Stefan Hildebrandt

Untersuchungen zur Eignung von Spundwänden als Pressenwiderlager für den Rohrvortrieb

Diplomarbeit

Diplom.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de/ abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2001 Diplom.de
ISBN: 9783832441746

https://www.diplom.de/document/219795

Stefan Hildebrandt

Untersuchungen zur Eignung von Spundwänden als Pressenwiderlager für den Rohrvortrieb

Diplom.de

Stefan Hildebrandt

Untersuchungen zur Eignung von Spundwänden als Pressenwiderlager für den Rohrvortrieb

Diplomarbeit
an der TU Berlin/Universidad Austral de Chile
Fachbereich unbekannt
Januar 2001 Abgabe

Diplom.de

Diplomica GmbH
Hermannstal 119k
22119 Hamburg

Fon: 040 / 655 99 20
Fax: 040 / 655 99 222

agentur@diplom.de
www.diplom.de

ID 4174

ID 4174
Hildebrandt, Stefan: Untersuchungen zur Eignung von Spundwänden als Pressenwiderlager für den Rohrvortrieb / Stefan Hildebrandt - Hamburg: Diplomica GmbH, 2001
Zugl.: Berlin / Valdivia, Technische Universität, Diplom, 2001

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH
http://www.diplom.de, Hamburg 2001
Printed in Germany

Diplom.de

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

http://www.diplom.de bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit.

Ihr Team der Diplomarbeiten Agentur

Diplomica GmbH
Hermannstal 119k
22119 Hamburg

Fon: 040 / 655 99 20
Fax: 040 / 655 99 222

agentur@diplom.de
www.diplom.de

Vorwort

In der vorliegenden Arbeit soll die Eignung von Spundwänden als Pressenwiderlager für den Rohrvortrieb untersucht werden.

Das Thema entstand auf Anregung meines Arbeitgebers, der Gildemeister GmbH & Co.KG, für den ich neben meinem Studium tätig bin. Neben dem normalen Tief- und Rohrleitungsbau zählen das Horizontalspülbohrverfahren, die Ausführung von Druckluftarbeiten und der Rohrvortrieb zu den Hauptgeschäftsbereichen dieses Unternehmens. Nach dem Auftreten eines Schadensfalls durch Versagen des Widerlagers stellte sich verstärkt die Frage nach der aufnehmbaren Presskraft einer Widerlagerkonstruktion. In Verbindung mit dem am Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik der TU Berlin zur Verfügung stehenden Finite Elemente Programm ANSYS soll das Problem näher untersucht werden.

Dazu wird das Prinzip des Rohrvortriebs kurz erläutert. In einer Literaturstudie werden mögliche Nachweisverfahren eines Widerlagers zusammengestellt. Nach einer entsprechenden Einarbeitung in das Programmsystem ANSYS erfolgt dann die Berechnung eines typischen Längsschnittes einer Pressbaugruben nach der Finite Elemente Methode. Eine anschließende Parameterstudie untersucht den Einfluss einzelner Berechnungseingangsgrößen. Der oben erwähnte Schadensfall soll dann numerisch berechnet werden und die Ergebnisse mit den Daten der Realität verglichen werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Das Prinzip des Rohrvortriebs 1
1.1 Einleitung 1
1.2 Bauweise und Bauablauf - allgemein 3
1.3 Die unterschiedlichen Verfahren 6
1.3.1 Nicht steuerbare Verfahren 7
1.3.1.1 Horizontalrammverfahren mit offenem Rohr 7
1.3.1.2 Horizontal – Pressbohrverfahren 8
1.3.1.3 Zusammenfassung der nicht steuerbaren Verfahren 10
1.3.2 Steuerbare Verfahren 11
1.3.2.1 Pilotrohrverfahren 11
1.3.2.2 Pressbohrverfahren 13
1.3.2.3 Schildvortriebsverfahren 15
1.3.2.4 Zusammenfassung 18
1.4 Vortriebsrohre 19
1.5 Baugruben 26
2. Literaturstudie zu möglichen Nachweisverfahren eines Widerlagers 37
2.1 Einleitung 37
2.2 Standsicherheitsnachweis nach Dipl.-Ing. Max Scherle 38
2.3 Abschätzung der Widerlagertragfähigkeit nach SIA-Norm 195 45
2.4 Abschätzung der Widerlagertragfähigkeit nach Buchholz 48
2.5 Vergleich der zusammengetragenen Ergebnisse 50
3. Numerische FE-Berechnung mit dem Programmsystem ANSYS 51
3.1 Grundlagen der Berechnung 51
3.2 Idealisierung des Problems 52
3.2.1 Idealisierung der Materialeigenschaften 53
3.2.2 Idealisierung der Bauteile 58
3.2.3 Idealisierung der Geometrie 59
3.2.4 Idealisierung der Wechselwirkung zwischen Boden und Spundwand 60
3.2.5 Idealisierung der Belastungszustände 62
3.2.6 Idealisierung der Berechnungsschritte 63
3.3 Preprocessing 64
3.3.1 Einheitenkonvention 64
3.3.2 Modellerstellung im Rechner 64
3.3.3 Elementtypen, Materialien, Stoffgesetz 64
3.3.4 Geometrie 68
3.3.5 Vernetzung und Elementierung 73
3.3.6 Kopplung der Knoten 77
3.3.7 Komponentenbildung 77
3.4 Solution 79
3.4.1 Lagerung des Modells 79
3.4.2 Belastung des Systems 80
3.4.2.1 Primärspannungszustand 80
3.4.2.2 Bodenaushub bis -3,0m 81
3.4.2.3 Bodenaushub bis -8,0m 81

