des gestörten Materials	Schicht-grenzen
3	Muster-probe[2])	unter Umständen Korngrößenverteilung, Konsistenz-grenzen, Korndichte und organische Bestandteile	Schicht-grenzen

[1]) Ungestörte Proben können je nach Art des Aufschlusses nach einer der folgenden Methoden entnommen werden:
(1) aus Schürfen als Würfelproben durch Herausarbeiten oder mit Ausstechzylindern;
(2) aus Bohrungen mit zylindrischen Entnahmegeräten;
(3) aus Rotationskernbohrungen mit Doppelkernrohr (mit oder ohne Einschubrohr), wenn der Kerndurchmesser >80 mm ist.

[2]) Die Musterprobe unterscheidet sich von der gestörten Probe durch die geringe Probenmenge und den meist stark veränderten Wassergehalt; die Probenmenge reicht in den meisten Fällen für Laboratoriumsversuche nicht aus.

Tabelle A.4, Güteklasse von Bodenproben [13]

Für die Durchführung der Laborversuche benötigt man unterschiedliche Mengen des Bodens um die Bodenart zu erkennen. Z.B. zur Bestimmung der Kornverteilung, des Wassergehaltes und der Konsistenzgrenzen (bei geschätzter Korngröße unter 60 mm) genügt eine Menge von 18.000 g. [14]. Für Steine und Blöcke wird das Vielfache notwendig sein.

Für die andere Versuche sind je nach Korngröße größere Probenmengen erforderlich (siehe ÖNORMEN B 4410 bis 4420 und B 4422-1 und -2).

Nach ÖNORM B 4401 sind alle Proben sofort nach der Entnahme unbedingt auf dem Behälter deutlich und dauerhaft wie folgt zu kennzeichnen:

1) Bauwerk oder Ort der Entnahme
2) Nummer des Schurfs oder des Bohrlochs
3) Nummer der Probe
4) Tiefe der Unterkante der Sonderprobe auf 5 cm gerundet
5) Kennzeichnung der Ober- oder Unterseite der ungestörten Probe oder des Kerns durch einen zum Bohrfortschritt gerichteten Pfeil
6) Bodenart (entfällt bei Kenbohrung mit Einschubrohren)
7) Datum der Entnahme
8) Name des Bohrgeräteführers

Die direkten Verfahren gliedern sich in folgenden Methoden, die nach ÖNORM B 4402, sind Aufschlüsse die durch Schürfe und Bohrungen sowie durch Entnahme von Proben zur punktförmigen Baugrunderkundung angewendet werden können:

- **Vorhandene Aufschlüsse**

Es handelt sich um die Erkundung der im Gelände vorhandene Aufschlüsse im Baubereich und in dessen näherer und weiterer Umgebung (z.B. steile Bachgerinne, Anschnitte, Sand- und Kiesgruben) die besichtigt und bewertet werden müssen.

- **Schürfe, Schächte und Stollen**

Sind nach ÖNORM B 4402 [12] künstlich hergestellte Aufschlüsse zur direkten Begutachtung des Baugrundes, zur Entnahme von Proben und zur Durchführung von Feldversuchen.
Wandungen und Sohlen von Schürfen, Schächten und Stollen dürfen erst im Beisein des Sachverständigen für Geotechnik und während einer allfälligen Entnahme von Proben unter Berücksichtigung der Standsicherheitserfordernisse freigelegt werden.
Jegliche Veränderungen durch Austrocknung, Frost, Wassereinwirkung u.dgl. sollen verhindert werden.
Lage und Tiefe von Schürfen, Schächten und Stollen sind auf Bauvorhaben abzustimmen.

- **Bohrungen**

Das Ziel ist die Entnahme möglichst ungestörter Gesteins- bzw. Bodenproben zur Gewinnung von repräsentativen Informationen über die Baugrundverhältnisse.
Bohrungen sind Erkundungen in Boden und Fels bis in große Tiefen. Um den Boden zu lösen sind je nach Bodenart verschiedene Verfahren wie Rotations-, Trockenkern-, Rammkern- oder Druckkernbohrungen anzuwenden.
Aufschlussbohrungen können auch zur Beobachtung des Grundwassers hinsichtlich der Lage, Qualität und Quantität der wasserführenden Schichten auch als Beobachtungspegel genutzt werden.

4.2.2.2 Indirekte Aufschlussverfahren

Nach ÖNORM B 4402 [12] sind indirekte Aufschlussverfahren Sondierungen bzw. geophysikalische Verfahren, die durch Korrelation zwischen physikalischen Messgrößen und boden- bzw. felsmechanischen Kenngrößen Rückschlüsse auf den Baugrund ermöglichen.
Um Aussagen über Bodenart und Bodenkenngrößen machen zu können, müssen die Messergebnisse mit Ergebnissen aus direkten Aufschlussverfahren verglichen werden.
Indirekte Verfahren bestehen meistens aus den zwei nachfolgend beschriebenen Messverfahren:

- **Sondierungen**

Nach ÖNORM B 4402 dienen Ramm- und Drucksondierung zur Beurteilung der Lagerungsdichte und der Festigkeitseigenschaften ergänzend zu den direkten Aufschlüssen. Die Rammsondierung ist das gängigste indirekte Aufschlussverfahren, das nach ÖNORM B 4419-1 auszuführen ist.

Wenn die Art des Untergrundes und sein grundsätzlicher Schichtaufbau nicht bekannt sind, müssen ergänzende direkte Aufschlüsse (Schlüsselbohrungen) ausgeführt werden.

Beim Rammsondieren, als übliches Verfahren, unterscheidet man zwischen Leichter Rammsonde (Dynamic Probing Light (DPL)), Mittelschwerer Rammsonde (Dynamic Probing Medium (DPM)) und schwerer Rammsonde (Dynamic Probing Heavy (DPH)).

Es wird üblicherweise die Anzahl der Schläge pro 10 cm Eindringtiefe (auch pro 30 cm im Falle von SPT-Versuche) in einem Messprotokoll notiert.

Sie dienen dazu, statistisch gesicherte Korrelationen zwischen Sondierwiderstand und Bodenkenngrößen wie z.B. Lagerungsdichte und bezogene Lagerungsdichte herzuleiten [1].

Abbildung A.6 zeigt das Ergebnis einer Rammsondierung im Zuge der Baugrunderkundung.

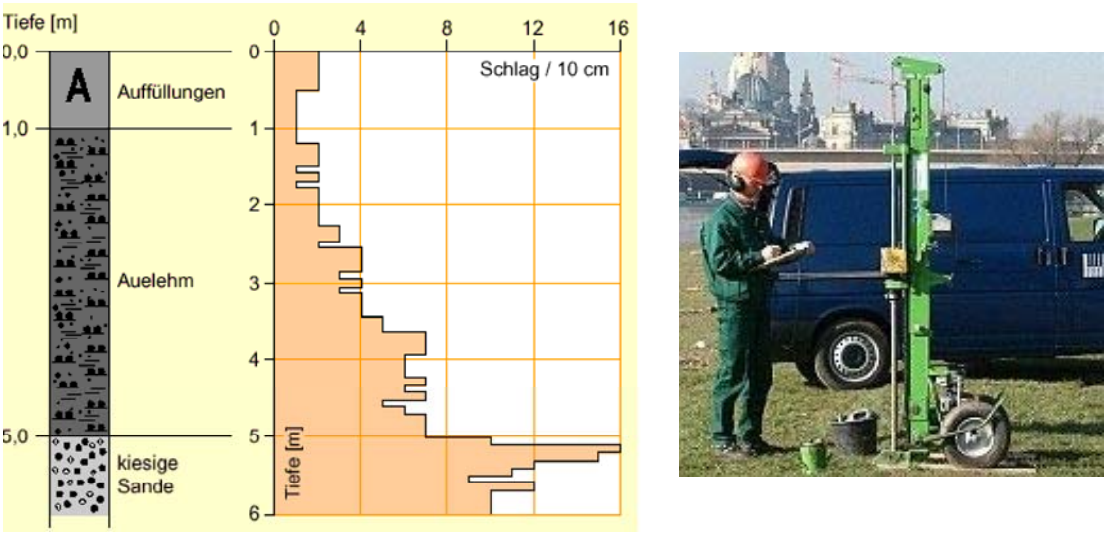


Abbildung A.6, Ergebnis einer Rammsondierung mit Angaben zum Lagerungsdichte im Zuge der Baugrunderkundung (links), Einsatz des Gerätes vor Ort, leichte/schwere Rammsonde (rechts) [47]

- **Geophysikalische Verfahren**

Geophysikalische Verfahren eignen sich (nach ÖNORM B 4402 [52]) zur flächenhaften und räumlichen Erkundung in Ergänzung zur punktuellen Aufschlüssen. Geophysikalische Oberflächen- und Bohrlochmethoden dürfen nur durch fachkundige Personen ausgeführt werden.

Um die richtige Verfahrenstechnik im Bezug auf Bohrkopfausbildung, Ortsbruststützung, Bodenabförderung und Separation optimal auszuwählen, können geophysikalische Verfahren, die durch die elektrischen oder elastischen Eigenschaften des Bodens

Informationen über die Lithologie, Schichtgrenzen, Einlagerungen, Inhomogenitäten und anthropogenen Veränderungen liefern zur Anwendung kommen.
Tabelle A.5 zeigt eine Übersicht der im grabenlosen Leitungsbau, zur Erkundung des Baugrundes bzw. zur Ortung von Hindernissen sowie ihrer Einsatzbereiche, verwendeten geophysikalischen Messverfahren.

Methode	Einflussgrößen	Messverfahren	Einsatzort[1)]			
			1	2	3	4
Seismik	Schichtgrenzen, Auflockerungen, Hohlräume, Materialwechsel, Störungen, Einbauten	Reflexionsseismik Refraktionsseismik Seismische Tomographie VSP (Messungen aus Bohrlöchern) Luftschallseismik Erschütterungsmessungen	× × × ×	× × 	× × × ×	× × × ×
Magnetik	Eisen, Erze, Minerale, Mauerwerk, Altlasten	Totalfeldmessung Gradientenmessung	× ×	× ×	× ×	× ×
Geoelektrik	Schichtgrenzen, Materialwechsel, Grundwasser, Hohlräume, Metalle, Leitungen, Verunreinigungen	Geoelektrische Sondierung Geoelektrische Tomographie	×	×	×	×
Elektro-magnetik	Schichtgrenzen, Materialwechsel, Grundwasser, Hohlräume, Metalle, Leitungen, Verunreinigungen	Elektromagnetische Induktion Transientenelektromagnetik Magnetotellurik	×		×	×
Bodenradar	Schichtgrenzen, Materialwechsel, Einlagerungen, Hindernisse, Leitungen	Elektromagnetische Reflexionsmessung	×	×	×	×
Bohrloch-messungen	Schichtgrenzen, Wassersättigung, Porosität, Grundwasserbewegung, Hohlräume, Auflockerungen	Unter anderem Kaliber, γ und n-Strahlung, γ-γ-(Dichte)-Log, Full-Wave-Sonic-Log, SP-Log, Televiewer			×	

Tabelle A.5, Geophysikalische Messverfahren und ihre Einsatzbereiche, Einsatzort: 1) Geländeoberfläche 2) Gewässer 3) Bohrungen 4) Unter Tage [1]

Die Wahl der geophysikalischen Messverfahren ist von den physikalischen Parametern abhängig, die im Zusammenhang mit den gesuchten Variationen der Bodenbedingungen als Kontrast messbar sind [1].
Es ist sinnvoll im Bereich komplexer und inhomogener Messzonen mehrere Verfahren zu kombinieren und die Ergebnisse übereinander zu legen und zu einer Aussage zu bringen.
Jedes Verfahren, im Bezug auf das Problem der Baugrunderkundung, das von der Geländeoberfläche oder aus vertikalen Bohrungen heraus kommt, beschränkt sich auf eine Auswahl geophysikalische Messmethoden. Für nähere Informationen ist auch in Beiblatt 1 der DIN 4021, Tabelle 6 zur Verfügung gestellt.

Ein Beispiel für die Methode Seismik ist das SSP-System (Sonic Softgrund Probing) als ein Vorauserkundungsverfahren für den maschinellen Tunnelvortrieb bzw. Schildvortrieb (Rohrvortrieb in Kapitel B.3) mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust. Es handelt sich um ein seismisches Reflexionsverfahren, mit den geologischen Inhomogenitäten bzw. Störkörper bis

zu einer Reichweite von ca. 40 m vor dem Bohrkopf erkannt werden können. Es wird rechtzeitig auf Veränderungen im Baugrund (Gebirge) bei der Schildfahrt reagiert [44].

4.3 Erkundungsraster und Aufwand

Über den Umfang des Erkundungs- und Untersuchungsaufwandes gibt es im vorliegenden Anwendungsfall sehr unterschiedliche Auffassungen und Angaben. Alle Aufschlüsse müssen durch das Bauwerk tangierte Schichten (vertikal und horizontal) erfassen. Die Abstände sind nach den geologischen Gegebenheiten und bautechnischen Fragestellungen unterschiedlich.

Abstand der Bohrungen im grabenlosen Leitungsbau mit nichtbegehbaren Querschnitten liegen im allgemein zw. 20 und 50 m. Bei schwierigen geologischen Verhältnissen wird dieser Abstand auf bis zu 10 m verringert.

Bei Spülbohrverfahren gilt ein Bohrabstand von 50 m, wenn zwei benachbarte Bohrprofile keine großen Unterschiede in den Baugrundverhältnisse aufweisen. Die geplante Aufschlusstiefe liegt bei 2 bis 5 m unterhalb der geplanten Leitungsachse, und muss alle Schichten die durch das Bauwerk beansprucht werden, erfassen [1].

4.4 Boden- bzw. Gebirgsklassifizierung

Klassifizierung ist das Einordnen von Bodenproben in Bodengruppen aufgrund festgelegter Merkmale und Kriterien [1]. Sie bezieht sich auf den Zustand des Locker- oder Festgesteins zum Anfangszeitpunkt des Lösevorganges. Sie wird weder durch die tatsächliche Art des Abbaues noch durch die Größe des Abbauraumes beeinflusst [12].

Für die Beschreibung und Benennung von Locker- und Festgesteinen sind die ÖNORMEN B 4400 und B 4401-1 bis -4 zu entnehmen.

Außer der Baugrundklassifizierung (Kapitel A.4.4.1) nach Bodenkennwerten (Locker- und Festgestein), sind im grabenlosen Leitungsbau auch andere spezifische Klassifizierungen bestimmend. Die wichtigsten sind nachfolgend angeführt:

- Klassifizierung nach den Verdrängungseigenschaften, beim Einsatz der Bodenverdrängungsverfahren,
- Klassifizierung nach der Steuerbarkeit (nach Spang), abhängig von Konsistenzzahl und Lagerungsdichte,
- Klassifizierung nach dem Ortsbrustverhalten, für das Verfahren Rohrvortrieb mit teilflächigem Abbau und abhängig von Konsistenzzahl und Aktivitätszahl bzw. Plastizitätszahl
- Klassifizierung nach der Abrasivität (siehe Kapitel A.4.4.2 unten)

4.4.1 Bodenklassen nach DIN 18319 - Rohrvortriebsarbeiten:

Bodenklassen werden nach DIN 18.300 in 7 Klassen eingeteilt. Sie ist fast mit der ÖNORM B 2205 [18] ident. Da zur Beschreibung des Bodens für Rohrvortriebsarbeiten übliche Normen nicht ausreichen, wurde nach DIN 18319 „Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Rohrvortriebsarbeiten“ der VOB Teil C klassifiziert [10].
Das betrifft sowohl das Lösen von Boden und Fels (Locker- und Festgestein in Ö-Normen) beim Vortrieb als auch das Fördern aus dem Rohr und dem Arbeitsbereich.

Nach DIN 18319 [10] wird der Baugrund nach Boden und Fels unterschieden. Aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften werden die Materialien unter Berücksichtigung der maschinentechnischen Anforderungen für Bohr- und Vortriebsarbeiten in fünf Hauptklassen eingestuft (Tabelle A.6 bis Tabelle A.9):

- nichtbindige Lockergesteine (Klasse LN); Hauptbestandteile Sand und Kies, entsprechend ihrer Korngrößenverteilung und Lagerungsdichte
- Bindige Lockergesteine (Klasse LB); Hauptbestandteile Schluff und Ton bzw. Sand und Kies mit hohem Massenanteil von Schluff und Ton, entsprechend ihrer Konsistenz
- Organische Böden (Klasse LO); Torfe und Schlamme
- Lockergesteine mit Korngrößen größer 63 mm (Zusatzklasse S)
- Festgesteine (Klasse F); entsprechend ihrer einachsialen Druckfestigkeit

Lagerung	Lockergesteine, nichtbindig (LN)	
	eng gestuft	weit oder intermittierend gestuft
Locker	LNE 1	LNW 1
Mitteldicht	LNE 2	LNW 2
Dicht	LNE 3	LNW 3

Tabelle A.6, Klassen LN: nichtbindige Lockergesteine, Korngröße ≤ 63 mm

Konsistenz	Lockergesteine, bindig (LB)	
	Mineralisch Klasse	Organogen Klasse
Breiig, weich	LBM 1	LBO 1
Steif, halbfest	LBM 2	LBO 2
Fest	LBM 3	LBO 3

Tabelle A.7, Klassen LB: bindige Lockergesteine, Korngröße ≤ 63 mm

Massenanteil der Steine	Zusatzklasse für Steingröße (S)	
	63-300 (mm) Klasse	301-600 (mm) Klasse
bis 30 %	S1	S3
über 30 %	S2	S4

Tabelle A.8, Zusatzklasse S Korngröße > 63 mm

Einaxiale Druckfestigkeit	Klassen der Festgesteine (F)	
	Trennflächenabstand im Dezimeter-bereich	Zentimeter-bereich
< 5 MN/m²	FD 1	FZ 1
5 - 50 MN/m²	FD 2	FZ 2
50 - 100 MN/m²	FD 3	FZ 3
> 100 MN/m²	FD 4	FZ 4

Tabelle A.9, Klasse F: Festgesteine

Somit werden zwölf Lockergesteinsklassen und acht Felsklassen sowie vier Zusatzklassen

für Steine unterschieden.
Diese Zusatzklassifizierung wurde, aufgrund des empfindlichen Reagierens der Vortriebsverfahren auf große Steine (Φ > 63 mm) im Boden, eingeführt. Z.B. ein grober Kies in mitteldichter Lagerung, der mit größeren Steinen durchsetzt ist, wird in der Klasse LNW 2-S 3 eingestuft. Von S 3 weiß man, dass bei diesem Boden Steine bis zu einem Φ von 600 mm vorkommen und der Anteil der Steine von 300 bis 600 mm weniger als 30 % beträgt.

Bei den Festgesteinen sind zusätzlich zu jeder Klasse für die Wahl der Bodenabbaugeräte und der Werkzeuge die einaxiale Druckfestigkeit und der Trennflächenabstand von besonderer Bedeutung.
Für die Festgesteine sind zu jeder Klasse Trennflächengefüge und räumliche Orientierung, Mineralbestand, mineralische Bindung, Abrasivität, Verwitterungsgrad, Homogenität, Druck- und Scherfestigkeit und Wasseranfall anzugeben.
Beim Arbeiten in Lockergesteinen sind zusätzlich zu jeder Klasse Ergebnisse von Druck- oder Rammsondierungen, Kornverteilung, Kornform, Lagerungsdichte, Konsistenz, Wassergehalt, Scherfestigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert anzugeben.

4.4.2 Klassifizierung nach der Abrasivität

Abrasivität eines Gesteins ist eine Eigenschaft, die beim Bohren am Bohrwerkzeug, einen mehr oder weniger großen Verschleiß hervorruft. Je höher der Quarzgehalt eines Gesteins ist, desto größere Abrasivität besitzt es. Es betrifft am meisten die Verfahren Mikrotunnelbau und Rohrvortrieb mit Teil- und Vollschnittmaschinen.
Der Verschleiß konzentriert sich nicht nur auf die Abbauwerkzeuge, sondern tritt auch in allen anderen Bereichen der Vortriebmaschine wie Fördereinrichtungen, die mit dem bewegten Bohrklein/Bohrgut in Berührung kommen, auf.
Die Abrasivität eines Gesteins ist von nachfolgenden Parametern abhängig:

- Gehalt an schleißscharfen Mineralien
- Ausbildung von Textur und Struktur
- Trennflächengefüge
- Auswirkungen der Veränderung des Gebirges durch Verwitterung

Die üblichste Untersuchungsmethode beim maschinellen Vortrieb, ist der CERCHAR Abrasiveness Index Test (CAI Test), wobei die Gesteinsabrasivität nach dem CAI-Index im Labor beurteilt wird.
Beim CAI-Test wird ein mit 7,5 kg belasteter konischer Prüfstift aus Stahl definierter Geometrie und Härte jeweils fünf Einzeltests in einer Sekunde 10 mm weit über den

Prüfkörper gezogen. Der CAI-Index berechnet sich aus der gemessenen Abnutzung des Stahlstiftes zu [Z. 1]:

$$\mathbf{CAI = d \,.\, 10}$$

CAI: CERCHAR Abrasivity Index [-]

D: Abnutzung des Stahlstiftes [mm]

Die Klassifizierung der Abrasivität des Gesteins wird von der Tabelle A.10 unten vorgenommen:

CAI-Index	Bezeichnung
0,3 bis 0,5	kaum abrasiv
0,5 bis 1,0	schwach abrasiv
1,0 bis 2,0	abrasiv
2,0 bis 4,0	sehr abrasiv
4,0 bis 6,0	extrem abrasiv

Tabelle A.10, Klassifizierung der Abrasivität in Abhängigkeit des CAI-Indexes [1]

Die Tabelle A.11enthält die Erfahrungswerte für CAI-Index von verschiedenen Gesteinsarten [1]:

Gestein	CAI-Index Mittelwert
Sandstein[1)]	0,8
Kalk	1,2
Sandstein[2)]	3,4
Basalt	2,7
Andesit	3,0
Amphibolit	3,7
Kristalliner Schiefer	3,2
Gneis	4,4
Diorit	4,6
Granit	4,9

Tabelle A.11, erfahrungswerte der CAI-Index für verschiedene Gesteinsarten nach Büchi,
[1)] mit karbonatischer und/oder toniger Zementation (Molasse-Sandstein)
[2)] mit SiO2-Zementation (quarzhaltiger Sandstein)

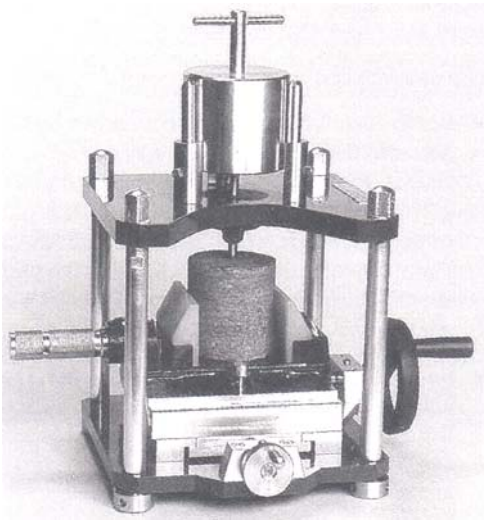


Abbildung A.7, CAI-Testgerät zur Ermittlung der Abrasivität des Gesteins [1]

4.5 Grundwasser

Im Regelfall bewegt sich Wasser im Untergrund innerhalb der Hohlräume der Lockergesteine, der Spalten und Fugen von Festgesteinen und der Höhlensysteme der Karstgebiete. Im Lockergestein hat man im Wesentlichen Sickerwasser, Stau- und Schichtenwasser und Grundwasser (evtl. in mehreren Grundwasserstockwerken und mit schwankendem Drücken) zu unterscheiden.
Nach ÖNORM B 4402 werden bei der Untersuchung der Grundwasserverhältnisse folgende Faktoren – soweit erforderlich – festgestellt:

- die Tiefenlage, Mächtigkeit, Ausdehnung und Durchlässigkeit wasserführender Schichten, Trennflächensysteme und Hohlräume im Festgestein und deren Veränderlichkeit,
- Tiefenlage des Grundwasserspiegels oder Druckhöhe der Grundwasserstockwerke. Zeitabhängige Schwankungen sowie Extremwerte und ihre Häufigkeit werden aus hydrogeologischen Untersuchungen abgeleitet.
- Chemische Beschaffenheit wie z.B. Aggressivität, Kontamination nach Art und Ausdehnung
- Temperatur, pH Wert und elektrische Leitfähigkeit in situ

Zur Erkundung der hydrogeologischen Verhältnisse steht Vielzahl von Methoden zur Verfügung wie z.B. Bohrungen und geophysikalische Messverfahren, Pumpversuche, Grundwassermesseinrichtungen, Brunnenmessungen etc. [1].

Im grabenlosen Leitungsbau sind nur bestimmte Verfahren grundwassertauglich. Es kann aber mit Wasserhaltungsarbeiten oder auf das einmalige Abpumpen des Grundwassers bei der Herstellung der Start- und Zielschächte oder Baugruben mit einer Unterwasserbetonsohle beschränkt werden.
Das Grundwasser wird nach ATV - A 125 [15] im allgemein durch offene, geschlossene und kombinierte Wasserhaltung sowie durch Druckluft, Flüssigkeitsstützung und Sonderverfahren (z.B. Gefrierverfahren) beseitigt oder abgehalten.

B Verfahren der Neuverlegung

1 Unbemannt arbeitende, nicht steuerbare Verfahren

Diese Verfahrensarten betreffen die Rohre bzw. Leitungen, die durch Schlagen, Vibrieren oder statisch aufgebrachte Kräfte von einem Startschacht zu einem Zielschacht vorgetrieben werden. Nach ÖNORM EN 12899 ist die Lagegenauigkeit eines nicht steuerbaren Verfahrens durch Baugrundverhältnisse wie Einschlüsse, Schichtungen und die Vortriebslänge beeinflussbar. Die genaue Unterteilung erfolgt in:

- Bodenverdrängungsverfahren
- Bodenentnahmeverfahren

1.1 Bodenverdrängungsverfahren

Der Einsatz des Verfahrens Verdrängungsvortrieb (VV) (benannt nach LV in Österreich) setzt einen verdrängbaren Boden- bzw. Gesteinsmaterial voraus, das nicht nach über Tage ausgetragen, sondern unter Verdichtung in die Umgebung des Bohrloches (Abbildung B.1) verdrängt wird.
In Ausnahmefällen kann man bei genügend standfesten Böden den Einbau der Leitungen nachträglich ausführen.

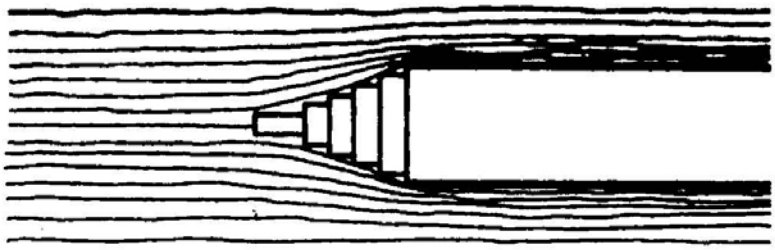


Abbildung B.1, Bodenverdichtung beim Einsatz eines Verdrängungshammers [1]

1.1.1 Verfahren mit (Erd)Verdrängungshammer - VH oder EVH (engl. Pipe Ramming (PR), Closed-Face)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Das ursprünglich aus der ehemaligen UdSSR stammende Verfahren wurde seit drei Jahrzehnten neben den Bodendurchschlaghammer auch als Bodendurchschlagrakete, Erdrakete oder Erdrakete ohne Gestänge bezeichnet. Das Verdrängungsgerät ist mit einem Schlaghammer in einem Führungsrohr und einem Zylinder mit konischer oder stufiger Spitze

bestückt, der durch den Boden axial hin und her läuft. Der Hammer wird mittels Druckluft (mit sechs bis sieben bar Betriebsdruck) oder hydraulisch angetrieben.

Abbildung B.2, Schematische Darstellung der Verdrängungshammer Verfahren

Das Verfahren findet Anwendung in Querungen, Sonderbauten, Schutz- und Produktrohre und eignet sich für nachfolgende Transportmedien bzw. Einsatzbereiche, z.B. bei:

- Herstellung von Gas-, Wasser- und Abwasserohren
- Verlegen von Hüllrohren für Einziehen von Kabeln
- Einziehen von Spundwandankern
- Schlagen von Ankerlöchern

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Bei diesem System wird ein Pfahl durch Hammerschläge, mit einem Schlagkolben in einem stählernen, zylindrischen Gehäuse, mit Hilfe der Druckluft pneumatisch in den Boden getrieben. Die Ortung (aber nicht Steuerung) ist durch Aufstecken eines Kopfes mit integriertem Sender oder durch einen eingebauten Sender im Schlauch möglich.

Beim Antreffen von Hindernissen oder bei Sacklochbohrungen ohne Zielschacht können Verdrängungshammer in Aufwärts- und Rückwärtslauf geschaltet werden.

Eine höhen- und seitenverstellbare Startlafette (Abbildung B.3) richtet das Gerät im Neigungsbereich zwischen ± 20 % nach Einmessung mittels Peilstativ oder in größeren Vortriebslängen mittels Nivelliergerät oder Theodolit ein.

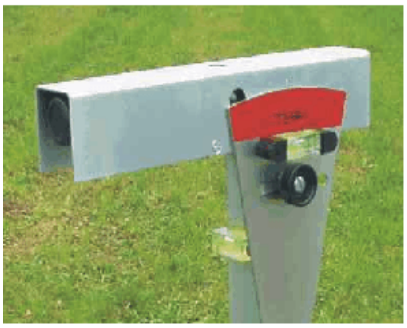


Abbildung B.3, Effektiver Peilstab zur Ausführung der kritischen Bohrungen [26]

Der Einbau der Leitungen wird im Prinzip nach zwei Varianten, sofortigem und nachträglichem Einbau ausgeführt.

- Der *sofortige Einbau* läuft durch Einziehen oder Einschieben. Beim Einziehen wird die Leitung entweder über einen Klemmkonus am Verdrängungshammer (Abbildung

B.4) oder mit verbundenem Einziehseil sofort in der Bohrung eingebracht. Es führt zur Abstützung der Bohrlochwand gegen nachbrechendes Material und Durchmesserverringerung infolge plastischer Verformung des Baugrundes in nicht standfesten Böden, bei Vortrieben unter setzungsempfindliche Gebäuden oder Anlagen oder Bohrungen über 15 m.

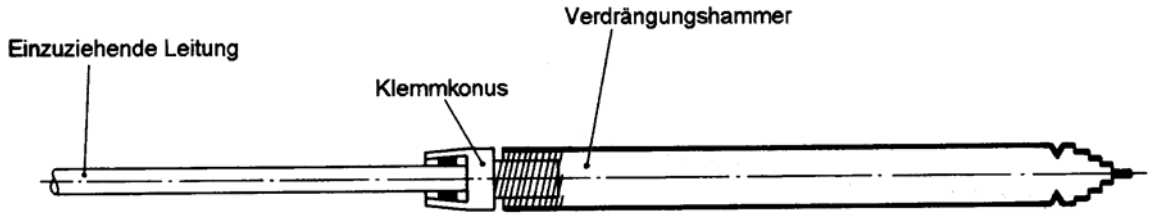
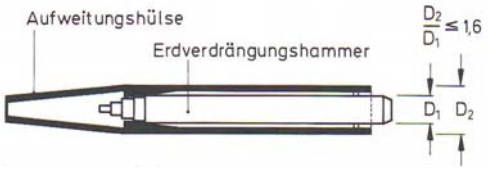


Abbildung B.4, Klemmkonus zum einfacheren Einziehen der Rohrleitung

- Der *nachträgliche Einbau* im ungeschützten Hohlraum ist für Leitungen in standfestem Boden oder Boden, der durch Bodenverdrängung standfest wird, realisierbar. Die Vorteile dieser Herstellung sind:
- Ausführung von Bohrungen unterschiedlicher Nennweite mit einem VH Vorausbestimmung der Lage der späteren Rohrleitung und Unterstützung des Vortriebes.
- In Anlehnung an Firma Stein & Partner wird der Einbau in zwei Varianten durchgeführt. Die *erste Variante* ist der nachträgliche Einbau der Leitungen von Hand. In der ersten Phase wird die Pilotbohrung vom Startschacht bis zum Zielschacht erstellt und dann die Leitung mit kleinerem Außendurchmesser von Hand in die Pilotbohrung eingeschoben oder eingezogen [1].
- Die *zweite Variante* läuft durch nachträglichen Einbau der Rohrleitung mit Herstellung einer Aufweitungsbohrung mit sofortigem Einbau der Rohrleitung. Die erste Phase wird wie oben durchgeführt, und in der zweiten Phase wird der gleiche VH durch eine Aufweitungshülse (mit dem nachlaufenden Leitungsrohr) versehen und erneut in Startschacht gestartet [1]. Das Verhältnis Außendurchmesser der Aufweitungshülse zum Außendurchmesser VH sollte < 1,6 betragen (Abbildung B.5) [2].

Abbildung B.5, Verdrängungshammer mit aufgesetzter Aufweitungshülse



C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Folgende Maschinen und Werkzeuge werden nach Angaben einiger Firmen zur Ausrüstung benötigt:

- Verdrängungshammer, mit Längen zw. 0,9 und 2,2 m für Bohrlochdurchmesser von 45 mm bis 180 mm

- Startlafette
- Peilstativ und Fluchtstab
- Baustellenkompressor, mit Luftdruck zw. 6 – 7 bar und Leistung von 0,8 - 6,0 m³/min
- Druckluftschlauch
- Nebelöler, für Arbeiten in Außentemperatur ≤ -5 °C, wirkt als wasserbindend und enteisend zw. Kompressor und Verdrängungskörper.
- Drucklufterwärmer für Wintereinsatz gegen Vereisung am Gehäuse durch im Baugrund vorhandene Feuchtigkeit [2)].

Eine optimale Auswahl der Form des Verdrängungskopfes (Abbildung B.6) ist ausschlaggebend für die Vortriebsgeschwindigkeit und Richtungsstabilität.
Stufenköpfe haben je nach Hersteller eine unterschiedliche Stufenzahl, Stufenwinkel sowie Ausbildung der Längsrillen mit unterschiedlich angeschliffenen Ringkanten. Sie besitzen Vorteil, beim Antreffen von unterschiedlich harten Bodenschichten geringere Auslenkungen zu erfahren.

	1. Verschiebbarer Stufenkopf Für Sand- und Kiesböden mit geringer Mantelreibung aber hohem Spitzenwiderstand Richtungsstabilität: auch im inhomogenem Boden gut Geschwindigkeit: gering
	2. Verschiebbarer Konuskopf Für homogene, feinkörnige Bodenarten ohne Gerölleinschlüsse Richtungsstabilität: in homogenen Böden gut Geschwindigkeit: gut
	3. Konuskopf mit Meißelspitze Für alle Bodenklassen bis zum leichten Fels Richtungsstabilität: nur in homogenen Böden gut Geschwindigkeit: sehr gut, hohe Keilkraft durch Radialkräfte
	4. Kombikopf – Zielgenau – Der vordere Sternmeißel zertrümmert und spaltet Hindernisse – Schneller als ein Stufenkopf
	5. Kombikonuskopf – Zielgenauer als ein Konuskopf – Der vordere Sternmeißel zertrümmert und spaltet Hindernisse – Sehr schnell

Abbildung B.6, Verschiedene Varianten der Ausbildung des Verdrängungskopfes [1]

Eine im Gehäuse installierte Messsonde ermöglicht eine präzise Positionsbestimmung während der Bohrung von der Geländeoberfläche. Der so genannte ortbare Verdrängungshammer hat den Vorteil, Abweichungen von der Solllage frühzeitig zu erkennen und den Vortrieb zu stoppen.

[1)] Es wird die Druckluft durch eine Heizspirale auf ca. 120 °C erwärmt [1].

Das Walk-Over-Verfahren als ein indirektes Ortungsverfahren, basiert auf dem Aufbau und der Messung eines magnetischen oder elektromagnetischen Feldes. Zu beiden Messsystemen gehören Komponenten wie Sender, Empfänger, Monitor sowie Datenträger und Computer. Sie können in VH-Verfahren im Durchmesser ab 80 mm montiert werden.

D) Einsatzbereich

- Das VH Verfahren wird als eine gradlinige (manchmal auch in Kurvenradius) Bohrung (in jedem Rohrmaterialien [54]) ab Außendurchmesser von 45 mm bis 180 mm (85 bis 140 mm)[1)] (nach ATV - A 125: bis 200 mm) am Markt angeboten. Mit Hilfe einer Aufweitungshülse kann – nur in standfesten Boden – bis zu einem Durchmesser von 300 mm, aber in einer Mindestgeschwindigkeit von 4 m/h auffahren.
- In grundwasserführenden Schichten sind Grundwasserhaltungen notwendig.
- Vortriebslänge bis 25 m (15 m)[1)] sind ideal. Die Richtungsgenauigkeit liegt unter 1,0 % der Vortriebslänge. Ab Vortriebslänge von 20 m ist eine messtechnische Überwachung erforderlich.
- Die Mindestüberdeckungshöhe ist i.d.R. 10–12 x DN/OD oder mindestens 1,50 m (0,8 bis 1,2 m)[1)]. Unter festem Straßenoberbau ist sie zu erhöhen [1].
- Eine Vortriebsleistung von 15 bis 20 m/h (3 bis 18 m/h)[1)] kann zur Einhaltung der Richtungsgenauigkeit in der Praxis nicht überschritten werden [15].

Gemäß [19] wurde der Bodenverdrängungshammer mit der lenkbaren Erdrakete durch eine gemeinschaftliche Entwicklung vom Gas Technology Institutes (GTI) in Chicago und der Tracto-Technik GmbH ermöglicht. Die Möglichkeit, den Lauf zu überwachen und zu korrigieren, erlaubt dem Anwender größere Distanzen bis zu 60 m Länge bei maximalen einzuziehenden Rohrdurchmessern bis 63 mm. Diese Dimensionen sind zur Verlegung von Hausanschlussleitungen gut geeignet. Im vorderen Maschinengehäuse befindet sich ein Sender für die exakte Positionierung, wie die Verrollung (Drehung um Längsachse) und Neigung der Erdrakete. Mit einem Handgriff kann man durch Drehen des torsionsfesten Druckluftschlauches, die Lage des charakteristischen, unsymmetrisch konischen Lenkkopfes solange verändern bis die Auslenkung in die gewünschte Richtung zeigt. Bei einer durchschnittlichen Vortriebsgeschwindigkeit von 10 m/h kann ein Kurvenradius von 27 m gefahren werden. Der Start und Austritt ist auch oberirdisch möglich. Durch das Anschließen eines Zugkopfes an den Druckluftschlauch wird das neue Rohr eingezogen.

[1] Klammerwerte geben die Erfahrungen in Österreich nach Angaben der Firmen [54]

E) Geotechnik

Es ist darauf zu achten, für welche Bodenarten das Verfahren Verdrängungshammer geeignet ist. Im Prinzip ist es in trockenen oder erdfeuchten verdrängungsfähigen, homogenen Lockergesteinen der Bodenklassen L (nach DIN 18319) erfolgreich.
Im Idealfall sind dies gemischtkörnige Böden mit einigen bindigen Anteilen, einem Größtkorn von 60 mm und lockerer bis mitteldichter Lagerung (BK. LNW 1 bis LNW 2 nach DIN 18319).
In Österreich werden nach Angaben der Firmen, nach ÖNORM B 2205, in Bodenklassen 1,3,4 und 5 einsetzbar [54].
In den USA wird das Verfahren im Allgemein bei jeder Bodenklasse, außer im dicht gelagerten Sand im Grundwasser, angewendet [4].
Steine und Blöcke mit einaxialen Druckfestigkeiten bis 100 N/mm² werden auch verdrängt.
In weichen bindigen Böden (wie z.B. Torf oder Schlamm) der BK. LO ist der Einsatz der VH, aufgrund der fehlenden Mantelreibung und der Gefahr des Absinkens des Verdrängungskörpers, ohne Zusatzmaßnahmen nicht möglich.
Nach ATV 125 - A ist die Reduzierung des aufgefahrenen Hohlraums infolge Rückverformung des Baugrundes von 5 bis 15 % zu berücksichtigen.

F) Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte – Richtkosten

Mannschaft:

Die Erdrakete wird im Normalfall von zwei Mann (oder kleinere Geräte mit einem Mann) betrieben. Der Erfolg der Arbeiten hängt sehr wesentlich von der Erfahrung des Geräteführers ab, dass er durch geschickte Steuerung der Druckluft und durch ständiges Beobachten des Arbeitsfortschrittes zum Erfolg des Einsatzes beiträgt.

Kosten:

Die Kosten pro Laufmeter werden nach Herstellung der Bohrung (je nach Nennweiten der Rohre und Bodenklassen) plus ein Schutzrohr oder Einzug eines beizustellenden Rohres gerechnet. Im Österreich wird die Herstellung der Leitungen in Verdrängungsvortrieb (VV) zwischen 40 bis 90 €/lfm betragen [54].
Dazu kommen Pauschalpreise für Baustelleneinrichtung, evtl. sind Verkehrslenkung, Start- und Zielschacht zu kalkulieren. Für Herstellung einen Start- bzw. Zielschacht sind Bodenkennwerte (geologische und hydrogeologische Verhältnisse), Verlegetiefe, Nennweite, Vortriebslänge und örtliche Gegebenheiten ausschlaggebend.
Die Kosten zur Herstellung eines Schachtes betreffen Aushub- und Verbaukosten, Kosten von Wiederherstellung des aufgebrochenen Straßenkörpers nach Beendigung der Baumaßnahme.

Abhängig von diesen Faktoren werden im Österreich für Herstellung des Schachtes einen Preis zwischen 5 bis 30 €/m³ angeboten.

1.1.2 Verfahren mit Horizontalramme und geschlossenem Rohrende

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Dieses Verfahren, in Kurzform als Horizontalramme mit geschlossenem Rohr bezeichnet, arbeitet ähnlich wie Erdverdrängungshammer, jedoch wird hierbei aus einer Startbaugrube ein Vortriebsrohr mit einer Rammeinrichtung über einen geschlossenen Schlagkegel in den Boden eingetrieben.

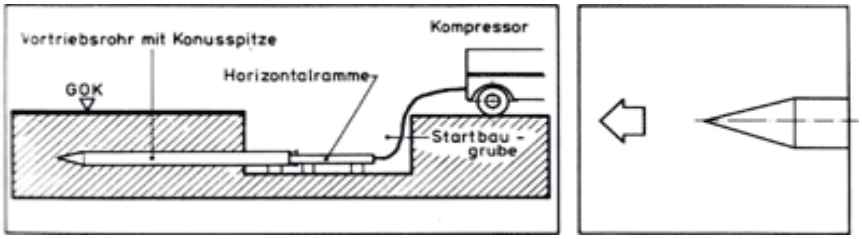


Abbildung B.7, Horizontalramme und geschlossenem Rohrende [24]

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Bei diesem Verfahren wird zuerst das Vortriebsrohr in der Startbaugrube gegen jeden Ausweichungen gesichert. Danach wird die Horizontalramme mit Hilfe eines Schlagkegels (Abbildung B.8) in das hintere Ende des Stahlrohres (Vortriebsrohr) bis zum Kraftschluss eingerammt. Damit wird der eigentliche Vortrieb begonnen. Das erste Stahlrohr mit einer Länge bis zu sechs Meter wird eingetrieben, und der Schlagkegel entfernt. Jetzt wird das nächste Stahlrohr durch Anschrauben oder Anschweißen verbunden und der Vortrieb erneut durchgeführt. Bis die Rohrspitze die Zielbaugrube erreicht hat, wiederholt sich der Vorgang.

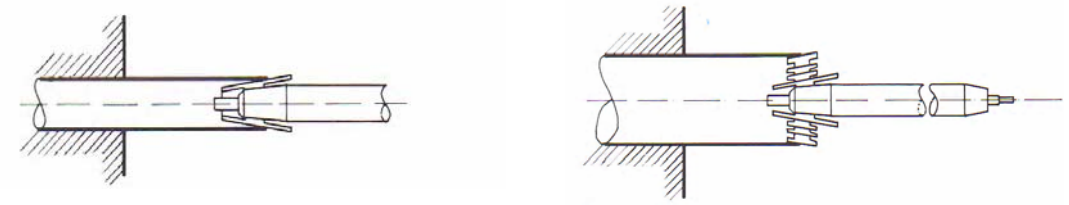


Abbildung B.8. links: EVH mit Grundschlagkegel für DN 100 bis 200, rechts: EVH mit Grundschlagkegel und drei konischen Aufsatzkegeln für DN 200 bis 1400 [2]

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Dieses Verfahren benötigt die gleiche Ausrüstung wie das Verfahren mit Verdrängungshammer. Es soll aber bei längeren Rohren die Verbindung zwischen Stahlrohr

und VH (mit Hilfe eines Seilzuges) verspannt werden. Die Widerlage zur Aufnahme der Kräfte muss richtig (am Boden) abgestützt sein.