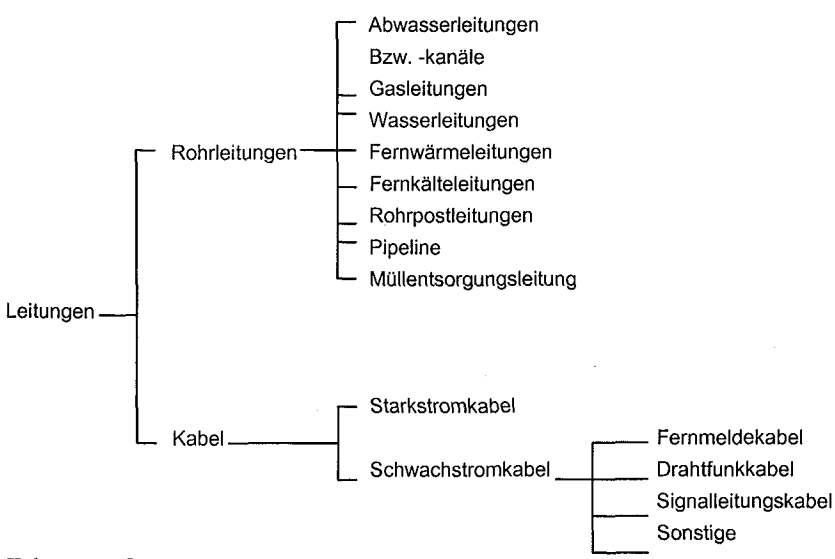
3.4.2.4 Vortrieb....82
3.5 Postprocessing....85
3.5.1 Primärspannungszustand....85
3.5.2 Aushubzustände....90
3.5.3 Vortriebszustand....101
3.6 Interpretation und Bewertung der Ergebnisse....131
4. Parameteruntersuchung....138
4.1 Variation der relativen Wandsteifigkeit....138
4.1.1 Variation NULL....140
4.1.2 Variation HALB....142
4.1.3 Variation DOPPELT....143
4.1.4 Variation UNENDLICH....145
4.1.5 Auswertung der Ergebnisse....146
4.1.6 Bewertung der Ergebnisse....152
4.2 Variation des Stoffgesetzes....154
4.2.1 Vorstellung und Auswertung der Ergebnisse....155
4.2.2 Bewertung der Ergebnisse....162
4.3 Variation des Dilatanzwinkels....163
4.3.1 Vorstellung und Auswertung der Ergebnisse....164
4.3.2 Bewertung der Ergebnisse....169
4.4 Abschätzung und Berücksichtigung der räumlichen Tragwirkung....170
5. Vergleich von Literatur- und FEM-Ergebnissen....172
5.1 Nachweis nach Scherle....172
5.2 Nachweis nach der SIA-Norm 195....174
5.3 Abschätzung der Widerlagertragfähigkeit nach Buchholz....175
5.4 Vergleichende Beurteilung der Ergebnisse....176
6. Numerische Berechnung eines Schadensfalls....178
6.1 Beschreibung der Baumaßnahme....178
6.2 Beschreibung des Schadensfalls....179
6.3 Idealisierung der Berechnungsgrundlagen für die FE-Berechnung....183
6.4 Preprocessing....186
6.5 Solution....188
6.6 Postprocessing....189
6.7 Auswertung der Ergebnisse....190
6.8 Bewertung der Ergebnisse....194
7. Schlusswort....196
8. Literaturverzeichnis....198
8.1 Teil 1....198
8.2 Teil 2....198
8.3 Teil 3....199
8.4 Teil 4....200
8.5 Teil 5....200
8.6 Teil 6....200
8.7 Hilfsmittel und Software....202

1. Das Prinzip des Rohrvortriebs

1.1 Einleitung

Die Entwicklung der menschlichen Zivilisation bis zum gegenwärtigen Stand ist geprägt von ständigen Neu- und Weiterentwicklungen. Unser heutiger Lebensstandard basiert auf umfangreichen Infrastrukturen. Dazu gehören u.a. das gesamte Straßennetz, alle Bereiche des öffentlichen Personennahverkehrs und sämtlicher Ver- und Entsorgungsleitungen. Sie verbinden einzelne Regionen und Stadtteile zu kommunalen Gesamtver- und Entsorgungssystemen.

Die Art und der Umfang der erdverlegten Leitungssysteme ist stark abhängig von den örtlichen Gegebenheiten, wie z.B. der Art der Bebauung (Wohngebiet - Industriegebiet) und dem Straßentyp (schmal/breit - hohe/geringe Leitungsdichte). Die Arten der erdverlegten Leitungen stellt die [1] entnommene Übersicht dar, in der öffentliche und nichtöffentliche Leitungen erfasst sind.



Tab. 1-1, [1]

Das bestehende Leitungsnetz bedarf der fortlaufenden Instandhaltung bzw. Erneuerung sowie im Rahmen von Baulanderschließungen auch der Erweiterung. Allein für die Kanalisation wurde in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000 mit jährlich 780 km Leitungsneuverlegung und 935 km Leitungserneuerung gerechnet.

Für die Neuverlegung und Erneuerung von Leitungen stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: -offene Bauweise
-geschlossene Bauweise

Das Wesen der offenen Bauweise besteht im Ausheben eines Leitungsgraben über die gesamte Leitungslänge im Schutze eines Grabenverbaus oder abgeböschter Grabenwände. Danach wird die entsprechende Leitung verlegt. Anschließend wird der Graben wieder verfüllt und die Oberflächenbeschaffenheit wiederhergestellt. Diese Bauweise hat vor allem im innerstädtischen Bereich folgende Nachteile: [1]

-Lärm-, Schwingungs-, Emissionsbelastungen aus Baustellenbetrieb und Verkehrsumleitungen
-Beeinträchtigung benachbarter baulicher Anlagen und Bepflanzungen z.B. durch Wasserhaltungsmaßnahmen
-Steigerungen des Energieverbrauchs sowie Umsatz- u. Arbeitszeitverluste durch Verkehrsumleitungen
-Sicherheitsrisiken für Anlieger
-Steigerungen der Inanspruchnahme von Deponieräumen

Trotz umfangreicher Bemühungen und technischem Fortschritt konnte o.g. Nachteilen nicht mit dem entsprechenden Erfolg begegnet und dem steigenden Umweltbewußtsein der Bevölkerung Rechnung getragen werden.

Als brauchbare Alternative steht der offenen Bauweise die geschlossene Bauweise gegenüber. Beim Bau begehbarer Querschnitte wurde schon frühzeitig ein hohes technisches Niveau erreicht. Weiterentwicklungen Mitte der 70er Jahre hatten das Ziel, diese Technik auch auf den nichtbegehbaren Leitungsquerschnitt zu übertragen. Dadurch entwickelte sich eine Konkurrenzfähigkeit zur offenen Bauweise.

Die zunehmende Einbeziehung von Fragen des Umweltschutzes, wie z.B. das Verbot von Grundwasserabsenkungen, in die Bauausführung und ständige Weiterentwicklungen der Technik und der Arbeitsabläufe werden in Zukunft die geschlossene Bauweise immer weiter in den Vordergrund rücken.

1.2 Bauweise und Bauablauf - allgemein

Die andauernde Weiterentwicklung der geschlossenen Bauweise hat im Laufe der Zeit eine Vielzahl, in der Arbeitsweise recht unterschiedlicher, Verfahren hervorgebracht. So gibt es zum Beispiel gravierende Unterschiede bei der Auffahrung des unterirdischen Hohlraumes, der Bodenabförderung, der Steuerbarkeit, dem Einbau der Produktrohre usw..

Die Anwendung der unterschiedlichen Verfahren und Techniken wird letztendlich durch die Randbedingungen der einzelnen Bauvorhaben bestimmt. Dazu gehören u.a. die erforderliche Tiefenlage, die Baugrundbeschaffenheit, die Vortriebslänge, Art und Durchmesser des Produktrohres sowie baubetriebliche Faktoren wie Bauzeit, Baustelleneinrichtungsfläche (im Innenstadtbereich oft sehr begrenzt) und die Kosten.

Trotz aller Unterschiede gibt es im Vergleich zu der offenen Bauweise einige Grundprinzipien, denen alle Verfahren der geschlossenen Bauweise folgen.

Das Ziel jedes Verfahrens ist es, den negativen Eigenschaften der offenen Bauweise entgegenzutreten. Das Prinzip gestaltet sich folgendermaßen. Zur Herstellung eines Leitungsabschnittes werden zwei Baugruben ausgehoben. Der Abstand der Baugruben hängt vom eingesetzten Verfahren und von der Trassen- und Gradientenführung der geplanten Rohrleitung ab. Diese Baugruben befinden sich in der Trasse der zu errichtenden Leitung und werden etwas tiefer als die geplante Rohrsohle ausgehoben. Bei den meisten Verfahren ist eine Befestigung der Baugrubensohle durch Beton sinnvoll. Je nach Tiefenlage und Platzverhältnissen wird ein Verbau der Baugrubenwände erforderlich. Mit dem Ziel der leichten Rückbaubarkeit haben sich der Berliner Verbau und der Verbau mit Stahlspundwänden oder Kanaldielen bewährt. Als dauerhaft im Baugrund verbleibende Baugrubenumschließungen kommen häufig Stahlbetonfertigteilschächte zum Einsatz. Seltener ist die Ausführung von Schlitzwänden als Baugrubenverbau für Rohrvortriebe anzutreffen.

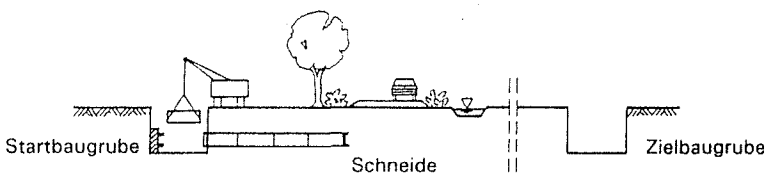
Im Allgemeinen wird eine der Baugruben als Startbaugrube und eine als Zielbaugrube ausgebildet. In Abhängigkeit vom gewählten Verfahren muss in der Startbaugrube ein Widerlager für die Vortriebsmaschine ausgebildet werden. Dieses darf sich nicht gegen andere Bauwerke abstützen und muss für die maximale Presskraft ausgelegt sein. Die

gegenüberliegende Stirnwand muss mit einer Öffnung versehen sein, von der aus der Vortrieb erfolgen kann. Ebenso muß in der Stirnwand der Zielbaugrube eine Öffnung vorhanden sein, in welcher der Vortrieb endet. Wird nur eine Haltung aufgefahren, braucht die Zielbaugrube nur für das Bergen der Vortriebsmaschine dimensioniert werden. Häufig kommt es jedoch vor, daß die Zielbaugrube wieder als neue Startbaugrube für eine neue Haltung bei Änderung der Trasse genutzt wird.

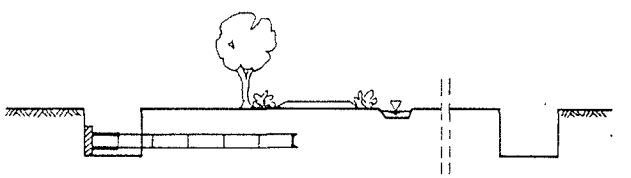
In der Startbaugrube wird die Vortriebsmaschine installiert, ausgerichtet und justiert. Mit ihr wird ein unterirdischer Hohlraum aufgefahren. Dieses kann durch statisches Drücken (Pressen), dynamische Kräfte (Rammen), Flüssigkeitsdrücke (Spülen), Drehbewegungen (Bohren) oder durch Kombination dieser Vorgänge geschehen.

Die Stützung des aufgefahrenen Hohlraumes übernehmen entweder Stahlschutzrohre oder gleich die eigentlichen Produktrohre. Diese werden in der Startbaugrube schussweise angesetzt und mittels hydraulischer Pressen vorgeschoben. Diese Pressen dienen gleichzeitig dazu, den nötigen Anpressdruck an der Ortsbrust zum Abbau des Bodens zu erzeugen. Die Abförderung des gelösten Bodens erfolgt durch den bereits fertiggestellten Rohrleitungsbereich. Je nach Verfahren geschieht dies auf mechanischem (Schneckenförderung) oder hydraulischem Wege.

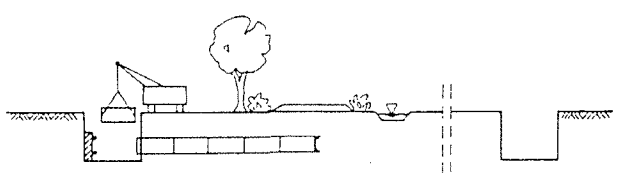
Eine Druckprüfung der Haltung garantiert die Dichtheit der Leitung. Die einzelnen Haltungen werden eventuell durch erforderliche Einsteige- und Belüftungsschächte verbunden, die Baugruben verfüllt und verdichtet, der Verbau rückgebaut und der entsprechende Deckenschluß hergestellt.



a) Einsetzen eines Rohrsegmentes in der Startbaugrube



b) Vortrieb des gesamten Rohrstranges mit hydraulischen Pressen



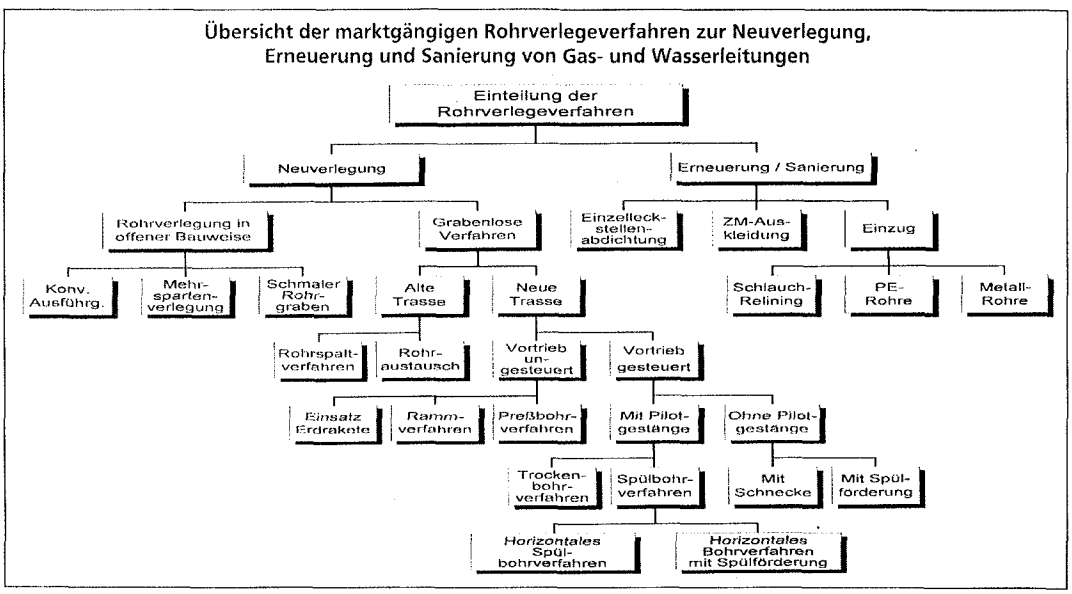
c) Zurückfahren der Pressen und Einsetzen des nächsten Segmentes