D) Einsatzbereich

- In der Regel ist bis max. DN/OD 150 mm anwendbar.
- Zusatzmaßnahmen in wasserführenden Böden sind nicht erforderlich.
- Mögliche Vortriebslänge beträgt ≤ 20 m.
- Mindestüberdeckungshöhe ist i.d.R. 12 x DN/OD (Rohraußendurchmesser).
- Vortriebsleistung nach [1] kann in Abhängigkeit von der Bodenart und Lagerungsdichte zw. 1 und 10 m/h variieren.

E) Geotechnik

Die geeigneten Bodenarten sind im allgemein ident mit dem Boden im VH Verfahren (siehe Abschnitt 1.1.1-D). Darüber hinaus erweitert sich der Einsatzbereich in Böden der Klassen L gemäß DIN 18319 sowie in den künstlich aufgeschütteten oder nicht standfesten Böden wie Fließsande, Kleiböden oder Böden mit Grundwasser, da die Aufnahme der Rückstoßkraft durch die Mantelreibung des Gehäuses nicht notwendig ist.

1.1.3 Horizontal-Pressbohrverfahren mit Aufweitungsteil (Horizontal-Pressanlage)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Dieses Verfahren (auch als Horizontal-Pressanlage bekannt) funktioniert durch Verdrängen des Bodens durch Einpressen eines Pilotgestänges und Einziehen oder Einpressen des Leitungsrohres nach einem verbundenen Aufweitungsteil. Das Verfahren ist so bezeichnet, um die Verwechselung mit dem Horizontal-Pressbohrverfahren in Bodenentnahmeprinzip zu vermeiden [Z. 1]. Es wurde vorher in Österreich zur Verlegung von Hausanschluss- und Hauptleitungen mit Rohrmaterialen wie Stahl, GGG, PVC oder PE angewendet [53] und jetzt auf Grund des Schadens an der Oberfläche nicht mehr verwendet wird [56].

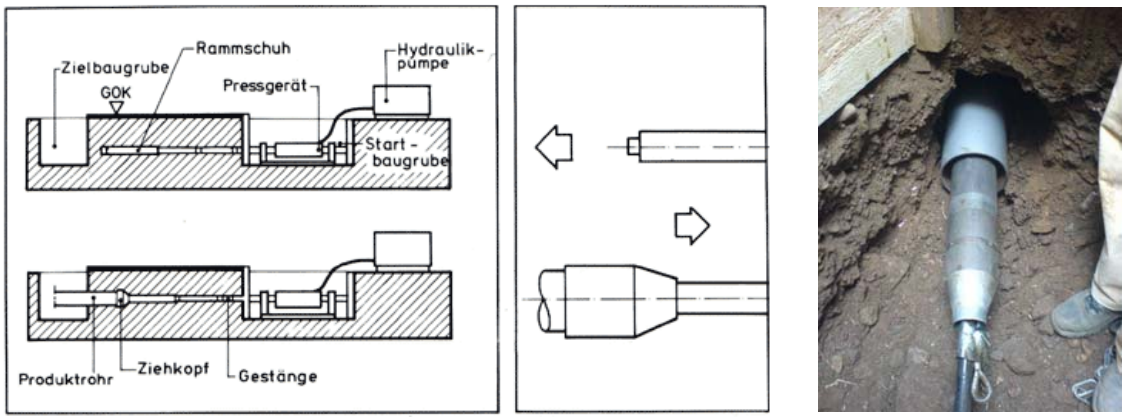


Abbildung B.9, Horizontal-Pressbohrverfahren mit Aufweitungsteil [24], [26]

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Der Ablauf wird im Prinzip als zweiphasiger Vortrieb bezeichnet und benötigt zuerst eine verspannte Pressstation im Startschacht.

Die erste Phase beginnt mit statischer Vorpressung der Pilotbohrstrang, bestehend aus miteinander verschraubten Bohrgestängen von jeweils 1,0 m Länge [1], in den anstehenden Boden. Nach Erreichen des Zielschachtes ist die künftige Lage der zu verlegenden Leitung fixiert. In der zweiten Phase wird der Pilotbohrkopf gegen ein Aufweitungsteil ausgetauscht, dessen Außendurchmesser der einzuziehenden Leitung entspricht. Schlussendlich wird das Pilotbohrgestänge mit dem Aufweitungsteil und der daran angekoppelten Leitung mit Hilfe der Pressstation in den Startschacht zurückgezogen [1].

Falls mehrere Kabel oder Rohrleitungen neben einander zu verlegen sind, wird ein Zwillingsaufweitungsteil oder ein Aufweitungsteil mit Mehrfachzugvorrichtungen eingesetzt.

Es gibt auch den dreiphasigen Vortrieb, japanisches Verfahren SPEEDER SR-12 genannt (Abbildung B.10).

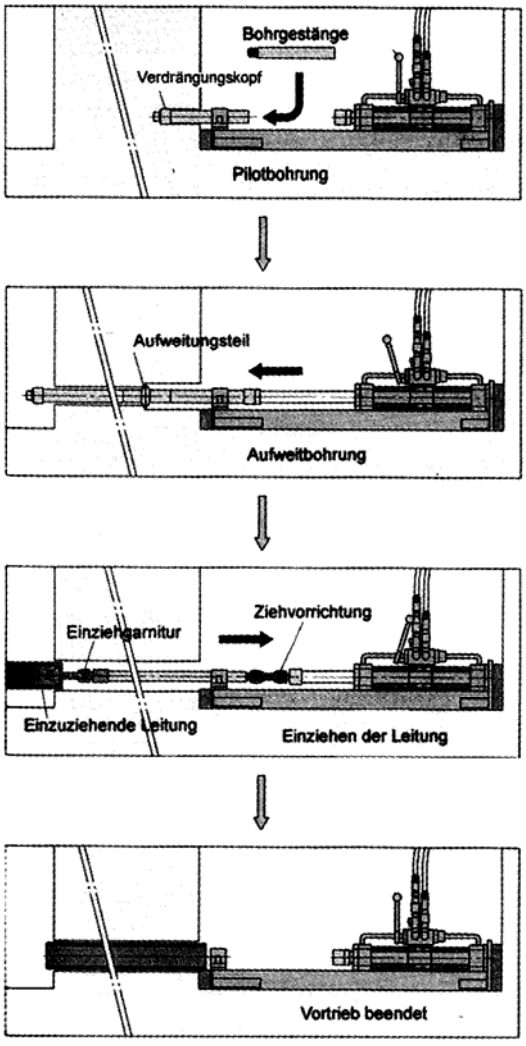


Abbildung B.10, Arbeitsablauf beim Verfahren SPEEDER SR-12 [1]

Die erste Phase läuft wie zuvor beschrieben (durch Verdrängung einer Pilotbohrung) durch Vortrieb eines Pilotstranges.

Nach Ankunft des Pilotkopfes wird im Startschacht ein Aufweitungsteil in Pilotbohrstrang zwischengeschaltet und durch Pressen zum Zielschacht vorgetrieben.
Gleichzeitige Entnahme der Bohrgestänge (Einzellänge 370 mm) wird im Zielschacht durchgeführt.
Die dritte Phase läuft auch wie oben (zweiphasiger Vortrieb) durch Einziehen des Bohrgestängestranges zugfest angekoppelt an der Leitung in den Zielschacht.

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Zur Ausrüstung gehören im allgemein nach [1]:

- Pressstation, bestehend aus Pressrahmen und Widerlagerplatten entsprechend der statischen Druckkräfte
- Hydraulikaggregat
- Pilotbohrgestänge mit Pilotbohrkopf (Verdrängungskopf)
- Aufweitungsteil
- Ziehköpfe
- Visiereinrichtung zum Einmessen der Anlage

D) Einsatzbereich

Beim zweiphasigen Vortrieb gibt es folgende Begrenzungen einzuhalten, und dabei die Klammerwerte werden die Erfahrungen im Japan bzw. dreiphasiges Verfahren SPEEDER SR-12 ergeben:

- DN/OD ≤ 100 mm, in Österreich bis 150 mm, (13 mm ≤ DN/OD ≤ 150 mm)
- Anwendbar in wasserführenden Böden wie plastische Tone und Lehme
- Vortriebslänge bis 15 m, in Österreich jenach Gerät bis 25 m, (≤ 30 m)
- Vortriebsleistung ist zw. 1 bis 8 m/h, in Österreich laut Praxis zw. 1,20 bis 5 m/h [53], (bis 40 m/h) und ist abhängig von der Förderleistung der Hydraulikpumpe sowie von der Bodenart und Lagerungsdichte.
- Mindestüberdeckungshöhe: 10 x DN/OD oder mindestens 1,00 m
- Zielgenauigkeit bis ± 5,0 %

E) Geotechnik

Das Verfahren findet in verdrängungsfähigen Böden wie LNE 1 bis 2 bzw. LNW 1 bis 2 sowie LBO 1 und 2 bzw. LBM 1 und 2 nach DIN 18319 Anwendung. Es ist im Vergleich zum VH Verfahren auch zur Anwendung in wasserführenden Böden wie plastische Tone und Lehme ohne Zusatzmaßnahmen geeignet.

Voraussetzung für die Richtungsgenauigkeit der Bohrung ist die Homogenität des Untergrundes. Der Grund dafür ist der gleich groß bleibende radiale Verdrängungswinkel am Umfang des Pilotbohrkopfes.
Das japanische Verfahren SPEEDER SR-12 ist auch in jedem Lockergestein wie Ton, Lehm, Schluff sowie sandigen Böden mit N_{30}-Werten von 0 bis 30 anwendbar.

F) Prüfverfahren

Nach dem Einbau der Rohrleitung, sollen Inspektionen und Dichtheitsprüfungen nach ÖNORM EN 12889 [11] durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Inspektionen sind genau aufzuzeichnen und aufzubewahren,
Im Prinzip sind zwei Hauptverfahren zur Prüfung der Leitungen angeordnet. Die bestehen aus Sichtprüfungen und Dichtheitsprüfung.

Die *Sichtprüfungen* werden unter folgende Kriterien eingeteilt:

- Richtung und Höhenlage
- Verbindungen
- Beschädigung
- Verformung
- Anschlüsse
- Auskleidungen und Beschichtungen

Die *Dichtheitsprüfung* der Leitungen einschließlich Anschlüsse, Schächte und Inspektionsöffnungen ist nach [11] zwischen zwei Anforderungen und Verfahren zu prüfen:

- Prüfung von Freispiegelleitungen
- Prüfung von Druckrohrleitungen (sind nach prEN 805:1999 zu prüfen)

Ob beide Verfahren bzw. Anforderungen durchgeführt werden müssen, oder auf eines bzw. eine verzichten kann, ist abhängig von der Verlegung der Leitung oder liegt an Hand des Auftraggebers.
Z.B. in Falle von Abwasserleitungen in Mantelrohren, kann auf Dichtheitsprüfung der Mantelrohre verzichtet werden.

- Prüfung von Freispiegelleitungen:

Die Leitungen werden unter dieser Prüfung entweder mit Luft oder mit Wasser geprüft.

- Prüfung mit Luft (Verfahren L):

Die Prüfzeit ist unter Berücksichtigung der Rohrdurchmessern und Prüfverfahren, aus Tabelle 1 in ÖNORM EN 12889 zu entnehmen. Das Prüfverfahren wird durch Auftraggeber bestimmt.

Bis ausreichende Erfahrungen zur Prüfung von Schächten und Inspektionsöffnungen mit Lüft vorliegen, wird nach [11] vorgeschlagen, Prüfzeiten zu verwenden, die halb so lang sind, wie die für Rohrleitungen gleiche Durchmesser.

- Prüfung mit Wasser (Verfahren W):

Der Prüfdruck ist der sich aus der Füllung des Prüfabschnittes bis zum Geländeniveau, des je nach Vergabe, Stromaufwärts oder Stromabwärts gelegenen Schachts ergebende Druck von max. 50 kPa (0,5 bar) und min. 10 kPa, gemessen am Rohrscheitel [11].

Nach Füllung der Rohrleitungen und/oder Schacht und Erreichen der erforderlichen Prüfdrucks, kann eine Vorbereitungszeit bis eine Stunde (1 h) erfolgreich sein.
Die Prüfdauer beträgt (30 ± 1) min.
Nach [11] ist die Prüfungsanforderung erfüllt, wenn das Volumen des zugefügten Wassers nicht größer ist, als:

- 0,15 l/m² in 30 min für Rohrleitungen;
- 0,2 l/m² in 30 min für Rohrleitungen einschließlich Schächte;
- 0,4 l/m² in 30 min für Schächte und Inspektionsöffnungen.
- M² bezieht sich auf benetzte innere Oberfläche

1.2 Bodenentnahmeverfahren

Bei diesen Verfahren werden im allgemein aus einem Startschacht die Stahlrohre dynamisch oder statisch in den Baugrund bis zum Zielschacht vorgetrieben. Die Anwendung der Bodenentnahmeverfahren ist von Bohrlochdurchmesser abhängig, da die Durchmesser ≥ 200 mm (manchmal 300 mm) nicht verdrängbar und die Bodenverschiebung infolge der benachbarten Leitungen nicht möglich sind.

Bei allen dazugehörigen Verfahren handelt es sich um Trockenbohrverfahren, da die Bohrung ohne zirkulierende Bohrspülung hergestellt wird. Das Gesteinsmaterial bezeichnet man als Bohrgut.

Nach [2], sind die wichtigsten Beurteilungskriterien die Standsicherheit der Bohrlochwände und die Bohrbarkeit des Locker- oder Festgesteins in Abhängigkeit von der Kornverteilung und der Korngröße oder Festigkeit.

1.2.1 Verfahren mit Horizontalramme und offenem Rohr (engl. Impact Ramming)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Das Verfahren besteht aus dem Durchtreiben eines offenen Rohrstranges durch ein Bodenpolster mittels Rammen (Hammerschlägen) oder Pressen. Nach Ankunft des Rohres am Ziel wird der ins Rohr eingetretene Erdkern ausgeräumt. Das Verfahren benötigt große Startgrubenabmessungen; durch die dabei auftretenden Vibrationen und die große Lärmbelastung ist es möglich, fast alle Lockerböden durchzufahren [18].

Das als sehr produktiv bekanntes Vortriebsverfahren mit ausreichender Genauigkeit hat als Produkt-, Schutz-, Mantelrohr und Leitungskanal mit Stahlrohren Anwendung.

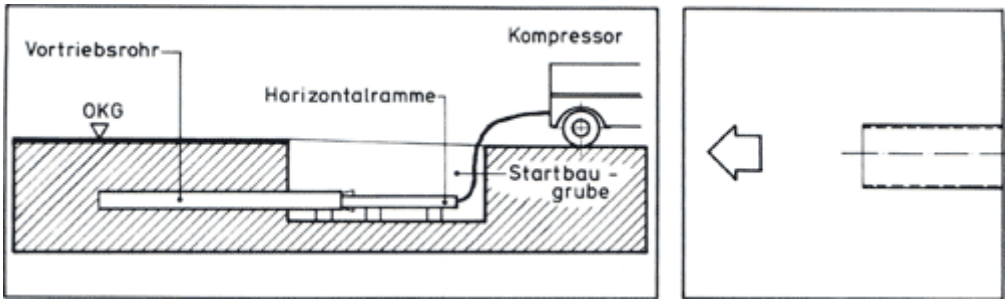


Abbildung B.11, Bodenentnahmeverfahren - Horizontalramme mit offenem Rohr [24]

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Der wichtigste Schritt nach Herstellung des Startschachtes ist, das erforderliche Auflager für den Vortrieb aufzustellen, um die Zielgenauigkeit zu erfüllen. Hierfür werden Stahlträger wie I-Träger und U- Profile oder Kanaldielenprofile bis 1 m vor der Schachtwand angeordnet, um den notwendigen Raum für das Schweißen oder Rohrverbindungen frei zu halten. Die Träger werden in Magerbeton oder bei sehr langen Rohrstrangabschnitten in Schotter oder Kies eingebettet. Die Abbildung B.12 zeigt die verschiedenen Auflagermöglichkeiten.

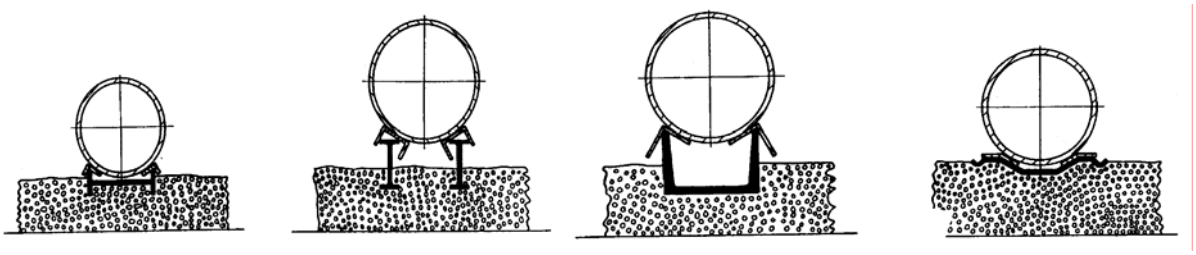


Abbildung B.12, Verschiedene Varianten der Auflagerungen im Startschacht [1]

Ähnlich wie beim vorherigen Verfahren wird eine Lafette, die durch Verspannung mit einem Gurt zum Stahlrohr eine kraftschlüssige Verbindung sicherstellt, die axiale Ausrichtung und Höhenausgleich der Horizontalramme realisieren. Diese Verbindung wird – je nach Größe der Differenz zwischen DN/ID und Außendurchmesser der Horizontalramme [Z. 1] – mit

einem oder mehreren Schlagkegeln (auch Aufsteckkegeln), Schlagsegmente oder Kombinationen aus beiden (Abbildung B.8), vom trompetförmigen Aufbördeln und nachfolgender Querschnittsaufweitung, gesichert.
In Abhängigkeit von der verlegten Rohrleitung als Produkt-, Schutz-, oder Mantelrohrstrang, von der Art des zu transportierenden Stoffes und den Druckverhältnissen im Betrieb werden unterschiedliche Kontrollen nach ATV – A 125 für unzulässige Beschädigungen der Rohrumhüllung und der Rohrwandung im Rohrendstückbereichen ausgeführt. Der eindringende Bodenpfropfen wird kontinuierlich oder nach Intervallen diskontinuierlich oder nach beendetem Vortrieb aus dem Rohr entfernt.

Bodenaustrag während des Vortriebes:

Der kontinuierliche Bodenaustrag erfolgt mit Hilfe eines Entleerungskegels oder –dapters, zwischen dem Schlagelement und dem Rohr. Es hat in locker gelagerten, nichtbindigen sowie bindigen Böden mit hohem Wassergehalt die Anwendung.
Diskontinuierlicher Bodenaustrag hat einen Zeitabstand, der durch den auftretenden Vortriebswiderstand beeinflusst wird. Bei diesem Verfahren muss der Vortrieb unterbrochen und die Horizontalramme aus der Verbindung gelöst werden. Es erfolgt im Allgemeinen nach Beendigung des Vortriebes einer Rohrschusslänge, aber ist auch abhängig von den Vortriebskräften aufgrund der Mantelreibung der inneren und äußeren Rohrwandung.
Es werden durch verschiedene Verfahren wie nachfolgend ausgeführt:

- Ausspülen mittels Spüllanze
- Ausbohren mittels Schneckenbohren
- Absaugen mittels Saugbagger
- Abbau und Förderung von Hand (mit Winde und Korb, bezeichnet als russisches Verfahren – Abbildung B.13, Baustelle Gaming [59]) oder mittels Minibagger im begehbaren Bereich (ab DN/ID 800)

Abbildung B.13: Abtrag des Erdreichs mit Korb und Winde. An der Ortsbrust wird das Erdreich bergmanisch (ab DNID 800) mit Luftdruckhammer abgebaut [59]

Bodenaustrag nach der Beendigung des Vortriebs:

Für den im Rohr verbliebenen Erdkern kommen in der Praxis folgende Alternativen zur Anwendung:

- *Entleeren mit Druckluft*: Es wird aus dem Zielschacht durch Druckluftleitung bis 7 bar mit einem Kompressor in Stahlrohre bis DN 500 mm hinter dem Erdkern ausgeführt. Das gehört zu den wirtschaftlichsten und gut funktionierenden Verfahren, dafür ist es aber äußerst gefährlich, da man den Austritt der Erdmassen nicht kontrollieren kann und gelegentlich zur Platzierung des Rohres führt [1].
- *Entleerung mit Druckwasser*: Es funktioniert in starker Haftreibung an der inneren Rohrwandung, wenn der Druck der Luft nicht genügt. Hier besteht weniger Gefahr, aber es scheint wegen der Entsorgung des ausgepressten Erdkerns im Schacht aufwendiger zu sein.
- *Entleeren mit Hilfe hydraulisch arbeitender Geräte (Robot Molch)*: Das mit geringst gefährlichem Verfahren besteht aus zwei oder drei Zylindrischen Segmenten (Abbildung B.14). Das Gerät arbeitet nach Verspannprinzip. Der Molchkopf kann eine Druckkraft bis zu 900 KN axial zum Herauspressen des Erdkerns aufbringen. Nach [1] kann Robotmolch Typ 400, bis 325 bar hydraulischer Druck in Nennweiten DN/ID von 380 bis 580 mm bei einer maximalen Reichweite von 70 m zu Verfügung stellen. Zusätzlich kommt noch Wasser, das am Kopf durch kleine Düsen gedrückt wird und für Schmierung des Erdreichs sorgt.

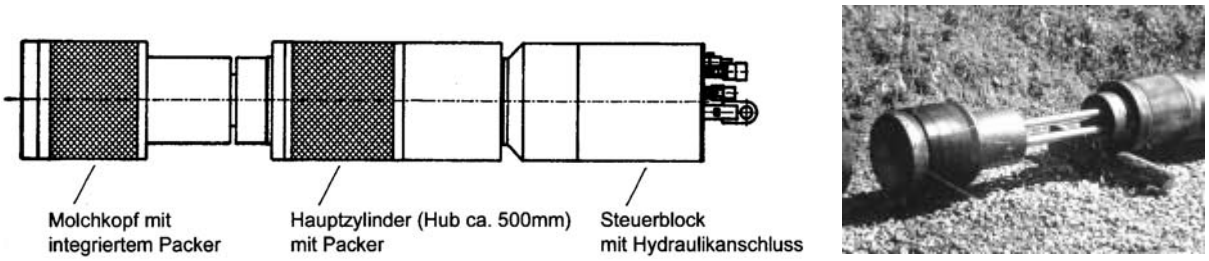


Abbildung B.14, Robotmolch, Prinzipskizze mit Ansicht [1], [25]

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

- Zur Ausrüstung werden folgende Hauptteilen bei Horizontalramme mit offenem Rohr benötigt:
- Verdrängungshammer oder Horizontalramme bei größeren Rohrnennweiten
- Schlagelemente (Schlagsegmente oder Schlagkegel)
- Startlafette mit Lufthebekissen und Gurte
- Visiereinrichtung
- Baustellenkompressor für Betriebsdruck von 6 bis 7 bar mit Druckluftschlauch
- Nebelöler
- Drucklufterwärmer für Wintereinsatz
- Geräte zum Entfernen des Erdkerns im Stahlrohr, wie z.B. Robot Molch (siehe oben)
- Hebezeug für die Montage, Betrieb und Demontage

- Schweißgerät
- Ausreichende Absperrung rund um Startschacht als Sicherheit für Anrainer.

Für die Verringerung der Reibungswiderstände entlang der inneren und äußeren Rohrwandung kann die Stahlrohrspitze mit einem äußeren und/oder inneren Schneidring zur Herstellung eines Überschnittes (Abbildung B.15) ausgerüstet werden (Hersteller TERRA).

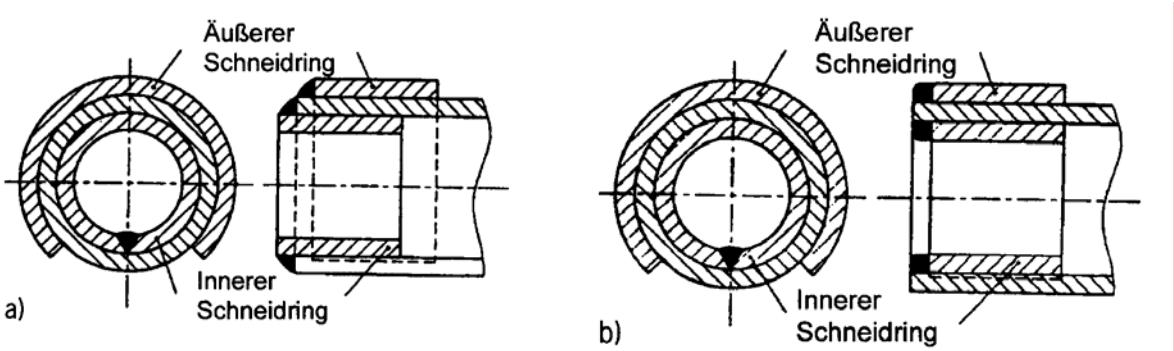


Abbildung B.15, Stahlrohrspitze a)in homogenen bindigen und nichtbindigen Böden, b) in steinreichen bzw. kiesigen Böden [2]

Das wird auch in homogenen bindigen und nichtbindigen Böden durch einen widerverwendbaren 360°-Schneidschuh auf der Stahlrohrschneide zur Reduzierung der Mantelreibung angeordnet (Hersteller TRACTO-TECHNIK).

Die Dicke des inneren und äußeren Schneidringes entspricht in der Regel der Wanddicke des Vortriebrohres [Z. 1]. Tabelle B.1 zeigt die Mindestwanddicken für Stahlrohre in Abhängigkeit der Nennweiten.

Nennweite DN/ID	Mindestwanddicke[1)] [mm]
< 350	6
350 bis 800	9
800 bis 1200	12
≥ 1200	16

Tabelle B.1: Vorgeschlagene Mindestwanddicken in Abhängigkeit der Nennweite [1];
[1)] bei Vortrieben über 50 m sind die angegebenen Werte für die Wanddicke um zu 25 % zu erhöhen.

D) Einsatzbereich

- Nach [15] haben Stahlrohre mit DN/OD bis 1600 mm Anwendung. In der Praxis wird bis DN/OD 2000 mm nach [50] verwendet. In Sonderfällen werden auch Stahlrohre DN/ID 3000 bis auf 27 m (Abbildung B.16) und auch DN/ID 3500 mm bis auf 40 m Länge unter Zuhilfenahme von statischen Pressvorrichtungen mit Horizontalrammen vorgetrieben [Z. 1].
- Maximale Vortriebslänge kann bis 70 m (nach [1] bis 100 m), in Abhängigkeit von der anstehenden Böden und vom DN/OD, realisiert werden. Die Herstellerfirmen geben als Richtwert für die Vortriebslänge folgender Formel an:

max. Vortriebslänge (Rammlänge) [m] ≈ 10 % DN/ID [mm]

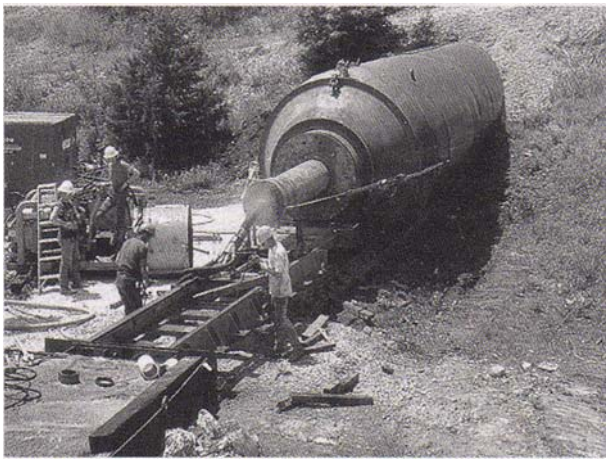


Abbildung B.16: Baustellensituation eines Vortriebes mit DN 3000 auf 27 m Länge [1]

- Mindestüberdeckungshöhe ist i.d.R. 2 x DN/OD oder mindestens 1,00 m.
- Rohrschusslänge beträgt max. 16 m, und in der Regel 6,0 m.
- Die Vortriebsleistung bzw. Rammgeschwindigkeit beträgt bis 20 m/h. Sie wird von verschiedenen Faktoren wie Schlagleistung der Rohrramme, Bodenart, Lagerungsdichte, Rohrnennweite und –gewicht, Überschnitt, Vortriebslänge, Entleerungszyklen und Stillstandzeit beeinflusst. Sie erreicht am Anfang den Höchstwert (im Mittel 5 bis 20 m/h) und reduziert sich im Laufe des Vortriebes bis zu 0,8 m/h [1]. Nach Angaben der Hersteller werden in Abhängigkeit der Schlagkraft je Maschinendurchmesser die in Abbildung B.17 gezeigten Vortriebsleistungen erreicht.

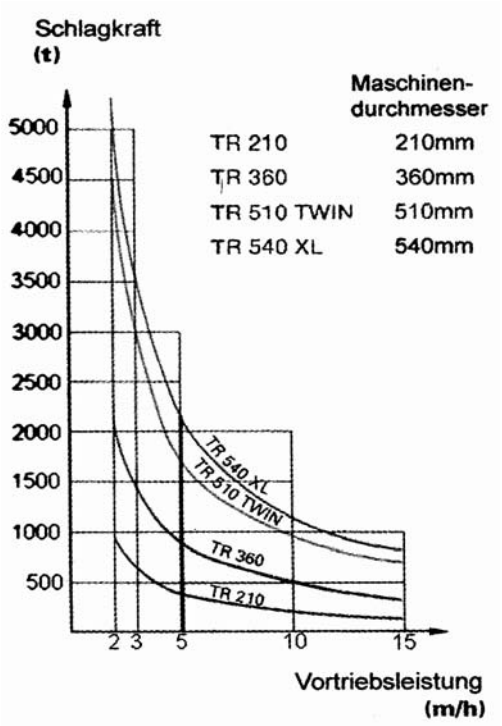


Abbildung B.17: Vortriebsleitung in Abhängigkeit der Schlagkraft nach Maschinentyp [1]

Ausschlaggebend für die Richtungsgenauigkeit sind das Ansetzen des ersten Rohrschusses und das winkelgerechte Anschließen der folgenden Rohrschüsse. Unter diesen Bedingungen und bei Vorhandensein eines homogenen Baugrundes können von erfahrenen Anwendern Richtungsgenauigkeiten von im Mittel 1 % bis 2 % (und nach ÖGL zw. 0,5 bis 2,0 %), bezogen auf die Vortriebslänge, erreicht werden [Z. 1].

E) Geotechnik

Dieses Verfahren ist in fast allen Lockerböden von Bodenklassen 1 bis 5 (nach ÖNORM B 2205) und manchmal auch im stark verwitterten und weichen Felsen durchführbar.
Nach DIN 18319 [10] kann das Verfahren mit offenem Rohr in verschiedenen Bodenklassen wie unten Anwendung finden:

- Bodenklassen LNE 1 bis LNE 3 bzw. LNW 1 bis 3
- Bodenklasse LBM 2 und 3
- Bodenklasse LBO 2
- Steinklassen S 1 und S 2 sind auch möglich, wenn die Steine kleiner als DN/ID des Stahlrohres sind, oder aber, wenn sie quer vor der Stahlrohrschneide liegen [1].
- In Böden wie Schluff, Moor (Klassen LO) und Fels (Klassen F) ist dieses Verfahren ausgeschlossen.

Wasserhaltige Böden erfordern auch bei diesem Verfahren je nach Grundwasserstand und Bodenart Hilfs- und Zusatzmaßnahmen im Ziel- und Startschacht und manchmal an der Ortsbrust gegen Grundwassereinbrüche.

1.2.2 Horizontal-Pressbohrverfahren (HPB)

(engl. Horizontal Auger-Boring)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Beim Horizontal-Pressbohrverfahren wird durch Vortrieb eines Mantel- oder Produktrohrstranges aus Stahl der Boden (mit einer Pressstation) gelöst und das Bohrgut gleichzeitig durch mechanischen Abbau der Ortsbrust mit einer Förderschnecken gefördert. Der Antrieb erfolgt durch die Förderschnecke im Startschacht oder in der Startbaugrube ganz unabhängig von der Rohrleitung [15].

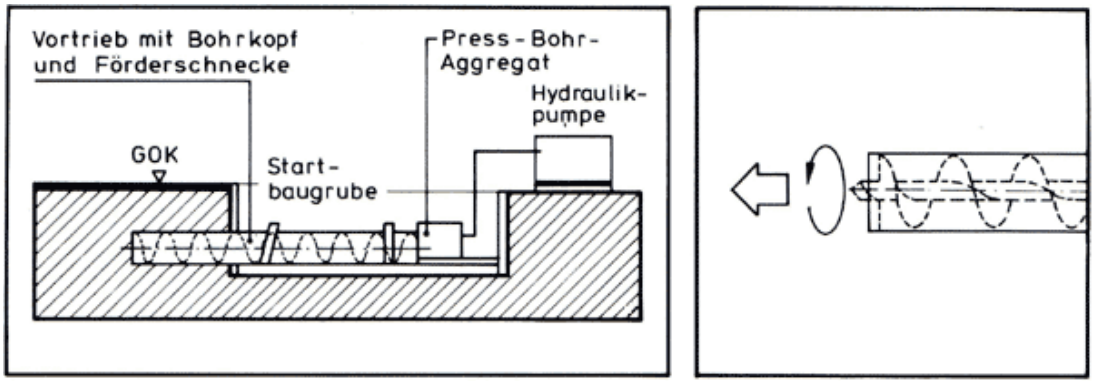


Abbildung B.18, Schema eines Horizontalpressbohrverfahren

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Das Pressbohraggregat mit zwei Presszylindern und einem Antrieb ist auf einem Grundrahmen, der als Geräteträger dient, installiert. Der Antrieb ist für die Förderschnecke und den damit verbundenen Bohrkopf vorgesehen. Die zwei Presszylinder stützen sich an der am Rahmen arretierten Druckbrücke ab. Durch das Ausfahren der Zylinder verschiebt sich das Pressbohraggregat (angetrieben durch ein Pumpenaggregat außerhalb der Startbaugrube) auf dem Rahmen und leitet die Vorpresskraft über den Druckring in das Stütz- oder Produktrohr.

Einzelrohre können durch den Verlängerungsrahmen verlängert werden. Ein genaues Ausrichten des Rohres wird durch eine befestigte Rohrführung gewährleistet. Die Vorpresskräfte werden über den Grundrahmen und das Widerlage auf die Rückwand der Startbaugrube und damit in den Baugrund übertragen. Davor ist allerdings ein erdstatischer Nachweis erforderlich.

Das erste Rohr wird erst nach dem Einbau der Anlage in der Startbaugrube auf den Rahmen gelegt. Dieses erste Rohr wird mit dem Bohrkopf, den entsprechenden Förderschnecken und dem Pressbohraggregat verbunden. Hiermit kann man mit der Vortriebarbeit anfangen.

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Die Hauptbestandteile des Gerätes sind ein Bohrkopf an der Spitze der Schnecke, eine Förderschnecke, ein Antrieb zum Drehen des Schneckenganges und eine Presslafette, die zum Vortreiben der Rohre dient [18].

Bohrkopf

Abhängig vom vorliegenden Boden (Locker- oder Festgestein) kommen unterschiedliche Bohrwerkzeuge zum Einsatz. Die Bohrköpfe mit einem Vorschneider in der Mitte werden bei schwer lösbaren Böden angewendet. Damit werden eine Auflockerung der Ortsbrust und eine Vermeidung von größeren Bohrlochabweichungen ermöglicht.

Nach [27] werden verschiedene Bohrköpfe je nach Bodenklasse und erwünschte Bohrlochdurchmesser angewendet.

In schwer lösbaren und leichtfelsigen Böden (z.B. in Bodenklassen vier bis sechs nach ÖNORM B 2205) werden Überschnitte erzeugt. Das heißt es werden Bohrköpfe mit einem größeren Außendurchmesser als jenem der Rohre verwendet. Sie besitzen einen ausklappbaren Schneidflügel um durch das Rohr zurückgezogen werden zu können (Abbildung B.19).

Abbildung B.19, Bohrkopfformen für verschiedene Bodenklassen [27]

Förderschnecke:

Die Förderschnecke hat zwei wesentliche Aufgaben zu erfüllen: die Übertragung des Drehmomentes an den Bohrkopf und den Materialtransport. Förderschnecken sind in zwei verschiedenen Ausführungen, entweder als Vollschnecke (mit universellem Anwendungsbereich) oder als Bandschnecke (Abbildung B.20) in einem Fördertrog oder Förderrohr angepasst.

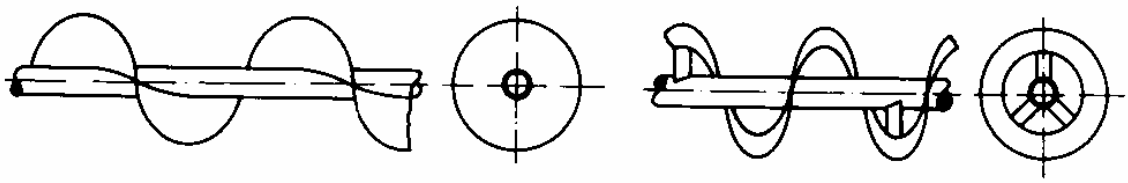


Abbildung B.20, Schneckenförderer, (links) Vollschnecke, (rechts) Bandschnecke [2]

Der Fördertrog wird je nach Vortriebsverfahren von einem Stahlschutzrohr oder einem speziellen Schneckenführungsrohr mit kleinern Durchmesser (bzw. Förderrohr) gebildet (Abbildung B.21) [2]. Die Moderne Form der Schnecke besteht aus zwei Hauptteilen: der Führungsschnecken und der Förderschnecken.

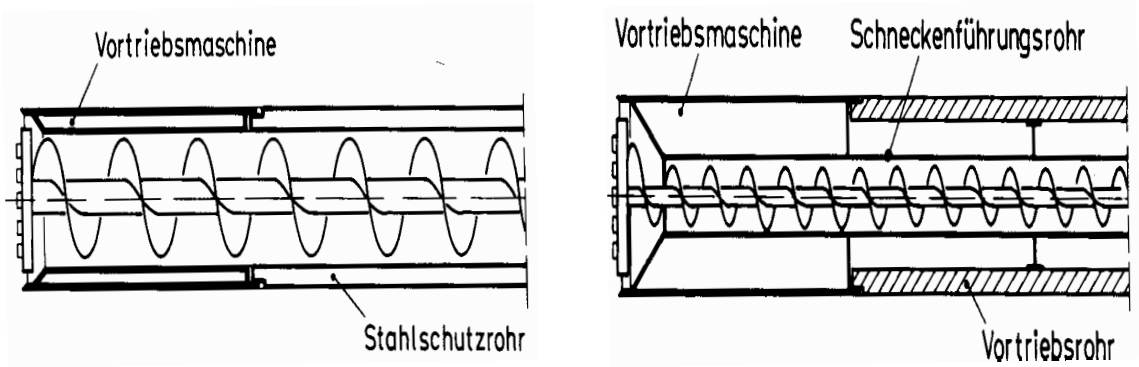


Abbildung B.21, Fördertrog, (links) in Form eines Stahlschutzrohres, (rechts) in Form eines Schneckenführungsrohres [2]

Die *Führungsschnecken* sind in den ersten Metern hinter der Rohrspitze angeordnet und haben nur einen gering kleineren Durchmesser als der Innendurchmesser des Rohres. Durch die geringe Steigung der Schneckengänge kann ein Erdpfropfen gebildet werden, der das unkontrollierte Eindringen des Bodens ins Rohr verhindert (Abbildung B.22 unten).
Die daran folgenden *Förderschnecken* haben einen kleineren Φ, aber eine größere Steigung und stellen eine verstopfungsfreien Abtransport des gelösten Bodens sicher. Die Längen der einzelnen Schneckenstücke betragen je nach Baugrubenlänge und eingesetztem Rohr zwischen eins bis drei Meter, die mit Sechskant-Imbussen und Bolzen kraftschlüssig verbunden werden [18].

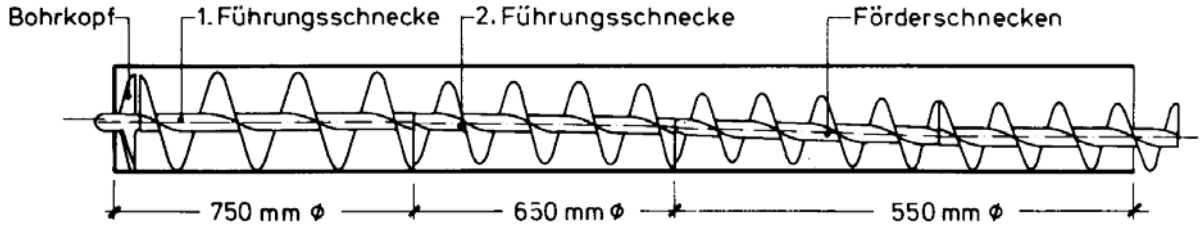


Abbildung B.22, Anordnung der Führungs- und Förderschnecke [2]

Die Art und Form der Schnecke bestimmt das maximal zu übertragende Drehmoment und den Einsatzbereich der gesamten Geräte. Z.B. ist mit der Schnecke das Bohren in Grundwasser mit starkem Wasserdrang nicht möglich. Oder in klebrigen Böden kommt es zum Verkleben des Bohrkopfes und der Förderschnecke. In diesem Fall kann man nur den ganzen Schneckengang wieder herausziehen, säubern und wieder einbauen. Dieser Vorgang ist auch erforderlich, wenn sich Steine in der Schnecke verklemmen. Die Steine können generell mit einem Φ bis zu 1/3 des Rohrinnendurchmessers abgefördert werden.

Bohrantrieb und Pressrahmen

Zum Drehen der Schnecke und des Bohrkopfes dient ein eigener Antrieb. Dieser ist im Pressrahmen verankert und kann mit Drehzahlen von bis zu 100 U/min (beide Drehrichtungen) gesteuert werden. Für den Antrieb dient entweder ein Diesel- oder Elektromotor am Gerät oder ein Hydraulikmotor, der von einem Elektro- oder Dieselmotor außerhalb der Pressgrube angetrieben wird.

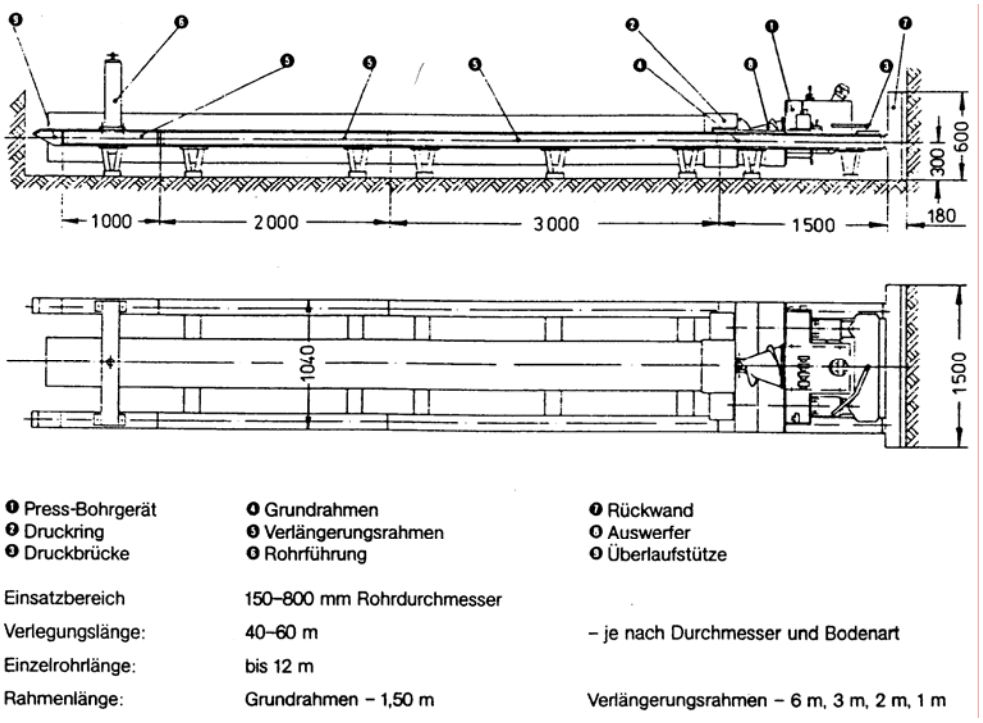


Abbildung B.23, prinzipieller Aufbau einer Horizontal-Pressbohranlage HPB 550/12 [18]

Das Vorpressen der Rohre erfolgt über zwei bis vier Hydraulikzylinder, die sich am Pressrahmen abstützen und die Rohre mit einer Druckbrücke vorschieben. Die Vorschubkräfte werden durch starke Widerlager in die Baugrube abgeleitet. Die Länge des Pressrahmens wird von der Länge der Baugrube bestimmt, was vor allem im innerstädtischen Bereich eine große Rolle spielt.