Bauablauf beim Rohrvortriebsverfahren

Bild 1-1, [2] Allgemeiner Bauablauf

1.3 Die unterschiedlichen Verfahren

Der Verlegung von Rohrleitungen stehen, wie schon bereits erwähnt, eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung. Einen Überblick liefert nachfolgende Grafik des DVGW.



Tab 1-2, [3]

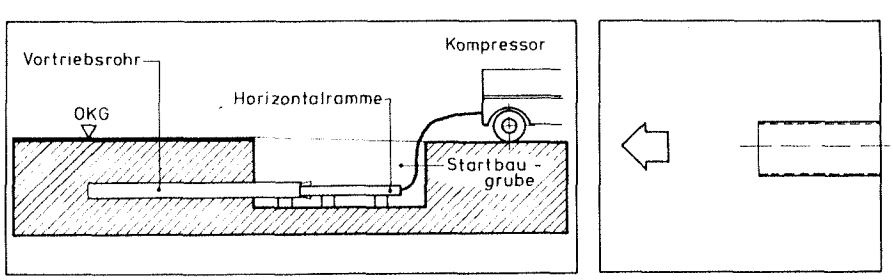
Im Folgenden sollen einige dieser Verfahren näher erläutert werden. Es werden ausschließlich Techniken zur Verlegung neuer Trassen mittels Bodenentnahme betrachtet. Sämtliche Verfahren zur Erneuerung, Überfahrung (Pipeeating) und Sanierung bestehender Leitungen, sowie die Bodenverdrängungsverfahren bleiben in meinen Ausführungen ohne Beachtung.

Ein erstes Unterscheidungsmerkmal der Rohrvortriebsverfahren liegt in ihrer Steuerbarkeit.

1.3.1 Nicht steuerbare Verfahren

1.3.1.1 Horizontalrammverfahren mit offenem Rohr

Die Horizontalramme mit offenem Rohr gehört zu den nicht steuerbaren Verfahren. Das Arbeitsprinzip besteht darin, daß ein vorn offenes Rohr mittels einer Horizontalramme in den anstehenden Boden getrieben wird. Als Ramme können Erdverdrängungshämmer (Bodenraketen), die mit konischen Kegeln der vorzutreibenden Rohrnennweite angepasst und mit ihr kraftschlüssig verbunden werden, oder Rohrrammen zum Einsatz kommen. Die von der Ramme auf das Rohr übertragenen dynamischen Kräfte treiben es in den Boden. Der sich dadurch bildende Bodenpfropfen verbleibt im Rohr und wird nach Beendigung des Vortriebs mittels Druckluft, Druckwasser oder Förderschnecke entfernt. Zur Verminderung der Mantelreibung kann ein innerer und ein äußerer Schneidring angeschweißt werden, wodurch es zu einem Überschnitt bzw. Ringspalt beim Vortrieb kommt. Aufgrund der dynamischen Belastung des Vortriebsrohres kommen nur Stahlrohre in Betracht. Die Baugrubenlänge ergibt sich aus der Länge eines Rohrschusses und der Länge der Horizontalramme. Durch das Rammprinzip ist die Errichtung eines Widerlagers nicht erforderlich. Das Horizontalrammverfahren mit offenem Rohr eignet sich für Nennweiten von DN 200 bis DN 1400. In Abhängigkeit von der anstehenden Bodenart werden Vortriebsgeschwindigkeiten von ca. 5-20 m/h erreicht. Als realisierbare Vortriebslänge können etwa 80 m angesehen werden.

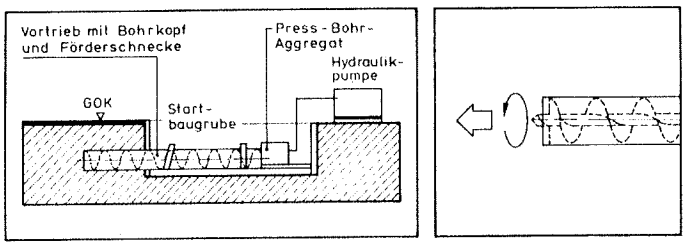


Bodenentnahmeverfahren – Horizontalramme mit offenem Rohr

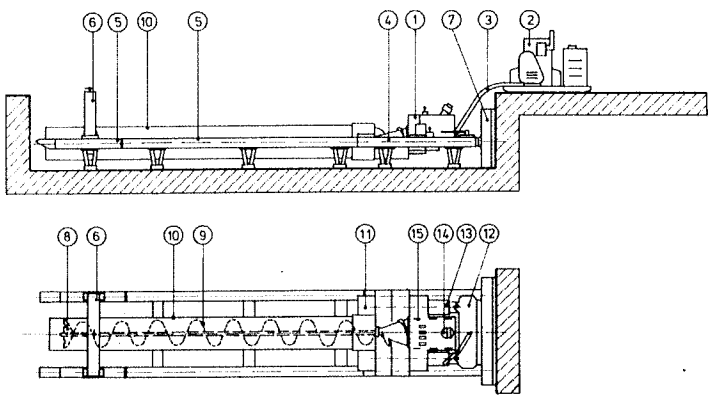
Bild 1-2, [1]