Es kann auch der Bohrantrieb mit der Schnecke über einen separaten Hydraulikzylinder gegenüber vom Rohr verschoben werden, was während des Betriebes erfolgt (siehe in B.2.2.1, MT-Verfahren mit Schneckenförderung). Oder man steuert die Position des Bohrkopfes zur Rohrvorderkante durch den Einbau verschiedene Zwischenstücke.

D) Einsatzbereich

- Das Horizontal-Pressbohrverfahren eignet sich für den Einbau von Stahlrohren (als Schutz- oder Produktleitung) mit einer Nennweite DN/OD ≤1600 mm. In Österreich wurden bis jetzt Rohre mit DN/OD 100 bis 1000 verlegt [54].
- Die Vortriebslänge ist abhängig von der Rohrnennweite, vom Baugrund (vor allem von der Mantelreibung) und den Leistungsparametern des Bohrgeräts wie Drehmoment und Vortriebskraft. Nach Angaben der [51] sind die möglichen Vortriebslängen der Anlagen vom Typ PBA 85, 95, 150, 155 in den Diagramme B.1 bis B.4 unten angezeigt. In Österreich sind Vortriebslängen zw. 20 bis 80 m wirtschaftlich [54].

Die Anlage PBA 85 (mit Presskraft bis 850 KN) ist als starke Hausanschlussmaschine in Leitungen ab φ = 2 m und für Verlegelängen von bis zu 80 m mit verstärktem Drehmoment bis 9000 Nm einsetzbar. Zur Energieversorgung dient ein Diesel Aggregat mit 50/80 KW. Das Gewicht des Grundgeräts beträgt 1860 kg mit Dimensionen von 1950 x 1240 mm. Die Länge der Verlängerungsrahmen kann 1000, 2000, 3000 und 4000 mm erreichen und wird für die Baugrubenmaße zur Länge des Grundgeräts dazugerechnet [51].

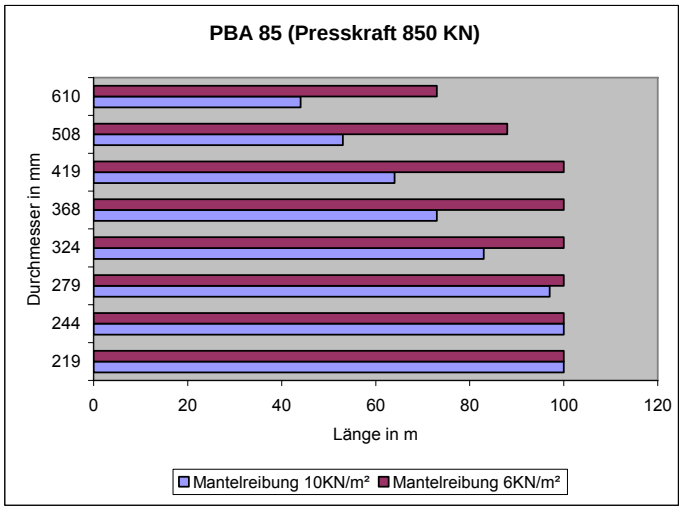


Diagramme B.1, Vortriebslängen in Bezug auf Außendurchmesser sowie Leistungsparameter des Gerätes [51]

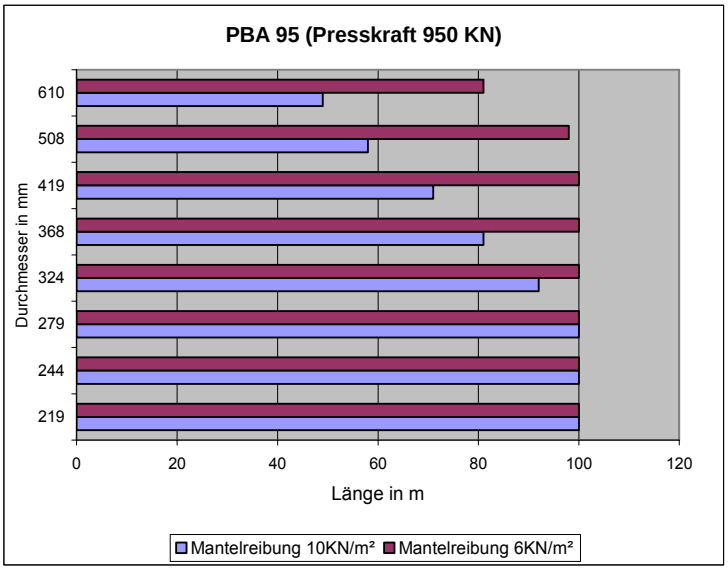


Diagramm B.2, Vortriebslängen in Bezug auf Außendurchmesser sowie Leistungsparameter des Gerätes [51]

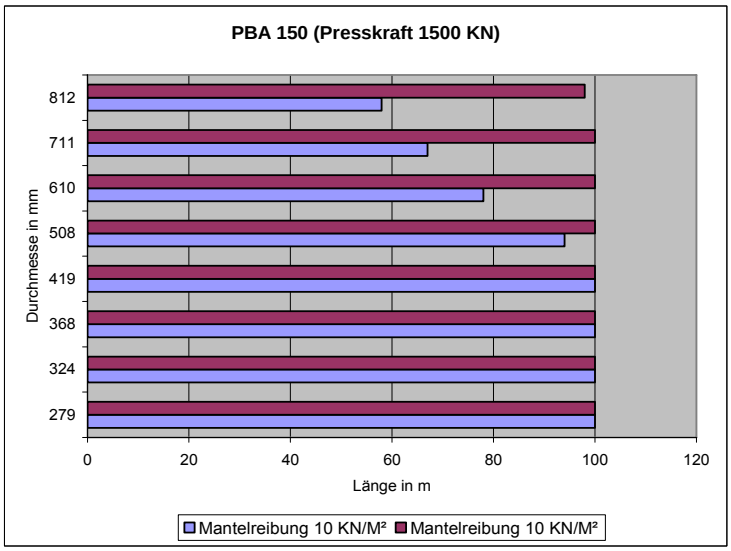


Diagramm B.3, Vortriebslängen in Bezug auf Außendurchmesser sowie Leistungsparameter des Gerätes [51]

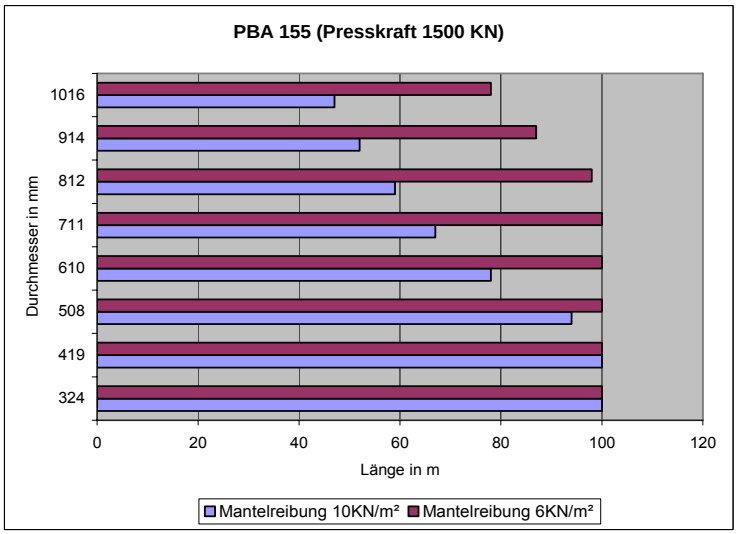


Diagramm B.4, Vortriebslängen in Bezug auf Außendurchmesser sowie Leistungsparameter des Gerätes [51]

Die Anlage PBA 155 (Abbildung B.24) besitzt alle Vorteile der klein dimensionierten Geräte und ermöglicht zusätzlich das Verpressen von Stahl- oder Betonrohren mit einem Durchmesser von bis zu 1080 mm. Ein hydraulisch regelbares, hohes Drehmoment bis zu 36000 Nm ermöglicht es bei allen Bodenklassen pilotgesteuerte Vortriebe, als auch ungesteuerte Bohrungen ab Bohrlängen von 2,0 m in einer Baugrube von 4,0 m Länge durchzuführen. Diese Anlage ist auch für Anwendungen als HDD-Bohrgerät oder Rohrbersten geeignet.

Abbildung B.24, PBA 155, Durchmesserbereich zwischen 219 – 1016 mm mit Lafette [27]

- Nach ATV – A 125 beträgt die Mindestüberdeckungshöhe 2 x DN/OD oder mindestens 0,8 m. In Österreich beträgt in mindestens 1,20 m [54].
- In der Praxis kann eine Vortriebsleistung von 1 bis 12 m/h erzielt werden. Der Anteil des Vortriebes am Gesamtzeitaufwand beträgt 15 bis 25 % [1]. Die Zeit für das Einrichten und Schweißen der Rohre, taktweises Vorrücken der hinteren Drückbrücke mit Ent- und Verriegelungsvorgängen sowie Rückzug und Einbau des Schneckenbohrgestänges (Zurüstzeit) den Bohrprozess nachhaltig beeinflussen [Z. 1]. Gesamtleistung beträgt in der Praxis zw. 0,5 bis 3,0 m/h [54].

Zielgenauigkeit

Die Zielgenauigkeit dieser Geräte ist sehr abhängig von der Erfahrung der Mannschaft. Die Abweichungen können zwischen 0,1 – 1 % der Vortriebslänge betragen [18]. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, sollte beim Bohren mit dem möglichst geringsten Vorpressdruck gearbeitet werden. Die Form des Bohrkopfes hat ebenfalls einen Einfluss. Bei feinkörnigen Böden erhöht ein im Rohr zurückversetzt laufender Bohrkopf die Zielgenauigkeit.

In Abhängigkeit der Bodenkennwerte können in Österreich in der Praxis nur zwischen 1 bis 3 % der Vortriebslänge [54] und nach ÖGL zwischen 0,5 bis 2,0 % betragen.

E) Geotechnik

Das Horizontal-Pressbohrverfahren findet in allen Bodenklassen L nach DIN 18319 bis zu Fels (Festgesteinklassen FD 1 / FZ 1 bis FD 4 / FZ 4) Anwendung.
Für Fels in Bodenklassen 7 (nach ÖNRM B 2205) werden Felsbohrköpfe mit Rollenmeißeln (Warzen oder Meißeln) verwendet (Abbildung B.25).
für Bodenklassen 1 bis 4 nach ÖNRM B 2205 können zweiflügelige Fischschwanzschneiden (Abbildung B.19) Als Bohrköpfe verwendet werden. Diese sind mit einem Durchmesser von 100 bis 280 mm lieferbar. Steckmesser-Bohrköpfe oder Zahnschneiden-Bohrköpfe mit Hartmetallzähnen finden für größere Durchmesser bis Φ 1480 mm Anwendung.

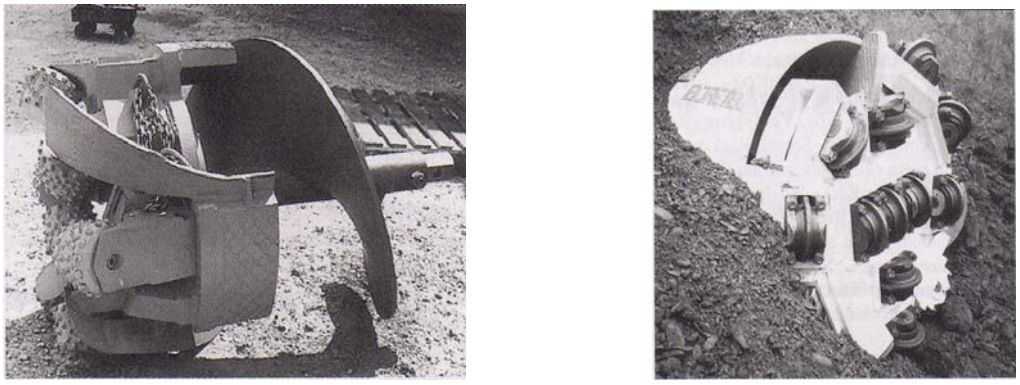


Abbildung B.25, Felsbohrköpfe mit Rollenmeißeln, Warzenmeißel (links) und Diskenmeißel (rechts) [1]

Für die Bodenklassen 5 und 6 sind Spiral-Bohrköpfe mit Rundschaftmeißeln, lieferbar mit einem Durchmesser von 100 bis 1480 mm, ideal.
Klappschneiden-Bohrköpfe mit Rundschaftmeißeln mit ausklappbaren Schneiden (wie im Abbildung B.19 zu sehen) werden zum Vorbohren und Freischneiden des Vortriebsrohres in Sandstein (oder Bodenklasse 6) für Φ 100/128 mm bis 1480/1550 mm verwendet [1].
Die oben geführten Bodenklassen passen auch zur der Praxisbezogene Erfahrungen im Österreich.

F) Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte – Richtkosten

Nach Angaben der österreichischen Firmen [54] ist mit einem Preis für den Vortrieb mit dem HPB-Verfahren, abhängig von Bodenkennwerten und Rohrdurchmesser, zwischen 110 – 290 €/lfm zu rechnen.

G) Prüfverfahren

Stahlrohrschweißen

Für den grabenlosen Leitungsbau ist die Schweißtechnik für die Verlegung von Rohrmaterial von großer Bedeutung. Es muss unter beengten Platzverhältnissen und nur im Start- und Zielbaugruben gearbeitet werden. Von den Stahlrohrenden, die zumeist im Freien (ohne Ummantelungen) gelagert werden, ist vor den Schweißarbeiten jegliche Rostbildung zu

entfernen. Das Schweißen wird mit Stahlstumpfnähten (V-Naht oder Tulpen-Naht) ausgeführt. Die Schlackenreste müssen danach entfernt werden.
In Produktleitungen ist es wichtig, die blanken Stahlbereiche mit einer Isolierung (z.B. PE-Isolierung oder Zementummantelung) zu versehen. Eine PE-Isolierung wird mit Hilfe von PE-Isolierbinden hergestellt, die mit zwei- bis dreifacher Überlappung gewickelt wird. Bei der Zementummantelung wird Mörtel mit einer Glasfasergewebematte aufgebracht. Abschließend ist es wichtig den Kathodenschutz zu kontrollieren (Isoliertest).
Außer Stahlrohre können im Horizontalpressbohrverfahren Faserzement und PVC Rohre verwendet werden.

1.2.3 Hammerbohrung

(engl. Hammer Drill)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Nach ÖNORM EN 12889 wird bei der Hammerbohrung ein Bohrkopf mit einem Schlaghammer in das Bohrloch, mit oder ohne Mantelrohr (Verrohrung [1]) getrieben. Der gelöste Boden (Bohrgut oder Bohrklein) wird mechanisch, hydraulisch oder mit Druckluft entfernt.
Bei der Hammerbohrung mit Druckluft wird das Druckspülbohrgerät mit einem Bohrhammer am Bohrgestänge ausgerüstet. Nach Zertrümmern des Gesteins mit großer Schlagzahl an der Bohrlochsohle, wird die Förderung des Bohrgutes durch Luftspülung über den Ringraum übernommen (Lufthebeverfahren). Der Hammer wird dabei langsam zusammen mit dem Gestänge gedreht.
Die Hammerbohrung mit hydraulischer Förderung (Flüssigkeitsspülung) wurde in dieser Kombination beim grabenlosen Leitungsbau noch nicht eingesetzt.

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Es sind zwei Gerätetypen bezüglich der Arbeitsweise und des Arbeitsablaufes voneinander zu trennen:

- Hammerbohrung mit exzentrisch arbeitendem Bohrkopf
- Hammerbohrung mit zentrisch arbeitendem Bohrkopf

Beide Verfahrensvarianten besitzen die Option sowohl als ein- als auch als zweiphasiger Vortrieb durchgeführt zu werden.
Die *Hammerbohrung mit exzentrisch arbeitendem Bohrkopf* entspricht dem Horizontal-Pressbohrverfahren. Hierbei wird das Gestein durch einen drehend-schlagend arbeitenden,

pneumatischen Imlochhammer gelöst und kontinuierlich durch Förderschnecken zur Startbaugrube gefördert [1] (Abbildung B.26).

Die erforderliche Druckluft (bis max. 7 bar) wird über die Hohlschnecken zugeführt, was gleichzeitig als Spülmittel zum Austragen des Bohrkleines bis zur Förderschnecke dient.
Um Hindernisse wie Fundamente, Mauerwerkreste, Findlinge, etc. zu überwinden, wird zeitweise vom Horizontal-Pressbohrverfahren (Kapitel B.1.2.2) auf die Hammerbohrung umgestellt.

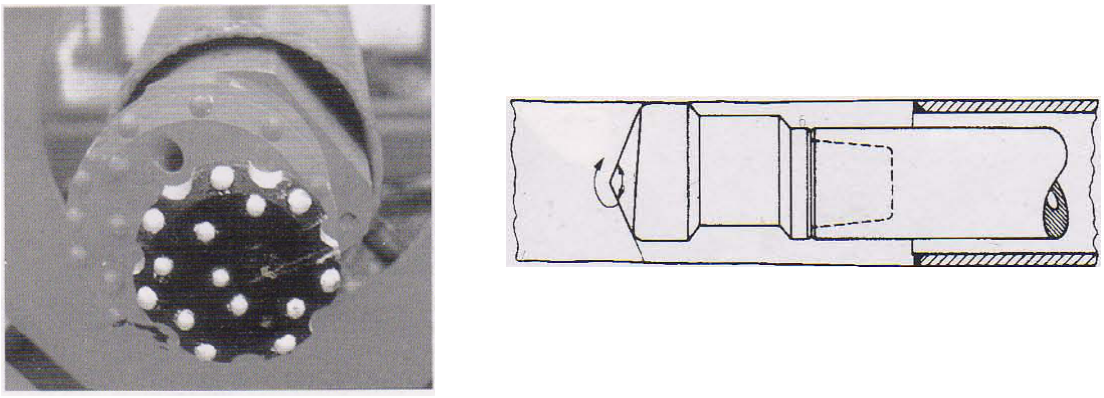


Abbildung B.26, Ansicht und Arbeitsprinzip eines Imlochhammers mit exzentrischem Bohrkopf und Hammer [1]

Bei der *Hammerbohrung mit zentrisch arbeitendem Bohrkopf* wird das Gestein je nach Gerätetyp kontinuierlich entweder durch Förderschnecken oder durch eine Luft-(Gas)-Spülung gefördert. Die Verrohrung ist mit dem Bohrkopf verbunden und wird durch einen Teil der durch den Bohrhammer erzeugten Schlagenergie vorgetrieben [Z. 1]. Der gesamte Prozess wird von der Pressstation aus unterstützt. Sie dient zur Erzeugung der notwendigen Andrückkraft für das Bohrwerkzeug über das Bohrgestänge und bei Schneckenförderung zusätzlich zum Antrieb des Schneckenbohrgestängestranges.

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Bei der Hammerbohrung sind folgende Hauptausrüstungsteile notwendig:

- Pressstation, bestehend aus Grund- und Verlängerungsrahmen, Widerlageplatten,
- Druckbrücke sowie Pressbohraggregat mit Bedienpult
- Imlochhammer mit Bohrkopf
- Bohrgestänge bzw. Förderschnecken
- Hydraulikaggregat mit Versorgungsschläuchen
- Druckluftkompressor mit Druckluftschläuchen
- Hebezeug für Montage, Betrieb und Demontage
- Schweißgerät

D) Einsatzbereich

Für den Anwendungsbereich sind folgende Erfahrungswerte bekannt:

- Bohrlochdurchmesser ≤ 1140 mm für eine max. Rohrnennweite (DN/OD) 1080
- Vortriebslänge bis 100 m; im Ausnahmefall bis 300 m
- Die Vortriebsleistung in Abhängigkeit der geologischen Randbedingungen und Bohrlochdurchmesser beträgt zwischen 6 und 15 m/h
- Die Richtungsgenauigkeit wird nach Angaben der Hersteller mit 2 % (nach ÖGL bis 1%) bezogen auf die Bohrlänge angegeben. Es wurde aber bei besonderen Bohrgeräten wie NUMA-Hammers eine Genauigkeit von ± 0,5 % erreicht.

Nachfolgend werden aktuelle Geräte und deren spezieller Einsatzbereich vorgestellt:

ROTEX Symetrix HZ-System, Tampere Finland: Mit diesem System wird durch eine Förderschnecke und einem zweiteiligem Bohrkopf, Bohrlochdurchmesser zw. 239 bis 940 mm, Vortriebslängen bis zu 300 m und durchschnittliche Nettovortriebsleistungen von 6 m/h erreicht.

SST-Methode, Osaka Japan: In diesem System erfolgt die Bohrgüteförderung im Bereich des Imlochhammers mittels Druckluft und von dort bis zum Startschacht mittels Förderschnecke. Nach Herstellerangaben wird der Vortrieb von Stahlrohren für einen DN/ID von 250 und 300 (Typ SST 350) sowie für einen DN/ID von 400 und 450 (Typ SST 500) mit einer Vortriebslänge bis zu 50 m eingesetzt (Abbildung B.27).

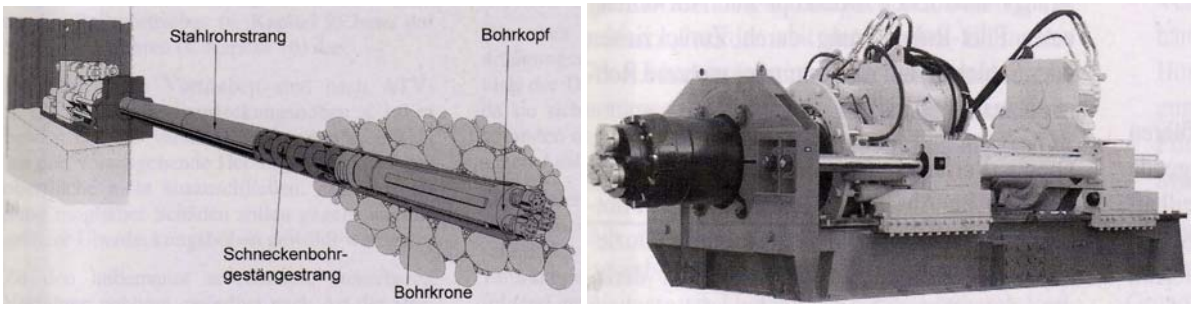


Abbildung B.27, Die Anlage SST-Method für DN/ID 400 und 450 (rechts), Übersichtsskizze (links)

Die Anlagen von Hersteller NUMA Manufacterer of Down Hole Hammers und der Bits, Surrey, England, sind auch mit Systemmodell NUMA-Hammer Champion H ident.

Sie sind für die Verlegung von Stahlrohren mit einem DN/ID von 100 bis 400 und für Vortriebslängen bis 30 m geeignet. Für mehrere Informationen über Champion 80H siehe bitte den Kapitel B.2.3.2 beim HDD-Verfahren.

E) Geotechnik

Das Hammerbohrungsverfahren ist für grundwasserfreie Böden geeignet und wird bevorzugt in inhomogenen Schichten mit Einlagerungen von Geröllteilen, Steinen und Blöcken oder

Konglomeraten mit weichen Bindemitteln sowie Fels mit einaxialen Druckfestigkeiten bis zu 200 N/mm² (alle Klassen F nach DIN 18319) eingesetzt.

1.2.4 Horizontal-Pressbohrverfahren mit Räumer

Beim Horizontal-Pressbohrverfahren wird der Boden durch Einpressen eines starren Pilotrohrstranges verdrängt und die neue Rohrleitung durch Einziehen hinter einem rotierenden Räumer eingebaut [11]. Zur Aufweitung wird mit einem am Ende des Rohrstrangs montierten Bohrkopfes, durch Zurückziehen oder Schieben, verfahren. Hierbei werden ein oder mehrere Rohre eingezogen.

Dieses Verfahren ist dem Pilotrohr-Vortrieb Verfahren mit Rohrvortrieb durch Einziehen (Kapitel B.2.1.2) gleichzusetzen. Der Unterschied liegt lediglich darin, dass hier die verdrängende Pilotbohrung ungesteuert ausgeführt wird.

2 Unbemannt arbeitende, steuerbare Verfahren

2.1 Pilotrohr-Vortrieb

(engl. Pilot Tube Microtunneling - PTMT)

Das PTMT-Verfahren wird in der Literatur auch als Pilotrohrbohrverfahren oder in Österreich laut ÖGL als Richt-Press Verfahren bezeichnet [28]. Es ist auf dem Prinzip der Bodenentnahme- und Bodenabnahmeverfahren in runden Querschnitten basiert.
Dabei erfolgt die Verlegung von Leitungen in zwei oder maximal drei aufeinander folgenden Phasen:

- Die gesteuerte Pilotbohrung, entweder nach dem Bodenverdrängungs- oder Bodenentnahmeprinzip und,
- nachfolgenden ungesteuerten Aufweitbohrung mittels Bodenverdrängung oder Bodenentnahme bei gleichzeitigem Einpressen, Einschieben oder Einziehen der Rohrleitung und,
- Herauspressen, Herausschieben oder Herausziehen des Pilotbohr(gestänge)-stranges in den Zielschacht [Z. 1].

2.1.1 Rohrvortrieb durch Einpressen oder Einschieben

Beim Rohrvortriebverfahren durch Einpressen oder Einschieben wird in der ersten Phase eine Pilotbohrung erstellt. Anschließend wird beim zweiphasigen Vortrieb mittels Pressstation gleichzeitig, die Aufweitung gebohrt und die Rohrleitung eingepresst.
Im dreiphasigen Vortrieb wird mit Hilfe der Pressstation die Rohrleitung nach der Aufweitbohrung eingeschoben und gleichzeitig die Interimsrohre herausgeschoben.

2.1.1.1 Zweiphasiger Vortrieb

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Der zweiphasige Vortrieb besteht aus zwei nach einander anschließenden Phasen:

- Pilotbohrung
- Aufweitbohrung mit gleichzeitigem Einpressen oder Einschieben der Vortriebsrohre

Die zwei Phasen verlaufen nach Angaben der Hersteller entweder nach dem Bodenverdrängungs- oder Bodenentnahmeprinzip. Das heißt es kann sowohl die Pilotbohrung als auch die Aufweitbohrung nach dem Bodenentnahmeprinzip oder dem Bodenverdrängungsprinzip arbeiten oder aber die eine Phase nach dem Bodenentnahmeprinzip und die andere nach dem Bodenverdrängungsprinzip.

Dieses Verfahren findet in locker bis mitteldicht gelagerten nichtbindigen Böden bzw. in breiig-weichen bis steif-halbfesten bindigen Böden Anwendung.

B) Arbeitsweise (Funktion) und Arbeitsablauf (Prozess)

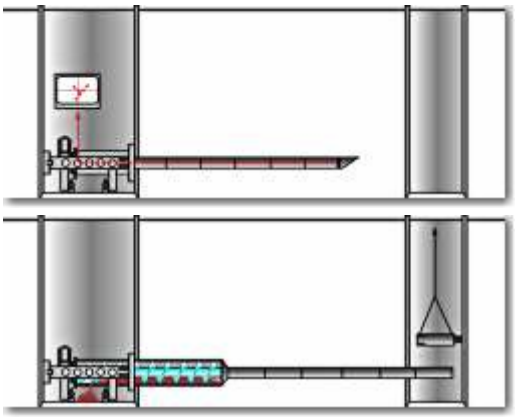


Abbildung B.28, Zweiphasen-Vortrieb, obwohl das Produktrohr in der zweiten Phase gleichzeitig mit der Aufweitbohrung reingepresst wird.

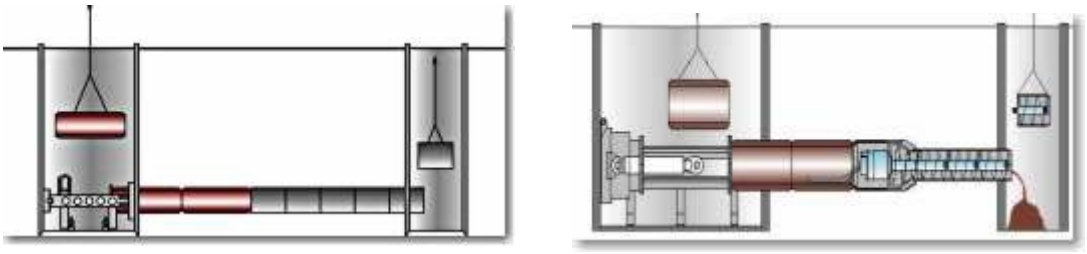


Abbildung B.29, Bei Dreiphasen-Vortrieb werden die Produktrohre gleichzeitig nach der Beendigung der Aufweitbohrung (in einem Schritt (links) oder in zwei Schritten (rechts)) eingepresst [30].

Pilotbohrung und Aufweitbohrung nach dem Bodenverdrängungsprinzip - System*: ACEMOLE PC 10 MP:*

Die Pilotbohrung wird nach Installation der Pressstation im Startschacht durch einen Pilotbohrgestängestrang (Φ 100 mm) und einem hydraulischen Verdrängungskopf hergestellt.

Nach Ankunft des Verdrängungskopfes im Zielschacht wird die zweite Phase der Bohrung mit Hilfe eines Aufweitungsteiles (mit gewünschtem Durchmesser) durchgeführt, der über einen Adapter mit einem Rohrstrang gekoppelt ist. Anschließend werden weitere Rohrstränge mit der Pressstation vorgepresst.

Das Pilotbohrgestänge als Führung des Aufweitungsteiles wird sukzessive im Zielschacht wiedergewonnen.

Pilotbohrung und Aufweitbohrung nach Bodenentnahmeprinzip – *BM 500*:

Bei dieser Art des Pilotrohr-Vortriebs wird in beiden Phasen Bohrgut mittels Förderschnecken zum Start- bzw. Zielschacht gefördert.

Richtungsänderungen werden durch Drehung des Pilotrohres und mittels eines abgeschrägten Pilotbohrkopfes (Abbildung B.30) vom Startschacht aus vorgenommen [29].

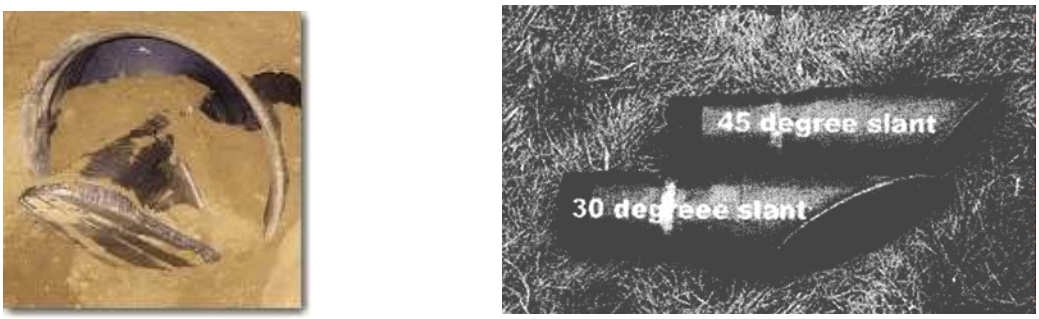


Abbildung B.30, Schneckenbohrkopf (links) als schräge Steuerebene ausgebildet [30]. Im USA Übliche Bohrköpfe mit drei verschiedenen Winkeln 30°, 45° und 60° (rechts) [4].

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Folgende Maschinen und Werkzeuge gehören zu den Hauptbestandteilen der technischen Ausrüstung eines Pilotrohrgerätes:

- Pressstation mit Pressrahmen, Vorschubzylinder, Druckübertragungsring und Widerlagerplatten
- Mess- und Steuersystem
- Hydraulikaggregat
- Pilotbohrrohre und Verdrängungskopf
- Aufweitungsteil (DN/OD ist gleich der DN/OD der Vortriebsrohre)
- Hebevorrichtung oder Autokran

Mess- und Steuersystem

Das optische Vermessungssystem besteht aus einem Theodolit mit elektronischer Kamera, einer LED-Zieltafel, die im Pilotsteuerkopf montiert ist und aus einem Monitor, der dem Maschinenlenker im Startschacht die Position und Stellung des Pilotsteuerkopfes anzeigt. Bei Erkennen einer Abweichung von der auf dem Monitor angezeigten Sollbohrrichtung (Differenz des Bohrverlaufs zwischen Soll und Ist), wird mit Hilfe der Steuerspitze eine Korrektur vorgenommen [33].

Abbildung.B.31, Mess- und Steuersystem bei einem Pilotbohrverfahren [33]

D) Einsatzbereich

- Das Pilotrohr-Vortrieb-Verfahren wird als eine geradlinige (manchmal auch in Kurvenradius) Bohrung ab einer DN/ID von 150 bis 800 (nach ATV – A 125 bis 200 mm) am Markt angeboten. In grundwasserführenden Schichten sind Grundwasserhaltungen (im Allgemeinen) notwendig. Nach Angaben des japanischen Herstellers KOMATSO ist das Verfahren IRONMOLE TP80-2 für den Einsatz in der Grundwasserbohrung bei einem Sand/Kies Boden bis 0,6 bar (6 m Wassersäule über Rohrsohle) anwendbar [1].
- Die Vortriebslänge ist nach ATV – A 125 ideal bei ca. 30 m für Anschlusskanäle und bis 100 m (20 m bis 70 m)[3] für Druckrohrleitungen und Kabelleitungen. Beim ACEMOLE PC 10 MP Verfahren erreicht die Vortriebslänge 100 m (110 m mittels Aufweitkopf). Kurvenradien kann man damit ab einer Länge von 150 m erzeugen.

- Nach Angaben der Firmen [54] in Österreich werden zwei übliche Geräte mit eigenen Einsatzbereichen eingesetzt:
- Grundopit 40/60: Vortriebslänge bis 25 m und DN/OD 150
- Grundodrill: Vortriebslänge bis 70 m und DN/OD 250
- Die Zielgenauigkeit ist vom Ortungssytem abhängig und zwar mittels Laser im Promillebereich und mittels Sender-Empfänger bei ± 5,0 % der Verlegetiefe [19, 44].
- Die Mindestüberdeckungshöhe ist i.d.R. ≥ DN/OD oder mindestens 1,00 m. Bei festem Straßenoberbau ist sie zu erhöhen [1].
- Es wird zur Verlegung von Hausanschlüssen und Hauptleitungen für Gas, Trinkwasser- und Abwasserleitungen für Rohrmaterial wie GGG, PE, PVC oder ST eingesetzt.
- Schachtabmessungen sind von der Tabelle B.2 zu entnehmen:

Gerät	Schachtabmessung [m]	DN
P80	3,20 x 1,50	400
mini twinny	1,25 x 1,00	120 (160)
Grundopit 40/60	1,30 x 1,10 (bis 1,50 m Tiefe)	85 -180, gesteuerte Bohrung mit Pilotgestänge
	2,0 x 1,10 (ab 1,50 m Tiefe)	
PBA 10	2,20 x 1,50	100 - 200
PBA 38	4,7 x 2,0 und 2,5 x 2,0 (verkürzte Ausführung)	300 - 500
PBA 100	6,80 x 2,50	400 - 1000

Tabelle B.2, Die Schachtabmessungen von einigen Geräten nach Angaben der Firmen in Abhängigkeit der Bohrdurchmesser. Die Angaben stimmen auch beim Verfahren im Kapitel B.1.2 [54]

[3] Klammerwerte geben die Erfahrungen in Österreich nach Angaben der Firmen [54]

- Die Vortriebsleistung kann in der ersten Phase 5,0 bis 10,0 m/h und in der zweiten Phase 2,0 bis 3,0 m/h erreichen.
- Die Genauigkeit bei diesem Verfahren ist auch abhängig vom Personal und besonders von der Präzision des Theodoliten. Nach ÖGL soll eine erzielbare Genauigkeit bis 5 % der Verlegetiefe in Vertikalrichtung und 10 % in Horizontalrichtung erfüllt werden. Mit dem amerikanischen Vortrieb konnte eine Genauigkeit von bis zu 0,02 % der Bohrlänge erzielt werden.

F) Geotechnik

Das *BM 500* Verfahren (mit DN/OD 1000 mm) ist in verdrängungsfähigen ($N_{10} \leq 50$ mit DPL-5), bindigen und nichtbindigen Lockergesteinen (BK L nach DIN 18319) und nach Angaben der Firma Bohrtec [30] auch unter dem Grundwasserspiegel einsetzbar. Einzelne Steine bis zu einer Größe von etwa 80/120 mm können bei diesem Verfahren während der Aufweitungsbohrung entweder verdrängt oder bei entsprechendem DN/OD mit dem Bohrkopf gebrochen [Z. 1] gefördert werden.
Der Einsatz des *ACEMOLE PC 10 MP* Verfahrens kann auch in verdrängungsfähigen Lockergesteinen, wie sandigen bzw. tonigen Böden mit N-Werten < 15 in Tiefen von 2 m bis 4 m angewendet werden.
Fazit: Verfahren (ob ein- oder zweiphasig), die nach dem Bodenverdrängungsprinzip arbeiten, werden eher in weicheren und feinkörnigen Böden eingesetzt. Z.B. die Systemkombination aus einem abbauendem Pilotbohrkopf und einem Räumer mit hydraulischer Förderung kann in sandig-kiesigen Böden mit Korngrößen ≤ 80 mm und einem max. Anteil von 35 % angewendet werden.

G) Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte – Richtkosten

Im Österreich beträgt die Herstellung der Leitungen in diesem Verfahren pro Laufmeter zwischen 110 bis 290 € [54]. Die Bedingungen sind auch ident mit denen im Kapitel B.1.2.2, Teil F.

2.1.1.2 Dreiphasiger Vortrieb

Der Drei-Phasen-Vortrieb beginnt wie der Zwei-Phasen-Vortrieb (Abbildung B.29) zunächst mit einer Pilotbohrung und einer anschließenden Aufweitbohrung. In der dritten Phase werden die Interimsrohre gleichzeitig durch Einschieben der Vortriebsrohre aus dem Startschacht herausgeschoben. Der Dreiphasen-Vortrieb ist meistens für den Einsatz in festen bindigen (BK. LBM 3 bzw. LBO 3) Böden und in nichtbindigen, dicht gelagerten Lockergesteinen (Bohrlochdurchmesser 150 ≤ DN/ID ≤ 300 (BK. LNE 3 und LNW 3) mit größeren Steineinlagerungen geeignet. Die Steingröße sollte dabei 1/3 des DN/OD der

Förderschnecke nicht überschreiten. Das heißt bei einem Bohrlochdurchmesser mit Nennweitenbereich ab 250 mm und einer Förderschnecke mit einem DN/OD von 240 dürfen nur Steine mit einem Durchmesser von bis zu 80 mm abgefördert werden.

Beim *BM 400* Verfahren (Abbildung B.32) (nach Angaben [30]) wird als Alternative in der dritten Phase eine zweite Aufweitbohrung mit gleichzeitigem Einbau der Vortriebsrohre mit einem DN/ID von 400 bis max. 620 durchgeführt. Bei dieser Variante kann einen Steindurchmesser bis 120 mm abgefördert werden [1].

Abbildung B.32, , Anlage BM 400, Rohrdurchmesser DN 150 – 400 [30]

Bei der Pilotbohrung nach dem Bodenverdrängungsprinzip können durch zusätzliche Erzeugung von Hochdruckflüssigkeitsstrahlen mit Wasser oder Bentonitsuspension zwei folgende Faktoren erreicht werden:

Reduzierung der Mantelreibung durch Schmierung des Pilotbohrgestänges

Verbesserung der Verdrängungseigenschaften durch Änderung der Konsistenz

Das Typ PBA System (im Österreich als übliche Geräte [54]) von der Firma Schmidt, Kranz & Co. GmbH besitzt ein doppelwandiges Pilotbohrgestänge, das der Flüssigkeitszuführung am Verdrängungskopf mit einem Hochdruck von bis zu 110 bar dient. Es ermöglicht den Vortrieb in dichtgelagertem Sand, trockenem Lehm und in Tonschichten mit Vortriebslängen von bis zu 120 m [1].

In den *USA* werden in etwa 80 % der Leitungen mit dem PTMT-Verfahren und dem Dreiphasen-Vortrieb im DN/OD zw. 150 und 250 (6 – 10 in) und im Zweiphasen-Vortrieb ab einem DN/OD von 250 durchgeführt. Wenn der Boden eine $N_{30} < 50$ besitz, funktioniert die Pilotbohrung nach dem Bodenverdrängungsprinzip. Die Aufweitbohrung ist allerdings erfolgreicher nach einer Bodenentnahme mittels Einpressen eines Förderschneckengestängestranges.

2.1.2 Rohrvortrieb durch Einziehen

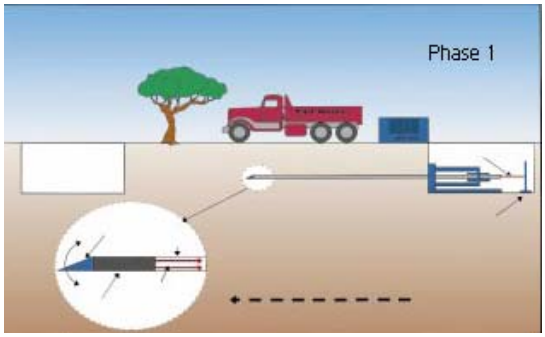
Der Rohrvortrieb durch Einziehen wird hauptsächlich als zweiphasiger Vortrieb durchgeführt. In der ersten Phase wird dabei eine gesteuerte Pilotbohrung erstellt und in der zweiten

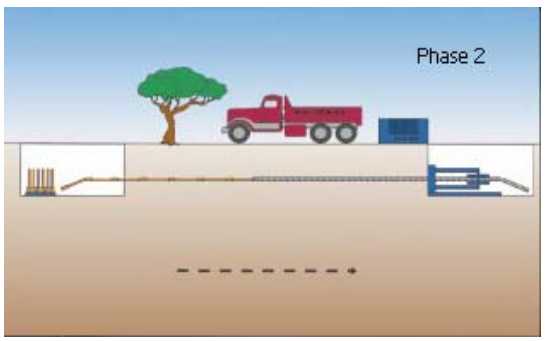
Phase die Leitungen gleichzeitig mit der Bohrlochaufweitung vom Zielschacht her durch eine Zugkraft (Kette, Ankerzuggestänge, etc.) eingezogen. Beide Phasen können auch wie oben beschrieben nach dem Bodenentnahme- oder dem Bodenverdrängungsprinzip durchgeführt werden.

Es kann je nach Verfahren, Bodeneigenschaften und Hersteller eine maximale Vortriebslänge von bis zu 150 m und eine Rohrnennweite DN/ID von bis zu 700 mm erreicht werden. Die dazu passenden Böden sind sowohl verdrängungsfähige Lockergesteine mit N-Werten < 15, als auch bindige Böden mit N-Werten zw. 0 und 10 [1].

Beim hydros® STAR Verfahren (Abbildung unten) wird nach Verdrängung der gesteuerten Pilotbohrung (DN 88 mm), im Zielschacht ein Spülkopf als Räumer durch ein Ankerzuggestänge angehängt. Die Rohrleitung wird mit einem Adapter kraftschlüssig an den Räumer angekoppelt und mit Hilfe einer speziellen hydraulischen Zieheinrichtung in den Startschacht zurückgezogen. Der Bodenpfropfen wird dann durch Druckwasserstrahlen abgebaut und als Bohrklein über eine hydraulische Förderleitung im Rohrstrang ausgetragen.

Mit diesem Verfahren können Stahlrohre so wie duktile Gussrohre (mit zugkraftschlüssigen Verbindungen) bis DN/ID 600 und eine Vortriebslänge bis 100 m (auch im Grundwasser) eingebaut werden [1]. Die Abbildung B.33 unten zeigt den Verfahrensablauf in drei Phasen.





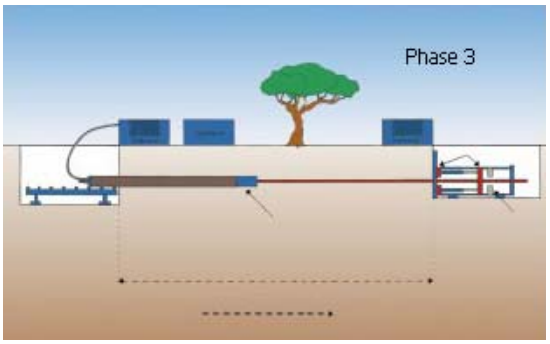


Abbildung B.33, Ablaufschema beim hydros® STAR Verfahren [43]

1. Phase: gesteuertes Vorpressen des Pilotgestänges,

2. Phase: Zurückziehen des Pilotgestänge mit Ankergestänge,

3. Phase: Einziehen des neuen Rohrstranges (vom Zielschacht) mit Hilfe eines Spülkopfes

2.2 Mikrotunnelbau

(engl. Microtunneling - MT)

Das Mikrotunnelbau (MT) Verfahren wurde in Japan nach einem Volksbegehren Mitte der 60er Jahre zur Kontrolle von Schadstoffen in Wasserversorgungsleitungen entwickelt. 1970 begann ISEKI Inc. den Bau einer Anlage mit begehbarem Durchmesser, die bei einer großen Reichweite von Bodenklassen angewendet werden konnte. Dies führte 1976 zur Entwicklung eines ferngesteuerten, nichtbegehbaren Durchmessers, das als sog. SLURRY TUNNELING SYSTEM (Iseki Inc.) bekannt ist. Deutschland folgte Japan 1982 durch Dr. SOLTAU mit der Entwicklung einer MTBM[4] Maschine. Die erste MTBM Maschine in den Vereinigten Staaten wurde 1995 durch Akkerman Inc., Brownsdale, Minnesota hergestellt [4].