1.3.1.2 Horizontal - Pressbohrverfahren

Das Horizontal-Pressbohrverfahren gehört ebenfalls in die Gruppe der nicht steuerbaren Verfahren. Ein vorn offenes Rohr wird von der Startbaugrube aus durch statischen Druck in den Baugrund gepreßt. Gleichzeitig wird an der Ortsbrust der Boden durch einen Bohrkopf kontinuierlich gelöst. Die Bodenabförderung übernimmt eine Schnecke. Der Bohrkopf und die Schnecke bilden eine Einheit und werden von der Pressbohranlage in der Startbaugrube angetrieben. Die Pressbohranlage besteht aus einem Grundrahmen als Geräteträger, auf dem der Antrieb für die Förderschnecke und die Presszylinder montiert sind. Die Zylinder stützen sich über eine Druckbrücke am Rahmen ab und erzeugen beim Ausfahren die entsprechende Vortriebskraft. Da der Hubweg der Zylinder technisch begrenzt ist, kann das gesamte Aggregat auf dem Grundrahmen verschoben und die Druckbrücke neu verriegelt werden. Über den Grundrahmen werden die Vortriebskräfte auf das Widerlager am Baugrubenrand übertragen. Die Richtungs- und Zielgenauigkeit des gesamten Vortriebs hängt entscheidend von der Einrichtungsgenauigkeit der Anlage für den ersten Rohrschuss ab. Der Antrieb der Anlage erfolgt außerhalb der Baugrube durch Diesel- oder Elektromotoren in Verbindung mit einem hydraulischen Pumpenaggregat. Der Durchmesser der Förderschnecke und des Abbauwerkzeuges müssen dem Durchmesser des Rohres angepasst werden. Die Wahl der Bohrkopfart ist abhängig von der abzubauenden Bodenart (BK 3-7). Das Horizontalpressbohrverfahren eignet sich für Stahlrohre mit Nennweiten von DN 150 bis DN 1400. Die Vortriebslänge wird durch die Torsionswiderstandsfestigkeit der Förderschnecke auf etwa 30 - 60 m beschränkt. Da der komplette Bohrkopf mit der Schnecke durch den Rohrstrang zurückgefahren werden kann, lassen sich Abbauwerkzeuge wechseln und Hindernisse leicht beseitigen. Die erreichbaren Vortriebsgeschwindigkeiten betragen ca. 1-12 m/h. Der Einsatz im Grundwasser ist nur mit aufwendigen Hilfsmaßnahmen möglich.



Bodenentnahmeverfahren – Horizontal-Preßbohrgerät



Aufbau eines Horizontal-Preßbohrgerätes am Beispiel der Anlage HPB 550 der CELLER Maschinenfabrik

Bild 1-3, [1]

1.3.1.3 Zusammenfassung der nicht steuerbaren Verfahren

Die nicht steuerbaren Verfahren sind in fast allen Bodenarten einsetzbar. Eine Grundvoraussetzung ist die Standfestigkeit, um einen unkontrollierten Bodenabbau an der Ortsbrust und dadurch Setzungen an der Geländeoberkante zu vermeiden. Die Charakteristik dieser Verfahren führt zu folgenden Randbedingungen, die bei der Ausführung beachtet werden müssen:

1. Durch die Nichtsteuerbarkeit der Verfahren hängt die Zielgenauigkeit des Vortriebes sehr stark von den Erfahrungen und der Geschicklichkeit des Personals und den geologischen Verhältnissen ab. Bei Vortrieben bis DN 800 sind mittlere Lageabweichungen von mindestens 1-2 % der Vortriebslänge einzukalkulieren.
2. Alle Haltungen können nur in gerader Trasse aufgefahren werden.
3. Es können nur verschweißte Stahlrohre als Schutz- oder Produktrohr vorgetrieben werden.
4. Der Einsatz in grundwasserführenden Bodenschichten ist nur mit Hilfsmaßnahmen möglich.

Dadurch eignen sich diese Verfahren nur für Vortriebe mit geringer Länge und geringer Lagegenauigkeit.

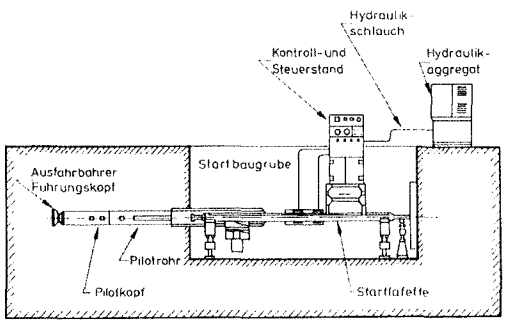
1.3.2 Steuerbare Verfahren

Um die Nachteile der nicht steuerbaren Verfahren zu umgehen, wurden seit der Mitte der 70er Jahre zahlreiche Verfahren zum ferngesteuerten, unbemannten Vortrieb entwickelt. Das Ziel war es, Verfahren zur Herstellung unterirdischer, korrosionssicherer Leitungen mit Längen von mehr als 150 m und hoher Lagegenauigkeit, in beliebiger Tiefenlage und im Grundwasser zu konzipieren. Dabei kam es zu Weiterentwicklungen der nicht steuerbaren Verfahren und von Verfahren aus dem Tunnelbau. Als ein Unterscheidungsmerkmal haben sich zwei verfahrenstechnische Varianten der Phasigkeit herausgebildet. Beim Einphasenvortrieb wird das Produktrohr im gesteuerten Vortrieb eingebaut. Den Zweiphasenvortrieb kennzeichnet der gesteuerte Vortrieb eines Schutz- oder Pilotrohres im Bodenverdrängungs- oder Bodenentnahmeverfahren als erste Phase und der nachträgliche Einbau, ggf. durch Aufweitung, des Produktrohres als zweite Phase. Vorteil des Vortriebs in einer Phase ist der geringere Zeit- und Arbeitsaufwand. Nachteilig ist die Verwendung von Produktrohren als Vortriebsrohre, da sie die Vorpresskräfte begrenzen, teurer als normale Produktrohre sind und nicht wie beim Schutzrohr wiederverwendet werden können.

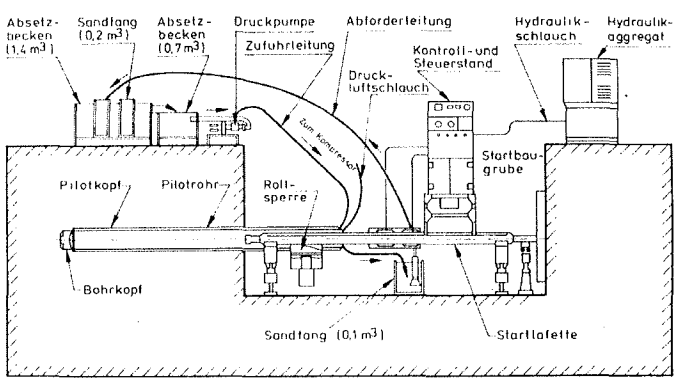
1.3.2.1 Pilotrohrverfahren

Das Pilotrohrverfahren gehört zu den steuerbaren Zweiphasenvortrieben. In der ersten Phase wird eine gesteuerte Pilotbohrung von 88,9 bis 406 mm Durchmesser hergestellt. Ist dieses geschehen, folgt die zweite Phase mit der Aufweitung der Pilotbohrung und dem anschließenden Einbau des Produktrohres. Die zweite Phase ist ungesteuert. Der Aufweitungskopf nutzt das Pilotrohr als Führung. Der Bodenabtransport erfolgt je nach Verfahren über eine Schnecke im Pilotrohr zur Start- oder Zielbaugrube. Arbeiten im Grundwasser werden durch den Einsatz von Schleusenkonstruktionen bei Schneckenförderung oder mit hydraulischer Förderung ermöglicht. Die Stützung der Ortsbrust erfolgt durch Erddruck oder hydraulisch.
Das Pilotrohrverfahren eignet sich für Nennweiten von DN 150 - DN 800. Die Vortriebslängen sind auf ca. 50 m begrenzt. Die erreichbare Lagegenauigkeit wird mit