Unter Mikrotunnelbau versteht man aneinanderfolgende, unbemannt, ferngesteuert arbeitende, einstufige [11] Verfahren für den Vortrieb von Rohren mit einem lichten Durchmesser < 1200 mm (2000 mm nach [17]), bei denen aus Gründen der Maschinentechnik und des Gesundheitsschutzes der Einsatz von Personal an der Ortbrust während des Vortriebs aber auch zur Behebung von Störungen bei Vortriebsstillstand nicht möglich oder untersagt ist [Z. 1]. Nach ÖNORM EN 12889 werden in Abhängigkeit von der Art der Erstellung des Bohrloches (Bodenentnahme oder Bodenverdrängung) und der Art der Förderung des Bohrgutes bzw. Bohrkleines nachfolgende Verfahren angewendet:

- mit Schneckenförderung
- mit hydraulischer Förderung
- mit pneumatischer Förderung
- mit mechanischer Förderung
-

In den USA werden nur die zwei ersten Verfahren (als Auger Method und Slurry Method genannt) in Mikrotunnelbau angewendet. Obwohl sie daran, glauben dass die andere Förderungsarten zu Rohrvortrieb-Verfahren (engl. Pipe Jacking) kategorisiert gehört [4].

Bevor mit einer detaillierten Erklärung jedes Verfahrens fortgefahren wird, sind in Tabelle B.3 die Anwendungen und eigene Gliederungen dieses Verfahrens zusammengefasst angeführt.

[4] Microtunneling Boring Machine

Verfahren	Bohrlochdurch-messer bzw. Rohrnennweite	Vortriebslänge [m]	Vortriebsleistung [m/h]	Mindestüber-deckungshöhe [m]	Einsatzbereich bzw. Bodenklassen nach DIN 18319
Schnecken-förderung	250 ≤ DN/ID ≤ 1000	≤ 150	0,8 - 2,0	≥ DN/OD, jedoch mind. 1,0	LNW 1 - LNW 3 bzw. LNE 1 - LNE 3 / LBM 1 & LBM 2 bzw. LBO 1 & LBO 2 (auch in S1)
hydraulische Förderung	200 ≤ DN/ID ≤ 1200	≤ 500	0,3 - 2,0	≥ 2 DN/OD, jedoch mind. 1,80	LNW 1 - LNW 3 bzw. LNE 1 - LNE 3 / LBM 1 & LBM 2 bzw. LBO 1 & LBO 2 (in S1 bzw. S2)
pneumatische Förderung	200 ≤ DN/ID ≤ 1200	≤ 195	0,6 - 2,5	≥ 2 DN/OD	LNW 1 - LNW 3 bzw. LNE 1 - LNE 3 / LBM 1 & LBM 2 bzw. LBO 1 & LBO 2 (FD1-FD3 bzw. FZ1-FZ3)
mechanische Förderung	800 ≤ DN/ID ≤ 1200	≤ 150	1,25 - 4,2	-	Wasser-gesättigtes Lockergestein der Klassen LBM 1/LBO 1

Tabelle B.3, Einsatzbereich der Mikrotunnelbauverfahren mit Schnecken-, hydraulische, pneumatischer und mechanischer Förderung [1]

2.2.1 Mikrotunnelbauverfahren mit Schneckenförderung (engl. Auger Method)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Das Mikrotunnelverfahren mit Schneckenförderung ist auch als Pressbohrverfahren oder Pressbohr-Rohrvortrieb bekannt [1]. Es wird als ein- oder zweiphasiger Vortrieb von Rohren

im Lockergestein bei gleichzeitigem Abbau der Ortbrust mittels eines Bohrkopfes und kontinuierlichen Abförderung des Bohrgutes (Bohrkleines) mittels einer Förderschnecke durchgeführt. Die Lage des Kopfes wird durch das Auftreffen eines Laserleitstrahles auf einer, in der Regel elektronischen Zieltafel, ermittelt.

B) Arbeitsweise (Funktion) und Arbeitsablauf (Prozess)

Das durch den Bohrkopf (Schürfscheibe) gelöste Bohrgut wird über die Förderschnecke zum Startschacht (Pressschacht) transportiert und in einem Bohrgutförderkübel (in bestimmten Zeitabstand) nach Vortrieb eines Rohres mit Hilfe einer Hebevorrichtung über Tage gefördert. Mittels einer Presse werden das Vortriebsgerät und das Kanalrohr vorgetrieben. Je nach Durchmesser und Bodenart kann hierbei der Pressdruck bis zu 250 bar betragen.
Der Antrieb des Bohrkopfes wird entweder über die Förderschnecke oder mittels direkten Antriebs (Abbildung B.34) zur Verfügung gestellt.

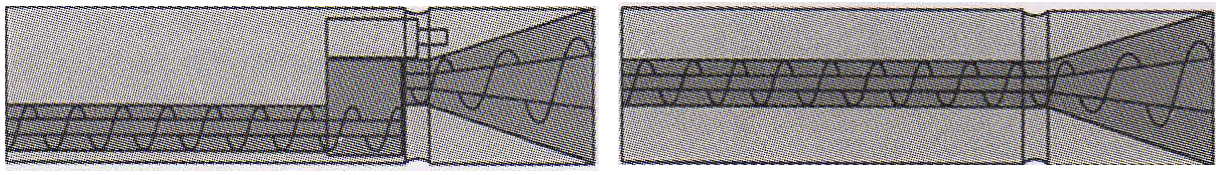


Abbildung B.34, Direktantrieb des Bohrkopfes und separat angetrieben Förderschnecke (links), und Antrieb über die Förderschnecke (rechts) [1]

Beim *Antrieb über Förderschnecke* (250 < DN/ID < 500) ist der Bohrkopf (nur als Standardbohrkopf) direkt mit der Förderschnecke verbunden. Auf einen zusätzlichen Antrieb kann dabei verzichtet werden [31]. Beide werden allerdings von einem Antriebsaggregat auf dem Pressenrahmen im Startschacht angetrieben. Bei diesem Vortriebsverfahren, das die Vortriebsrohre mit Hilfe einer Pressstation im Startschacht eingepresst werden, wird die erforderliche Vortriebskraft durch den Eindringwiderstand des Bohrkopfes und die Mantelreibung entlang des Rohrstrangs bestimmt (Abbildung B.35).

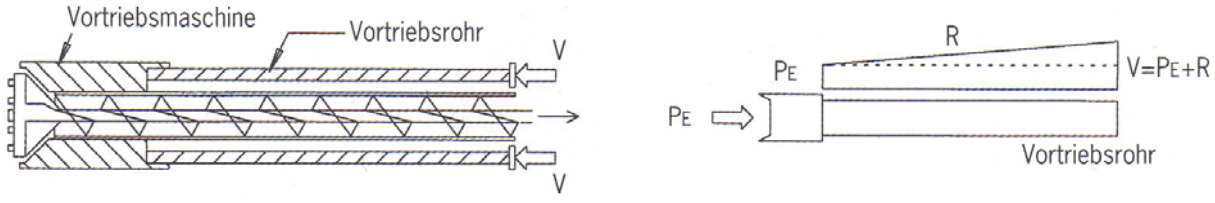


Abbildung B.35, Einleitung der Vortriebskraft im Mikrotunnelbau, konventioneller Rohrvortrieb; V: Vortriebskraft, PE: Eindringwiderstand, R: Mantelreibung [1]

Im MT Verfahren mit Schneckenförderung wurden zur Reduzierung der Vortriebskräfte über die Förderschnecke zwei nachfolgende Varianten entwickelt:

- Entkopplung von Eindringwiderstand und Mantelreibung

Diese Maßnahme wird insbesondere bei biegesteifen Rohren mit geringer Wanddicke als auch bei Kunststoffrohren (biegeweiche Rohre) verwendet. Es läuft über ein spezielles,

innen liegendes Stahlhilfsrohr (Abbildung B.36). Die Produktrohre (z.B. PVC) übernehmen nur die erforderliche Vortriebskraft (V) zur Überwindung der Mantelreibung [1].

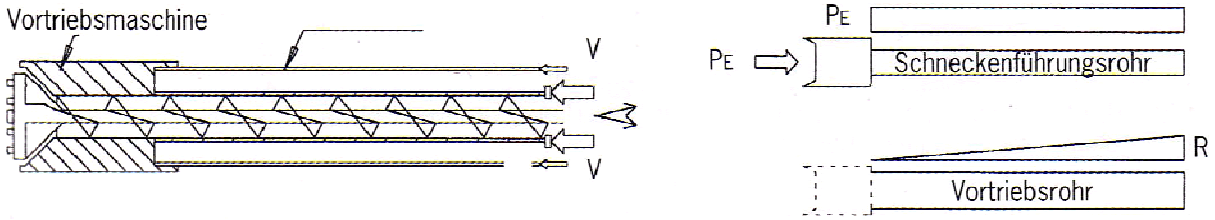


Abbildung B.36, Entkopplung von Eindringwiderstand und Mantelrohre [1]

- Abschnittweise Eintragung der Vortriebskraft (Vortrieb mit Gripper)

Die Gripper-Technik ist eine Weiterentwicklung der Variante eins, die durch Zerlegung in gleich große Kraftkomponenten zur Überwindung der Mantelreibung der Vortriebsrohre verwendet wird. Ein Vertreter dieser Verfahrenstechnik ist die LLB-Methode (Laying Pipes of Low Bearing force) von Kidoh Construction Co. (Japan) und findet in beiden, dem MT Verfahren mit Schneckenförderung und der hydraulischer Förderung, Anwendung. Die Unterteilung der Vortriebskraft zur Überwindung der Mantelreibung erfolgt mit Hilfe von gleichmäßig im Rohrstrang angeordneten, aufblasbaren, elastomeren Verspannelementen (Gripper), die sich zwischen Schneckenführungsrohr (Abbildung B.37) bzw. spezielles Stahlhilfsrohr (bei hydraulischer Förderung) und Vortriebsrohr verspannen [1].

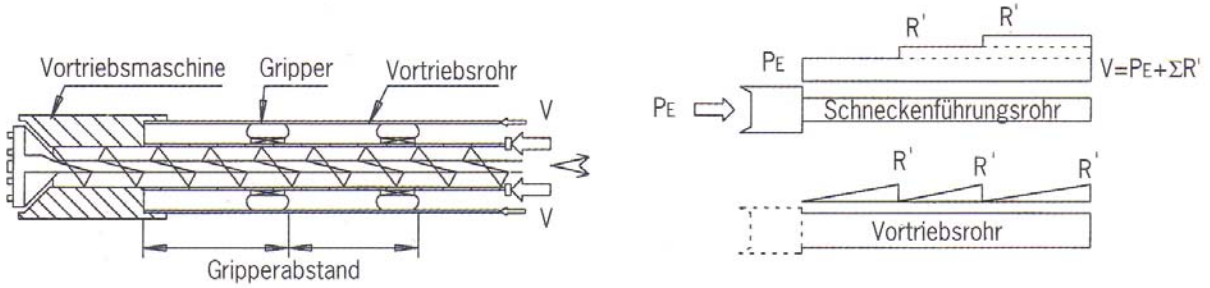


Abbildung B.37, Überwindung der Mantelreibung mit Hilfe von aufblasbaren Gripper [1]

Beim *Bohrkopf mit direktem Antrieb* (DN/ID > 400), wird der Bohrkopf unabhängig von der Schnecke (Bohrgestängestrang) angetrieben. Der Antriebsmotor des Bohrkopfes befindet sich im Nachläufer der Vortriebsmaschine. Die Bohrköpfe können hier als Standardbohrköpfe oder/und als Felsbohrköpfe verwendet werden. Diese Variante beinhaltet folgende Vorteile:

- Getrennte Regelung der Abbau- und Fördermengen zur Kontrolle des Stützdrucks
- Größerer Einsatzbereich durch Kombination des Bohrkopfes mit einem Brecher in steinigen Böden
- Größere Vortriebslänge
- Variable Drehrichtung des Bohrkopfes

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Die Ausrüstung besteht aus folgenden Komponenten:

- Vortriebsmaschine mit Steuer- und Bohrkopf sowie Nachläufer
- Förderschnecken und Schneckenführungsrohre (verbunden oder getrennt von Bohrkopf)
- Pressstation: Pressenrahmen, Schneckenantrieb, Vorschubzylinder und Druckring
- Pressenwiderlager - Die Startgrube kann in Spundwand- oder Spritzbetonbauweise hergestellt werden. Zu berücksichtigen sind hierbei die zum Vortrieb benötigte Vergürtung und Pressenwiderlager.
- Führungsschlitten (Anfahrtrasse in der Baugrube), Abbildung B.38
- Dichtungskopf (Rohrdurchführung durch die Baugrubenwand)

Abbildung B.38, Pressenwiderlager mit der Gürtung (links), Führungsschlitten mit Dichtungskopf in einem Zielschacht aus Spundwand und sog. Gürtung mit I-Profil (rechts) [35]

- Kranbahn für Montage, Demontage und Einbau und Abtransport über Tag
- Container, sechs Meter (kurze Variante) oder mit 12 m (lange Variante) und 2,55 m Breite, mit Steuerstand und Hydraulikaggregat bei Dieselhydraulischen Antrieben (für elektrohydraulischem Antrieb ist noch ein Stromgenerator erforderlich)
- Kompressor für Druckluftstützung
- Schmiersystem für Schmierung des Rohrstranges bzw. der Förderschnecke

Die Auswahl der Art des Bohrkopfes erfolgt nach Abbaubarkeit des vorliegenden Bodens oder vorhandenen Steinen oder Blöcken, der mechanischen Stützung der Ortsbrust und der Art des Bohrkopfantriebes. Die Regel, dass die Korngröße < 1/3 des Durchmessers der Förderschnecke sein muss, stimmt auch hier zu, da durch den Antrieb des Bohrkopfes über die Förderschnecke, die in den Boden eingelagerte Steine oder Blöcke nicht zerstört werden können. Die Überwindung dieses Problems erfolgt durch eine Begrenzung der Eintrittsöffnungen am Übergang des Bohrkopfes zum Schneckenführungsrohr, an der

Peripherie der Schürfscheibe oder durch entsprechend dimensionierte Öffnungen in der Schürfscheibe (Abbildung B.39).
Im Prinzip sollte der Bohrkopf unkontrollierten Bodeneinbrüche verhindern und im Schutz des Steuerkopfes arbeiten.

Abbildung B.39, Die Mikrotunnelbaumaschine Bohrkopfvariante der SANWA –HORIZONGER [32]

D) Einsatzbereich

Antrieb des Standardbohrkopfes über die Förderschnecke

Die allgemeinen Einsatzbereiche des Standardbohrkopfes über die Förderschnecke sind aus Tabelle B.3 zu entnehmen.
Im Vergleich sind die Amerikanische Einsatzbereiche wie unten angebracht [4]:

- Rohrnennweite (DN/OD): 250 bis 550, als übliche Nennweite in der Ausführung zw. 610 und 1200
- Vortriebslänge: 60 bis 150 m
- Vortriebsleistung: durchschnittlich 1,15 bis 2,30 m/h
- Zielgenauigkeit: durch Lasersystem: zw. ± 1 “ (25.4 mm); Diese Wert ist nach [8] und Angaben der Firmen dementsprechend.

Sie werden nach Abhängigkeit der Bodenklassen für Lockergesteine (nach DIN 18319) und der Nennweite der Vortriebsrohre (DN/ID) charakterisiert. Weitere Kriterien sind der Antrieb des Bohrkopfes (Direktantrieb oder über die Förderschnecke) und die Bohrkopfausbildung (Standard- oder Felsbohrkopf). Der detaillierter Einsatzbereich wird in Bezug auf der Bodeneigenschaften in Teil E, Geotechnik (unten) angeführt.
Das Mikrotunnelbauverfahren mit Schneckenförderung in steinfreien Böden (Klasse L) ist wegen dem möglichem Verkleben der Öffnungen im Bohrkopf und dem Verschmieren der Abbauwerkzeuge nicht ökonomisch. Obwohl man bei bindigen Böden mit fester Konsistenz durch Anpressen des Druckwassers und bei eng gestuften sandigen Böden mit zusätzlichen

Bentonitsuspensionen Erdbestandteile lösen kann. Das unterstützt zusätzlich auch die Aufrechterhaltung der Gangbarkeit der Schnecke sowie die Schmierung des Rohrstanges zur Verringerung der Mantelreibung.
Die Vortriebsleistung ist bei diesem Verfahren von nachfolgenden Faktoren abhängig:

- Vortriebslänge
- Baugrundverhältnisse
- Vortriebstechnik
- Qualifikation des Personals
- Baustellenspezifische Randbedingungen wie Platzverhältnisse
- Vortriebsrohr (Nennweite, Werkstoff und Qualität)

Für Abwasserkanäle werden Rohrmaterialien aus Polymerbeton (PC) (z.B. DN/OD 800 mm) bevorzugt verwenden. Sie weisen glatte, geschlossenporige Außenflächen und hohe zähelastische, spezifische Festigkeit auf um die Korrosionsbeständigkeit zu erfüllen [20].

E) Geotechnik

Das Mikrotunnelbauverfahren mit *direktem Antrieb über die Förderschnecke* ohne Steinbrecher ist aufgrund der fehlenden Abbaukraft des Bohrkopfes nur in steinfreien, locker bis dicht gelagerten, nicht bindigen und breiig-weichen bis steif-halbfesten bindigen Lockergesteinen (nach DIN 18319) bei einem DN/ID zw. 250 bis 500 einsetzbar.
Rohrleitungen mit einem DN/ID zwischen 600 und 800 werden bei denselben Bodenklassen (wie oben beschrieben) erfolgreich eingesetzt, außer bei nichtbindigen Böden. In locker gelagerten Böden können einzelne Kieskörner mit einer Korngröße < 63 mm (ohne Ansammlung) verdrängt werden.
Beim Verfahren mit *Direkt angetriebenem Bohrkopf* wird mit einem Standardbohrkopf oder Felsbohrkopf in einem Nennweitenbereich von 400 < DN/ID < 800 vorgegangen.
Standardbohrköpfe können in steinfreien, festen, bindigen Lockergesteinen (LBM 3 bzw. LBO 3) angewendet werden. Sie sind auch befähigt ab einer DN/ID von 600 mm die Steine in Lockergesteinen (Steingröße bis 300 mm - Zusatzklasse S 1) im Brecher zu zerkleinern. Steif-halbfeste bis festen Lockergesteine (LBM 3 und LBO 3) können ab einer DN/ID von 500 mm durch den Bohrkopf an der Ortsbrust zerstört werden.
Felsbohrköpfe (auch bei 400 < DN/ID < 800) sind in mitteldicht bis dicht gelagerten nichtbindigen bzw. steif-halbfesten bis festen bindigen Lockergesteinen der Zusatzklasse S 1 und auch S 2 (über 30 % Massenanteil der Steine) anwendbar.
Aufgrund des hohen Grundwasserstandes in einer Stadt wie Berlin wurde für die Wasserversorgungsleitungen der Mikrotunnelbau als Kanalbau bevorzugt.

2.2.2 Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung (engl. Slurry Method)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Das Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung (nach [11] mit Spülförderung), auch Schild-Rohrvortrieb genannt, ist charakterisiert durch den ein- oder zweiphasigen Vortrieb von Rohren bei gleichzeitigem Abbau der mechanisch- oder flüssigkeitsgestützten Ortsbrust. Es wird mit einem vollflächigen Bohrkopf und einer kontinuierlichen hydraulischen Abförderung (auch als Nass-, Spül- oder Slurryförderung genannt) des Bohrkleins von einer Brecher-, Abbau- und/oder Suspensionskammer betrieben [1].

Die Antriebsaggregate für den Bohrkopf sowie für die Steuerzylinder sind unmittelbar in der Vortriebsmaschine angeordnet.

Die Grundkonzeption für das Mikrotunnelbau Verfahren mit hydraulischer Förderung basiert entweder auf einem einphasigen Vortrieb, wie die AVN (Automatische Vortriebsmaschine Nassförderung; Firma HERRENKNECHT), oder auf einem zweiphasigen Vortrieb, wie das Stahlrohrgelenkschild (Firma DYWIDAG).

Bei dieser Diplomarbeit wurde auf eine detaillierte Erklärung der aufwendigen Maschinenkonzeption Zweiphasen-Vortrieb verzichtet, da die Verwendung des Einphasen-Vortriebs in der Praxis häufiger scheint.

B) Arbeitsweise und –ablauf (Einphasiger Vortrieb)

Die Arbeitsweise entspricht bezüglich des Rohrvortriebes jener des Mikrotunnelbau-Verfahrens mit Schneckenförderung.

Die Einleitung des Spülmittels sowie die Vermischung und Abförderung des Feststoff-Flüssigkeits-Gemisches erfolgen entweder direkt im Bereich der Abbaukammer, oder in einer hinter der Abbaukammer kombinierten Abbau- und Brecherkammer (Abbildung B.40) angeordneten Suspensionskammer bzw. kombinierten Brecher- und Suspensionskammer (Spülförderung).

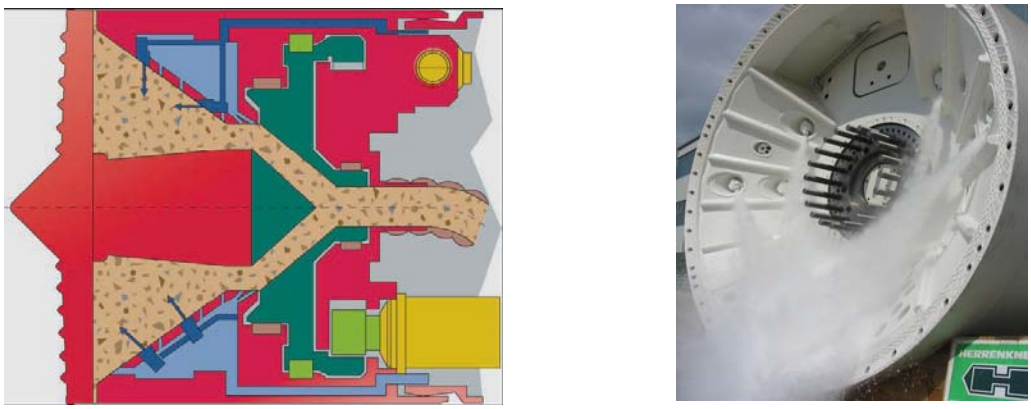


Abbildung B.40, Hochdruckspülsystem im Brecherraum für eine AVN-Vortriebsmaschine (Herrenknecht AG) [17]

Dieses System, das als *Rohrvortrieb mit Spülförderung* bezeichnet wird, wird in bindigen Böden angewendet. Wenn ein Steinbrecher zusätzlich erforderlich ist, wird die Förderungsleistung durch die Verdichtung des Materials verringert. Die Firma Herrenknecht AG hat hier Hochdruckdüsen (je nach Maschinengroße 2 – 6 Stück [17]) im Brecherkonus eingebaut um verdichtetes Material zu zerkleinern und mit Förderwasser vermischt abzutransportieren [21].

Das Spülmittel zirkuliert mit Hilfe von Pumpen durch ein geschlossenes Rohrleitungssystem das jeweils sukzessive mit dem Einbau eines neuen Vortriebsrohres verlängert wird.

Es kommen in Abhängigkeit der geotechnischen Randbedingungen sowohl reines Wasser als auch Bentonitsuspensionen mit und ohne Zusätze (z.B. Polymere) in Frage. Nähere Informationen befinden sich im Kapitel B.3.2.

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

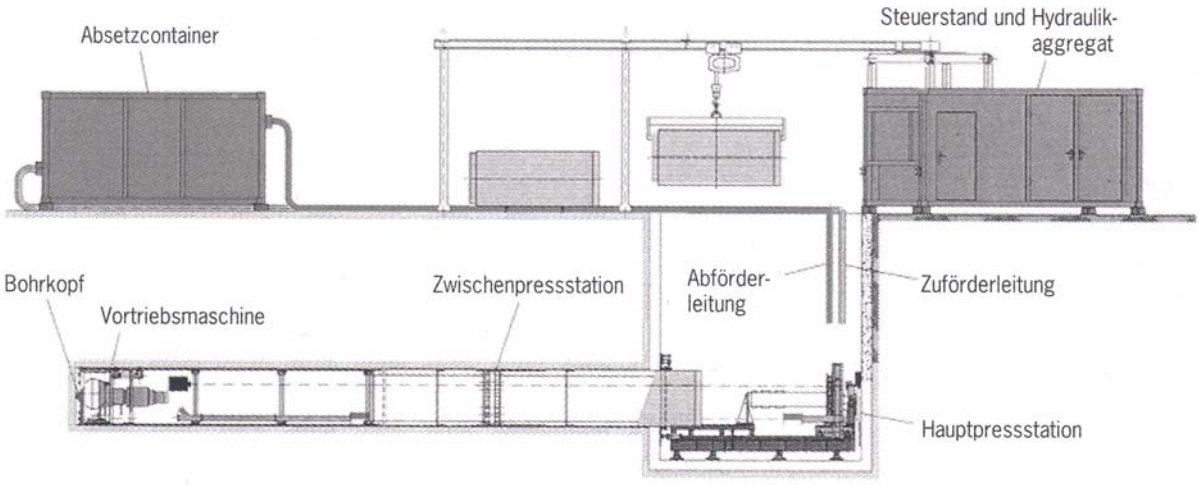


Abbildung B.41, Schnitt einer Grundausrüstung vom Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung [1]

Beim Einsatz des Mikrotunnelbauverfahrens mit hydraulischer Förderung sind folgende erforderliche Grundausrüstungen notwendig:

- Pressstation bzw. Hauptpressstation. Pressstationen werden bei übersteigender Vortriebskraft auf Grund der zunehmenden Reibungskraft und der erlaubten Belastung entlang des gesamten Rohrstranges eingesetzt. Der Rohrstrang wird in Sektionen unterteilt und kann abschnittweise bewegt werden [21].
- Eventuelle Zwischenpress- oder Dehnerstation (Abbildung B.42), bestehend aus Pressenrahmen, Vorschubzylinder und Druckring

Abbildung B.42, Zwischenpressstationen, in den USA (Intermediate Jacking Station - I.J.S) sind diese ab einem Durchmesser von 914 mm, einer Länge von 1422 mm und einem Druckbereich zw. 1.000 und 16.000 KN üblich [34]

- Pressenwiderlager
- Vortriebsmaschine mit Bohr- und Steuerkopf sowie Nachläufer
- Hydraulisches Fördersystem einschließlich der Zu- und Abförderleitungen und erforderlichen Pumpen.

Der Durchmesser der Leitungen wird in Abhängigkeit der Schachttiefe, der Presslänge, des Außendurchmessers der Vortriebsmaschine und der Pumpengröße (7,0 bis 10,0 bar) zw. 1 ¼ ″ und 8 ″ variiert [34].

Abbildung B.43, Absetzcontainer, mit Inhaltsvermögen zw. 22000 – 30000 l. (links) mit Zu- und Abförderleitungen für Transport der Suspension und des Bohrkleins (links) [34]

- Separationsanlage bzw. Absetzcontainer bei Verwendung einer Bentonitsuspension (Abbildung B.43)
- Kranbahn für Montage und Demontage der Vortriebsmaschine sowie den Einbau der Vortriebsrohre
- Container mit Steuerstand und Hydraulikaggregat, diesel- oder elektrohydraulischem Antrieb
- Schmiersystem zur Schmierung des Rohrstrangs

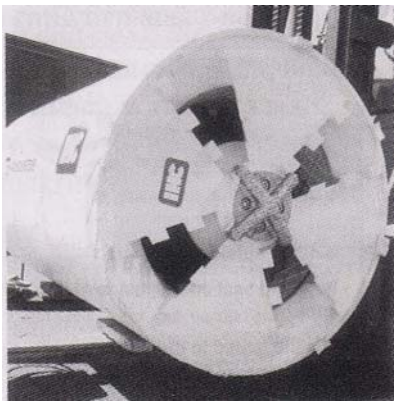
Die Baustelleneinrichtung ist wie das Verfahren mit Schneckenförderung in einem mobilen Container zu installieren.

Für jede Rohrnennweite ist ein gesonderter Schildmantel mit passendem Außendurchmesser (Aufdoppelmantel) und entsprechendem Bohrkopf zu verwenden.

Die Bohrköpfe werden je nach Bodenbeschaffenheit ausgewählt. Die Auswahl erfolgt auch unter Berücksichtigung der Abbaubarkeit und der Stützung der Ortsbrust.

Man unterscheidet zwischen Standardbohrköpfen (Einsatz in bindigen und nichtbindigen Lockergesteinen) und Felsbohrköpfen (in Festgesteinen und steinreichen Lockergesteinen). Mischbodenbohrköpfe kommen auch in einer Kombination aus Standard- und Felsbohrköpfen zur Anwendung.

Standardbohrköpfe können in Form von Schneidrädern mit mehreren Speichen oder mehr oder weniger geschlossenen oder verschließbaren Schürfscheiben ausgebildet sein (Abbildung B.44).



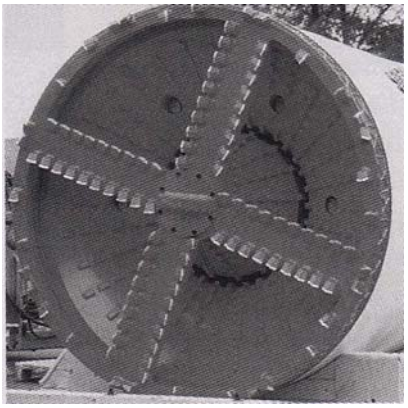


Abbildung B.44, Standardbohrköpfe, mit aufgeschweißten Schneidzähnen (links) und mit feststehenden Bodeneintrittsöffnungen und Hartmetallvergüteten Bohrzähnen (rechts) [1]

Ein kurzer Vorschneider in der Mitte dient zur Auflockerung des Gebirges und vermeidet größere Bohrlochabweichungen.

In bindigen Böden werden auf die Speichen des Schneidrades Schälmesser für den schneidend-schälenden Abbau der Ortsbrust aufgeschraubt (Abbildung B.45 unten) oder aufgeschweißt bzw. auswechselbare, hartmetallvergütete Bohrzähne (Rundschaftmeißeln oder Schneidzähne) angeordnet (Abbildung B.44 oben rechts).

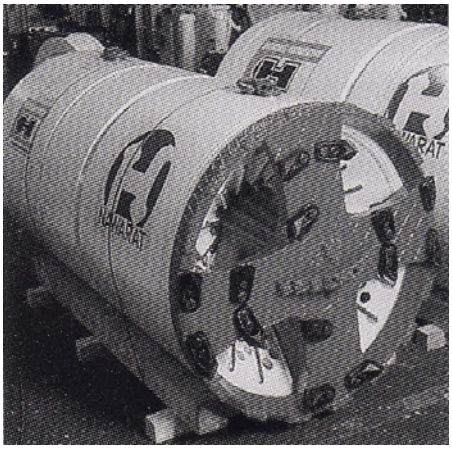


Abbildung B.45, Standardbohrkopf mit aufgeschraubten Schälmessern [1]

In nicht bindigen Böden genügen für das Herauslösen des Lockergesteins aus seinem natürlichen Verband auf das Schneidrad aufgeschweißte Warzenmeißel oder Stichel.

Neben Bohrköpfen in Form von Schneidrädern werden auch Bohrköpfe in Form vollflächiger Schürfscheiben mit regelbaren Bodeneintrittsöffnungen eingesetzt. Sie finden dann Anwendung, wenn eine vollflächige, mechanische Stützung der Ortsbrust erforderlich ist, z.B. in sehr setzungsempfindlichen und nicht standfesten, wasserführenden Bodenarten, die zum fließen neigen, wie z.B. Fliesssand, breiigweiche bindige Lockergesteine.

Felsbohrköpfe kommen dann zum Einsatz, wenn der Baugrund unter Verkehrswegen oder Gebäuden nicht erkundet werden kann, sowie wenn bei inhomogenen Baugrundverhältnissen mit Stein- oder Blockeinlagerungen und etc. gerechnet werden muss. Sie sind, wie in Abbildung B.46 zu sehen, mit Diskenmeißeln oder Warzenmeißeln bestückt und verfügen über entsprechenden Eintrittöffnungen.

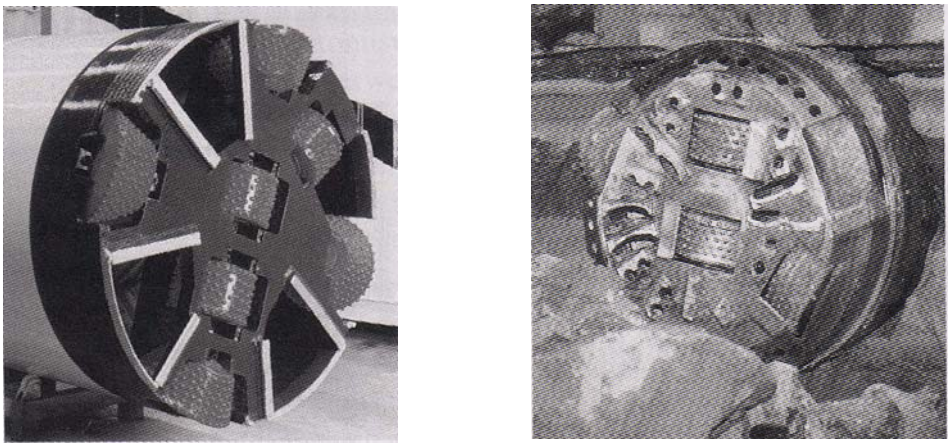


Abbildung B.46 , Felsbohrköpfe mit Warzenmeißeln, mit großer Öffnungen von der Firma Wirth-Soltau GmbH (links) und mit kleiner Gewinnungs-öffnungen von MGF Maschinen- und Geräte-Fabrik AG (rechts) [1]

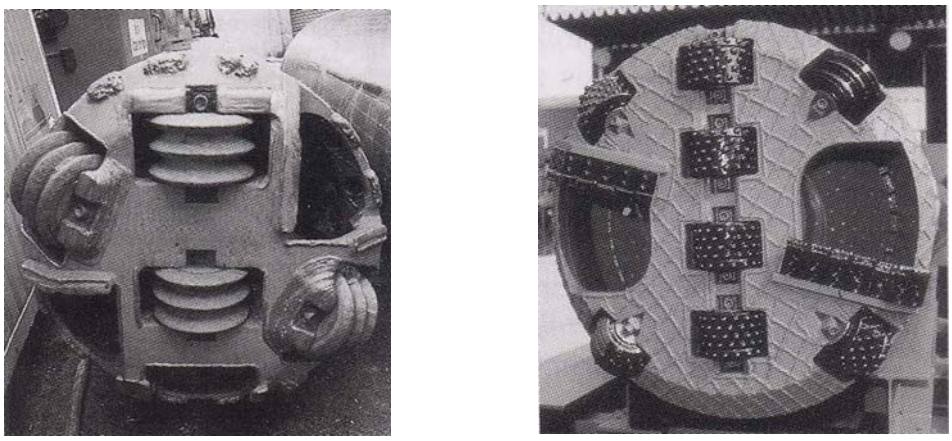


Abbildung B.47, Felsbohrköpfe mit Diskenmeißeln von Herrenknecht AG (links), und mit Disken- und Warzenmeißeln von Euro Iseki Ltd. (rechts) [1]

In Lockergesteinen der Zusatzklasse S (nach DIN 18319) und bei Felsgestein mit hohem Trennflächenanteil (FZ 1 bis FZ 4), werden die Maschinen zumeist mit Brecher ausgestattet. Sie brechen die Steine und Blöcke mit bis zu einem Drittel des Bohrkopfaußendurchmessers. Abbildung B.48 zeigt die Funktionsweise eines Brechermechanismus der Maschine CRUNCHINGMOLE der Firma Iseki Poly-Tech Inc., welche das Bohrklein bis zu einem d < 50 mm zerkleinern kann.

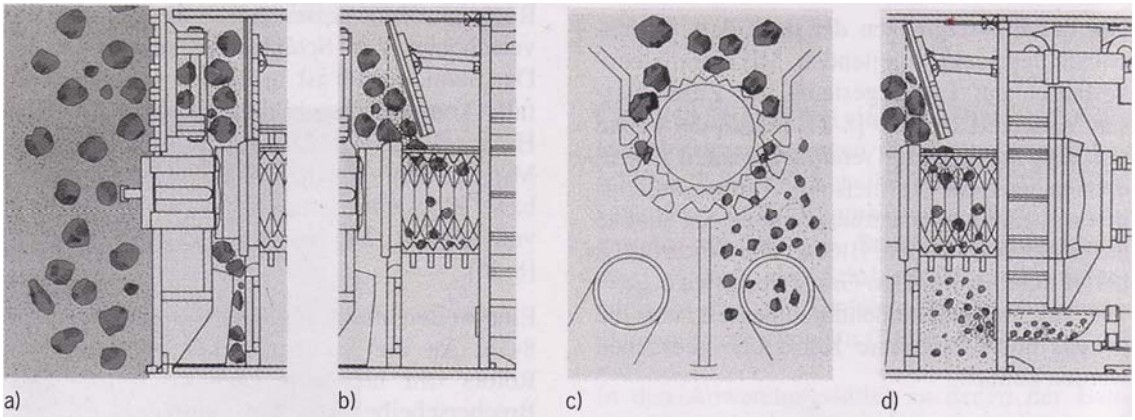


Abbildung B.48, Brechermechanismus bei einem Felsbohrkopf. a) Eindringen des Bohrkleins durch die Öffnungen im Bohrkopf, b) Eindringen des Bohrkleins in die Brecherkammer, c) Zerkleinerung der Steine durch den Rotorbrecher, d) hydraulischer Abförderung des bohrkleins [1]

D) Einsatzbereich

Die Einsatzbereiche des hydraulischen Förderungsverfahrens sind aus Tabelle B.3 zu entnehmen. Nach Angaben der Hersteller stehen die erreichbaren Vortriebslängen in Abhängigkeit zu den Rohrnennweiten (Diagramm B.5 unten) zueinander.

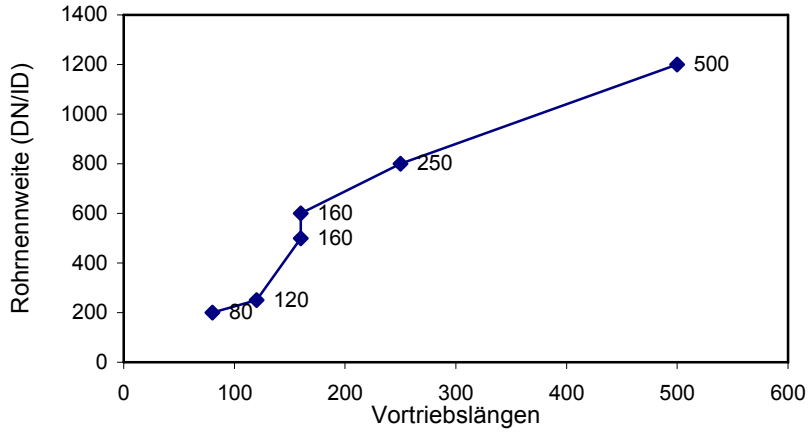


Diagramm B.5, maximale realisierte Vortriebslänge (bis 1200 m) in Abhängigkeit von der Rohrnennweite

In USA wurde in Verfahren mit hydraulischer Förderung folgende Einsatzbereichen realisierbar [4]:

- Vortriebslänge: zwischen 150 bis 500
- Rohrnennweite (DN/OD): 250 bis 550, als übliche Nennweite in der Ausführung zw. 610 und 1200
- Vortriebsleistung: durchschnittlich 1,15 bis 2,30 m/h
- Zielgenauigkeit: durch Laserstrahlsystem: zw. ± 1″ (25.4 mm)

Die Mindestüberdeckungshöhe ist in Normalfall zwei- bis dreifacher Bohrkopfdurchmesser. In Böden mit hoher Durchlässigkeit werden auch größere Überdeckungen gewählt.
Der Einsatz dieses Verfahrens ist im Grundwasser bis zu 30 Meter (Druck drei bar) über der Rohrsohle möglich.
Die Vortriebsleistung ist hier außer von den Einflussfaktoren des MT Verfahrens mit Förderschnecke noch von weiteren folgenden Parametern abhängig:

- Leistungsfähigkeit der Asbestbecken oder Separationsanlage
- Einsatz von einem Hochdruckspülsystem
- Einsatz von einem Zwischenpressstation

E) Geotechnik

Das Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung wird auch geotechnisch in Abhängigkeit der Bodenklassen in Locker- oder Festgestein nach DIN 18319 sowie der

Nennweite der Vortriebsrohre beschrieben. Es wird nach der Bohrkopfausbildung unterschieden: Standard- oder Felsbohrköpfe.

Standardbohrkopf im Lockergestein

Das Verfahren mit Standardbohrkopf wird in jedem Lockergestein (Bodenklasse L) bei Nennweitenbereichen zwischen 200 < DN/ID < 1200 (außer breiig weiche bindige Böden (Kl. LBM 1 und LBO 1) eingesetzt, da die Ortsbruststützung in dieser Nennweite nicht mehr zuverlässig ist.

Leitungen aus Stahlbeton mit größerem Durchmesser z.B. DN/ID 1800 sind jeweils 20 t schwer. Wenn der Boden für diese nicht tragfähig ist, kann man durch Bohrpfähle einen sicheren Halt schaffen. Der Kanal wird über diese Pfähle hinweg vorgetrieben. Der Abstand der Pfähle ist dabei maximal gleich groß wie die Länge der Rohre [20].

Steine (mit Zusatzklasse S 1) werden entweder in locker gelagerten, nichtbindigen und breiig-weichen bindigen Böden durch die Maschine verdrängt oder in mitteldicht bis dichten nichtbindigen bzw. steif-halbfest bis festen bindigen Böden vom Bohrkopf zerstört. Hierbei muss die Vortriebsmaschine ab einem DN/ID von 600 mit einem Steinbrecher ausgerüstet werden, obwohl sie in Böden der Klasse LBM 2 und LBM 3 (nach DIN 18318) bis zu einem DN/ID 400 einsetzbar ist.

Bei Lockergestein mit Zusatzklasse S 2 (über 30 % Steinanteil und -größe bis 300 mm) wird der Standardbohrkopf ab einem DN/ID von 800 mm auch in bindigen und nicht bindigen Böden eingesetzt. Dieser Nennweitenbereich wird auch in bindigen steif-halbfest bis festen Lockergesteinen mit Zusatzklasse S 3 durchbohrt. Allerdings muss hierbei der Standardbohrkopf mit einem geschweißten Hartmetallgranulat bestückt werden.

Felsbohrkopf im Lockergestein

Die Verwendung von Felsbohrköpfen in der Lockergesteinsklasse L (ohne Zusatzklasse S) ist möglich. Allerdings wird auf Grund der Verklebung des Bohrkopfes und der Abbauwerkzeuge die Vortriebsleistung bis zu 40 % verringert. Die Steingröße und der Massenanteil der Steine bestimmen die erforderliche Mindestnennweite der Vortriebsrohre und damit den erforderlichen Außendurchmesser des Bohr- und Steuerkopfes [1].

Lockergesteine mit Zusatzklasse S 1 bei LNE 1 und LNE 2 bzw. LNW 2 und LNW 3 sowie LBM 2 und LBM 3 bzw. LBO 2 und LBO 3 sind zwischen 300 < DN/ID < 1200 und in breiig-weichen bindigen bzw. locker gelagerten nichtbindigen Lockergesteinen ab einer DN/ID von 600 einsetzbar.

In Lockergesteinen mit Zusatzklasse S 2 wird nur zwischen 600 < DN/ID < 1200 verfahren. Dasselbe gilt für die Zusatzklasse S 3 ab einem DN/ID von 800 bzw. ab einem DN/ID ab 1000 für die Zusatzklasse S 4.

Felsbohrkopf im Festgestein

Nach [11] sind Festgesteine nach einaxialer Druckfestigkeit eingestuft. Aus geometrischen Gründen werden die Felsbohrköpfe ab einem DN/ID > 300 unter folgenden Bedingungen angewendet:

- Festgesteine ab einaxialen Druckfestigkeiten (σ_B) bis 5 N/mm² (Bodenklassen FD 1 bzw. FZ 1) zw. 300 ≤ DN/ID ≤ 500
- In σ_B ≤ 100 N/mm² ab DN/ID 600
- In σ_B > 100 N/mm² (Bodenklassen FD 4 und FZ 4) ab DN/ID 800

Bei den Festgesteinsklassen FD 4 und FZ 4 ist eine entsprechende Anzahl von Rohrmeißeln am Bohrkopf erforderlich. Aus diesem Grund ist hier die Anwendung in kleineren Nennweitenbereichen nicht sinnvoll. Die Standzeit (z.B. für Werkzeugwechsel) spielt eine wichtige Rolle für die Vortriebsleistung. Die Verschleißfestigkeiten der Abbauwerkzeuge werden dabei von der Vortriebslänge, dem Mineralbestand (Abrasivität)[5] und der Zug- und Scherfestigkeit des Gesteins beeinflusst [1].
Tabelle B.4 zeigt die Anhaltswerte für Standzeiten im Locker- und Festgestein die unter besonderen Umständen variieren können.