+/-30 mm in der Gradiente und +/- 50 mm in der Trasse angegeben. Vortriebe in grundwasserführenden Böden sind prinzipiell möglich. Als Vorteil der Pilotbohrung kann der Aufschluss der zu durchfahrenden Bodenschichten in Hinblick auf die Wahl eines geeigneten Aufweitungskopfes gesehen werden. Neben der hier aufgezeigten Ausführungsmöglichkeit existieren noch zahlreiche andere Varianten, die sich jedoch nicht von der Grundkonzeption unterscheiden.



Verfahren IRON MOLE TP80 – Pilotbohrung mit verdrängendem Pilotkopf



Verfahren IRON MOLE TP80 – Pilotbohrung mit abbauendem Pilotkopf

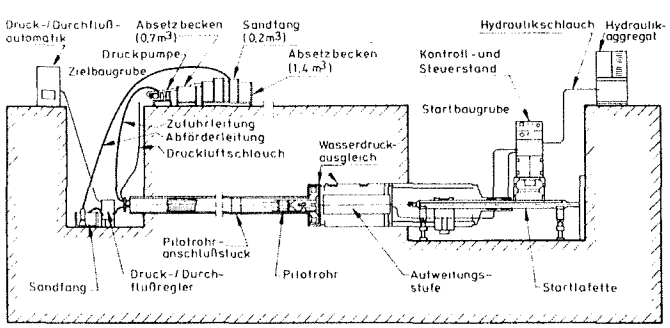
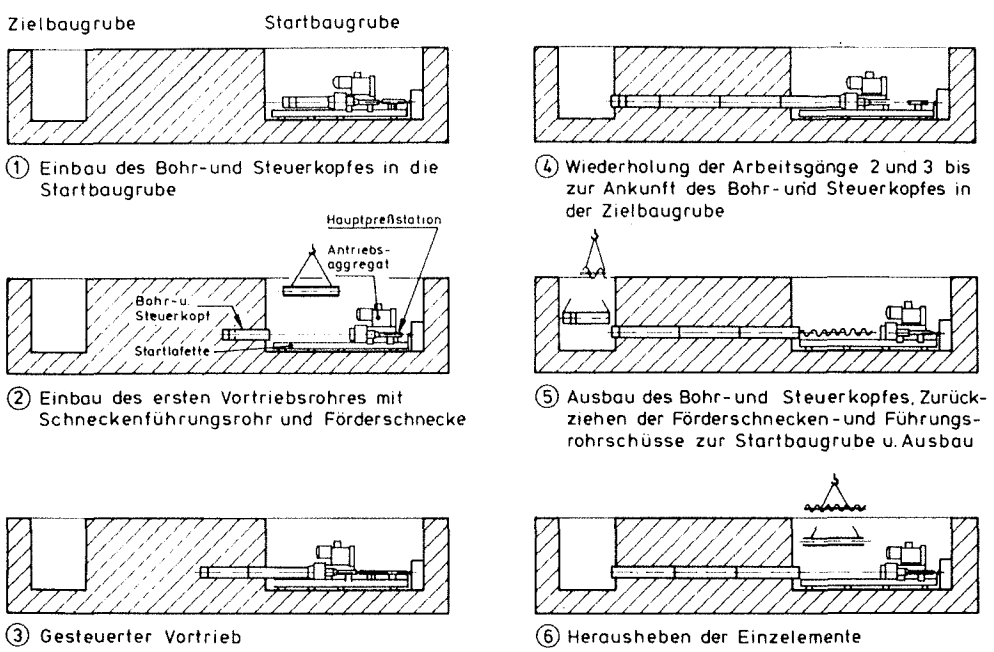


Bild 3-66
Aufweitungsbohrung nach dem Bodenentnahmeprinzip mit hydraulischer Förderung [3-14]

Bild 1-4, [1]

1.3.2.2 Pressbohrverfahren

Bei dem steuerbaren Pressbohrverfahren handelt es sich um eine Weiterentwicklung des nicht steuerbaren Horizontal-Pressbohrverfahren aus Abschnitt 1.3.1.2.. Es kann für den Einphasenbetrieb zum Vortrieb von Produktrohren als auch dem Zweiphasenbetrieb zum Vortrieb von Schutzrohren eingesetzt werden. Der Bodenabbau erfolgt wieder über einen, der Bodenart angepassten Bohrkopf, der über die Förderschnecke aus der Startbaugrube angetrieben wird. Die Förderschnecke läuft hierbei in einem speziellen Führungsrohr und ermöglicht so den Einbau von Produktrohren aus beliebigen Vortriebsrohrmaterialien.
Die Arbeitsabläufe stellt Bild [1-5] anschaulich dar.

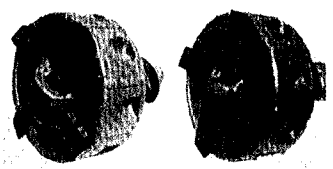


Arbeitsablauf beim Preßbohrverfahren – Einphasiger Vortrieb

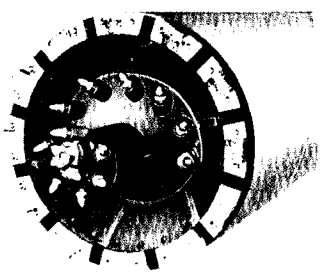
Bild 1-5, [1]

Die Steuerbarkeit des Vortriebes wird durch einen gelenkigen Steuerkopf gewährleistet. Im Steuerkopf sind 3 oder mehr Steuerzylinder angeordnet, die unabhängig voneinander bedient werden können und somit in gewissen Grenzen eine Richtungsänderung ermöglichen. Der Einsatz des Pressbohrverfahrens im Grundwasser

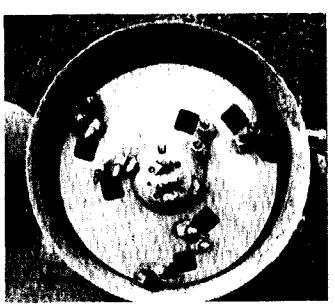
ist ohne Hilfsmittel nur begrenzt möglich. Bildet sich im Bohrkopfbereich ein Bodenpfropfen, kann dieser bei geringen Grundwasserständen für eine ausreichende Abdichtung sorgen. Eine konische Verjüngung des Bohrkopfes kann die Pfropfenbildung unterstützen. Bei stärkerem Grundwasserdruck müssen Vortriebsmaschinen mit Spezialausrüstung eingesetzt werden.
Das Pressbohrverfahren eignet sich für Vortriebe mit Nennweiten von DN 250 - DN 800 und Vortriebslängen von 60 m.