Gesteinsart		Vortriebsleistung [m/8 h]	Standzeiten [m]	Abbauwerkzeug
Sand und Kies mit Steingrößen < 30 mm, Steinanteil ≤ 20% und einaxialen Druckfestigkeiten ≤ 150 N/mm²		9 bis 15	250 bis 300	Standardbohrkopf
Sand und Kies mit Steinen < 50 mm, Steinanteil ≤ 30% und Druckfestigkeiten ≤ 150 N/mm²		3 bis 6	150 bis 250	Standardbohrkopf mit einzelnen Diskenmeißeln
Lockergestein mit eingelagerten Blöcken		≤ 3	≤ 150	Felsbohrkopf
Weicher Fels mit einaxialen Druckfestigkeiten [N/mm²]	< 10	12	200 bis 250	Felsbohrkopf
	10 bis 20	9 bis 12	150	
	> 20 bis 40	6 bis 9		
Mittelharter Fels mit einaxialen Druckfestigkeiten [N/mm²]	40 bis 80	3 bis 6	80	Felsbohrkopf
	> 80 bis 120	≤ 3	50	
Harter Fels mit einaxialen Druckfestigkeiten [N/mm²]	120 bis 160	≤ 3	35	Felsbohrkopf
	> 160 bis 200	≤ 1,8	27	

Tabelle B.4, Standzeiten der Abbauwerkzeuge von Vortriebsmaschinen DN/ID 600 bis 2400, nach Hersteller RASA Industrie, Japan [1]

[5] Siehe Abschnitt A.4.4.2

2.2.3 Mikrotunnelbauverfahren mit pneumatischer Förderung

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Das Mikrotunnelbauverfahren mit pneumatischer Förderung nach ÖNORM EN 12889, auch als Saugförderung bzw. Luftförderung bezeichnet, ist durch den Vortrieb von Rohren bei gleichzeitigem vollflächigem Abbau der Ortsbrust mit einem Bohrkopf charakterisiert. Es verläuft wie das Verfahren mit hydraulischer Förderung, nur dass als Spülmittel Luft anstatt Flüssigkeit abgefördert wird.
Die Maschinenkonzeptionen sind ab der Übergabestelle des Bohrkleins an das Abfördersystem unterschiedlich gestaltet. Als Beispiele werden im Folgenden die wichtigsten zwei Maschinentypen mit diesem Verfahren, nämlich HAZEMAG PER MTB-P bzw. HERRENKNECHT AVP (aus Deutschland) und japanische Systeme wie DEINO TYPE und KCMM 1500A Dash, vorgestellt.

B) Arbeitsweise (Funktion) und Arbeitsablauf (Prozess)

HAZEMAG PER MTB-P bzw. HERRENKNECHT AVP:

Das Verfahren HAZEMAG kann durch Umrüstung sowohl als hydraulische Förderung (MTB-S) als auch als pneumatische Förderung (MTB-P) betrieben werden. Bei der pneumatischen Förderung, die auf einer Sauganlage basiert, gelangt das Bohrklein von der Abbau- bzw. Brecherkammer über eine Öffnung in eine Zellenradschleuse und wird von dort mit Hilfe des Spülmittels Luft durch eine Absaugleitung bis in den über Tag aufgestellten Vorabscheider vom Luftstrom separiert [1]. Um die Abförderleitung zu kontrollieren wird mit Hilfe einer Zellenradschleuse die Abbaukammer von der Absaugleitung getrennt. Dies ist auch beim Vortrieb im Grundwasser erfolgreich angewendet worden.
Diese Verfahren erfordern eine breiig-weiche Konsistenz der Bodenpfropfen für die Stützung der Ortsbrust und Förderung (Austrag) des Bohrkleins. Wenn die in-situ Bedingungen nicht erfüllt sind, setzt man in Abhängigkeit der Bodenart Wasser oder Bentonitsuspension der Abbau-/Brecherkammer zu.
Die Ortsbruststützung wird vom Verhältnis zw. abgebautem und abgesaugtem Boden bestimmt und ist von drei Hauptfaktoren abhängig [21]:

- Vortriebs- bzw. Vorschubgeschwindigkeit
- Drehmoment oder Drehzahl des Abbauwerkzeuges
- Durchfluss des Förderkreislaufes

Die Zellenradschleuse besitzt die gleiche Drehzahl wie der Bohrkopf und ist mit der Bohrkopfantriebswelle verbunden. Damit ist eine Massenbilanzbestimmung zwischen

entnommener Bodenmenge und einer direkten Kontrolle über die Durchführung des Vortriebes möglich.

DEINO TYPE

Das japanische Deino Type System ist in der Regel speziell für Langsteckenvortriebe mit engen Kurvenradien konzipiert, und besteht aus dem Steuer- und dem Bohrkopf (25 mm Überschnitt) mit mehren Nachläuferrohren. Der Bodenabbau läuft zur breiig-weichen Konditionierung des Bohrkleins durch eine Spülflüssigkeit. In der Förderleitung werden auf Grund großer Abmessungen Steine zw. 30 – 40 % DN/ID mit Hilfe einer Vakuumpumpe gefördert.

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Die Ausrüstung einer Mikrotunnelbauanlage mit pneumatischer Förderung entspricht jener mit hydraulischer Förderung. Zusätzlich gibt es noch folgende spezielle Anlagenteile:

- Pneumatisches Fördersystem und dazu gehörige Absaug- und Versorgungsleitungen
- Zellenradschleuse
- Vorabscheider – in der Regel geschlossene Absetzmulden
- Container mit Absaugaggregat

Abbildung B.49 zeigt eine schematische Darstellung der Baustelleneinrichtung für ein MTB-P System.

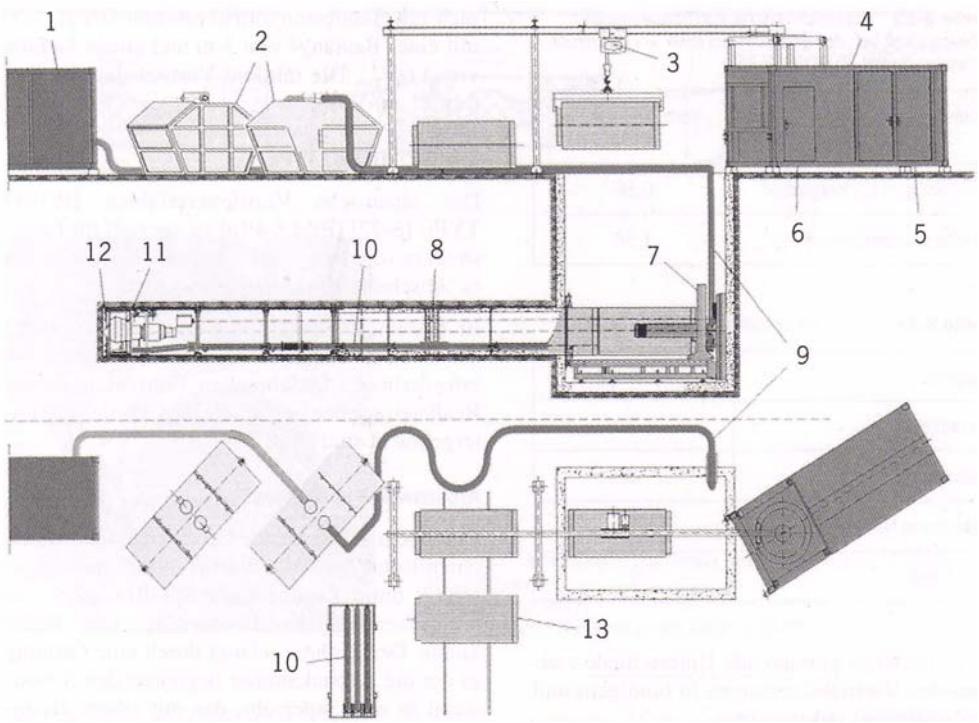


Abbildung B.49, Schematische Darstellung (Schnitt und Draufsicht) der Baustelleneinrichtung vom Konzept (MTB-P)[1], 1 Absaugaggregat, 2 Vorabscheider, 3 Kranbahn, 4 Container, 5 Hydraulikaggregat, 6 Steuerstand, 7 Hauptpressstation, 8 evt. Zwischenpressstation, 9 Absaugleitung, 10 Lager für Absaug- und Versorgungsleitungen, 11 Vortriebsmaschine, 12 Bohrkopf, 13 Rohrlager [1]

D) Einsatzbereich

In Tabelle B.3 sind allgemeine Angaben über den Einsatzbereich des Mikrotunnelbauverfahrens mit pneumatischer Förderung angeführt. Hierbei wird über die Angaben der Hersteller detailliert aufgeklärt.

Die Anlage des Herstellers HAZEMAG & EPR wird mit diesem Verfahren im Locker- und Festgestein mit Grundwasserdruck von bis zu 0,8 bar (Tiefe 8 m) und bei einem Nennweitenbereich von 400 < DN/ID < 1200 eingesetzt. Die Anlage des Herstellers HERRENKNECHT wird in trockenem Locker- und Festgestein zwischen 600 < DN/ID < 1000 eingesetzt.

Dieses Verfahren ist auf Grund der Förderung mit Luft problemlos auch bei Temperaturen unter 0 °C anwendbar.

In der Praxis kann eine Vortriebslänge von bis zu 195 m, eine DN/ID von 1000 und Förderhöhen von bis zu 20 m erzielt werden.

Die Vortriebsleistung der Anlage beträgt nach Angaben der Hersteller zw. 8 – 25 m/Schicht und bei Spitzenleistung bis zu 30 m/Schicht. Die Werte haben eine Toleranz von ±10 %, welche durch die jeweilige Nennweitengröße des Rohres zustande kommt.

Die Leistung in Lockergesteinen mit bindigen Böden unterscheidet sich deutlich von jener mit nichtbindigen Böden. Erfahrungsgemäß erreicht in bindigen Lockergesteinen die Vortriebsleistung eine DN/ID von durchschnittlich 1000 - 1,58 m/h aber nur 0,86 m/h in nichtbindigen Böden.

Das DEINO TYPE System konnte in Nennweitenbereichen von DN/ID 700 bis 1500, bei einer Vortriebslänge von bis zu 800 m und Kurvenradien ab 30 m erfolgreich eingesetzt werden.

Die Überdeckungshöhe beträgt nach Herstellerangaben ≥ OD des Bohrkopfes.

E) Geotechnik

Dieses Verfahren ist auch in geotechnischen Einsatzbereichen ident mit dem MT Verfahren mit hydraulischer Förderung und wird mit Standard- und Felsbohrköpfen im Locker- und Festgestein betrieben. Ideal ist der Einsatz im Lockergestein mit hohem Anteil an Korngrößen < 0,5 mm, da in diesem Anwendungsfall notwendige Separationsanlagen zur Trennung des Feststoff-Flüssigkeitsgemisches entfallen.

Der Einsatz des DEINO TYPE Verfahrens im Locker- und Festgestein wird (als Beispiel) in Tabelle B.5 unten nach Nennweite angeführt.

	Nennweite DN/ID							
	700	800	900	1000	1100	1200	1350	1500
Bodenarten	Lockergestein: Weiche Ton- und Lehmböden, normale Böden, Sand und Kiesböden mit Korngrößenanteilen von > 2 mm kleiner 85%							
	Festgestein: mit einaxialen Druckfestigkeiten < 70 N/mm²			mit einaxialen Druckfestigkeiten < 100 N/mm²				
Durchlässigkeitsbeiwert k	$< 10^{-3}$ m/s							
N-Wert	N < 50							
Max. Stein- oder Blockdurchmesser [mm]	250	300	350	400	450	500		
Max. Vortriebslänge [m]	350	500	600	700	750	800	800	800
Min. Kurvenradius [m]	30	30	35	40	45	50	55	60

Tabelle B.5, Der Einsatzbereich des DEINO TYPE (japanisches Konzept) [1]

F) Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte – Richtkosten

Diagramm B.6 zeigt die Zeiten der einzelnen Tätigkeiten in einem 180 m langen Vortrieb durch pneumatische Förderung mit Stahlbetonrohren DN/ID 800 und einer Baulänge von 3 m. Die durchschnittliche Leistung betrug 21 m/d.
Solche Anlagen benötigen zwei Mann plus einen Maschinenführer.

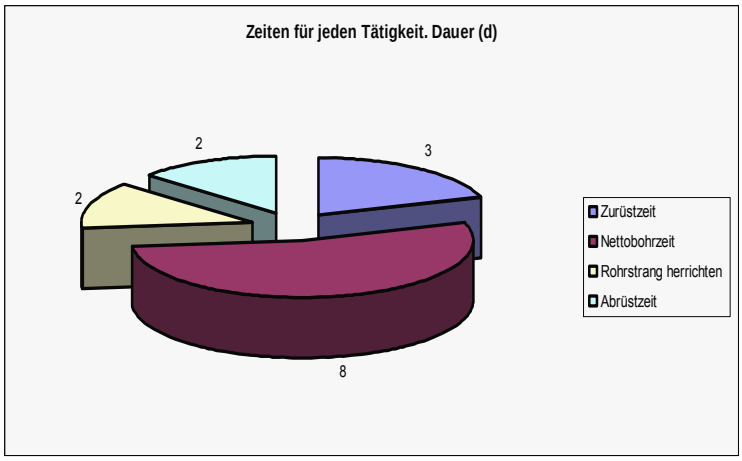


Diagramm B.6, Zeiten [d] für jeden Tätigkeit [1]

2.2.4 Mikrotunnelbauverfahren mit anderer mechanischer Förderung

Das Mikrotunnelbauverfahren mit anderer mechanischer Förderung ist charakterisiert durch den Vortrieb von Rohren bei gleichzeitigem Bodenabbau an der Ortsbrust mit Hilfe einer Schildmaschine ohne Bohrkopf (als Verdrängerschild oder Blindschild, SM-B). Die

Bodenabförderung verläuft hierbei kontinuierlich oder diskontinuierliche. Es funktioniert mit einem an der Spitze offenen Rohr (offener Schild ohne Abbauwerkzeuge), bei dem zur Vermeidung der Reibungskräfte Boden mechanisch mittels einer Schrapperanlage zum Startschacht und von dort mit einem Spezialschlitzgreifer Abbildung B.50 über Tage transportiert wird. Ein Vertreter des Konzepts SM-B ist das LUNDBY Verfahren (Schweden).

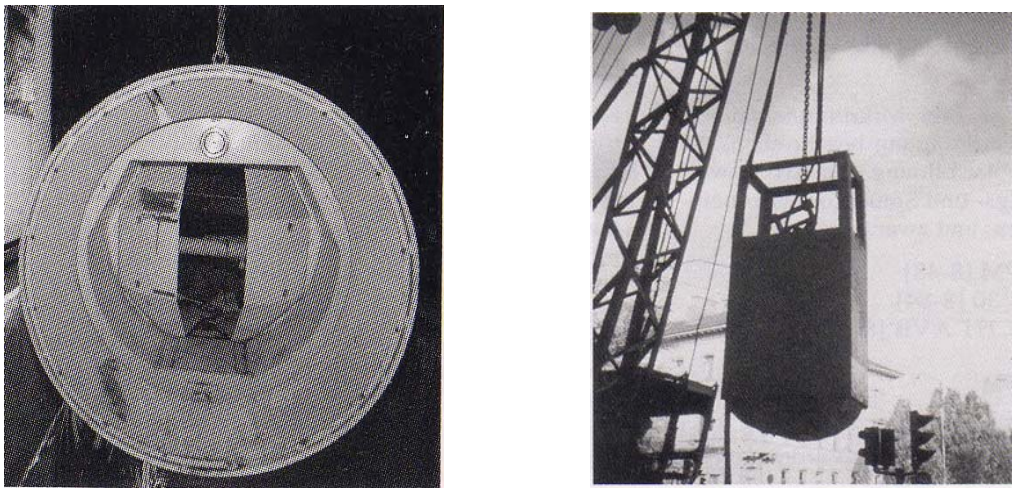


Abbildung B.50, Schildschneide oder Blindschild des Typs SLA 1400 für DN/ID 1400 und einem Spezialschlitzgreifer [1]

Der Startschacht benötigt für den abgebauten Boden einen Auffangraum unterhalb der Hauptpressstation. Die Größe ist abhängig von der Rohrnennweite und dem Füllvolumen des Spezialschlitzgreifers. Für eine DN/ID zwischen 800 – 1000 ist ein Auffangraum von bis zu 1,0 m³ und für einen DN/ID von 2750 einer mit 6 m³ geeignet.

Das LUNDBY Verfahren wird heutzutage nur im Nennweitenbereich zwischen 800 ≤ DN/ID ≤ 2750 in breiig-weichen, bindigen Tonböden mit Tonanteil T ≥ 40 % und einaxialen Druckfestigkeit ≤ 0,05 N/mm² (entspricht BK. LBM 1 bzw. LBO 1 nach [11], BK. 2 nach ÖNORM B 2205) eingesetzt. Die Vortriebslänge ist von der Rohrnennweite abhängig (Tabelle B.6).

Rohrnennweite DN/ID	Vortriebslänge [m]
800	20 bis150
900	60 bis 95
1000	25 bis 140
1200	45 bis 130
1400	50 bis 228
1600	30 bis 147
1800	55 bis 95
2000	20 bis 293
2750	19 bis 55

Tabelle B.6, Vortriebslänge in Abhängigkeit der Rohrnennweite beim Verfahren LUNDBY, [1)] Maximalwert ohne Zwischenpressstation, [2)] Maximalwert bis 243 m ohne Zwischenpressstation [1]

Im begehbaren Nennweitenbereich ist unter Einsatz einer Zwischenpressstation eine Vortriebslänge von bis zu 300 m möglich.

Die Vortriebsleistung kann z.B. in einem Rohrvortrieb mit einem DN/ID 1400 zwischen 1,25 m/h und 4,20 m/h betragen.

Die Rüstzeiten sind bei diesem Verfahren für eine Vortriebmaschine mit einer DN/ID 1400 aus Tabelle B.7 entnehmen.

Rüstzeiten [d/ 12 h Schicht]	Tätigkeit	Dauer [d/ 12 h]
Zurüstzeit: 4 Tage @ 12 h Schicht	Baustelleneinrichtung	3
	Einbau & Einrichtung der Schildmaschine	1
Abrüstzeit: 2 Tage @ 12 h Schicht	Ausbau der Schildmaschine	1
	Baustellenräumung	1

Tabelle B.7, Rüstzeiten für eine Vortriebmaschine in MT-Verfahren beim DN/ID 1400

Zur Bedienung der Anlage sind drei Arbeitskräfte mit einem Maschinenführer erforderlich.

2.3 Spülbohrverfahren

Das horizontale steuerbare Spülbohrverfahren, auch nach [11] als Directional Drilling genannt, stammt aus den USA (als HDD) und gelangte zu Beginn der siebziger Jahre im Bereich der tief- und Richtbohrtechnik der Öl- und Gasexplorationen[5] zu uns. Im englischen Sprachgebrauch wurde es als Fluid-Assisted Boring bezeichnet [1].

Ausgangsbasis ist, dass mittels horizontaler Bohrungen Lagerstätten (fossile Brennstoffe) besser erschlossen werden können als durch vertikale Bohrungen. Durch damals neuartige Bohrlochsohlenantriebe und Bohrlochvermessungssysteme (Measuring While Drilling = MWD) wurden die Voraussetzungen geschaffen, eine Kurve gezielt zu bohren [32 & 33].

Das Verfahren wurde erstmals im Jahr 1971 bei einer 180 m langen Bohrung unter dem Panjaro River bei Wattersville in Kalifornien eingesetzt. Die Firma Reading & Bats Construction Co., Tulsa, USA übernahm die Rechte an diesem Verfahren und entwickelte es bis heute. Die erste Bohrung im Deutschland wurde 1988 durch Firma Kürzer und Zimmermann durchgeführt [6].

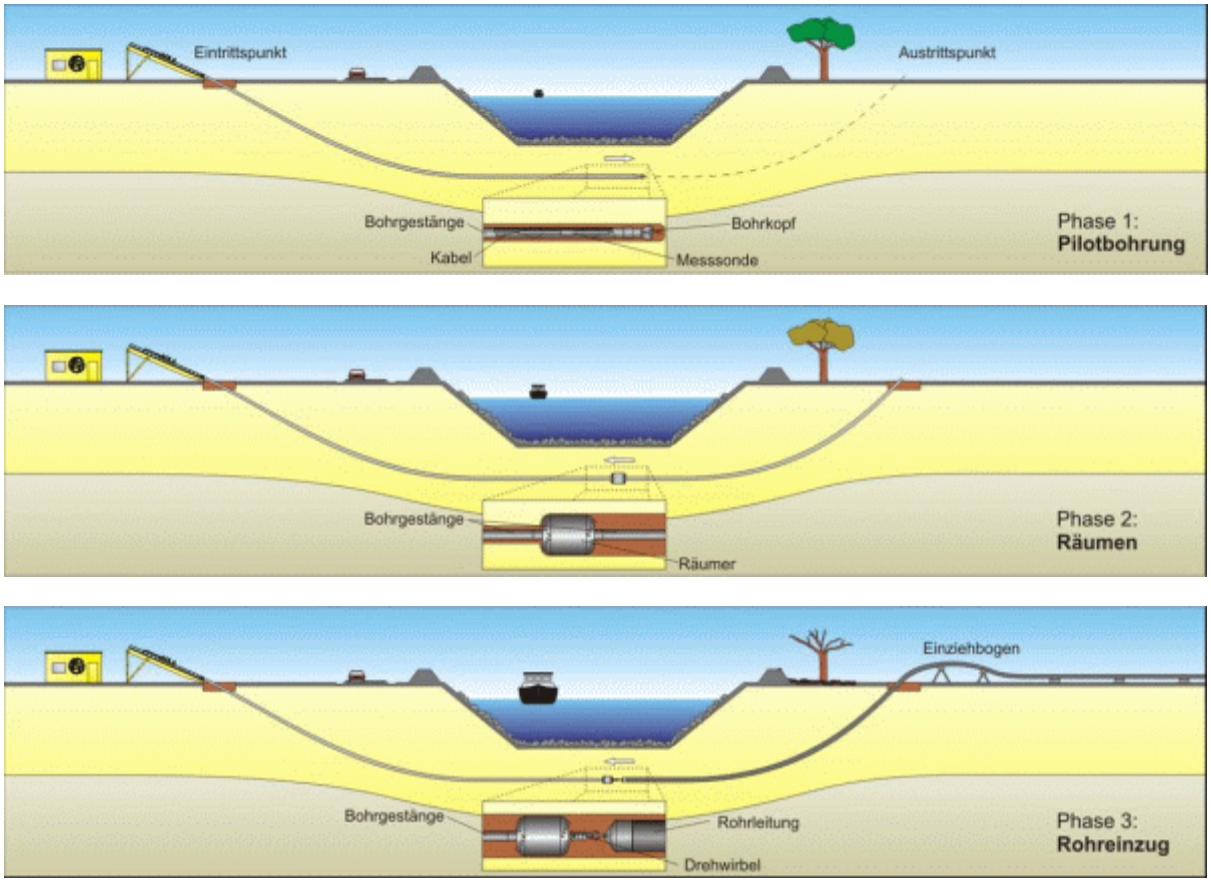


Abbildung B.51, Drei Phasen Arbeitsschritte des HDD-Verfahrens unter einem Fluss (als Dükerbau) [39]

Die Einsatzgebiete des HDD Verfahrens sind Unterquerungen von natürlichen Hindernissen (z.B. Naturschutzgebieten, Moorgebieten, Flüssen etc.) sowie künstlichen Hindernissen (z.B. Kanälen, Eisenbahnlinien, Straßen etc.).

2.3.1 Spülbohrverfahren mit Flüssigkeitsspülung

(engl. Horizontal Directional Drilling - HDD)

A) Kurzbeschreibung (Definition)

Dieses Verfahren betrifft den Vortrieb einer Pilotbohrung unter Mitführung eines Mantelrohres im Spülbohrverfahren mit einer Großbohranlage. Der Einsatz der Pilotbohrung erfolgt von der Geländeoberfläche aus mit einem Winkel von 5 bis 35 ° (nach [15] 10 bis 15 °). HDD-Verfahren benötigt im Gegensatz zu anderen Verfahren des grabenlosen Leitungsbaus keinen Start- und Zielschacht. Das Auffangen des flüssigen Spülmittels und Bohrkleins erfolgt am Eintritt- und Austrittpunkt der Bohrung.
Das flüssige Spülmittel erfüllt in diesem Verfahren die nachfolgenden Aufgaben:

- Lösen des Locker und Festgesteins
- Reinigung des Bohrloches und Austragen des Bohrkleins
- Abstützung der Bohrlochwände zur Verhinderung von Nachfall
- Kühlung, Schmierung und Reinigung des Bohrwerkzeugs und Bohrgestängestranges
- Antrieb von hydraulisch angetriebenen Bohrlochmotoren

B) Arbeitsweise (Funktion) und –ablauf (Prozess)

Die Arbeitsweise läuft im Prinzip in drei folgenden Schritten:

- Pilotbohrung und Überwaschbohrung (engl. Pilot hole)
- Aufweitbohrung(en) (engl. Forward bzw. Pull Ream)
- Einziehvorgang (von Leitungen) (engl. Pipe Pullback)

- Pilotbohrung und Überwaschbohrung

Hiermit wird zuerst die Trasse und Gradiente in der denkbaren Lage festgelegt und das Bohrgerät an der Geländeoberfläche positioniert. Dann wird das Bohrgerät mit passendem Winkel am Eintrittspunkt (Startgrube) angesetzt und bis zur vorgesehenen Verlegungstiefe abgeteuft. Nach erreichen der Sohltiefe wird bis zum Austrittspunkt horizontal gebohrt. Die Andrückkraft wird vom Bohrgerät auf den Bohrkopf über den Hohlbohrgestängestrang übertragen. Dadurch tritt das Spülmittel vom Bohrkopf unter hohem Druck zw. 25 und 150 bar aus. Der Bohrkopf besitzt einen etwas größeren Durchmesser als der Bohrgestängestrang und trägt das gelöste Bohrklein durch den Ringraum nach über Tage aus. In Lockergestein wird ein Teil des Bohrkleins unter Verdichtung der Porenräume in die Bohrlochwände verdrängt.

- Aufweitbohrung(en)

Unter Aufweitbohrung versteht man das Vergrößern des Bohrlochdurchmessers durch Aufbohren des Bohrloches und ist charakterisiert durch das einmalige oder mehrfache Zurückziehen des Bohrstranges zum Eintrittspunkt bei gleichzeitiger Erweiterung bis zu 1,2- bis 1,5-fach [39] über dem größten Außendurchmesser der einzuziehenden Leitungen, mit Hilfe eines drehend-spülend arbeitenden Räumers.
Falls die Aufweitung im ersten Einzug ausreicht, wird die Leitung biege- und torsionsgelenkig gleichzeitig (Abbildung B.52) mit den Räumer eingezogen.

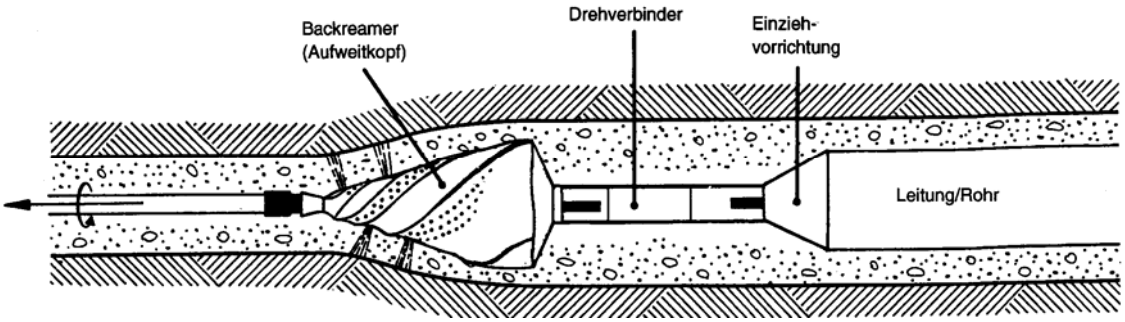


Abbildung B.52, Aufweitbohrung mit gleichzeitiger Einziehung des Rohres (Einziehvorgang) [3]

Bei Großbohrungen findet das sog. Forward-Reaming Anwendung. Hiermit wird der Räumer nach der Pilotbohrung, durch eine am Zielpunkt agierende und mit dem Bohrgestängestrang verbundene Zugmaschine unterstützt, durch den Baugrund geschoben.

- Einziehvorgang

Eine oder mehrere angekoppelte Leitung(en) wird/werden an den Räumer mit der letzten Aufweitbohrung vom Austrittpunkt eingezogen. Die Übertragung der Drehbewegung des Bohrstranges auf den Leitungsstrang wird durch ein Drehgelenk (engl. Swivel) verhindert.
In Abhängigkeit von Leitungsart, Rohrnennweite und -werkstoff sowie Platzverhältnisse werden nachfolgenden Einziehvarianten unterschieden:

- Einziehen bei Mehrfachverlegung (Kapitel A.3.2) von der Trommel oder mit Rohrbundtransportwagen mit Abspulhaspel und Anordnung der verstellbaren Rollenböcken nach Außendurchmesser des Rohrstranges (Abbildung B.53 unten), für Fernwärmeleitungen und Kabel sowie Kunststoffrohre (PE- und PE-X Rohre)
- Einziehen des vormontierten und geprüften Rohrstrangs bzw. gebündelt oder nicht gebündelten Leitungen
- Einziehen mit Einzelrohr(strang)montage bei beengten Platzverhältnissen

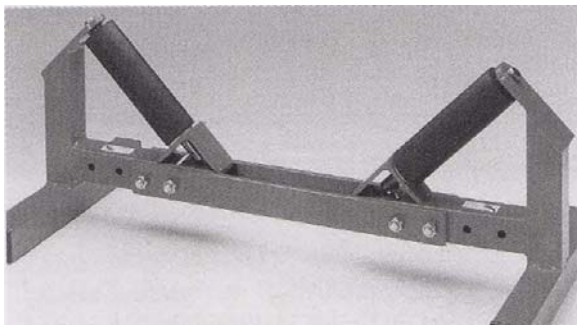


Abbildung B.53, Rohrbundtransportwagen mit Abspulhaspel (links), verstellbaren Rollenbock für DN/OD 250 bis 900 (rechts) [57], [1]

Während des Einziehens des Rohrstranges können zu Aufschwimmen des Rohrstranges in das mit der Spülung gefüllte Bohrloch an der Bohrlochfirste führen.

Zur Minimierung der Auftriebskraft wird die Rohrleitung teilweise mit Wasser oder abschnittweise eingebrachten Ballastierungsgegenständen (wie Stahlrohre) gefüllt, damit ein Aufschwimmen des Rohrstranges gegen den First des Bohrkanals sicher vermieden werden kann.

C) Ausrüstung, Maschinen (Equipment) – Baustelleneinrichtung

Die Bohrung bei diesem Verfahren besteht aus umfangreichen maschinentechnischen Ausrüstungen. Die einzelnen Elemente sind in der Regel wie unten aufgebracht:

1) Das Bohrgerät

Mit dem Bohrgerät werden Druckkräfte, Zugkräfte und Drehmomente auf den Bohrstrang übertragen. Die Bohranlagen können nach den maximalen translatorischen Kräften unterschieden werden. Deren Größenordnung bildet die Grundlage für die Einteilung der auf dem Markt befindlichen Bohrgeräte für Spülbohrverfahren (Rigs). Tabelle B.8 zeigt – nach Angaben der DCA – die vier verschiedenen Mini-, Midi-, Maxi- und Mega-Bohrgeräte in Abhängigkeit ihrer technischen Eigenschaften.

Im Spülbohrverfahren arbeitende Bohrgeräte im grabenlosen Leitungsbau umfassen neben der Lafetten-Bohrmaschine (als integralen Bestandteil) noch folgende Arten:

- Transportbasis
- Antriebsaggregat
- Kontroll- und Steuereinrichtung
- Bohrgestängemagazin oder –lager bzw. Bohrgestängekran
- Bohrstrang

Die vier erstgenannten Teile können entweder direkt am Bohrgerät installiert, oder getrennt und örtlich unabhängig vom Bohrgerät geordnet werden.

Bohrgerät (Typ)	Max. Zugkraft [KN]	Max. Drehmoment [KNm]	Gesamt-gewicht [t]	Bohrlänge [m]	Rohrnenn-weite DN/OD	Einsatzbereich
Mini	≤ 150	10 bis 15	< 10	< 180	50 bis 305	In innerstädtischen Bereich von Kabeln & PE-Rohre als Produkt-, Schutz- oder Mantelrohren
Midi	> 150 bis ≤ 400	15 bis 30	10 bis 25	<300	305 bis 610	Kleinere Kreuzungen von Strassen und Gewässern in Spezialaufgaben wie Umwelttechnik
Maxi	> 400 bis ≤ 2500	30 bis 100	25 bis 60	< 1800	610 bis 1200	Große Bohrlängen und Bohrlochdurchmesser wie Bahnlinienquerungen in Stahlrohren
Mega	> 2500	> 100	> 60	bis 1830	> 1200	Extreme Bohrlängen & Bohrlochdurchmesser wie Bau von Fernleitungen

Tabelle B.8, Verschiedene Typen von Bohrgeräten in Spülbohrverfahren mit Einsatzbereichen [1], [4]

Nach Angaben der Hersteller sind auch neu entwickelte Systeme sowie die Anlage HDD-Maxi-Rigs PD 450 -150, Abbildung B.54 eingeführt [38].

Abbildung B.54, Anlage PD 450–150, mit Rückzugkraft bis 4500 KN und Bohrkopfdrehmoment bis 150 KNm, von der Firma Prime Drilling GmbH Gerlingen (Deutschland) [38]

Das Diagramm B.7 unten zeigt die maximalen Rückzugkräfte von Anlagen bezüglich des Bohrlochdurchmessers und der Vortriebslänge bei einem Hersteller:

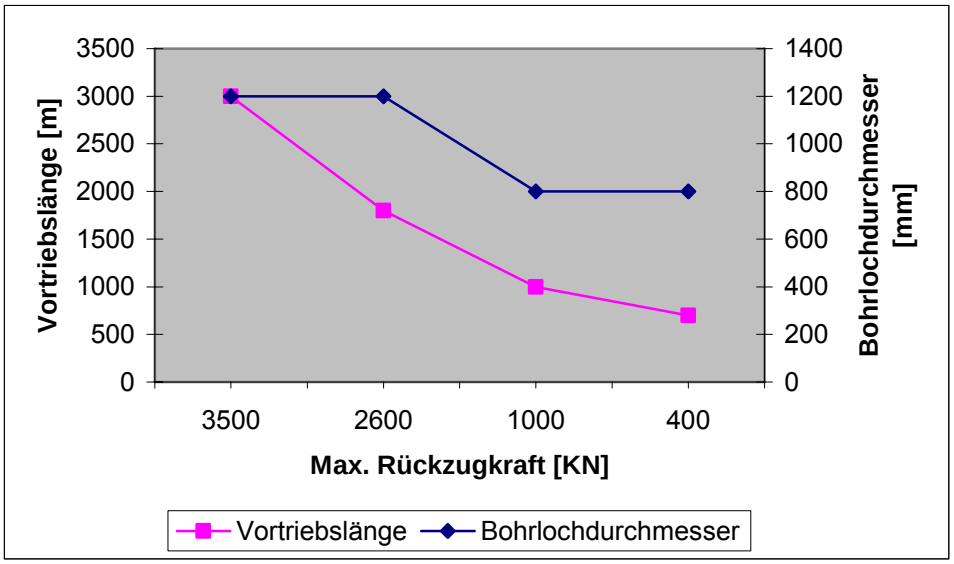


Diagramm B.7, Vortriebslängen bzw. Bohrlochdurchmesser der Bohrgeräte in Abhängigkeit der maximalen Rückzugkräfte nach Angaben der Hersteller [36]

Die Bohrgeräte werden auf einer Lafette (Rahmen) geführte, mittelschwere oder schwere Drehbohrmaschine oder Drehschlagbohrmaschine (Abbildung B.55) montiert, die über Zahnstange, Leitspindel, Kette oder Seil vorgeschoben werden.

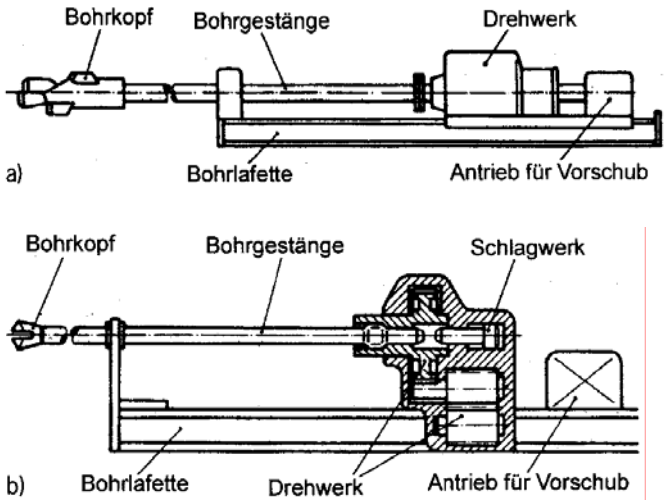


Abbildung B.55, Bohrmaschinen mit a) Lafetten-Drehbohrmaschine und b) Drehschlagbohrmaschine: verwendet auch in Verfahren Kapitel B.2.3.2. [1]

2) Bohrgestänge

Bohrgestänge wird aus nahtlos gewalzten Rohren in genormten Durchmessern, Wanddicken und Werkstoffgütern hergestellt. Es überträgt die erforderlichen mechanischen Kräfte (Druck- oder Zugkräfte und Drehmomente) zum Bohrmeißel und leitet die für den Bohrvorgang erforderliche Bohrspülung zum Bohrwerkzeug. Länge und Durchmesser der Bohrgestänge

hängen von der Zugkraft- und Drehmomentkapazität des Bohrgerätes ab. Übliche Rohrdurchmesser liegen im Bereich zw. 33 und 170 mm. Bei kleineren Bohrgeräten sind die Bohrgestänge mit Längen bis zu 6,0 m und Durchmesser zw. 33 und 60 mm entwickelt.
Nach API-Spezifikationen Spec 5D liegt bei Bohrgeräten mit einer Zugkraft > 400 KN der Durchmesser zwischen 2.3/8 “ (60,3 mm) und 6.5/8 “ (168,3 mm), die in drei Längengruppen zu liefern sind [5]. Die Biegeradien variieren auch entsprechend dem Rohrdurchmesser zwischen 10 und 250 m.
Für größere Bohrgestänge sind nach API die Durchmesser 60,3 / 73,0 / 88,9 / 101,6 / 114,3 / 127,0 / 139,7 / 152,4 / 168,3 (alle im mm) herzustellen.
Tabelle B.9 zeigt die Bohrgestänge-Längengruppen in Abhängigkeit der Verbindungen:

Längengruppen	Länge ohne Verbinder [m]	Länge inkl. Verbinder [m]
Range 1	5,49 bis 6,71	
Range 2	8,23 bis 9,14	8,60 bis 9,50
Range 3	11,58 bis 13,72	

Tabelle B.9, Die Gruppen den Bohrgestängen nach API [1]

Die Schraubenverbindungen werden in der Regel als Spitzgewinde und unabhängig von Bohrgerätegröße hergestellt und entsprechen den API Anforderungen. Damit sind bei kraftschlüssiger Verbindung ein sicheres Verschrauben und ein schnelles Lösen der Schraubverbindungen zu gewährleisten.

3) Bohrwerkzeuge

Bohrwerkzeuge werden in Abhängigkeit der Arbeitsschritte, für Pilotbohrung und Aufweitbohrung verwendet.
Bei *Bohrwerkzeugen für Pilotbohrungen* kommen - je nach Baugrund - folgende Bohrköpfe zum Einsatz:

- Spülbohrkopf: Durch mehrere Spüldüsen (zum Abbau und Entfernen das Bohrklein von der ortsbrust), entweder gerade (In-Line-Spülkopf) oder exzentrisch zur Bohrachse (Winkelspülkopf mit 0,5 bis 2,5° abgewinkelten Bohrgestänge) angebracht, werden in weichen bindigen und lockeren bindigen Böden Spülungen durchgeführt.
- Bohrkopf mit abgeschrägter Steuerfläche, mit Drehung über Bohrgestängestrang für die Richtungssteuerung in jeden Boden bis Festgestein
- Bohrkopf mit Steuerplatte (Abbildung B.56)
- Rollenbohrkopf

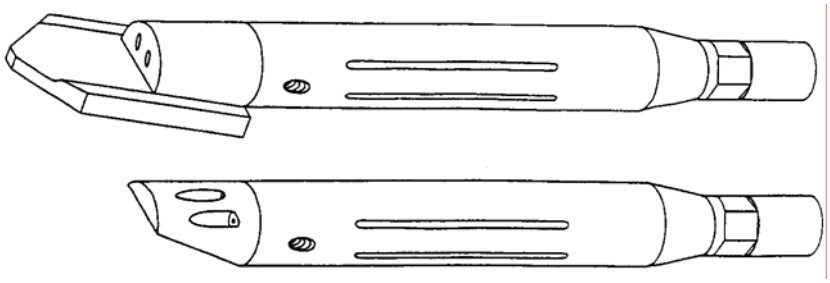


Abbildung B.56, Ausbildungsformen der Steuerfläche bei Bohrköpfen, (oben) mit aufschraubender Steuerplatte, (unten) mit abgeschrägter Steuerfläche [5]

Die *Bohrwerkzeuge für Aufweitbohrung(en)* haben, je nach Bodenart, laut Hersteller unterschiedliche Ausführungen:

- Barrel Reamer (Fassräumer): zylindrischen, tonnenförmige Stahlkörper mit einem Kreiskegelstumpf oder einem Kugelabschnitt an jedem Ende (Tabelle B.10)
- Fly Cutter aus einem Schneidring, der mit geneigten Stahlstreben mit dem Bohrgestänge verbunden ist.
- Hole Opener (Bohrlochöffner), mit drei bis fünf Rollenmeißeln, um ein zentrales stabiles Bohrgestänge anzuordnen.

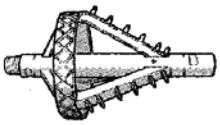
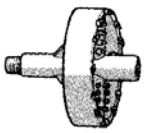
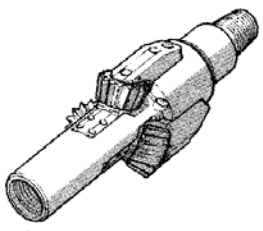
Räumerbezeichnung	Technische Merkmale	Einsatzbereich		
		Bohrgerät	Bodenart	Bohrlochdurchmesser [mm]
IDS „H1" Verdichtungsräumer	Konisches 30°-Gehäuse, Vorwärts- und Rückwärtsstrahl,	Mini- und Midi-Rigs	Universell in allen Bodenverhältnissen einsetzbar, besonders in mittelhartem Ton, Blocklehm, Mineralgemisch und felsigen Böden	250 bis 650
IDS „H2" Verdichtungsräumer	Konisches 45°-Gehäuse für aggressives Schneiden, Vorwärts- und Rückwärtsstrahl, auswechselbare Schneidzähne aus Wolframkarbid (TC)		Universell in mittelharten Böden einsetzbar, besonders in steifem Ton und felsigen Böden	150 bis 400
 IDS „H3" Verdrängungsräumer	Hohlkörperdesign mit 30°-Kegelschneidarmen für Verdrängung des Bohrkleins und leistungsfähige Mischfunktion, Schneidzähne aus Wolframkarbid (TC)		Universell einsetzbar in Sand, weichem Ton und Mineralgemisch, besonders in Böden, bei denen eine gute Mischfunktion gewünscht ist	150 bis 450
 IDS Schlagfräser	Hohlkörperdesign mit 3 Armen für effektives Schneiden und Verdrängen des Bohrkleins und Mischfunktion, auswechselbare Schneidzähne aus Wolframkarbid (TC)	Maxi- und Mega-Rigs	Wird zum Aufbrechen von tonigen Böden vor der Verdichtung benutzt, häufig in Verbindung mit (vor) dem konischen IDS Barrel Reamer	250 bis 1800
IDS Barrel Reamer	Konisches 30°-Gehäuse an beiden Enden für effizientes Schneiden und Verdichten, Vorwärts- und Rückwärtsstrahl, auswechselbare Schneidzähne aus Wolframkarbid (TC)		Universell anwendbar, besonders in Ton, Blocklehm, Mineralgemisch und felsigen Böden	300 bis 1800
 IDS-Darron Bohrlochöffner („Multi-Gauge")	Vor Ort austauschbare Rollenmeißel und -halterungen, dadurch Räumung verschiedener Durchmesser mit einem Bohrkopf		Fels	> 200

Tabelle B.10, Darstellung der Aufweitbohrungen (Barrel Reamer, Fly Cutter und Hole Opener) in Abhängigkeit der Bohrgeräte und eigenen Einsatzbereiche nach Hersteller IDS, England [1]

Die Aufweitbohrungen besitzen in allen Fällen Spüldüsen für den Austritt des Spülmittels und werden ausschließlich über den Bohrgestängestrang vom Drehwerk des Bohrgerätes angetrieben. Nach Angaben der Hersteller besitzen die Räumer variable Durchmesser sowie 250 / 350 / 450 / 500 / 600 / 700 / 800 / 1000 / 1250 / 1500 (alles in mm) [37].