Bohrköpfe des Preßbohrverfahrens IRON MOLE TP 90 S



Preßbohrverfahren WITTE VM-F



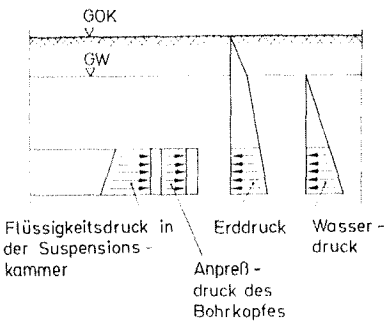
Bohrkopf des Preßbohrverfahrens WESTFALIA WBM-L

Bild 1-6, [1]

1.3.2.3 Schildvortriebsverfahren

Ein weiteres steuerbares Rohrvortriebsverfahren stellt das Schildvortriebsverfahren dar. Es wird i.d.R. im Einphasenvortrieb eingesetzt. Bei der Entwicklung des Schildvortriebs für den nicht begehbaren Nennweitenquerschnitt wurden die bereits im Tunnelbau erfolgreich eingesetzten Schildvortriebsverfahren zum Vorbild genommen. Wie auch im Tunnelbau erfolgt auch beim Rohrvortrieb der Bodenabbau an der Ortsbrust vollflächig, welche mechanisch- und flüssigkeitsgestützt ist. Die Abförderung des gelösten Bodens erfolgt hydraulisch. Der Steuerkopf besteht aufgrund der Steuerbarkeit wieder aus zwei gelenkig miteinander verbundenen Teilen, dem Schild und dem Maschinenrohr, zwischen denen sich die Steuerzylinder befinden. Das sich im Schild befindliche Abbauwerkzeug kann je nach abzubauender Bodenart und nach Maschinenhersteller die unterschiedlichsten Formen annehmen. Der Antrieb des Bohrkopfes erfolgt, nicht wie beim Pressbohrverfahren aus der Startbaugrube sondern über einen direkt dahinter gelagerten Antriebsmotor. Über Schlauchleitungen wird ständig Flüssigkeit in Form von Wasser oder Bentonitsuspension in die Kammer gepumpt, um den Stützdruck aufrecht zu erhalten und den gelösten Boden abzutransportieren. In einer Separationsanlage oder in Absetzcontainer werden Boden und Flüssigkeit wieder voneinander getrennt. Die Erzeugung des nötigen Anpressdruckes und der Vortrieb der Rohrschüsse obliegt wieder der Hauptpressstation in der Startbaugrube, die sich gegen ein Widerlager an der Rückwand abstützt. Bis auf den fehlenden Schneckenantrieb unterscheidet sie sich kaum von der des Pressbohrgerätes.

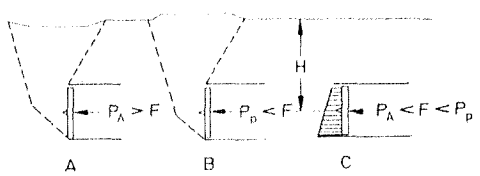
Das Zusammenspiel von Bodenabbau, Stützung der Ortsbrust und des Feststoff-Flüssigkeitskreislaufs ist beim Schildvortrieb von entscheidender Bedeutung. Das an der Ortsbrust auftretende Kräftespiel aus Erddruck, Wasserdruck bei Vorhandensein von Grundwasser, Anpressdruck des Bohrkopfes und dem Druck der Stütz- und Förderflüssigkeit in der Abbaukammer muss so eingestellt werden, dass schädliche Deformationen der Geländeoberfläche ausgeschlossen werden.



Kräfte an der Ortsbrust bei Schildvortriebsverfahren

Bild 1-7, [1]

Um Bodeneinbrüche zu verhindern wird der Druck F etwas größer als der aktive Erddruck (P_A gem. Bild [1-8]) eingestellt. Wird der Anpressdruck jedoch zu groß gewählt, kann es zu Hebungen der Geländeoberkante kommen. Deshalb wird der Druck F kleiner als der passive Erddruck (P_P gem. Bild [1-8]) gewählt.



Auswirkungen des Bohrkopfanpreßdruckes auf die Baugrunddeformationen

Bild 1-8, [1]

Der an der Ortsbrust gegebenenfalls anstehende Grundwasserdruck wird mit Hilfe der Transportflüssigkeit ausgeglichen. Dabei wird der Stützflüssigkeitsdruck etwa 10 - 20% größer als der Druck des Grundwassers eingestellt. Durch diese Steuerungsmöglichkeiten ist mit dem Schildvortriebsverfahren eine für Nachbarbebauungen schonende Bauweise vorhanden.

Mit ihm lassen sich Vortriebe ab Nennweiten von DN 250 – DN 3000 realisieren. Es können sämtliche Vortriebsrohrmaterialien benutzt werden. Die Vortriebslänge kann mit etwa 150 - 1500 m angegeben werden. Die Grenze wird dabei durch den Mantelreibungswiderstand und der Begrenzung der zulässigen Vorpresskraft gesetzt.

Der Aufwand für die Verlegung der Versorgungsleitungen für die Vortriebsmaschine, die mit jedem angesetzten Rohrschuss verlängert werden müssen, übersteigt ab einer gewissen Länge den wirtschaftlichen Nutzen.
Dennoch sind bei günstigen Bodenverhältnissen, dem Einsatz von Dehner (Zwischenpressstationen) und einer kontinuierlichen Schmierung des Rohrstranges mit Bentonit Vortriebe über mehrere 100m problemlos auffahrbar.