4) Spülungsmischanlage – Spülungspumpe

Sie mischt die Bohrspülung durch manuellen, halb- oder vollautomatischen Vorgang. Die Spülflüssigkeit hat mehrere Aufgaben. Sie trägt teilweise zur hydromechanischen Zerstörung der Formationen bei, stützt das Bohrloch durch den hydrostatischen Druck, bildet den Filterkuchen zur Verhinderung von Spülungsverlusten, geliert bei Pumpenstops aufgrund ihrer thixotropen Eigenschaften und sie wirkt als Schmiermittel zwischen der Bohrlochwand und dem Bohrgestänge. Darüber hinaus trägt sie das Bohrklein nach Übertage aus.
Die Spülungspumpe pumpt die Bohrspülung mit hohem Druck durch den Bohrstrang hindurch zum Bohrwerkzeug.
In USA wurde neulich wiedergewinnbares *Polymer Gel* als Spülflüssigkeit gegenüber Bentonitsuspension entwickelt. Eine Gallone (3,785 l) Polymer Gel reicht für Mischung mit 800 Gallone (ca. 3030 l) Wasser. Das vereinfacht das Transport und Mischung der Bohrspülung im Vergleich zur Bentonitsuspension.

5) Steuerungs- und Ortungstechnik (engl. Tracking System)

Im Wesentlichen kommen je nach Anwendungsbereich und eingesetzter Technik zwei offizielle Walk-Over- und Wire-line-Verfahren zur Anwendung.

Das *Walk-Over-Verfahren*, basiert auf der drahtlosen Übertragung der Positionsdaten zu einem an der Erdoberfläche, oberhalb des Bohrkopfes befindlichen Empfänger (indirekten Ortungsverfahren). In Abhängig von Aufbau und Messung erfolgt die Steuerung entweder durch magnetisches oder elektromagnetisches Feld. Das Messsystem besteht aus den vier Komponenten Sender, Empfänger, Datenanzeiger (Monitor) und einem Datenträger mit Computer [1].

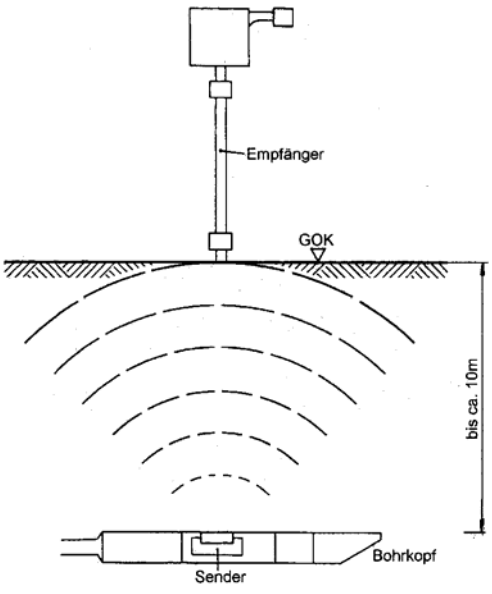


Abbildung B.57, Das Sende-Empfang-Prinzip im Walk-Over-Verfahren [3], siehe auch das Abbildung B.58

- Elektromagnetische Walk-Over-Verfahren

Es wird für Mini- und Midi-Bohrgeräte bis 200 KN Zugkraft (Abbildung B.57) und in Abhängigkeit von Sendertyp bei Überdeckungshöhen bis 21 m eingesetzt. Nach Angaben der Amerikanischen Hersteller wird die Genauigkeit der Lage- und Tiefenbestimmung in Abhängigkeit der Tiefe der Bohrung wie Tabelle B.11 angegeben. In der Praxis wurde eine Genauigkeit zw. ± 200 mm erfüllt [55].

Tiefenlage der Bohrung [m]	Genauigkeit
0,1 bis 3,0	± 100 mm
3,0 bis 6,1	± 5 %
> 6,1	± 10 %

Tabelle B.11, Genauigkeit des Senders in Abhängigkeit der Tiefenlage der Bohrung bei dem Elektromagnetischen Walk-Over-Verfahren [1]

Abbildung B.58, Das neu entwickeltes System Eclipse® SST™ bzw. iGPS® von DCI, USA – Antrieb mit einer 12 - 28 V Akkubatterie in Temperaturbereich zw. -6 °C bis 50 °C einsetzbar, Gewicht 1,20 kg - 1) Empfänger 2) Datenträger (Lap Top) 3) Fernanzeige 4) Sender [49]

Das neu entwickelte System von Firma DCI, USA ist so konzipiert, dass auf einem Stativ befestigte Antennen vor oder Rückwärts der vorgegebenen Bohrtrasse in Abständen von 30 bis 60 m positioniert werden. Sie orten den Sender nach Lage (Trasse) und Tiefe (Gradiente) und übermitteln die Informationen in Echtzeit analog dem Global Positioning System (GPS) zum Computer. Dieses System Elipse®-SSt™ wurde so konzipiert, dass mit dem GPS System (Abbildung B.58) ausgeführt werden kann.

- Magnetische (passive) Walk-Over-Verfahren

Das System arbeitet mit einem Permanentmagneten im Bohrkopf als Sender und einem Empfänger, der über vier Magnetometer in einer Sensorplatte das magnetische Feld ortet.
Dieses Ortungssystem wird bei Mini-Bohrgeräten mit Bohrlängen bis 250 m und in Abhängigkeit der Magnetenstärke auf eine Überdeckungshöhe zwischen 5 bis 10 m eingesetzt. Die Genauigkeit der einzelnen Punktmessungen beträgt in vertikaler Richtung bei 20 bis 30 mm und in horizontaler bei ca. 50 mm.

Das *Wire-Line-Verfahren* basiert auf einem im Bohrstrang verlaufenden Kabel zu den obertägigen Anzeige- und Datenverarbeitungseinrichtungen. Es ist eine Weiterentwicklung aus der Tiefbohrtechnik für große Bohrgeräte (Maxi- und Mega-) und wird dementsprechend bei langen und tiefen Bohrungen (bis 15 m Verlegetiefe) eingesetzt.
Unter optimalen Bedingungen und bezogen auf Tiefenlage (< 15 m) des Senders wird die Messgenauigkeit des Gerätes von etwa ± 2 % entnommen.

6) Aufbereitungsanlage

Wenn die Spülung mehrfach verwendet werden soll, wird ein Spülungskreislauf von Bedeutung sein, da dieser im Bereich der Spülungskomponenten wirtschaftlicher wirkt. Die Voraussetzung für einen Kreislauf der Spülung nach dem Austritt aus dem Bohrloch ist das Vorhandensein einer Aufbereitungsanlage, um die Spülung vom Bohrklein zu reinigen. Zur Entfernung des Bohrkleins ist es erforderlich, die Dichte und die Viskosität der Spülung an die vorgegebenen Werten zu halten. Das hilft auch bei der Reduzierung des Verschleißes am Bohrstrang und an den Bohrwerkzeugen sowie an den Spülungspumpen und Spülungsleitungen.
Nach Angaben der Hersteller können unterschiedliche Anlagen von 700 bis 1500 l/min Spülmittel in einem Container wieder verwertet werden

7) Baustelleneinrichtung

Es muss zwischen der Baustelleneinrichtung am Eintrittspunkt (Startgrube) und der am Austrittspunkt bzw. Zielschacht unterschieden werden. Der Platzbedarf der Bohranlage und die Ausrüstung der Baustelleneinrichtung werden maßgeblich von der Größe des Bohrgerätes, Art und Außendurchmesser der zu verlegenden Leitungen, der Bohrlänge und der gewählten Einziehvariante beeinflusst.
Während die Mini-Bohrgeräte durch die kompakte Ausführung nur eine Fläche bis 10 m x 20 m benötigen, muss für Mega-Bohrgeräte ein Platz bis zu 4000 m² zur Unterbringung der Bohranlage vorgesehen werden (Abbildung B.59).

Für Midi- und Maxi-Bohrgeräte reichen auch jeweils eine Fläche bis 750 m² und 1500 m² aus.

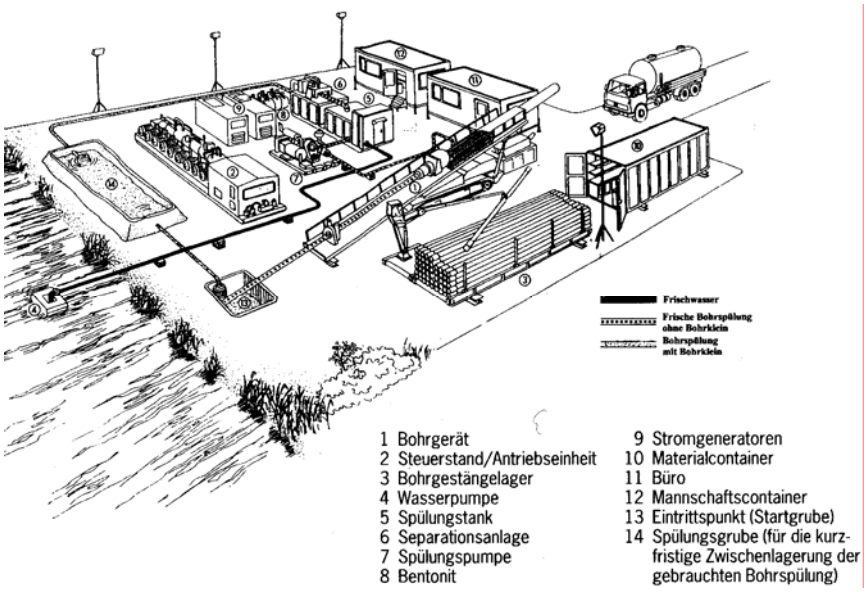


Abbildung B.59, Darstellung einer Baustelleneinrichtung beim Einsatz vom Mega-Bohrgerät am Eintrittspunkt [5]

D) Einsatzbereich

1) Einsatzmöglichkeiten im Grabenlosen Leitungsbau

Die verschiedenen Anwendungen des HDD–Verfahren im grabenlosen Leitungsbau ist wie folgt zu gliedern [3]:

- Bohrung in einer Steilböschung zur Verlegung von Hausanschlüssen
- Unterquerung einer unterirdischer und paralleler Verkehrsysteme
- Unterquerung eines natürlichen und künstlich geführten Bachlaufes (Dükerbau)
- Unterquerung von baulichen Hindernissen wie Werkhallen, Spund- und Betonwände

Diese Anwendungen werden für grabenlose Verlegung von Öl- und Gasleitungen, Wasser- und Abwasserleitungen, Schutzrohre für Telekommunikationsleitungen sowie für zugfeste Elektrokabel und Fernwärmesysteme durchgeführt. Die unten angeführten Rohrmaterialien werden auch in den Leitungen verwendet [36]:

- Kunststoff (PE-HD, PP, VPE)
- Stahl
- Duktiler Guss
- Glasfaser
- Fernwärme-Isolationsmaterialien
- Nach Angaben der österreichischen Firmen sind am meisten PE Rohre und Stahlrohre mit zugfesten Muffen einsetzbar [55].

2) Einsatz in Geotechnik und Altlastsanierungen

Das HDD-Verfahren kommt in der Geotechnik in verschiedenen Bereichen zum Einsatz. Die Anwendungen werden wie unten eingeteilt [23]:

- Genaue Standorterkundung im Altlasten und Kenntnis über die mögliche Schadstoffließbewegungen
- Hydraulische Sanierung durch Abförderung der Schadstoffe im Unterboden bzw. Grundwasser
- Dauerhafte Absenkung des Grundwasserspiegels
- Flachgelagerte Horizontalbrunnen mit großen Einlässen für schnelle Ab- und Ausleitung von verschmutztem Hochwasser, zur Vermeidung der Sickerung in engere Trinkwasserschutzzonen
- Lenkungsbohrungen für Herstellung einer deutlichen unterirdischen Fließbewegung
- Bodenluft-Absaugungen (pneumatische Sanierungen), Absaugen der Schadstoffe oberhalb des Grundwasserspiegels mittels Unterdruck oder Vakuumerzeugung durch Horizontalfilter
- Bohrungen zur Schadstoffentfernungen in kleinräumigen Schadensherden im Untergrund wie Quicksilberansammlungen
- Monitoring oder Überwachungsleitungen um Deponien in chemischen Anlagen und Tanklagern sowie in den hohen Zuwachsraten am Fuß von Hochwasser-Schutzdämmen. Da die Leitungen aus Monoglasfasern sind, reagieren sie auf feinste Temperaturunterschiede, welche von lokalen Durchfeuchtungen verursacht werden.

3) Einsatz in der Geothermischen Energie bzw. in Erdwärmebohrungen

Seit langem her ist die Thermische Energie eine Form der Speicherung der von der Wärme stammenden Energie unterhalb der Oberfläche der Erde. Das wird oft auch als Erdwärme bezeichnet.

Diese Energiegewinnung wird durch eine Flüssigkeit mittels Erdwärmesonden bzw. -leitungen in eine Pumpanlage ermöglicht.

In diesem Fall wurde ein Projekt in Deutschland als Beispiel in HDD-Verfahren (mit einer GRUNDODRILL 15 GS Anlage) realisiert.

Es wurde zu erst die Pilotbohrung mit einem DN/OD 140 durchgeführt. Nach erreichen einer ausreichenden Tiefe von bis 80 m wurde das Gestänge aus dem Bohrloch herausgezogen. Anschließend ist mit einem Spezialbohrkopf (190 mm) die erstellte Pilotbohrung aufgeweitet worden. Die verlorene Aufweitbohrung wurde mit Erdsonden-Rohrbündel 4 PE-HD-Rohren je DN 32 mm in die Bohrung eingeschoben. Das Bohrgestänge war nicht mit der Aufweitung verschraubt, und es wurde nach dem Vorschub im Rückwärtsgang geborgen [46]. Die Abbildung B.60 zeigt die Bohrmaschine mit Pilotbohrung, Aufweitbohrung und verlorener Aufweitung bei der Begleitung der Erdsonden.

Abbildung B.60, die Anlage GRUNDODRILL 15 GS mit Pilot- und Aufweitbohrungen am Beispiel eines Wohnhauses [46]

Spülbohrverfahren in grabenlosen Leitungsbau kann für Bohrlochdurchmesser bis 1800 mm und Bohrlänge bis 1800 m (nach [15] 1500 mm und 1500 m) in Locker- und Festgestein unabhängig vom Grundwasser eingesetzt werden [1]. Die Grenzwerte hinsichtlich Nennweite und Bohrlänge können nicht gleichzeitig erreicht werden. Die Bohrlänge hängt maßgeblich von der Rohrnennweite bzw. Bohrlochdurchmesser sowie von der aufzubringenden Rückzugkraft (Abbildung B.61) ab.

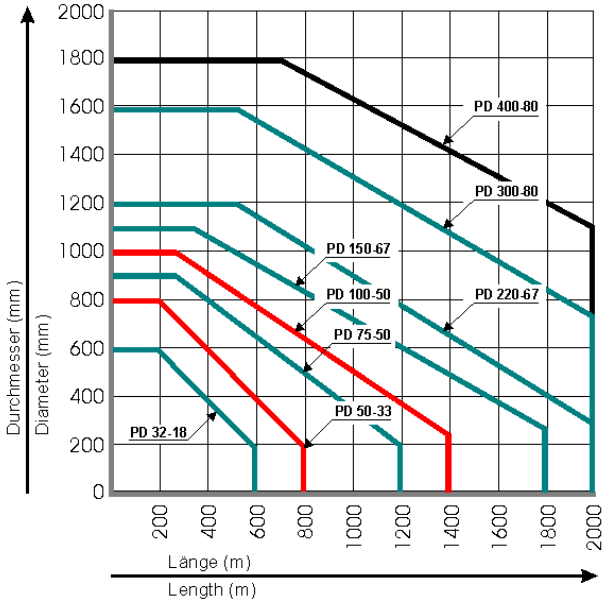


Abbildung B.61, Einsatzbereiche hinsichtlich der Nennweite und Bohrlänge in Abhängigkeit von der aufzubringenden Zugkraft [KN] - Drehmoment [KNm] [37]

Überdeckung

Die Überdeckung (Abstand zw. Bohrachse und Geländeoberfläche bzw. Gewässersohle) in HDD Verfahren hat Einfluss auf Senkungen und Erhebungen an der Geländeoberfläche. Die Untersuchungen zeigten, dass in nichtbindigen Lockergesteinen überwiegend Senkungen und dagegen in bindigen Lockergesteinen (wie Ton und Lehm) Hebungen in der Pilotbohrung als auch in den Aufweitbohrungen auftreten. Die Wahl des richtigen Räumer-Typs spielt eine bedeutende Rolle für die Hebungen und Absenkungen an der Geländeoberfläche.
Der Einfluss auf Oberflächenverformungen endet ab einer Entfernung von dem fünf- bis sechsfachen des installierten Rohraußendurchmessers.

Nach Angaben der Richtlinien von DCA beträgt der Abstand unter Gewässern, Hauptverkehrsstrassen, Landbahnen etc. dem 10- bis 15-fachen Außendurchmesser der Leitung[1].
Nach Richtlinien des CALTRANS (California Department of Transportation) sind die in der Tabelle B.12 angegebenen Werte für Überdeckungshöhen unter Strassen, in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers, empfohlen:

Rohrnennweite DN/OD	Minimale Überdeckung [m]
< 150	1,2
200 bis 350	1,8
375 bis 625	3,0
650 bis 1200	7,6

Tabelle B.12, Überdeckungshöhe in Abhängigkeit der DN/OD nach CALTRANS [1]

Die Bohrleistungen liegen im Lockergestein zw. 10 bis 20 m/h und im Festgestein in Abhängigkeit der Gesteinsschichten und Bohrlochdurchmesser von 0,3 bis 1,0 m/h [1]. In der Praxis beträgt sie durchschnittlich zwischen 5 – 10 m/h [55].

E) Geotechnik

Das Spülbohrverfahren wird auf Grund der Variantenvielfalt der Bohrwerkzeuge und ihrer möglichen Kombinationen im Locker- und Festgestein erfolgreich eingesetzt.
Es passt zum Einsetzen im organischen Böden (Kl. LO) sowie in bindigen und nicht bindigen Lockergesteinen der Klassen LM und LN nach DIN 18319.
Im Lockergestein mit hohem bindigen Anteil wird auf Grund ihrer geringen Durchlässigkeit, ein Abfluss des Spülmittels in Erdreich bzw. in die Umgebung des Bohrloches verhindert.
Im Lockergestein mit Steinen der Zusatzklassen S (Korngrößen > 63 mm) werden bei Pilotbohrung Bohrgeräte mit Dreh-Schlagwerk oder mit Bohrlochmotoren eingesetzt.
Das HDD-Verfahren wurde in Österreich nach Angaben der Firmen in Bodenklassen zwei bis sieben (nach ÖNORM B 2205) erfolgreich eingesetzt [58, 59].

Für das Bohren im Festgestein der Klassen FZ 1 bis FZ 4 werden Midi-Bohrgeräte mit Rückzugkraft > 200 KN, mit angetriebenen Rollenbohrköpfen bei Pilotbohrung und sog. Hole Openern für Aufweitbohrung(en) eingesetzt.

F) Baubetriebliche und bauwirtschaftliche Aspekte – Richtkosten

Beim HDD-Verfahren wird drei Mann (einen Bohrmeister, einen Maschinist und einen Arbeiter für Bohrwechsel etc.) und eventuell einen Schweißtechniker benötigt [55].
Im Österreich wird der Preis für die Herstellung einer Leitung in HDD-Verfahren nach Angaben der Firmen wie unten betragen [55]:

DN (in cm) x 10 ≈ Preis (in €/lfm) Bruttobohrzeit

Die Bruttobohrzeit ist in Abhängigkeit von der Größe des Bohrgerätes für Fixzeiten, wie Einrichten und Räume der Baustelle und normale Bohrzeit, in Abhängigkeit der Bohrlochdurchmesser und Bohrlänge sowie anderer Leistungs- und Baugrundfaktoren, nach folgender Formell und mit Hilfe der Tabelle zu ermitteln:

$$t = t_E + (d_{Bohrloch} \times L_{Bohrung} \times f_L \times f_B) / t_{Tag} + t_R$$

t	Bruttobohrzeit (Gesamtarbeitszeit)
t_E	Zeit für das Einrichten der Baustelle [d]
$d_{Bohrloch}$	Bohrlochdurchmesser [m]
$L_{Bohrung}$	Bohrlänge [m]
f_L	Leistungsfaktor [-]
f_B	Baugrundfaktor [-]
t_{Tag}	tägliche Arbeitszeit [h]
t_R	Zeit für das Räumen der Baustelle [d]

Bohrgerät (Typ)	t_E [d]	t_R [d]	f_L [-]	Baugrundfaktor, f_B [-]
Mini	0,5	0,5	1,0	1,0 bindige, weitestgehend steinfreie Böden
Midi	1,0	1,0	0,8	0,7 für sandige, feinkiesige, leicht bindige Böden
Maxi	3,0	2,0	0,5	1,5 für inhomogene Böden mit vereinzelten Steinen
Mega	4,0	3,0	0,5	2,5 für Fels

Tabelle B.13, Bestimmende Zeiten sowie Faktoren in Bruttobohrzeit

Rohrmaterial

Für HDD-Verfahren müssen die Rohrleitungen folgende Kriterien (abgesehen von Wirtschaftlichkeit bzw. Rohrpreise) aufweisen [22]:

- Große Baulängen, dadurch weniger Schweißungen
- Kleiner Bohrradius durch enge Bohrkurven
- Harter Schutzmantel gegen Beschädigungen auf der Rohroberfläche
- Homogene Verbindung des Rohrstranges durch Schweißen
- Optimale Anpassung der Anforderungen an das Bauverfahren und an den späteren Betrieb

Ein geeignetes Rohrmaterial für das HDD–Verfahren sind Egeplast SLM OD Rohre [52] ab DN/OD 25 bis 1200. Diese bestehen aus einer drucktragenden Rohrwand von PE 100 RC^{+} Werkstoff, die zusätzlich mit mineralverstärktem Schutzmantel gegen Kratzer und Riefen geschützt sind. Das Produkt ist nach DIN, ÖNORM B 5172 sowohl ÖNORM B 5192 für Gas-, Trink- und Abwasserleitungen nachgewiesen [52].

Abbildung B.62, Abwasserdruckrohr DN 400 egeplast SLM 560 x 50,8 mm mit abriebfestem Schutzmantel (links) beim Einziehen gleichzeitig mit der Aufweitung [52]

Bodenrisiko

Das Bodenrisiko weist eine große Wirkung auf die Durchführbarkeit einer Bohrung und folgend auf die Kosten auf. Nachstehend genannte Risikofaktoren werden für die Durchführung von Horizontalbohrungen aufgeführt [5]:

- Verlust der Spülflüssigkeit in locker gelagerten Böden und im Festgestein durch Eindringung in Klüfte, Spalten und/oder Porenräume

- Abweichung von der Bohrachse beim Bohren mit einem Bohrmotor in sehr weichen Schichten wie Schlick (Schlamm) oder Fließsand
- Erschweren des Bohrens im Boden mit Grobstein
- Entstehung einer „Stufe“ im Bohrloch durch Fortsetzen der Bohrung im Boden mit plötzlichem Übergang von harten zu weichen Bodenschichten oder umgekehrt. Diese Stufe führt zu Verklemmen oder Zerstören des Produktrohres beim Einziehen.
- Verfälschung der Werte der Messgeräte in der Steuersonde für Gesteine, deren magnetische Eigenschaften nicht erkannt werden. Das führt zu einer Abweichung von der geplanten Bohrachse.

In einem Boden mit Ansammlungen von Kies oder Schotter ist es notwendig, eine Verbesserung der Stabilität des Bohrloches durch Injektionen mit Zementschlämmen oder Kunstharzen vorzunehmen.

2.3.2 Spülbohrverfahren mit Luft-(Gas)-spülung (DDD)

Bei dieses Verfahren, auch Dry Boring oder Dry Directional Drilling (DDD) (in englischen Sprachgebrauch) genannt, handelt es sich um eine drehend-schlagend arbeitende Bohrmaschine, bei welcher das Schlagwerk unmittelbar hinter dem Bohrkopf am Gestängerohr befindet. Vorschubkraft und Drehbewegung werden durch das Gestängerohr auf das Bohrwerkzeug übermittelt.

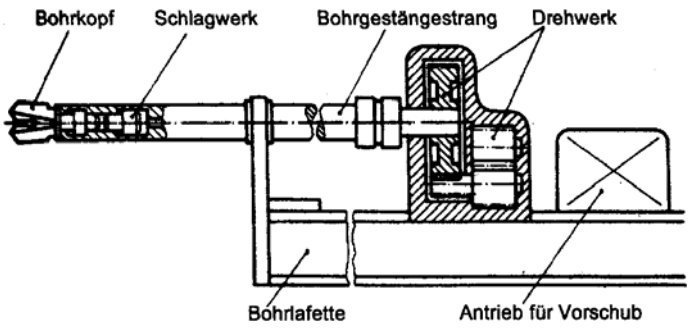


Abbildung B.63, Drehend-schlagende Bohrmaschine im Verfahren Spülbohrverfahren mit Luft-(Gas)-Spülung [1]

Außer Druckluft oder Gas als Spülmittel kann man auch Schaumbildern als Zusatz zum besseren Austragen des Bohrkleins sowie Kühlung und Schmierung des Bohrwerkzeuges bzw. des Bohrgestängestranges verwenden.

Die Arbeitsweise entspricht dem Spülbohrverfahren mit Flüssigkeitsspülung.

Die Ausrüstung bzw. Baustelleneinrichtung ist auch passend zu dem Verfahren mit Spülflüssigkeit; allerdings werden einige Zusätze hinsichtlich des Spülmittels und des Einsatzes von Imlochhammer aufgestellt. Der Einsatz von Luft als Spülmittel benötigt folgende Zusatzausrüstungen:

- Druckluftkompressor

- Bohrspülungstank für Wasser oder Schaumbildern
- Weitere Antriebsaggregate

Die Bohrköpfe sind als pneumatischer ImlochHammer mit Zentralspülung erzeugt und haben im allgemein einen Durchmesserbereich von 89 bis 1092 mm. Sie sind in Abhängigkeit der Baugrundbedingungen und gewählten Steuertechnik entweder einseitig abgeschrägt oder mit unterschiedlich ausgebildeten Bohrkopfböden (flach, konvex, konkav) ausgeführt und mit Hartmetallstiften (
Abbildung B.64) bestückt [Z. 1].

Die beladene Bohrspülung mit Bohrklein fließt durch am Außenrand des Bohrkopfes eingefräste Spülungskanäle (vier bis zehn Stück) in den Ringraum des Bohrlochs und dann aus dem Bohrloch heraus.

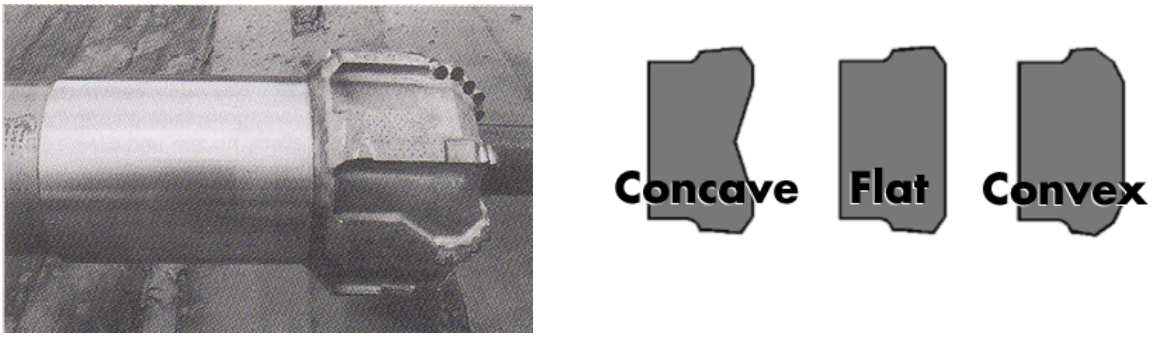


Abbildung B.64, Bohrkopf mit drei verschiedenen Gestaltungsvarianten: konkav für extrem hartem abrasivem Gestein, flach für mittelhartem bis hartem bzw. mäßig abrasivem Fels und konvex für weich bis mittelhartem Fels [30], [41]

Der erforderliche Druckluftbedarf für den Betrieb des Imlochhammers (Pilotbohrung) ist abhängig von seinem Durchmesser und der Art des Betriebsdrucks. Es beträgt zwischen 12 bis 25 bar. Die Tabelle B.14 zeigt die Typen von Imlochhämmern der Firma NUMA, USA [41], mit Druckluftbedarf für jeden Betriebsdruck.

Typenbezeichnung des Imlochhammers	OD Imloch-hammer [mm]	Bohrloch-durchmesser [mm]	Luftbedarf [l/s] bei einem Vortriebsdruck [bar] von:					
			6,8	10,2	13,6	17,0	20,4	23,8
Champion 35	79	89 bis 102		66	94	125	156	165
Champion 50E	114	130 bis 140		113	160	208	260	309
Champion 60HFME	140	152 bis 216		163	212	278	345	401
Champion 80E	181	200 bis 254		276	378	479	578	684
Challenger 100	229	251 bis 305		401	585	755		
Challenger 125	273	311 bis 508		614	850	1086		
Challenger 180	394	457 bis 610	637	944	1298			
Challenger 240	508	610 bis 864	897	1322	1864			
Challenger 330	711	838 bis 1092	1652	2454	3304			

Tabelle B.14, Typenbezeichnung des Imlochhammers mit eigenem Druckluftbedarf in Abhängigkeit der Bohrlochdurchmesser bzw. Außendurchmesser des Imlochhammers von der Firma NUMA, USA [1]

Ein Beispiel für dieses Verfahren, ist ein Projekt in Kanada (Britisch Columbia), das mit dem Hammer Champion 80H im Festgestein mit Geröll (Cobble) ausgeführt wurde.

- Vortriebslänge: 31 m
- Durchmesser: 203 mm
- Luftbedarf: 212 l/sec in 13,6 bar
- Vortriebsleistung: 16 m/h (für die Pilotbohrung)

Abbildung B.65, Schnitt auf einem Imlochhammer Champion 80 H von Firma NUMA [41]

Die Tabelle B.15 zeigt den erforderlichen Druckbedarf des NUMA-Hammer-Modells Champion H, der von seinem Durchmesser und dem vorhandenen Betriebsdruck abhängig ist:

TYP	Bohrlochdurch-messer [mm]	Durchmesser [mm]	Gewicht [kg]	Länge mit Bohrkopf [mm]	Schlagleistung [Schläge/min]	Betriebsdruck [bar]
80H	216 bis 305	181	138	1229	1300	10,2
120H	321 bis 406	257	306	1381	1225	10,2
180H	457 bis 610	394	1492	2229	950	13,6
240H	610 bis 864	508	2488	2388	925	13,6
330H	838 bis 1092	711	5707	2680	925	13,6

Tabelle B.15, Technische Daten des NUMA-Hammer- Modells Champion H [1]

Die Aufweitbohrung wird im Prinzip mit gleichen Räumern wie das Spülbohrverfahren mit Flüssigkeit angewendet, wobei die Flügel der Räumer mit Hartmetallstiften bestückt werden. In einer Kombination aus Bodenentnahme und Bodenverdrängung erfolgt die Aufweitbohrung mit Hilfe der Druckluft im Lockergestein bzw. trockener, nichtbindiger und lockerer Lagerung.

Dieses Verfahren wird im Festgestein aber auch für standfestes, trockenes Lockergestein eingesetzt und es erzielt drei- bis vierfach höhere Vortriebsgeschwindigkeit als das Verfahren mit Flüssigkeitsspülung. Das gilt auch in Böden aus Anhydrit, Kalkstein sowie Dolomit, da in diesem Verfahren nicht mehr mit Spülungsverlust zu rechnen ist.
Nach Angaben der Hersteller sind Bohrungen bis 500 m Länge und 600 mm Bohrlochdurchmesser im Lockergestein durchgeführt worden. Im Schiefergestein wurde dieses Verfahren vorteilhaft mit einaxialer Druckfestigkeit bis 133 N/mm², in Bohrlochdurchmesser bis 600 mm, und im Fels mit Festigkeit von bis 250 N/mm² bis 250 mm angewendet [1].

In Abhängigkeit von der Bohrlänge ist auch ein genügend großer Ringraum für Bohrkleinaustrag notwendig. Die Werte lauten, nach Angaben der Firmen, wie unten:

- Für Bohrlänge < 20 m: Einen Überschnitt > 20 % x DN/OD
- Für Bohrlänge > 20 m: Einen Überschnitt > 40 % x DN/OD

Als Vorteil gegenüber dem Verfahren mit Spülflüssigkeit sind nachfolgende Faktoren zu nennen [1]:

- Reduzierung des Flächenbedarfs für die Baustelleneinrichtung bis zu 15 %
- Wegfall von Ausrüstung und Kosten für die Bohrspülung und eigenen Spülungsumlauf
- Direkte Deponierbarkeit des Bohrkleins
- Vermeidung von Schäden durch Entweichen der Bohrspülung
- Einsparung von Bohrkosten bis 25 %
- Höhere Bohrleistung
- Drehend-schlagendes Bohren mit besserer Leistung gegen Hindernisse
- Witterungsunabhängig (Luft gefriert nicht)

Der Nachteil dieses Verfahrens ist die Staubentwicklung, die sich problematisch zeigt, falls sie durch Wasserzugabe nicht eingedämmt wird.

In diesem Verfahren sind bis jetzt einige Systeme mit Besonderheiten entwickelt worden. Das Prinzip dieses Systems beruht auf dem Spülbohrverfahren. Der Baugrund wird mit einer Spülbohrlanze entweder drehend durch Wasser oder Polymeren oder drehend-schlagend durch Luft befördert. Als Beispiel kann das System GRUNDOPIT (Abbildung B.66) genannt werden, welches im Fels (max. Druckfestigkeit 240 N/mm²) bis 25,0 m Länge und 80 mm Durchmesser ungesteuert und im Lockergestein gesteuert (kurvengelenkig) bis 80 m Länge und bis 200 mm (mit Aufweitbohrung) einsetzbar ist.

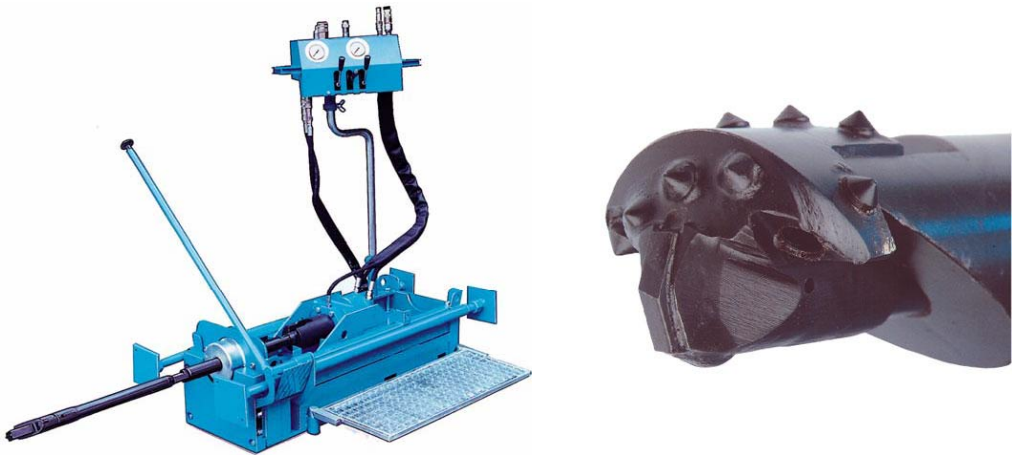


Abbildung B.66, Das System GRUNDOPIT von Tracto-Technik, Deutschland, Aufbau des Bohrgerätes und Felsbohrkopf (Hammerbohrlanze), für Einsatz im Hartgestein bis 25 m Länge und 80 mm Durchmesser [42]

3 Bemannt arbeitende Verfahren Rohrvortrieb

(Schildmaschinen) (engl.: Shieldmachines)

Rohrvortriebsverfahren, auch Rohrpressung oder hydraulische Rohrvortrieb genannt, wird in gerader oder gekrümmter Linienführung durch einen steuerbaren Schild von einem Startschacht oder einer Startbaugrube vorgetrieben.
Dabei wird der Boden an der Ortsbrust von Hand mittels mechanischer Einrichtungen oder durch Flüssigkeitsdruckstrahlen abgebaut und mechanisch, hydraulisch oder pneumatisch durch den vorgetriebenen Rohrstrang zum Startschacht oder zur Startbaugrube gefördert [1], [7].
Die Vortriebsrohre besitzen dabei eine Doppelfunktion, zum einen die der dauernden Stützung der Ausbruchleibung oder des aufgefahrenen Hohlraumes und zum anderen die des Leitungsbauwerkes (endgültiger Ausbau) im Falle des einschaligen Ausbaus [1].

Schildmaschinen

Eine Schildmaschine [7] ist jede Maschine, die für die Exkavation (Ausbruch) eines Tunnels entweder händisch, mechanisch oder hydraulisch verwendet wird, wobei sich der Schild an der Tunnelauskleidung mit Vortriebs- oder Steuerpressen abstützt.
Schildmaschinen bestehen in Abhängigkeit vom Maschinentyp aus mindestens zwei gelenkig zylindrischen Stahlrohrschüssen, die miteinander verbunden sind [1]:

- Schneidschuss
- Nachläufer

Auf dem Markt gibt es verschiedene Schildmaschinen, die sich insbesondere durch Stützung des Erd- und Wasserdruckes und durch die Art des Abbaus der Ortsbrust unterscheiden. In diesem Zusammenhang wird zwischen zwei Schildgrundtypen unterschieden, den offenen und den geschlossenen Schilden.
Offene Schilde haben keinen druckdichten Abschluss zwischen Ortsbrust und nachfolgendem Rohrstrang. Sie weisen gute Zugänglichkeit zur Ortsbrust und einfache Handhabung auf.
Geschlossene Schilde besitzen eine Druckwand zwischen Ortsbrust und Schildschwanz (Rohrstrang) zum Aufbau eines künstlichen Druckes und werden je nach Stützmittel als:

- Druckluftstützung
- Flüssigkeitsstützung (meist Bentonit-Suspension)
- Erddruckstützung (breiförmiges Bodenmaterial)

angewendet.

1) Schilde mit Druckluftstützung an der Ortsbrust

Der Einsatz erfolgt bei Vortrieben in grundwasserführenden Schichten mit Erdüberdeckung, z.B. bei Grundwasserabsenkung oder bei der Unterfangung offener Gewässer. Hereindrängendes Wasser wird durch einen Luftüberdruck im Vortriebsschild in Gleichgewicht gehalten.
Schilde mit Teilschnittabbau (Kapitel 3.1 unten) sowie Vollschnittabbau (Kapitel 3.2 unten) können in Druckluftschilden angewendet werden.
Auf Grund medizinischer Aspekte wird ein Abbauraum unter Luftüberdruck gesetzt, da die Mineure planmäßig in Druckbereich arbeiten müssen.

2) Schilde mit Flüssigkeitsstützung an der Ortsbrust

Diese Schilde werden auch als Slurry-Schilde bezeichnet und decken die Nachteile der Druckluftschilde im Bodenbereichen mit großer Durchlässigkeit ab. Sie finden beim Vollschnittabbau im grobkörnigen Lockergesteinsbereich von Mittelsand bis Grobkies Anwendung.
Bentonit-Suspension als Stützflüssigkeit wird meistens mit 50 kg Bentonit auf 1000 l Wasser gegen die Ortsbrust (teilweise mit einem Druckluftpolster von 0,1 bar Überdrucks) eingesetzt. Als Konsequenz aus übermäßigen Setzungen und Verbrüchen bei diesen Flüssigkeitsschilden ist eine kontinuierliche, effektive Massenkontrolle über den abgeförderten Boden (Bohrklein) vorzunehmen [7].

3) Schilde mit Erddruckstützung an der Ortsbrust

Diese Schilde werden auch als Erddruckschilde oder EPB-Schilde (engl. Earth Pressure Balanced Schield) bezeichnet. Sie wurden so konzipiert, dass es während des Rohrvortriebes ein nur so großes Bodenvolumen abgetragen wird, wie es der beim Vortrieb erzeugten Kubatur entspricht. Um dies zu erreichen, wird der bei Erddruckschilden gelöste Boden mit Hilfe von Druckluft in einer Kammer an der Ortsbrust unter Überdruck (bis zu drei bar) gesetzt; auf dieser Weise wird der anstehende Erd- und Grundwasserdruck in Gleichgewicht gehalten [Z. 7].

Die Schildmaschinen werden in Abhängigkeit der Abbaumethode an der Ortsbrust wie folgt unterteilt:

- Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau (Teilschnittmaschine)
- Schildmaschinen mit vollflächigem Abbau (Vollschnittmaschine)

Für die oben genannte Systematik der Schildmaschinen wird in Abbildung B.67 verschiedene Maschinenkonzepte zur Stützung der Ortsbrust dargestellt:

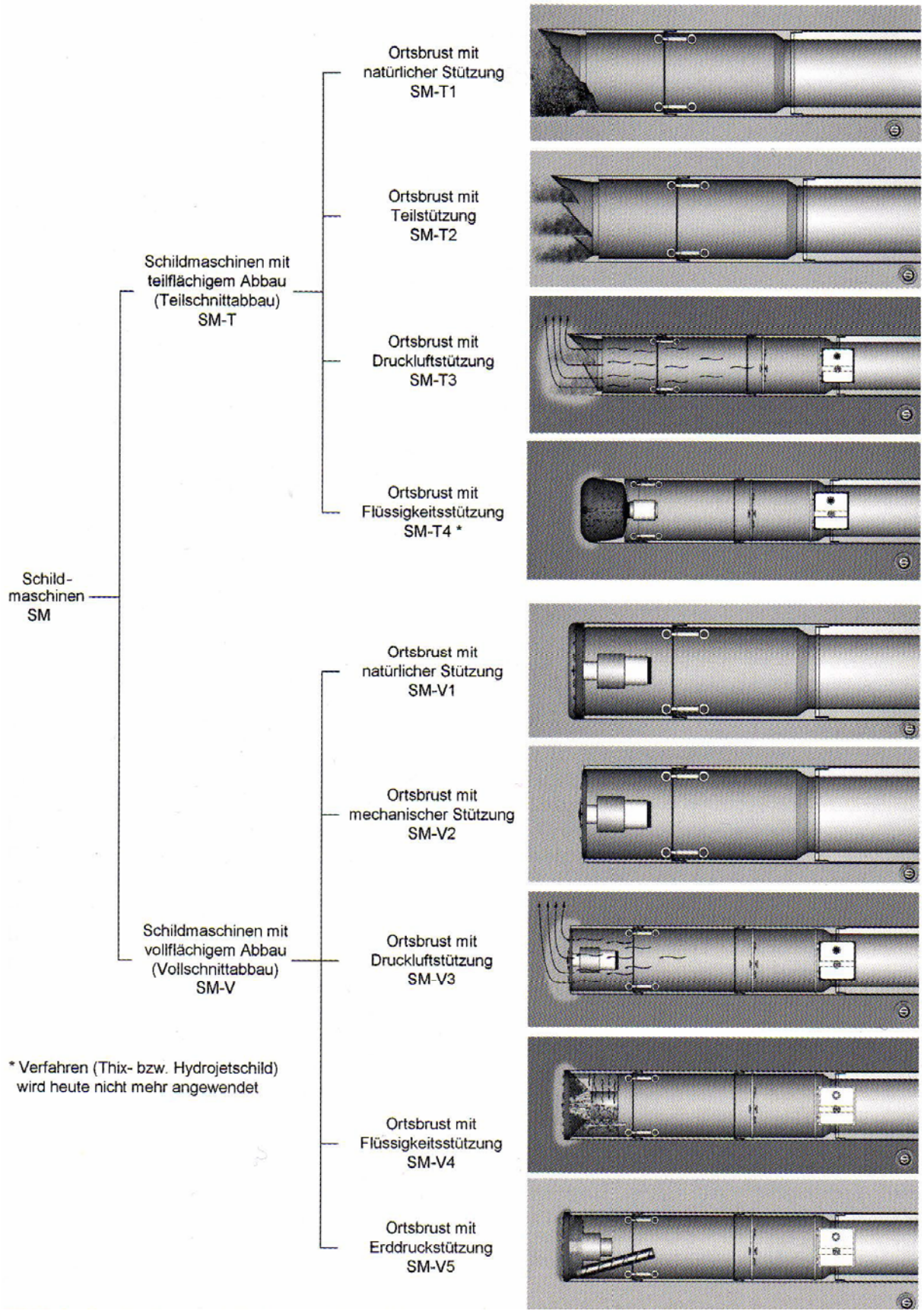


Abbildung B.67, Kombinationsmöglichkeiten der Art des Abbaus mit der Stützung der Ortsbrust bei Schildmaschinen [1]

3.1 Schildmaschinen mit teilflächigem Abbau (SM-T)

Dieses Verfahren, auch Teilschnittabbau genannt, ist durch einen offenen oder geschlossenen Schild (in begehbaren Durchmesser) für das partielle Lösen des Bodens (Locker- und Festgestein) an der Ortsbrust charakterisiert. Das Lösen mit teilflächigem Abbau, ist abhängig von der Abbaumethode und wird in zwei üblichen Methoden unterteilt:

- Teilflächiger Abbau von Hand (Handschild)
- Teilflächiger mechanischer Abbau

3.1.1 Teilflächiger Abbau von Hand (Handschild)

Bei diesem Verfahren als eine nicht mechanisierte offene Schildmaschine handelt es sich um Handabbau durch Handwerkzeuge, sowohl Hacke, Spaten, Schaufel oder Abbauhammer (in lockere Böden) als auch Druckluft- und Hydraulikhammer auf der Basis von Wasserdruck arbeitende Spaltgeräte zur Zerstörung von Hindernissen und Findlingen (Bodenklassen 6 und 7). Handschilde bestehen nur aus Schneidenschuss bzw. einem zylindrischen Stahlmantel mit keilförmiger Schildschneide, hydraulischen Steuerzylindern und einem Druckübertragungsring mit angeschlossenem Schildschwanz (Abbildung B.68).

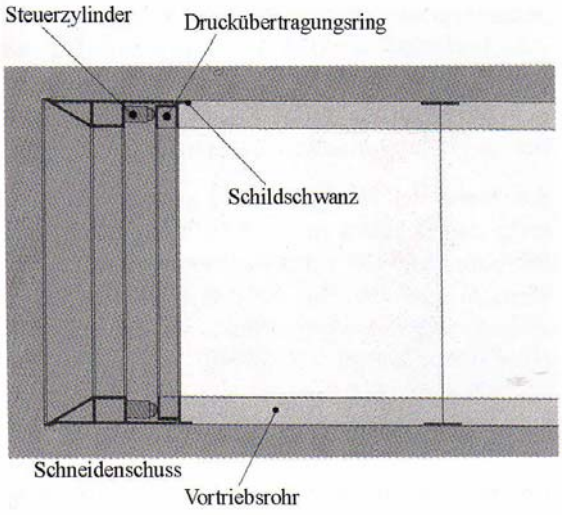


Abbildung B.68, Querschnitt eines Handschildes bzw. Schneidschuh [1]

Der Schildschwanz übernimmt die Einführung und Abdichtung des ersten Vortriebsrohres als ein Schneidschuh [1].

Die Handschilde werden in Abhängigkeit von der Art der Stützung des Erddrucks an der Ortsbrust in vier Gruppen (auch Kombination von denen) wie Abbildung B.69 eingeteilt:

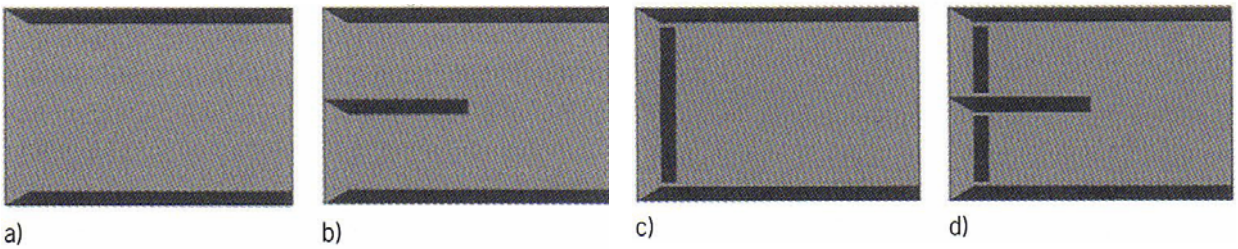


Abbildung B.69, Schematische Einteilung der Handschilde, a) einfacher Handschild mit natürlicher Stützung der Ortsbrust (SM-T1), b) Bühnenschild mit natürlicher Teilstützung (SM-T2), c) Handschild mit Brustplatten – Ortsbrust mit mechanischer Teilstützung(SM-T1 bis SM-T4), d) Handschild mit Bühnen und Brustplatten (kombinierter natürlicher und mechanischer Teilstützung) [1]

A) Einsatzbereich

Handschilde werden in Kurzen Vortriebsstrecken (unter 50 m) angewendet, wenn die aufwändigere Maschinentechnik unwirtschaftlich wirken würde. Sie werden in Sonderquerschnitten wie Rechteck- und Maulprofilen mit begehbaren Querschnitten eingesetzt.

Die Bühnenschilden werden in Abhängigkeit des Schilddurchmessers entweder als Arbeitszellen oder Arbeitsbühnen sowie ausklappbare Brustplatten (für die Stützung) in großen Durchmessern bis DN/OD 4420 [1], und für kleinere Durchmesser durch so genannte Sandbühnen konzipiert (Abbildung B.70). Die Arbeitsbühnen weisen einen ausreichenden Arbeitsraum für das Personal auf.

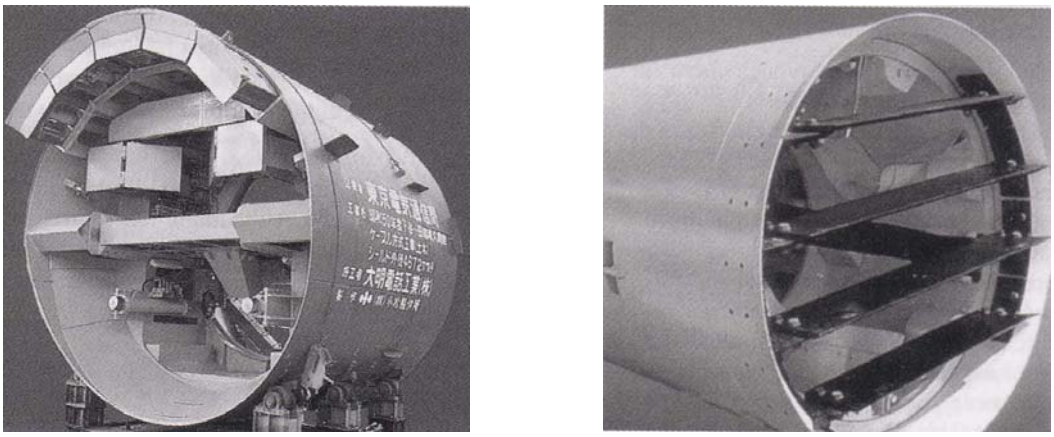


Abbildung B.70, Handschild (DN/OD 4672) mit Arbeitsbühne und ausklappbaren sowie hydraulisch ausfahrbaren Messern in der Firste (links), und Handschild mit Sandbühnen (rechts) [1]

B) Geotechnik

Die geotechnische Einsatzbereiche für Handschilde werden nach der Methode der Abstützung bzw. Systematik der Maschinen unterteilt.

Handschilde mit natürlicher Stützung der Ortsbrust (SM-T1) können in bindigen Lockergesteinen mit steif-halbfester und fester Konsistenz (LBM 2 und LBM 3 bzw. LBO 2 und LBO 3) nach [10] und mit einer Druckfestigkeit von ca. 1,0 N/mm² eingesetzt werden. Deren Anwendung erfolgt auch im Festgestein ab einer Druckfestigkeit ≥ 5 N/mm² (BK. FD 2 bis 4 bzw. FZ 2 bis 4).

Handschilde mit Teilstützung (SM-T2) werden in nicht-bindigen Böden (durch Hilfe der Brustplatten oder Arbeitsbühnen) mit locker bis dicht gelagerter Lagerung (LNE 1 bis LNE 3 bzw. LNW 1 bis LNW 3) eingesetzt. In diesem Sinne soll der Boden einen Korngrößenteil von < 0,02 mm unter 10 % besitzen.

In wechselnden Baugrundverhältnissen gibt es die Möglichkeit, durch abmontierbare Sandbühnen die Stützmöglichkeit zu variieren. Das heißt, es wird im günstigsten Fall die gesamte Ortsbrust ohne einschränkenden Einbauten bearbeitet.

Bei Begegnung von Hindernissen und Findlingen werden diese durch die oben erwähnten Hammergeräte problemlos beseitigt. In Sonderfällen ist der Gesteinsabbau auch durch Sprengen (Ausbrechen des Gesteins mit Sprengladung) möglich. Beim Sprengen muss der Schildinnenraum vor Beschädigungen geschützt werden, indem er mit einem Vorhang aus Stahlketten abgedeckt wird; und technische Einrichtungen sollen mit Stahlplatten abgedeckt werden [1].

3.1.2 Teilflächiger mechanischer Abbau

Schildmaschine mit teilflächigem mechanischem Abbau ist gleich konzipiert wie systematische Ortsbruststützung von Handschild, wie z.B. offene (SM-T1 und SM-T2) oder geschlossene Schilde (SM-T3 und SM-T4). Der Unterschied liegt nur darin, dass anstatt von Handabbau für das Lösen des an der Ortsbrust anstehenden Locker- und Festgestein eine installierte Abbaumaschine benötigt wird.

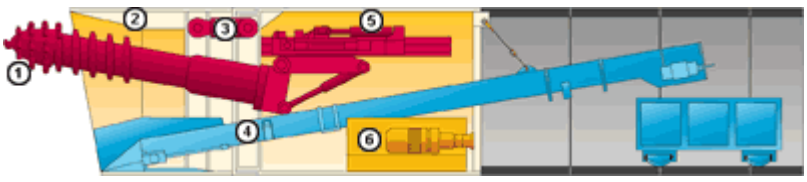
Die Teilschnittmaschine ist im Maschinenrohr befestigt und hat einen mit einem Teleskop versehenen Maschinenarm mit entweder einer entsprechenden Schrämmaschine (Fräskopfbestückung mit Längs- oder Querschneidkopf) (Abbildung B.71) oder einem Exkavator mit Grablöffel (Abbildung B.72).

Beide Abbaumöglichkeiten (*Exkavator oder Schrämmaschine*), mit eigenen Varianten, hängen vom anstehenden Baugrund ab.

Das Bohrgut wird gleich nach dem Abbau durch einen Bandförderer, Kettenförderer oder eine Förderschnecke zur Fördereinrichtung übergeben. Die Fördereinrichtung kann wie bei Handschilden in den folgenden drei Varianten charakterisiert werden:

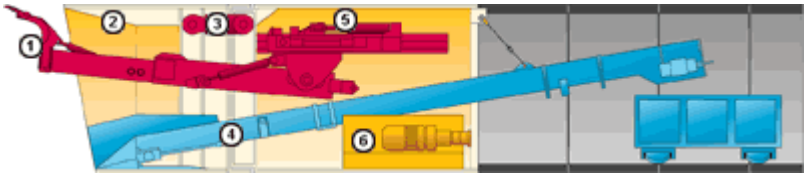
- Bandförderer
- Transportkarren
- Förderkübel

Die Schildmaschine wird direkt vor Ort durch einen Maschinenführer (Operator) kontinuierlich gesteuert.



1. Schrämkopf
2. Schild
3. Steuerzylinder
4. Förderband
5. Maschinenrohr (Nachläufer)
6. Hydraulik-Aggregat

Abbildung B.71, Schnitt einer Schildmaschine mit teilflächigem mechanischem Abbau, durch Schrämkopf. Sie wird in Festgestein bis einachsialen Druckfestigkeit von 80 Mpa (N/mm²)eingesetzt [45]



1. Excavator
2. Schild
3. Steuerzylinder
4. Förderband
5. Maschinenrohr (Nachläufer)
6. Hydraulik-Aggregat

Abbildung B.72, Schnitt einer Schildmaschine mit teilflächigem mechanischem Abbau durch Exkavator. Je nach Bodenbeschaffenheit kann Universalbagger Schaufel, Reißzahn oder Hydraulikhammer verwendet werden [45]

A) Einsatzbereich

Offene Schildmaschinen mit mechanischem teilflächigem Abbau besitzen Vorteile wie geringere Kosten und vielflächige Einsatzmöglichkeiten im grundwasserfreien Locker- und Festgestein. Vortriebslänge bis 1.000 m wurde mit diesem Verfahren erfolgreich ausgeführt.
Die konstruktive Ausbildung des Exkavators ist von der Lösbarkeit des anstehenden Bodens abhängig. Glatte Löffelschneiden in Verbindung mit einem flachen Löffelrücken schaffen ein gutes Profilieren für sandige und steinige Böden.
Schrämmaschinen werden auf einer schwenkbaren Ausleger montiert und rotieren je nach Bauart längs oder quer zur Auslegerachse. Die Längsschneidköpfe kommen am meisten zur Anwendung, da sie eine genaue und glatte Oberfläche bewerkstelligen. Daneben bewirken sie auch ein besseres Abfördern des Bohrgutes mit Hilfe der am Ausleger integrierter förderschneckenartiger Wendel.

In Abhängigkeit der Gesteinsarten wird (ab DN/ID 1400 [1]), unter Nutzung desselben Basisgerätes, ein umtauschbares Abbauwerkzeug (sowohl Exkavator als auch Schrämausleger) in kurzer Zeit möglich (Abbildung B.73). Hierfür ist eine installierte Hebevorrichtung in der Schildfirste und eine Transportwagen erforderlich.

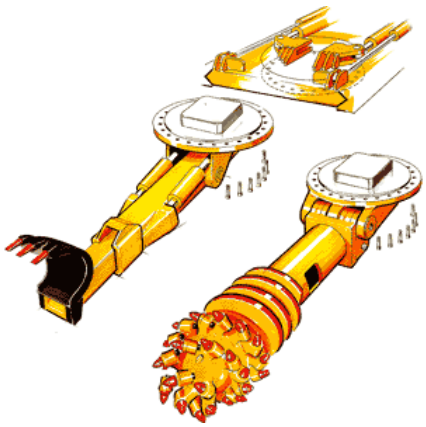


Abbildung B.73, wechselbares Abbauwerkzeug nach dem Prinzip Herrenknecht AG [45]

B) Geotechnik

Die Schnittmaschinen mit exkavator sind im bindigen und nichtbindigen Lockergestein bzw. gebrächlichen, zerklüftete Festgestein mit einer einaxialen Druckfestigkeit > 60 N/mm² und Klüftigkeitszahl (Kluftziffer) > 20 einsetzbar [1].
Schrämmaschinen werden im standfesten bis nachbrüchigen bzw. nachbrüchigen bis gebrächlichen Festgestein (Vortriebsklassifizierung gemäß ÖNORM B 2203 – Untertage-bauarbeiten) mit einaxialen Druckfestigkeiten von 5 bis 80 N/mm² eingesetzt.

Durch Wasserbedüsung oder Luftabsaugung kann der entstehende Staub und die Wärme der Abbauwerkzeuge bei hartem Gestein beseitigt werden.
Die extrem hohe Temperatur (zw. 600 bis 800 °C) der Rundschaftmeißeln beim Fräsen (Schrämen) im harten Gestein verringert die Widerstandsfähigkeit des Schneidkopfes. Es führt dann zu niedrigere Vortriebsleistung mit hohen Verschleißerscheinungen des Schneidkopfes.
Über das Arbeiten im Festgestein hinaus (trotz Aussage in form der einaxialen Druckfestigkeit) muss neben Abrasivität des Felses (siehe Kapitel A.4.4.2) die Lage und Beschaffenheit der Klüfte als Baugrunderkundungen durch unterschiedliche Untersuchungen ermittelt werden.
Beim Bohren in lehmigen und schluffigen Abschnitten mittels Schrämmaschine muss auf Grund der Verklebung der Bohrkopf mit Leistungsverminderung gerechnet werden.

3.1.2.1 Ortsbrust mit Druckluftstützung (SM-T3)

Bei dieser Maschine handelt es sich um geschlossene Schilde auf der Basis der Schildtypen SM-T1 und SM-T2, bei denen Luft mit einem Überdruck mehr als 0,1 bar beaufschlagt wird, um die Arbeitskammer von eindringendem Wasser frei zu halten. Hiermit wird die Standfestigkeit des an der Ortsbrust anstehenden Bodens durch Entwässerung erhöht.
Durch eine konstante Luftüberdruck (Abbildung B.74) an der Firste, verdrängt die Luft das Wasser aus den Poren des anstehenden Baugrunds und diese geht von einem zunächst wassergesättigten in einen teilweise wassergesättigten Zustand über [1]. Durch diesen Übergang ergibt sich eine Erhöhung der Festigkeit des anstehenden Bodens. Zusätzlich bildet sich eine Zwischenphasenströmung aus, und durch den Potenzialabbau im Strömungsfeld ergibt sich eine Stützung der ortsbrust.

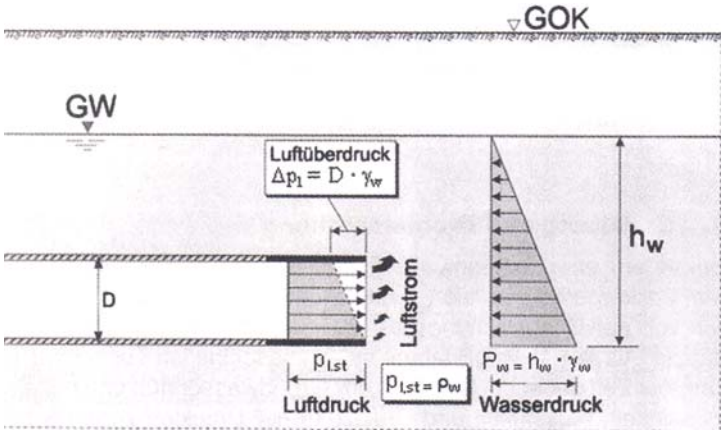


Abbildung B.74, konstante Luftüberdruck an der Firste gegenüber dem anstehenden Wasser [1]

Bei diesem Luftdruck muss die Arbeitskammer (der Bereich von der Ortsbrust) durch eine Druckwand gegen die offene Atmosphäre luftdicht abgeschlossen werden. Es handelt sich dabei um drei Arten von Druckluftschleusen, nämlich Materialschleuse (für Materialien,

Bohrgut oder Geräte), Personalschleuse und eine kombinierte Schleuse für beide in engen Platzverhältnissen.

Die Personalschleuse besteht jedenfalls aus zwei direkt miteinander verbundenen Haupt- und Nebenkammern. Sie besitzen laut Gesetz eine lichte Weite von mind. 600 mm, eine lichte Höhe von ≥ 1600 mm und Mindestlänge von 1,8 m. Hauptkammer sind für drei Personen und Nebenkammer für zwei Personen (mit einen Luftraum ab 0,75 m³ pro Person) vorgesehen.

Schildmaschinen mit Druckluftstützung finden Anwendung in Gebirgen, die Grundwasserabsenkung nicht zulassen oder schädliche Auswirkung verursachen sowie bei Unterquerung von Gewässern.

Die Einsatzgrenzen des Vortriebes unter Druckluft sind von den folgenden wichtigen Faktoren abhängig:

- Zugelassener Überdruck bis maximal 3,6 bar
- Die Durchlässigkeit des Baugrunds (siehe Abbildung B.75 unten)
- Mindestüberdeckung über dem Rohrscheitel
- Die Wirtschaftlichkeit, die nur in größeren Vortriebslängen zu erreichen ist
- Zeit- und Kostenaufwand wegen Ein- und Ausschleusen von Personen und Material

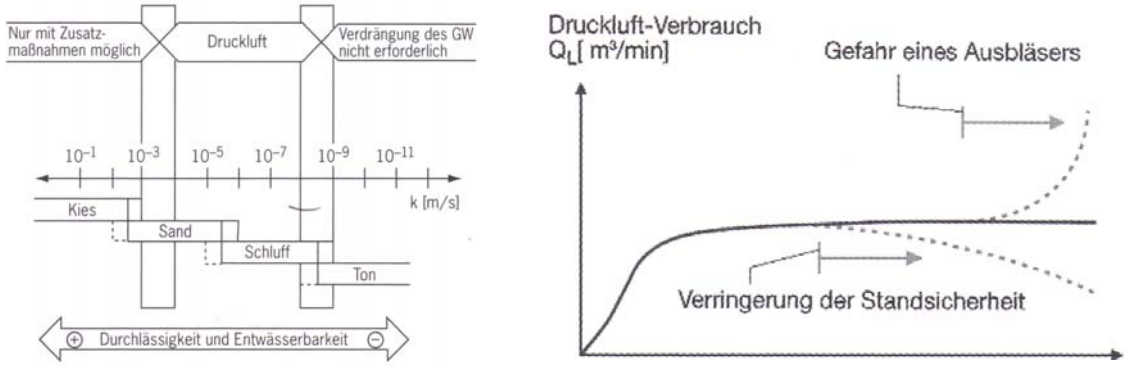


Abbildung B.75, Einsatzgrenze der Druckluft in Abhängigkeit der Durchlässigkeitsbeiwert (links), optimierte Darstellung des Druckluftverbrauches nach Druckzeit (rechts) [1]

Die Abbildung B.75 zeigt den qualitativen (optimalen) Druckluftverbrauch in Abhängigkeit der Durchlässigkeit des Gebirges.

Für den Luftverbrauch beim Vortrieb unter offenen Gewässern gelten die untenstehenden Faustformel [7]:

- Q_L [m³/min] = 3,66 . DA² in normalen wasserführenden Böden; wie Mittelsand
- Q_L [m³/min] = 7,32 . DA² in stärker durchlässigen Böden; wie Kies und Kiessand

DA: Schildaußendurchmesser in m

- Ein Beispiel für diese Anwendung ist beim Vortrieb mit mechanisch teilflächigem Abbau. Es besteht die Möglichkeit, die Abbaukammer mit Druckluft zu beaufschlagen und die Maschine von einem hinter der Druckwand unter atmosphärischen

Bedingungen arbeitenden Maschinenführer (durch ein Sichtfenster) zu bedienen (Abbildung B.76) [1].

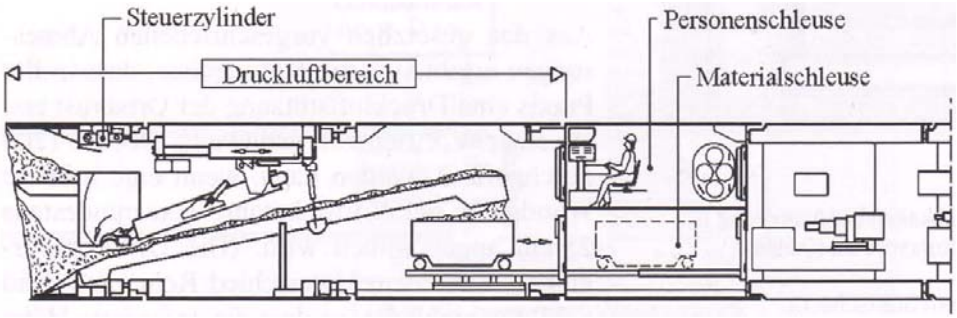


Abbildung B.76, Schnitt einer Teilschnittmaschine mit mechanischem Abbau und im Nachläufer untergebrachtem Schleusensystem [1]

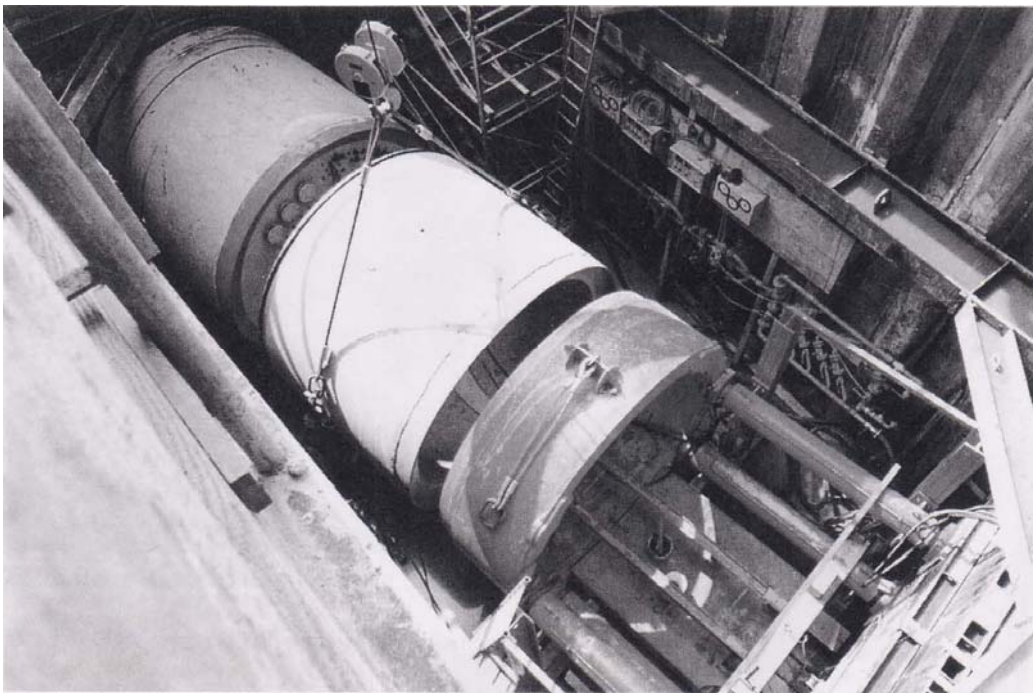


Abbildung B.77, Spundwandkasten als Vorpressschacht für den Rohrvortrieb mittels Schildmaschine [7]

3.2 Schildmaschinen mit vollflächigem Abbau (SM-V)

Diese Maschinen basieren auf dem Prinzip, dass sie in einem Arbeitsgang die gesamte Ortsbrust durch einen mit entsprechenden Abbauwerkzeugen ausgerüsteten Bohrkopf bearbeiten und lösen [1]. Der konzeptionelle Abbau des Gebirges bei den vollflächigen Maschinen ist in der Abbildung B.67 aufgeführt.

Struktur und Gestaltung des Bohrkopfes ist im Prinzip mit dem Verfahrenssystem des Mikrotunnelbaus (Kapitel B.2.2.2) identisch. Der Bohrkopf übernimmt hier sowohl die abbauende als auch die den Erddruck stützende Funktion. Man unterscheiden folgende Bohrköpfe:

- Schneidrad
- Schürfscheibe
- Felsbohrkopf

In diesem Kapitel wurde auf Grund ihrer Anwendbarkeit auf die Schildmaschine mit Flüssigkeitsstützung eingegangen. Diese Maschinen werden ständig von Herstellern *Herrenknecht AG* (Deutschland) als Marktführer in der Welt, *Kawasaki Heavy Industries Ltd.* (Japan), *Akkerman Inc.* (USA) weiterentwickelt und am Markt durchgesetzt.

Die Bohrköpfe weisen zur Erzeugung des erforderlichen Überschnittes immer einen größeren Durchmesser (ca. 40 mm größer) als der Schildmantel auf. Die Produktrohre werden meist auch mit einem kleineren Durchmesser als der Schildmantel verwendet [21]. Der Überschnitt verhindert die Beschädigungen des Schildmantels und verringert die Mantelreibung und somit die Vortriebskraft beim Rohrvortrieb.

In nicht standfesten Böden muss dafür gesorgt werden, dass sich das Erdreich nicht wieder an das Rohr anlegt. Dazu wird eine Stützflüssigkeit (Schildmaschinen SM-V4) in den Überschnitt gepresst, die gleichzeitig auch eine schmierende Funktion hat und die Mantelreibung stark reduziert. Als Schmier- und Stützmittel kommen meist Bentonit, aber auch spezielle Polymere zum Einsatz [21].

Die Fließgeschwindigkeit und Eindringtiefe der Suspension im Boden hängt vom Porenquerschnitt des Erdreichs und den Fließeigenschaften des Schmiermittels ab. Die Viskosität bzw. Dichte des Schmier- und Stützmittels muss somit auf die jeweiligen Bodenbeschaffenheiten (Durchlässigkeit) abgestimmt werden. Die Voraussetzungen zur Erzielung optimaler Bedingungen sind:

- Genaue Erkundung des Gebirges, der Korngröße und Kornzusammensetzung
- Ermittlung des Gebirgsdrucks und damit des Einpressdrucks für die Bentonitsuspension
- Bestimmung des Mischungsverhältnisses Bentonit - Wasser aufgrund der ermittelten Korngrößen
- Richtige Aufbereitung der Bentonitsuspension

- Aufrechterhaltung der Bentoniteinpressung über die gesamte Vorpressstrecke und die gesamte Vorpresszeit

Es ist zu beachten, dass die Stabilitätsgrenze der Suspension bei einem Anteil von mindestens 40 kg Bentonit je m³ Wasser liegt [17].

Die geotechnische Einsatzbereiche werden von den Bodenklassen in der DIN 18319, und in Österreich als Ausbruchklassen nach ÖNORM B 2203 (Untagebauarbeiten) beeinflusst.

In dieser Diplomarbeit wurde die Anwendbarkeit bzw. Einsatzbereiche der drei konzeptionellen Verfahren SM-V1, SM-V4 und SM-V5 bearbeitet.

3.2.1 Ortsbrust mit natürlicher Stützung (SM-V1)

Diese Maschinen erfordern eine standfeste Ortsbrust; das mit Hilfe eines Schneidrades (Abbildung B.78) gelöste Bohrgut wird von einem Förderband oder einer Förderschnecke an nachgeschaltete Fördereinrichtung (Förderband oder gleisgeführte Förderkübel etc.) übergeben.

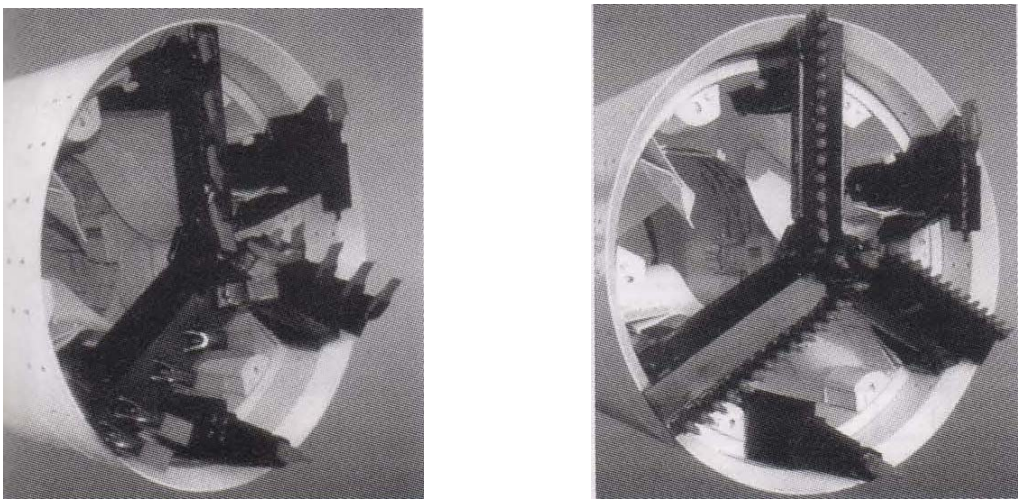


Abbildung B.78, offene Schildmaschinen mit Schneidrad und natürlicher Stützung an der Ortsbrust, (links) geeignet für Lockergestein, (rechts) für weiches bis mittelhartes Festgestein [1]

Der geotechnische Einsatzbereich wird nach Normen wie unten definiert:

DIN 18319: Bodenklassen LBO 2 und 3 bzw. LBM 2 und 3 (grundwasserfrei) sowie KNE 3 und LNW 3 - einaxiale Druckfestigkeit > 1,0 N/mm² und die Kohäsion C_u < 30 KN/m² gegen Senkungen an der Geländeoberfläche [1]

ÖNORM B 2203 [6]: In Gebirgsgüteklassen bzw. Ausbruchsklassen eins bis vier (standfestes bis gebrechliches Festgestein) mit einer σ_B von 5 bis 300 N/mm²

3.2.2 Ortsbrust mit Flüssigkeitsstützung (SM-V4)

Das Prinzip der Arbeitsweise und des Ablaufs beim Rohrvortrieb mit Flüssigkeitsstützung ist ebenfalls identisch mit Mikrotunnelbau mit hydraulischer Förderung (Kapitel B.2.2.2), dass hier als Slurryschild benannt wird. Die Flüssigkeitsförderung besitzt in Europa und auf dem

amerikanischen Kontingent bis 90 % des Einsatzes beim Bau von Verkehrstunnel, Stollen (bis DN 14.200) und Leitungen [1]. Sie unterscheiden sich in Abhängigkeit des Stützprinzips zwischen zwei konzeptionelle Maschinentypen von der Firma Herrenknecht AG wie unten:

- Slurryschild [6]
- Hydroschild

Neu entwickeltes Maschinensystem ermöglicht die Umstellung dieser Verfahrentypen auf einander. Die Umstellung von Hydro- auf Slurryschild hat einen effektiveren Einfluss auf Standsicherheit der Ortsbrust im Festgestein oder steif-halbfesten und festen bindigen Lockergesteinen. Mit Verschließen der kommunizierende Röhre Nummer 5 und der Leitungen Nummer 7, 8 und 10 (unter Tage) steht der Druckkammer unter atmosphärischem Druck und wird die Ortsbruststützung nur über Suspensionskreislauf reguliert (Abbildung B.79) [1].

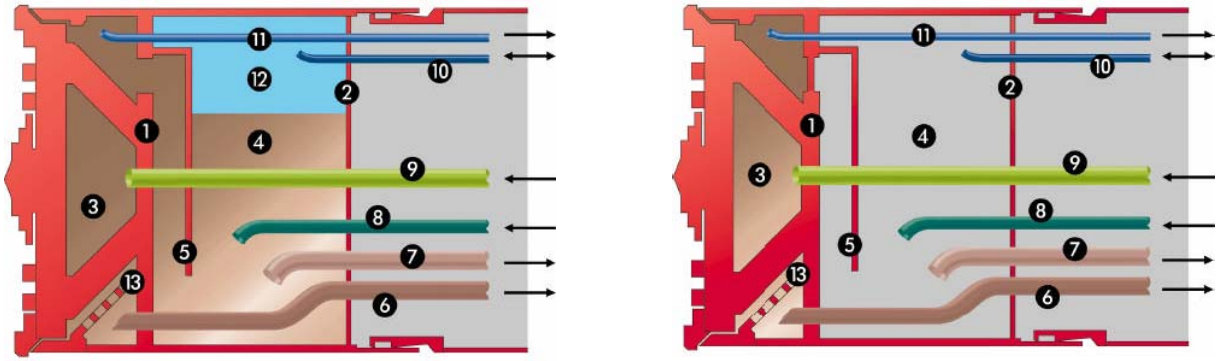


Abbildung B.79, Funktionsprinzip von Mixschild bzw. Hydroschild (links) mit möglicher Umstellung auf Slurryschild (rechts), 1. Tauchwand, 2. Druckwand, 3. Abbaukammer, 4. Druckkammer, 5. kommunizierende Rohre, 6. Slurry-Leitung (Abförderung Abbaukammer), 7. Förderleitung Druckkammer, 8. Speiseleitung (Zuförderleitung) Druckkammer, 9. Speiseleitung Abbaukammer, 10. Druckluftzu- und –abfuhr, 11. Abbaukammer-Entlüftung, 12. Druckluftpolster, 13. Saugrechen [17]

Beim Hydroschild befindet sich ein Druckluftpolster zur Steuerung des Drucks an der flüssigkeitsgestützten Ortsbrust. Es hilft z.B. beim Anfahren von Störzonen in einem plötzlichen Verlust der Stützflüssigkeit. Die Störzone kann durch entsprechende Durchlässigkeit des Baugrundes oder durch einen vorhandenen Hohlraum verursacht werden [17].

Der Vorteil liegt darin, dass die Regulierung des Stützdruckes und die Durchflussmenge des Förderkreislaufes entkoppelt sind. Das führt zu einer Stützdruckregulierung und einer optimalen Ortsbruststützung in inhomogenen Böden und bei Schwankungen der Vortriebsgeschwindigkeit. Die Regulierung des Stützdruckes wird zwischen 0,05 bis 0,1 bar durch entsprechende Messgeräte sorgfältig überwacht [1].

[6] Siehe Kapitel B.2.2.2 Mikrotunnelbau mit hydraulischer Förderung.

A) Einsatzbereich

- Slurryschilde werden im Prinzip beim DN/ID < 1500 (Mikrotunnelbau) angewendet. Die Hydroschilde sind aber ab DN/ID 1600 bis zu DN/ID 3000 einzusetzen, da aus geometrischen Gründen erst bei größeren Durchmessern ein ausreichendes Volumen für das Druckluftpolster vorhanden sind [1].
- Die maximale Vortriebslänge sind bei Slurry- und Hydroschilden von der Vortriebsrohrnennweite abhängig und sind wie in der untenstehenden Tabelle zu unterscheiden [1]:

Nennweite Vortriebsrohr DN/ID	Vortriebslänge [m]
1200	500
1500	950
2000	1200
3000	2500

- Für die Mindestüberdeckungshöhe gelten nach Angaben der Herstellern unterschiedliche Aussagen [1]:
  - Japanische Hersteller geben für 250 ≤ DN/ID ≤ 2400 eine Überdeckungshöhe ≥ 2,50 m oder 1,5 x D_S (Durchmesser des Schildes).
  - In Europa kann bis 1 x D_S und unter Umständen bis 0,8 x D_S betragen.
  - In Österreich ab 1,0 m [55]

B) Geotechnik

Schildmaschinen mit Flüssigkeitsstützung werden durch mögliche Bohrköpfe (Schneidrad, Schürfscheibe und Felsbohrkopf) in allen Locker- und Festgesteinen (LN und LB nach DIN 18319) bis Zusatzklassen S 2 (Steingröße bis 300 mm und Steinanteil über 30 %) eingesetzt.
In Bodenklassen LNE 1, LNW 1 (locker gelagerten nichtbindigen Böden), LBM 1 und LBO 1 (breiig weichen bindigen Lockergestein) können die Steine und Blöcke von Zusatzklassen S 3 und S 4, aus dem Grund der fehlenden Einspannung im Boden, durch den Bohrkopf nicht zerstört werden. Die Steine, die im angrenzenden Baugrund nicht verdrängt werden können, können an der Ortsbrust (durch Bohrkopf zugänglich) von Hand zerkleinert, oder über eine Hilfsbaugrube (-schacht) entfernt werden [1].

Der optimale Einsatzbereich von Schildmaschinen mit Flüssigkeitsstützung ist in Abhängigkeit der Kornverteilung der Abbildung B.80 zu entnehmen. Diese Böden ermöglichen eine sichere Ortsbruststützung und sind nach Abförderung einfach zu separieren.

Sie werden auch unter dem Grundwasserspiegel bis 30 m (3 bar) und im Sonderfall bis 60 m eingesetzt.

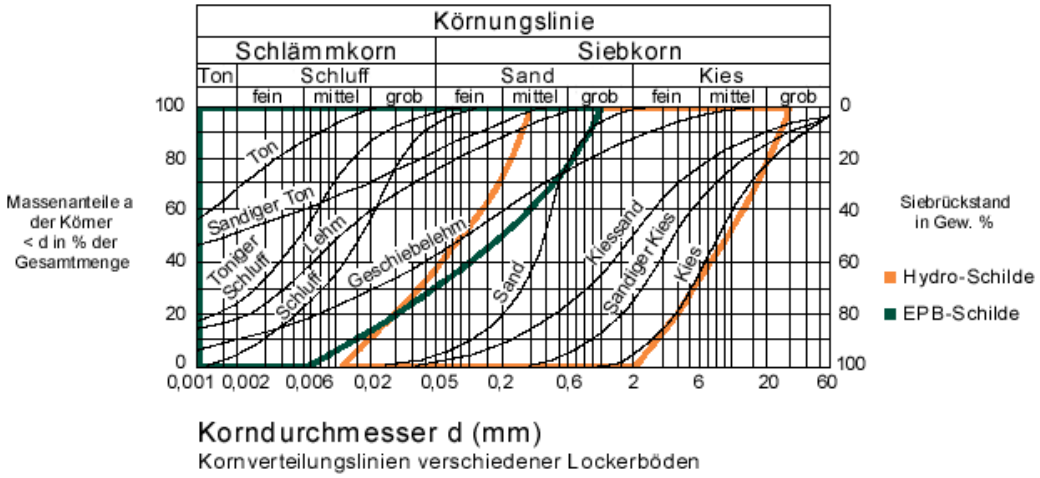


Abbildung B.80, optimaler Einsatzbereich in Abhängigkeit der Korngrößenverteilung: Hydroschild ist ideal für wasserführenden schluffigen Sanden, Fein- bis Grobsanden und Kiessanden. EPB-Schild wird im Boden mit wesentlichem Anteil aus Sanden, Schluffen und Tonen eingesetzt [17].

Beim Vortrieb mit diesen Schildmaschinen muss auf Verklebung der Abbauwerkzeuge durch tonige Böden geachtet werden. Eine Verklebung führt zu einer Verringerung der Vortriebsleistung (gegenüber nicht klebende Böden) bis zu 70 % [1]. Die Verklebung führt zu drei verfahrenstechnischen Problemen wie:

1. Adhäsion (Haftung Stahl und Bohrklein),
2. Kohäsion (Verklumpung des Bohrkleins) und
3. Dispersität (Verteilung des Bohrkleins in der Stützflüssigkeit)

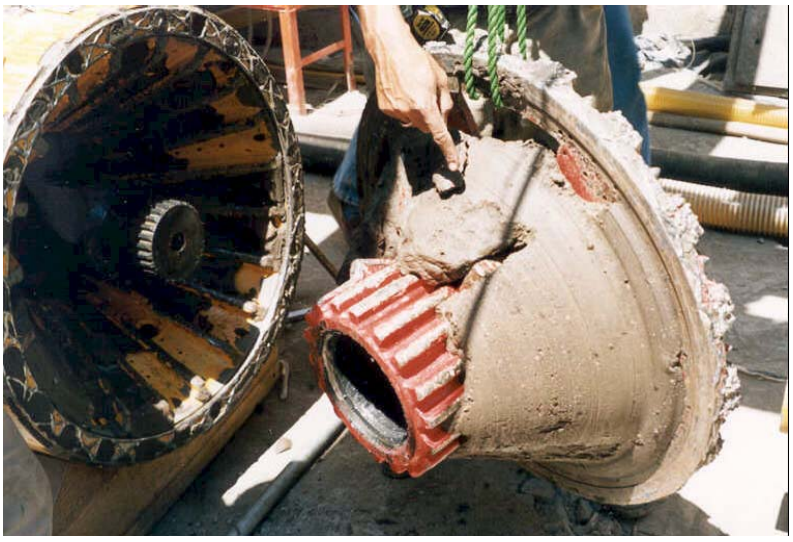


Abbildung B.81, Verklebung des Bohrkopfes durch bindigen Böden [17]

Für Slurry-Schilde in klebrigen und stark kohäsiven Böden hat die Firma Herrenknecht AG die sog. Niederdruckbedüsung entwickelt. Es sind je nach Maschinendurchmesser in der Abbaukammer vier bis acht Vollstrahldüsen eingebaut (Abbildung B.40 in B.2.2.2). Die Strahlen zerschneiden Tonbrocken während des Abbaus und sind so ausgerichtet, dass der

Rechen in der Abbaukammer frei von Verklebungen bleibt und nicht verstopft wird. Damit wird das Drehmoment des Schneidrades verringert und der Wirkungsgrad erhöht. Das führt auch zu einer Steigerung der Vortriebsgeschwindigkeit [17].

Neben der Berücksichtigung einer möglichen Verklebung soll auch die Durchlässigkeit des Bodens in Betracht gezogen werden. Nach Angaben der Hersteller ist die Durchlässigkeit ≥ 10^{-7} m/s eine Grenze für Slurryschilde (Abbildung B.82) [17].

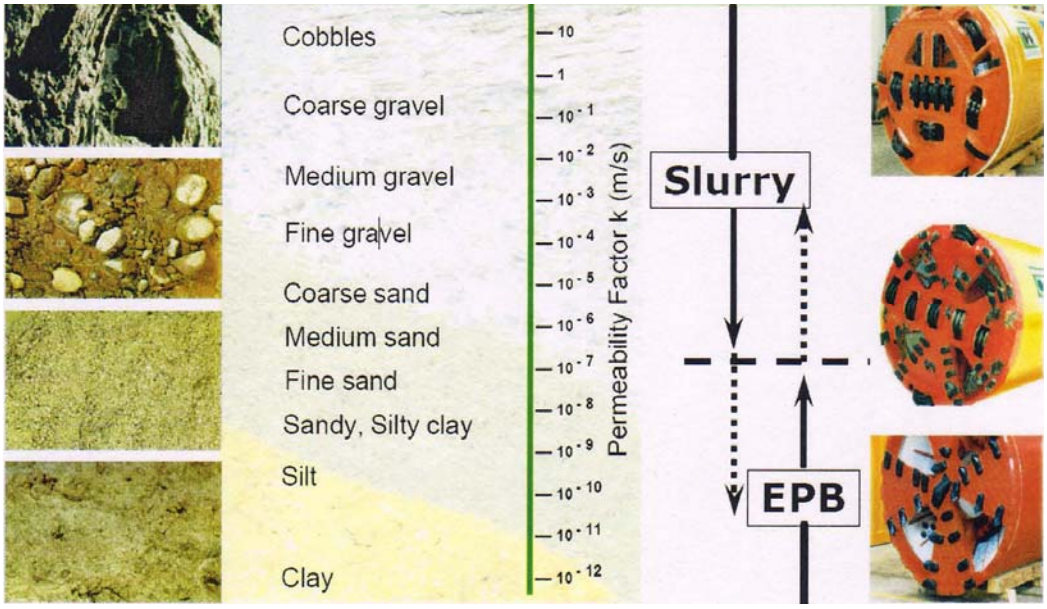


Abbildung B.82, Einsatzbereiche der Slurry- und EPB-Schilde in Abhängigkeit der Wasserdurchlässigkeit nach Angaben der Firma Herrenknecht AG [17]

3.2.3 Ortsbrust mit Erddruckstützung – EPB Schild (SM-V5)

Bei diesem Verfahren handelt es sich um geschlossene Schilde, bei denen der an der Ortsbrust anstehende Erd- und Wasserdruck mit Hilfe des vom Bohrkopf abgebauten Bodens in der druckkontrollierten Abbaukammer gestützt wird [Z. 1].

Das Abbaumaterial wird unter Zugabe von Konditionierungsmitteln zu einer homogenen Masse mit breiig weicher Konsistenz (Erdbrei) vermischt. Ein Schneckenförderer (und anschließend ein Förderband) transportiert Erdbrei von Abbaukammer bis zur nachgeschalteten Fördereinrichtung (

Abbildung B.83).

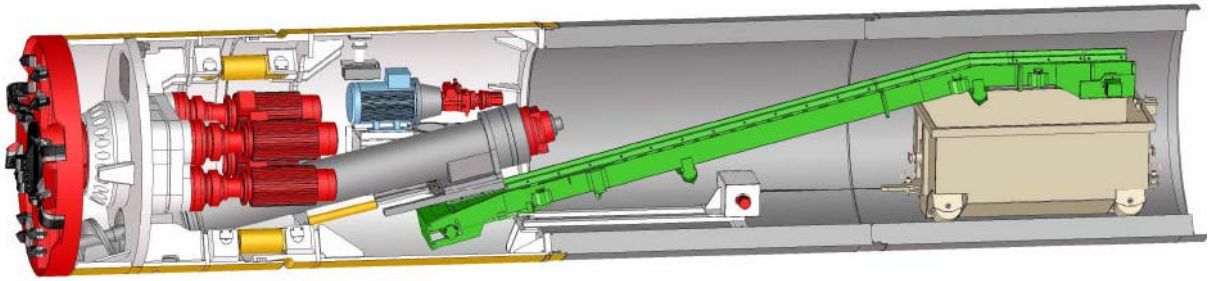


Abbildung B.83, Schnitt einen EPB-Schildes mit Bandaustrag und Wagenförderung [17]

Die Fördereinrichtungen werden als Förderkübel (diskontinuierlich), Förderband (Abbildung B.84) und Dickstoffpumpen (kontinuierlich mit optimaler Leistung) angeboten. Das Fördersystem ist in der Vortriebsleistung ausschlaggebend.

Abbildung B.84, Wagenförderung oder Förderkübel (links) und Förderband (rechts) als Fördereinrichtung im Rohrvortriebsverfahren bzw. Mikrotunnelbau [17]

Diese Schildtypen benötigen auf Grund der höheren Reibung des Stützmediums (Erdbrei) eine hohe Antriebsleistung am Bohrkopf. Die Bohrköpfe kommen auch, wie in Abbildung B.7 gezeigten Varianten, zur Verwendung. Die erwartende Kornverteilung bestimmt die Anwendung des Bohrkopfes, ob es ein offenes, geschlossenes oder verschließbares Schneiderad sein muss.

Offenes Schneidrad wird z.B. nur in den tonig-schluffigen bzw. schluffig-feinsandigen Böden ohne grobstückige Einlagerungen angewendet [1].

A) Einsatzbereich

- Die Vortriebsrohrnennweite ist im Erddruckschild nach Angaben der Hersteller ab einem DN 1200 bis DN 3000 einzusetzen [17].
- Die optimale Vortriebslänge ist, in Abhängigkeit der DN/ID, nachfolgender Tabelle zu entnehmen [1]:

Nennweite Vortriebsrohr DN/ID	Vortriebslänge [m]
1400	300
1500	500
1600	600
2000	1400
3000	2500

- Was die minimale Überdeckungshöhe betrifft, gelten die gleichen Werte wie beim Verfahren mit Flüssigkeitsstützung. Auf Grund der fehlenden Ausbläser- oder Ausströmungsgefahr kann die Überdeckungshöhe bis 1,8 m betragen.
- Als Rohrmateriale werden Stahl- und Stahlbetonrohre verwendet.

B) Geotechnik:

EPB Schilde werden in Bodenklassen LBM 1 und LBO 1 (nach DIN 18319) ohne Steineinlagerungen mit geringer Wasserdurchlässigkeit ($K \leq 10^{-7}$ m/s) (Abbildung B.82) eingesetzt.

Wie man in der Abbildung B.80 sieht, wird der Boden mit einem Feinstkornanteil unter 0,06 mm von mehr als 30 % erfolgreich abgebaut. Für eine ausreichend fließfähige breiige Böden ist ein Wasserdruck bis etwa 2 bar (20 m unter Grundwasserspiegel) notwendig.

In der Praxis ist bis zu 1 % Wasserzugabe notwendig, um eine optimale Konsistenz bzw. Stützfunktion im Erdbrei zu schaffen.

Für die nicht ausreichende Konsistenz des abgebauten Bodens in der Abbaukammer, oder in ausgedehnten Einsatzgrenzen der Schildmaschine auf nichtbindige und inhomogene Lockergesteine, muss der Boden künstlich konditioniert werden. Dafür eignet sich als Zugabe [1]:

- Wasser
- Suspensionen auf der Basis von Bentonit
- Suspensionen auf der Basis von Polymeren
- Schaumlösung, bestehend aus Wasser, Schaumbildern (Tenside) und Stabilisatoren (Polymeren)

Erddruckschilde werden mit Injektionssystemen ausgerüstet um die Abbaukammer mit diesen Mitteln gezielt zu beaufschlagen. Die Zugabe soll aus ökologischen und ökonomischen Gründen auf ein Minimum beschränkt sein [1].

Die Konditionierungsmittel haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Deponierbarkeit des gelösten Bodens. Die Deponierbarkeit wird bei Wasser nicht beeinträchtigt. Bei Schäumen (mit 60 % des Abgebauten Volumens) bzw. Polymeren wird die Deponierfähigkeit nur dann beeinträchtigt, wenn sehr strenge Auflagen bezüglich der Restbestandteile von Kohlenwasserstoffen vorliegen [Z. 1].

Bodenkonditionierung mit Schaum setzt sich in nahezu allen Bodenarten (auch in nichtbindigen Lockergesteinen) als geeignetes Mittel ein.

Die Möglichkeiten für die Einsatzbereiche von Konditionierungsmitteln werden unter geotechnischen Voraussetzungen (auch Kornverteilung) der Abbildung B.85 zu entnehmen.

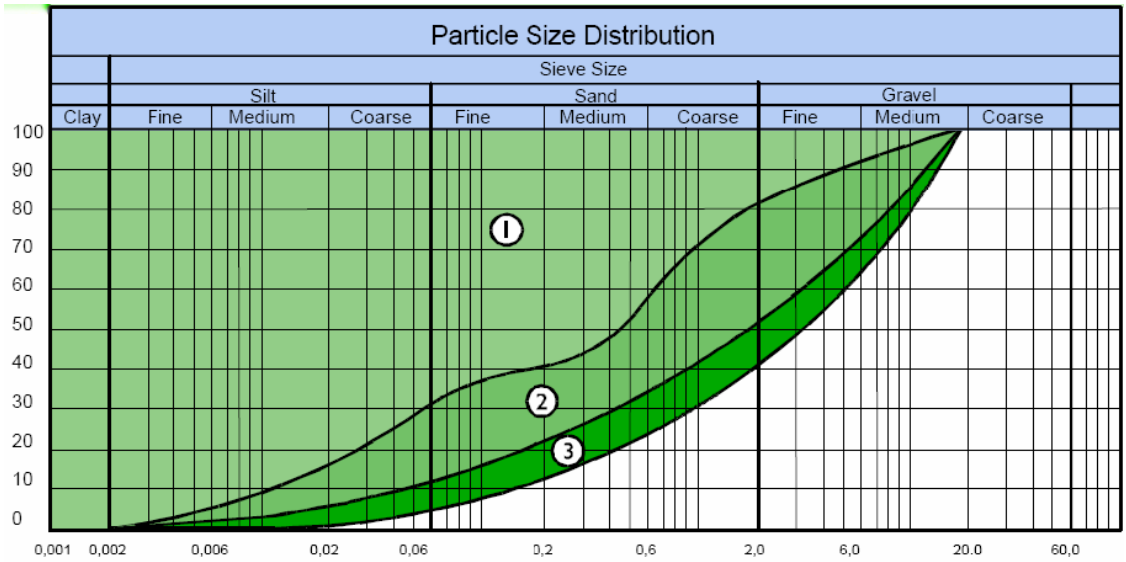


Abbildung B.85, Einsatzbereiche von Erddruckschilden (EPB-Schild) durch Konditionierung (Tabelle B.16 unten) nach Kornverteilung [1], [31]

Bereich	Voraussetzungen	Konditionierung
1	Konsistenzzahl Ic = 0,4 bis 0,75 (breiig-Weich)	- Wasser - Bentonit- und Polymersuspension - Tensidschäume
2	Durchlässigkeitsbeiwert k < 10^{-5} m/s Grundwasserdruck < 2 bar	- Bentonit- und Polymersuspension - Polymerschäume
3	Durchlässigkeitsbeiwert k < 10^{-4} m/s Kein Grundwasserdruck	- High-Density-Slurrys - Hochmolekulare Polymersuspension - Polymerschäume

Tabelle B.16, Konditionierungsmittel nach geotechnischen Voraussetzungen (von Abbildung B.85)

C Zusammenfassung

Im grabenlosen Leitungsbau werden Produkt- oder Vortriebsrohre von einem Startschacht (Startbaugrube) aus durch den Baugrund in eine Zielbaugrube vorgetrieben. Um das Baugrundrisiko möglichst gering zu halten, ist es notwendig die Baugrundverhältnisse im Bereich der Vortriebsstrecke (und nicht nur neben Start- und Zielschächten) gezielt zu untersuchen. Es schließt die Unwägbarkeiten im Baugrund wie z.B. Baugrundschichten, Fels- und Bodenarten, Grundwasser, Hindernisse, Auffüllungen aus.

In Österreich werden noch die Bodenklassen nach ÖNORM B 2205 für die Ausführung der Rohrvortriebarbeiten verwendet. In Deutschland ist DIN 18319 für Rohrvortriebsarbeiten in detaillierten Klassen für Boden- und Fels seit Dezember 2000 eingeführt. Diese Bodenklassen erlauben die Einordnung des anstehenden Bodens in unterschiedliche Schwierigkeitsklassen für den Rohrvortrieb und die zweckmäßige Wahl des Vortriebsverfahrens.

Die Vortriebsverfahren im Lockergestein wurden in letzter Zeit weniger weitere Entwickelt. Die in Österreich tätigen Firmen verwenden ihre Standardsysteme. Die Fortschritte sind bei Felsbohrtechnik und insbesondere beim HDD-Verfahren gelungen.
Das HDD-Verfahren hatte sich in Österreich sehr pragmatisch im Bereich Erdgas- und Trinkwasserleitungen sowie LWL-Kabel am Markt durchgesetzt. In schwierigen Formationen vom Boden wie Grobkies und großen Findlingen (besonders in Westösterreich auf Grund der Geologie) sowie in Mischböden und im Grundwasser ist in Österreich das HDD-Verfahren im Vergleich zu Hammerbohrung bzw. Imlochhammer bevorzugt. Ganz interessante Anwendung hat das HDD-Verfahren in geothermischer Energie bzw. Erdwärmebohrungen sowie im Bereich Geotechnik und Altlastsanierungen wie unten:

- Genaue Standorterkundung im Altlasten und Kenntnis über die mögliche Schadstoffffließbewegungen
- Hydraulische Sanierung durch Abförderung der Schadstoffe im Unterboden bzw. Grundwasser
- Dauerhafte Absenkung des Grundwasserspiegels
- Flachgelagerte Horizontalbrunnen mit großen Einlässen für schnelle Ab- und Ausleitung von verschmutztem Hochwasser
- Lenkungsbohrungen für Herstellung einer deutlichen unterirdischen Fließbewegung
- Bodenluft-Absaugungen (pneumatische Sanierungen), Absaugen der Schadstoffe oberhalb des Grundwasserspiegels
- Bohrungen zur Schadstoffentfernungen in kleinräumigen Schadensherden im Untergrund wie Quicksilberansammlungen

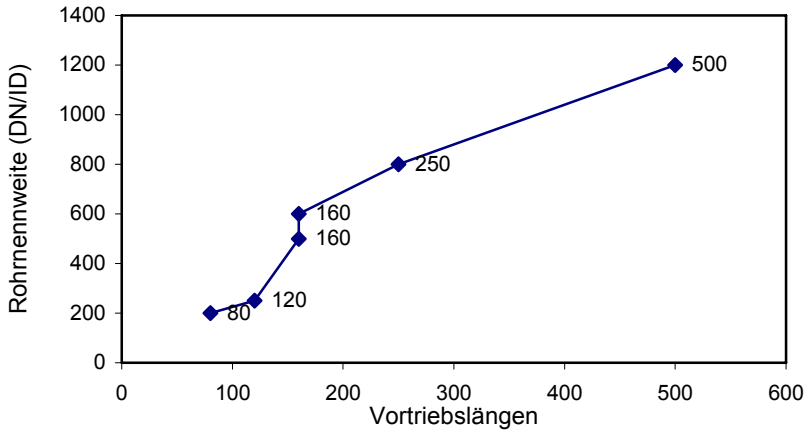
- Monitoring oder Überwachungsleitungen um Deponien in chemischen Anlagen und Tanklagern sowie in den hohen Zuwachsraten am Fuß von Hochwasser-Schutzdämmen. Da die Leitungen aus Monoglasfasern sind, reagieren sie auf feinste Temperaturunterschiede, welche von lokalen Durchfeuchtungen verursacht werden.

Ganz effektive Entwicklung sieht man im Rohrvortrieb mit vollflächigen Abbau durch Mixschilde (Flüssigkeitsstützung bzw. Slurryschilde) in Festgestein oder halbfesten und festen bindigen Böden die durch Umstellung sowohl als Hydroschild als auch als Slurryschild fungieren können. Hie kann durch die Umstellung des normalen Slurryschildes, mittels eines Luftdruckpolsters über der Flüssigkeit ein Einfluss auf die Standsicherheit der Ortsbrust bzw. Ortsbruststützung ausgeübt werden.

Als eine Zusammenfassung dienen die zwei folgende Tabellen zum Vergleich der Einsatzbereiche zwischen Theorie und Praxis (Laut Angaben der Firmen in Österreich). Siehe nächste zwei Seiten.

- Die deutsche und Amerikanische Literatur sind mehr bestimmend in grabenlosen Leitungsbau. Große Unterschiede zwischen Theorie und Praxis (in Österreich) sind auf Grund der Entwicklung in solchen Ländern.
- Die Angaben bzw. Preise in der Praxis, beziehen sich auf Bundesländer Wien, Niederösterreich und Burgenland. Obwohl sie keine große Abweichung zu anderen Bundesländer haben.
- Klammerwerte sind die Angaben von unterschiedlichen Firmen.
- Die Unterschiede zwischen Vortriebslängen und Vortriebsleistungen kommen mehr auf Grund der Baugrundverhältnisse in Österreich. Z.B. beim Erdverdrängungshammer ab 15,0 m Vortriebslänge wird nicht von Firmen angeboten.
- Das Verfahren Horizontal-Pressbohrverfahren mit Aufweitungsteil hat in Österreich keine Anwendung, da immer wieder Schäden an der Oberfläche auftreten.
- Die Zielgenauigkeit der gesteuerten Verfahren wie Pilotrohrvortrieb wird von der Verlegetiefe bestimmt, da durch einen Sender von der Geländeoberfläche gesteuert wird.
- Das Verfahren Pilotbohrung durch Einziehen (vom Zielschacht) ist zeitaufwendig und hat keine Anwendung in Österreich. Dieses Verfahren benötigt auch Rohrmaterialien mit zugkraftschlüssigen Verbindungen.
- Das Verfahren Mikrotunnelbau mit ''anderer mechanischen Förderung'' nach Kapitel B.2.2.4 (in breiig- weichen Böden, BK. LBO 1 bzw. LBM 1 nach [10]) verringert sich die Vortriebslänge in größeren Nennweitenbereichen, da der Bodenabbau nur durch einen offenen Schild (Blindschild) bzw. Schildschneide ohne Werkzeuge erfolgen

kann. Der abgebauter Boden wird mittels einer Schrapperanlage zum Startschacht und von dort mit einem Spezialschlitzgreifer über Tage transportiert (sog. LOUNDBY Verfahren von Schweden). In begehbaren Nennweitenbereichen (ab DN 900) wird unter Einsatz einer Zwischenpressstation bis zu 300 m Vortriebslänge in einem DN/ID von 2750 möglich. Dieses System unterschneidet sich gegenüber den Mikrotunnelbauverfahren dahingehend, dass mit steigenden Vortriebslängen größere Nennweiten ausgewählt werden müssen. Das Diagramm unten zeigt die Abhängigkeit der Vortriebslänge vom Nennweitenbereich in den drei ersten Mikrotunnelbauverfahren mit mechanischer, hydraulischer und pneumatischer Förderung (Kapitel B.2.2.1 bis B.2.2.3):



Verfahren		Geeignet für BK. ÖN B 2205	DN-Bereich in mm von - bis	max. Vortriebs-länge [m]	Einsatz in der Kurve, R [m]	Vortriebs- leistung [m/h]	Mindestüber-deckungshöhe [m]	Zielabweichung im mm oder % der Vortriebslänge	Rohrmaterialien	Preis [€/lfm] DN
Boden-verdrängung	Verdrängung-shammer (EVH)	1,3 - 5	85 - 140	15,0	-	3 -18	bodenabhängig (ca. 0,8-1,20)	bodenabhängig, im dm bereich	alle Rohren	40 - 90
	HPB mit aufweitungs-teil	Dieses Verfahren wird nicht mehr verwendet.								
Bodenentnahme	Horizontal-ramme mit offenem Rohr	Dieses Verfahren wird nicht verwendet.								
	H-Pressbohr-verfahren	1,3 - 5 (6,7)	100 - 1000	20,0 - 80,0	-	0,5 - 3,0	ca. 1,20	bodenabhängig, 1-3%	ST, FZ, PVC	130 - 150
	Hammer-bohrung									
Pilotrohr-Vortrieb	Durch Einpressen	1,3 - 5 (6,7)	100 - 1000	20,0 - 70,0 mit Aufweitkopf bis 110,0	ab 150 m Vortriebslänge	1,0 - 3,0	ca. 1,0	± 5 % der Verlegetiefe	PVC, PE, ST	110 - 290
	Durch Einziehen	nicht so üblich								
Mikrotunnelbau	Schnecken-förderung									
	Hydraulische F.									
	Pneumatische F.									
	Mechanische F.									
HDD	Flüssigkeits-spülung	BK. 2 - 7	50 - 500 (50 - 1000)	300	54-60	5,0 - 10,0	1,0	+/- 200 mm	PE, ST	≈ DN [cm] x 10
	Luft-(Gas)-spülung	Dieses Verfahren wird auf wirtschaftliche Gründe nicht verwendet.								
Rohrvortrieb	Teilschnitt	BK. 2 - 7	100 - 1200	120	-	3,0 - 9,0	1,0	2-3 % der Vortriebslänge	ST, STB	≈ DN [cm] x 10
	Vollschnitt									

Tabelle C.17, Die Einsatzbereiche aus der Praxis nach österreichischen Firmen [54], [55], [56]

Verfahren		Geeignet für BK. DIN 18319	DN-Bereich in mm von - bis	max. Vortriebs-länge [m]	Einsatz in der Kurve, R [m]	Vortriebsleistung [m/h]	Mindestüber-deckungshöhe [m]	Zielabweichung im mm oder % der Vortriebslänge	Rohrmaterialien und Rohrlängen [cm]	Preis [€/lfm] in mm DN/OD
Boden-verdrängung	Verdrängung-shammer (EVH)	LNW1 bis LNW2	45 - 180	25,0	-	15 - 20	10 - 12 x DN/OD (mind. 1,50)	1 % der Vortriebslänge	unbeschränkt	-
	HPB mit aufweitungs-teil	LNE1,2 - LNW1,2, LBO1,2 - LBM1,2	13 - 150	15,0	-	1 - 8	10 x DN/OD (mind. 1,00)	5 % der Vortriebslänge	ST, GGG, PVC, PE	-
Bodenentnahme	Horizontal-ramme mit offenem Rohr	LNE1-3 , LNW1-3, LBM2 & 3	bis 1600 (3000)	bis 70 (100)	-	5 - 20	2 x DN/OD (mind. 1,00)	1 - 2 % der Vortriebslänge		-
	H-Pressbohr-verfahren	L., FD1-4, FZ1-4	1000 (1600)	bis 100	-	1 - 3	2 x DN/OD (mind. 0,80)	0,1 - 1 % der Vortriebslänge	ST, FZ, PVC	-
	Hammer-bohrung	FD1-4, FZ1-4	bis 1080	bis 100 (300)	-	6 - 15	-	2 % der Vortriebslänge		-
Pilotrohr-Vortrieb	Durch Einpressen	Alle BK. L, im Grundwasser	150 - 800	bis 100	ab 150 m Vortriebslänge	2 - 3	≥ DN/OD (mind. 1,00)	0,2 % der Vortriebslänge	ST, GGG, PVC, PE	-
	Durch Einziehen	Alle BK. L, im Grundwasser	150 - 700	bis 150	-	2 - 3	≥ DN/OD (mind. 1,00)	0,2 % der Vortriebslänge	GGG, PVC	-
Mikrotunnelbau	Schnecken-förderung	LNW/LNE/LBM1,2/LBO1,2 + S1	250 - 1000	≤ 150		0,8 - 2,0	≥ DN/OD (mind. 1,00)	± (1") bzw. 25,4	PVC, ST, GGG, GFK	-
	Hydraulische F.	wie oben + S 1, 2	200 - 1200	≤ 500		0,3 - 2,0	≥ 2xDN/OD (mind. 1,80)	± (1") bzw. 25,4	PVC, ST, GGG, GFK	-
	Pneumatische F.	wie oben + FD1,3 / FZ1,3	200 - 1200	≤ 195		0,6 - 2,5	≥ 2xDN/OD	± (1") bzw. 25,4	PVC, ST, GGG, GFK	-
	Mechanische F.	LBM1/LBO1, wassergesätigt	800 - 1200	≤ 150		1,25 - 4,2	-	± (1") bzw. 25,4	PVC, ST, GGG, GFK	-
HDD	Flüssigkeits-spülung	LO/LM/LN + FZ1 bis FZ4	bis 1400	≤ 3000 (3500)	ab 50,0	0,3 - 20	1,20 -7,6 (DN abhängig)	± 100 (±10 %)	PVC, ST, GGG, GFK	-
	Luft-(Gas)-spülung	wie oben + FD/FZ	bis 600	≤ 500		-	-	-	PVC, ST, GGG, GFK	-
Rohrvortrieb	Teilschnitt	alle Böden: LB, LN, LO, F	bis 3000 (4200)	50(Handabbau)/ 1000(mechanisch)		-	1,0	Vertikal: ± 50 Horizontal: ±200	PVC, ST, GGG, GFK	-
	Vollschnitt	alle Böden: LB, LN, LO, F	bis 1000 (3000)	≤ 2500		3 - 10	1,0	wie oben, beide sind DN abhängig	PVC, ST, GGG, GFK	-

Tabelle C.2, Die Einsatzbereiche aus der Theorie [1], [4], [8], [15]

Literaturverzeichnis

[1] STEIN, D.: Grabenloser Leitungsbau, Bochum, Ernst & Sohn, 2003

[2] STEIN; MÖLLERS; BIELECKI: Leitungstunnelbau, Bochum/Hamburg, Ernst & Sohn, 1988

[3] KLEISER K., BAYER, H.-J.: Der grabenloser Leitungsbau, Vulkan-Verlag, Essen, 1996

[4] NAJAFI, M.: Trenchless Technology, McGRAW-HILL, USA, 2005

[5] LENZ, Jochim: Grundlagen der Horizontalbohrtechnik, Vulkan-Verlag, Essen, 1998

[6] KÖGLER, Rüdiger: Optimierung von Bohrprogrammen für HDD in sandigen Böden, Dissertation aus der technischen Hochschule Aachen, 1996

[7] SCHAD, Herman; BRÄUTIGAM, Tobias; BRAMM, Steffan: Rohrvortrieb, Ernst & Sohn, Stuttgart 2003

[8] ÖGL-HANDBUCH: Grabenlos, 2. Revision, Technische Universität Wien, Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, 1998

[9] Österreichische Normungsinstitut: ÖNORM B 2205: Erdarbeiten (Werkvertragsnorm). Wien, November 2000

[10] Deutsches Institut für Normung: DIN 18319: Rohrvortriebsarbeiten. Berlin, Dezember 2000

[11] Österreichische Normungsinstitut: ÖNORM (EN) B 12889: Grabenlose Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen. Wien, Juni 2000

[12] Österreichische Normungsinstitut: ÖNORM B 4402 (Vorschlag): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke. Wien, August 2003

[13] Österreichische Normungsinstitut: ÖNORM B 4401-1: Erkundung durch Schürfe und Bohrungen; Aufschlüsse im Lockergestein. Wien, September 1980

[14] Österreichische Normungsinstitut: ÖNORM B 4412: Untersuchung von Bodenproben; Korngrößenverteilung. Wien, Juli 1974

[15] Abwassertechnische Verreinigung e.V.; ATV - A 125: Rohrvortrieb. Hennef, Deutschland, September 1996

[16] JODL, Hans Georg: Grabenlose Bauweisen für die Errichtung unterirdischer Ver- und Entsorgungsleitungen, Fachtagung ’’Zement und Beton“ November 1993

[17] SUHM, Werner (Herrenknecht AG): Neueste Entwicklungen und Trends im Microtunneling, Vortrag im ÖGL-Symposium Grabenlos, Semmering, 17-18. Oktober 2006

[18] THALER, Thomas: Leitungstunnelbau und Rohrvortrieb, Diplomarbeit, Technische Universität Graz, 1999

[19] RAMEIL, Meinolf: Verfahren für die grabenlose Neuverlegung von Hausanschlüssen für Ver- und Entsorgungsleitungen (Teil 1), tis - Lennestadt, Juni 2004, Nr. 6, S. 10 -13

[20] Bertelsmann Fachzeitschriften GmbH: Grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen in Deutschland - Gütersloh, 1997

[21] GRIESBAUM, R; KOLLMANN, B.: Langstreckenvortriebe, Tiefbau - Schwanau-Allmansweiler , 112.Jg., 2001, Nr. 8, S. 540 - 544

[22] JUNGNICKEL, Wolfram: Neuer Abwasserdüker für Silokanal in Brandenburg. bi Umweltbau – Greven, 2004, Nr. 4 S. 30

[23] BAYER, Hans-Jochim: Altlastsanierung im HDD-Verfahren. tis - Kohlberg/Württ, 2006, Nr 10, S. 42 - 47

[24] Geschlossener Kanalbau: http.//www.bux-hawk.de. 21.08.2006

[25] Roboter Molch: http.//www.cgi.willburger.com. 3.1999.

[26] TERRA-Hammer: Die wirtschaftliche Erdrakete. http://www.terra-de. 23.05.2006

[27] Perforator GmbH: http://www.perforator.de. 2005

[28] Österreichische Vereinigung für Grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen (ÖGL): http://www.oegl.at.

[29] Interra Mikrotunnelbau GmbH: Unsere Technologie. http://www.interra-microtunnelbau.de

[30] Bohrtech GmbH: Bohrung zu einem Zielschacht. http://www.bohrtec.de

[31] HÖLTERHOF, Jens: Grabenlose Verlegugng von Abwasserleitungen und Kanälen. http://www.gstt.de. 03.2006

[32] Sanwa pipe Jacking Machine TS Series: http://www.sanwakizai.co.jp. 1998

[33] Pilotrohr-Vortrieb, Mess- und Steuersystem: http://www.nodig-bau.de

[34] Microtunneling Inc., Intermediate Jacking Station: http://www.microtunneling.com

[35] Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes: Dükerneubauten in den Ausbaulosen 5 und 6 des Dortmund-Ems-Kanals: http://www.wna-datteln.wsv.de. 01.08.2006

[36] DrillTec GUT GmbH.: Präzision, Innovation und Verlässlichkeit. http://www.drilltec.de

[37] Prime Drilling GmbH: http://www.prime-drilling.de

[38] Firmen Information Prime Drilling GmbH: http://www.nodig-construction.com

[39] DCA: Drilling Contractors Association: http://www.dca-europa.de

[40] ÖGL: Das Wiener Wasserrohrnetz: http://www.nodig-bau.de

[41] NUMA HAMMER AND BITS: http://www.numahammers.com,

[42] BAYER, Hans-Joachim: Effektive oberflächennahe Erdwärmenutzung mit dem Geothermal Radial Drilling (GRD) Verfahren. http://actamont.tuke.sk

[43] KARL WEISS: Unternehmensgruppe: Neue grabenlose Technologien zur Neulegung von Versorgungsleitungen mit dem Verfahren. http://www.karl-weiss.de

[44] LÜBBERS, Hermann: Querung des Silokanals in Brandenburg. http://www.unitracc.com. 18.10.2004

[45] Herrenknecht AG: Schilde mit Teilflächenabbau. http://www.herrenknecht.de

[46] Erdwärmebohrungen mit Grunddrill 15 GS: http://www.nodig-bau.de. 09.08.2006

[47] KATTHAUS, M.: Sondergründung von Aufzügen und Treppenhäusern. http://www.bauingenieur24.de, 11.03.2002

[48] Arbeitsgemeinschaft CITY TUNNEL LEIPZIG: Tunnelbau-Info.http://www.arge-ctl.de. 1.2006

[49] System zur unterirdischen Positionsbestimmung (iGPS ®): http://www.digital-control.com. 11.2004

[50] TERRA Deutschland GmbH: Heddesheim

[51] Perforator GmbH: Deutschland Walkenried

[52] Firmeninformationen, egeplast Werner Strumann GmbH und Co.: Greven Deutschland, Ausstellung in 14. Symposium Grabenlos, Semmering, 17-18. Oktober 2006

[53] Kraft und Wärme: Herr Ing. Loidl, Wien, Besprechung am 06.02.07

[54] WIBEBA: Herr Ing. Posch, Wien, Besprechung am 14.03.07

[55] RBS Rohrbau – Schwisstechnik: Hr. Knauseder, Umfrage

[56] Watzinger GmbH: Ziersdorf, Herr Watzinger, Umfrage

[57] Absulhaspel: HDD- Verfahren: www.bagela.de

[58] REUTER, F; KLENGEL, K. J.; PASEK, J.: Ingenieurgeologie. 3., stark überarbeitete und erweiterte Auflage, In: [1], S. 194

[59] Besuch der Baustelle Gaming - Kienberg: Verlegung der Schutzrohr ST DN 800, Firma Angerlehner, 07.12.06

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A.1, Anwendungsfälle des Grabenlosen Leitungsbaus nach ÖGL 1
Abbildung A.2, Arten von Ver- und Entsorgungsleitungen 5
Abbildung A.3, Verschiedene Rohrnetze der Abwasserleitungen 8
Abbildung A.4, Lose (nichtgebündelte) und Gebündelte Mantelrohre mit erforderlichem Innendurchmesser 10
Abbildung A.5, Abwasserkanal mit Versorgungsleitungen in Paris, 19. Jahrhundert 11
Abbildung A.6, Ergebnis einer Rammsondierung mit Angaben zum Lagerungsdichte im Zuge der Baugrunderkundung (links), Einsatz des Gerätes vor Ort, leichte/schwere Rammsonde (rechts) 17
Abbildung A.7, CAI-Testgerät zur Ermittlung der Abrasivität des Gesteins 22
Abbildung B.1, Bodenverdichtung beim Einsatz eines Verdrängungshammers 24
Abbildung B.2, Schematische Darstellung der Verdrängungshammer Verfahren 25
Abbildung B.3, Effektiver Peilstab zur Ausführung der kritischen Bohrungen 25
Abbildung B.4, Klemmkonus zum einfacheren Einziehen der Rohrleitung 26
Abbildung B.5, Verdrängungshammer mit aufgesetzter Aufweitungshülse 26
Abbildung B.6, Verschiedene Varianten der Ausbildung des Verdrängungskopfes 27
Abbildung B.7, Horizontalramme und geschlossenem Rohrende 30
Abbildung B.8. links: EVH mit Grundschlagkegel für DN 100 bis 200 30
Abbildung B.9, Horizontal-Pressbohrverfahren mit Aufweitungsteil 32
Abbildung B.10, Arbeitsablauf beim Verfahren SPEEDER SR-12 32
Abbildung B.11, Bodenentnahmeverfahren - Horizontalramme mit offenem Rohr 36
Abbildung B.12, Verschiedene Varianten der Auflagerungen im Startschacht 36
Abbildung B.13: Abtrag des Erdreichs mit Korb und Winde. 37
Abbildung B.14, Robotmolch, Prinzipskizze mit Ansicht 38
Abbildung B.15, Stahlrohrspitze 39
Abbildung B.16: Baustellensituation eines Vortriebes 40
Abbildung B.17: Vortriebsleitung in Abhängigkeit der Schlagkraft nach Maschinentyp 40
Abbildung B.18, Schema eines Horizontalpressbohrverfahren 42
Abbildung B.19, Bohrkopfformen für verschiedene Bodenklassen 43
Abbildung B.20, Schneckenförderer 44
Abbildung B.21, Fördertrog 44
Abbildung B.22, Anordnung der Führungs- und Förderschnecke 44
Abbildung B.23, prinzipieller Aufbau einer Horizontal-Pressbohranlage HPB 550/12 45
Abbildung B.24, PBA 155, Durchmesserbereich zwischen 219 – 1016 mm mit Lafette 48
Abbildung B.25, Felsbohrköpfe mit Rollenmeißeln 49

Abbildung B.26, Ansicht und Arbeitsprinzip eines Imlochhammers mit exzentrischem Bohrkopf und Hammer 51
Abbildung B.27, Die Anlage SST-Method 52
Abbildung B.28, Zweiphasen-Vortrieb 55
Abbildung B.29, Bei Dreiphasen-Vortrieb 55
Abbildung B.30, Schneckenbohrkopf 56
Abbildung.B.31, Mess- und Steuersystem bei einem Pilotbohrverfahren 56
Abbildung B.32, , Anlage BM 400, Rohrdurchmesser DN 150 – 400 59
Abbildung B.33, Ablaufschema beim hydros® STAR Verfahren 60
Abbildung B.34, Direktantrieb des Bohrkopfes und separat angetrieben Förderschnecke (links), und Antrieb über die Förderschnecke (rechts) 63
Abbildung B.35, Einleitung der Vortriebskraft im Mikrotunnelbau 63
Abbildung B.36, Entkopplung von Eindringwiderstand und Mantelrohre 64
Abbildung B.37, Überwindung der Mantelreibung mit Hilfe von aufblasbaren Gripper 64
Abbildung B.38, Pressenwiderlager mit der Gürtung 65
Abbildung B.39, Die Mikrotunnelbaumaschine Bohrkopfvariante der SANWA – HORIZONGER 66
Abbildung B.40, Hochdruckspülsystem im Brecherraum für eine AVN-Vortriebsmaschine .. 68
Abbildung B.41, Schnitt einer Grundausrüstung vom Mikrotunnelbauverfahren mit hydraulischer Förderung 69
Abbildung B.42, Zwischenpressstationen 69
Abbildung B.43, Absetzcontainer mit Zu- und Abförderleitungen für Transport der Suspension und des Bohrklein 70
Abbildung B.44, Standardbohrköpfe 71
Abbildung B.45, Standardbohrkopf mit aufgeschraubten Schälmessern 71
Abbildung B.46 , Felsbohrköpfe mit Warzenmeißeln 72
Abbildung B.47, Felsbohrköpfe mit Diskenmeißeln und mit Disken- und Warzenmeißeln 72
Abbildung B.48, Brechermechanismus bei einem Felsbohrkopf 72
Abbildung B.49, Schematische Darstellung (Schnitt und Draufsicht) der Baustelleneinrichtung vom Konzept (MTB-P) 77
Abbildung B.50, Schildschneide oder Blindschild des Typs SLA 1400 für DN/ID 1400 und einem Spezialschlitzgreifer 80
Abbildung B.51, Drei Phasen Arbeitsschritte des HDD-Verfahrens unter einem Fluss (als Dükerbau) 82
Abbildung B.52, Aufweitbohrung mit gleichzeitiger Einziehung des Rohres (Einziehvorgang) 84
Abbildung B.53, Rohrbundtransportwagen mit Abspulhaspel und verstellbaren Rollenbock 85
Abbildung B.54, Anlage PD 450–150 86

Abbildung B.55, Bohrmaschinen 87
Abbildung B.56, Ausbildungsformen der Steuerfläche bei Bohrköpfen 88
Abbildung B.57, Das Sende-Empfang-Prinzip im Walk-Over-Verfahren 90
Abbildung B.58, Das neu entwickeltes System Eclipse® SST™ bzw. iGPS® 91
Abbildung B.59, Darstellung einer Baustelleneinrichtung beim Einsatz vom Mega-Bohrgerät am Eintrittspunkt 93
Abbildung B.60, die Anlage GRUNDODRILL 15 GS mit Pilot- und Aufweitbohrungen am Beispiel eines Wohnhauses 95
Abbildung B.61, Einsatzbereiche hinsichtlich der Nennweite und Bohrlänge in Abhängigkeit von der aufzubringenden Zugkraft [KN] - Drehmoment [KNm] 95
Abbildung B.62, Abwasserdruckrohr DN 400 egeplast SLM 560 x 50,8 mm mit abriebfestem Schutzmantel (links) beim Einziehen gleichzeitig mit der Aufweitung 98
Abbildung B.63, Drehend-schlagende Bohrmaschine im Verfahren Spülbohrverfahren mit Luft-(Gas)-Spülung 99
Abbildung B.64, Bohrkopf mit drei verschiedenen Gestaltungsvarianten 100
Abbildung B.65, Schnitt auf einem Imlochhammer Champion 80 H 101
Abbildung B.66, Das System GRUNDOPIT von Tracto-Technik 102
Abbildung B.67, Kombinationsmöglichkeiten der Art des Abbaus mit der Stützung der Ortsbrust bei Schildmaschinen 105
Abbildung B.68, Querschnitt eines Handschildes bzw. Schneidschuh 106
Abbildung B.69, Schematische Einteilung der Handschilde 106
Abbildung B.70, Handschild (DN/OD 4672) 107
Abbildung B.71, Schnitt einer Schildmaschine mit teilflächigem mechanischem Abbau, durch Schrämkopf. 108
Abbildung B.72, Schnitt einer Schildmaschine mit teilflächigem mechanischem Abbau durch Exkavator 109
Abbildung B.73, wechselbares Abbauwerkzeug nach dem Prinzip Herrenknecht AG 109
Abbildung B.74, konstante Luftüberdruck an der Firste gegenüber dem anstehenden Wasser 110
Abbildung B.75, Einsatzgrenze der Druckluft in Abhängigkeit der Durchlässigkeitsbeiwert (links), optimierte Darstellung des Druckluftverbrauches nach Druckzeit (rechts) 111
Abbildung B.76, Schnitt einer Teilschnittmaschine mit mechanischem Abbau und im Nachläufer untergebrachtem Schleusensystem 112
Abbildung B.77, Spundwandkasten als Vorpressschacht für den Rohrvortrieb mittels Schildmaschine 112
Abbildung B.78, offene Schildmaschinen mit Schneidrad und natürlicher Stützung an der Ortsbrust 114

Abbildung B.79, Funktionsprinzip von Mixschild bzw. Hydroschild (links) mit möglicher Umstellung auf Slurryschild (rechts) 115
Abbildung B.80, optimaler Einsatzbereich in Abhängigkeit der Korngrößenverteilung:..... 117
Abbildung B.81, Verklebung des Bohrkopfes durch bindigen Böden 117
Abbildung B.82, Einsatzbereiche der Slurry- und EPB-Schilde 118
Abbildung B.83, Schnitt einen EPB-Schildes mit Bandaustrag und Wagenförderung..... 118
Abbildung B.84, Wagenförderung oder Förderkübel (links) und Förderband (rechts)..... 119
Abbildung B.85, Einsatzbereiche von Erddruckschilden (EPB-Schild) durch Konditionierung 121

Tabellenverzeichnis

Tabelle A.1, Varianten der Rohrnetze für Wasserverteilung 6
Tabelle A.2, wichtigste Mediumrohre in der Fernwärmeleitungen nach eigenen besonderen Eigenschaften, ... 7
Tabelle A.3, Allgemeiner Ablauf und Umfang der ingenieurgeologischen Baugrunderkundung 14
Tabelle A.4, Güteklasse von Bodenproben 15
Tabelle A.5, Geophysikalische Messverfahren und ihre Einsatzbereiche 18
Tabelle A.6, Klassen LN: nichtbindige 20
Tabelle A.7, Klassen LB: bindige 20
Tabelle A.8, Zusatzklasse S 20
Tabelle A.9, Klasse F: Festgesteine 20
Tabelle A.10, Klassifizierung der Abrasivität in Abhängigkeit des CAI-Indexes 22
Tabelle A.11, erfahrungswerte der CAI-Index für verschiedene Gesteinsarten nach Büchi.. 22
Tabelle B.1: Vorgeschlagene Mindestwanddicken in Abhängigkeit der Nennweite 39
Tabelle B.2, Die Schachtabmessungen von einigen Geräten nach Angaben der Firmen in Abhängigkeit der Bohrdurchmesser. 57
Tabelle B.3, Einsatzbereich der Mikrotunnelbauverfahren mit Schnecken-, hydraulische, pneumatischer und mechanischer Förderung 62
Tabelle B.4, Standzeiten der Abbauwerkzeuge von Vortriebsmaschinen DN/ID 600 bis 2400 75
Tabelle B.5, Der Einsatzbereich des DEINO TYPE (Japanisches Konzept) 79
Tabelle B.6, Vortriebslänge in Abhängigkeit der Rohrnennweite beim Verfahren LUNDBY . 80
Tabelle B.7, Rüstzeiten für eine Vortriebmaschine in MT-Verfahren beim DN/ID 1400 81
Tabelle B.8, Verschiedene Typen von Bohrgeräten in Spülbohrverfahren mit Einsatzbereichen 86
Tabelle B.9, Die Gruppen den Bohrgestängen nach API 88
Tabelle B.10, Darstellung der Aufweitbohrungen (Barrel Reamer, Fly Cutter und Hole Opener) 89
Tabelle B.11, Genauigkeit des Senders in Abhängigkeit der Tiefenlage der Bohrung bei dem Elektromagnetischen Walk-Over-Verfahren 91
Tabelle B.12, Überdeckungshöhe in Abhängigkeit der DN/OD nach CALTRANS 96
Tabelle B.13, Bestimmende Zeiten sowie Faktoren in Bruttobohrzeit 97
Tabelle B.14, Typenbezeichnung des Imlochhammers mit eigenem Druckluftbedarf in Abhängigkeit der Bohrlochdurchmesser bzw. Außendurchmesser des Imlochhammers von der Firma NUMA, USA 100
Tabelle B.15, Technische Daten des NUMA-Hammer- Modells Champion H 101

Tabelle B.16, Konditionierungsmittel nach geotechnischen Voraussetzungen 121
Tabelle C.1, Die Einsatzbereiche aus der Praxis nach österreichischen Firmen 125
Tabelle C.2, Die Einsatzbereiche aus der Theorie 126