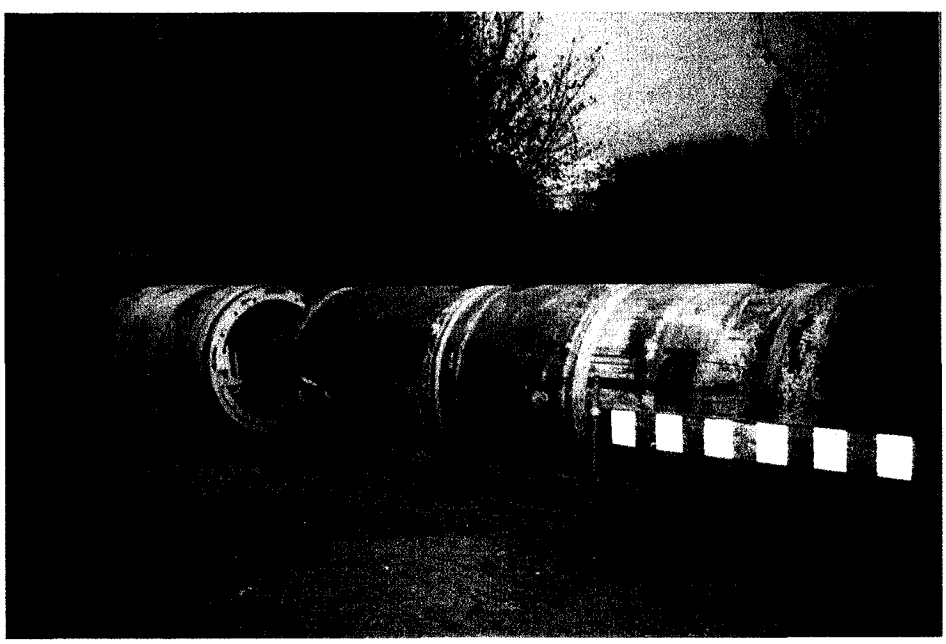


Bild 1-9, Schildvortriebsmaschine Herrenknecht AVN 1600 der Fa. Gildemeister

1.3.2.4 Zusammenfassung

Mit dem Schildvortriebsverfahren steht heute ein leistungsfähiges Verfahren zur Verfügung, das es ermöglicht, längere Vortriebsstrecken auch im Grundwasser mit hoher Zielgenauigkeit aufzufahren. Der technische Aufwand ist dabei wesentlich höher als beim Pressbohrverfahren, zum Beispiel durch den Einsatz von Zwischenpressstationen, Separieranlagen und einer aufwendigen Vermessungstechnik. Die anfänglichen Probleme mit der Förderbarkeit des maximalen Größtkornes, insbesondere bei der hydraulischen Förderung mit Leitungen und Pumpen, wurden durch den Einsatz von entsprechenden Abbauwerkzeugen oder speziellen Brechern, die das Größtkorn begrenzen, ausgeschaltet.

1.4 Vortriebsrohre

Die Besonderheiten von Vortriebsrohren gegenüber von Rohren, die in der offenen Bauweise verlegt werden, liegt in der zusätzlichen Beanspruchung während des Bauzustandes. Vortriebsrohre können in unterschiedlichen Werkstoffen ausgeführt sein. So befinden sich heutzutage Rohre aus Stahlbeton, Steinzeug, Faserzement, Polymerbeton, glasfaserverstärktem Kunststoff und Stahl auf dem Markt. Weiterhin gibt es eine große Auswahl an Verbundrohren. So wird z.B. der für den Vortriebszustand günstige Stahlbeton mit für den Betriebszustand vorteilhaften Auskleidungen (z.B. GFK- oder PVC-Inliner) kombiniert.

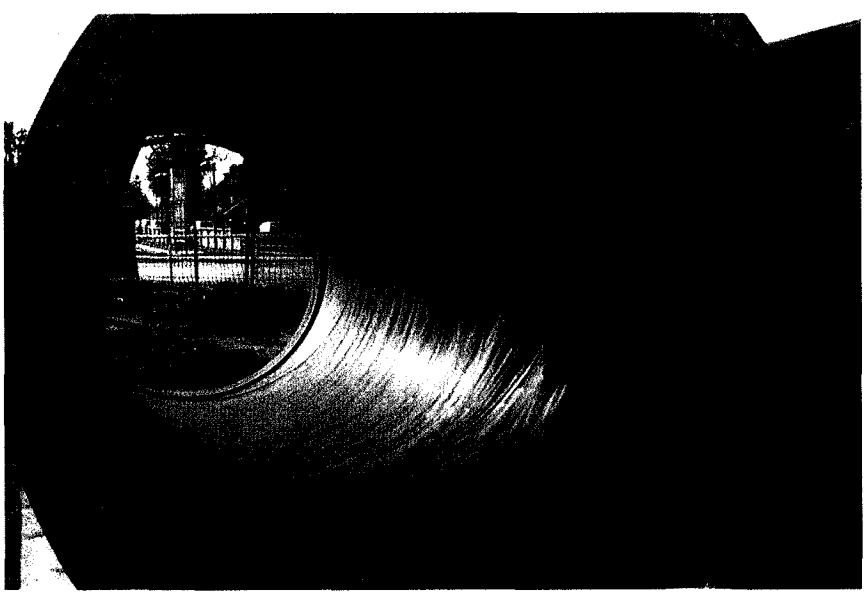


Bild 1-10, Von Gildemeister in Zusammenarbeit mit dem Rohrhersteller Gollwitzer entwickeltes und patentiertes Stahl-Stahlbeton-Verbundvortriebsrohr DN1200. Der Stahl-Inliner wird nach erfolgreichem Vortrieb verschweißt und mit einer ZM-Auskleidung versehen.

Ein Auswahlkriterium stellt zum Beispiel das im Betriebszustand zu befördernde Medium und die Widerstandsfähigkeit gegenüber diesem Medium dar. So lassen sich beispielsweise Steinzeugrohre gut im Abwasserbereich einsetzen. Stahlrohre sind trotz ihrer guten mechanischen Eigenschaften aufgrund der mangelnden

Korrosionsbeständigkeit ohne zusätzliche Maßnahmen als Produktrohr nur bedingt geeignet. Sie werden vornehmlich als Schutzrohr eingesetzt. In Verbindung mit der geschlossenen Bauweise werden spezielle Anforderungen an die Verbindungen der Rohrsegmente gestellt. Diese können druckkraftschlüssig oder druck- und zugkraftschlüssig, zum Beispiel durch Verschweißen von Stahlrohren, ausgeführt werden. Stahlbeton- und Steinzeugprofile werden mit druckkraftschlüssigen Verbindungen ausgebildet. Ein zwischen den Rohren gelagerter Druckübertragungsring aus Holz oder Holzwerkstoffen soll Spannungsspitzen bei Oberflächenunebenheiten und Außermittigkeiten verhindern.

Bei der Berechnung und Bemessung von Vortriebsprofilen muss man grundsätzlich zwei Belastungsarten unterscheiden. Es treten Belastungen in Richtungen quer zur Rohrachse und in der Rohrachse auf. Den Zeitpunkt der Einwirkung begrenzt man auf den Bauzustand und/oder den Betriebszustand. Einen Überblick über die einzelnen Lastkomponenten liefert folgende Tabelle.

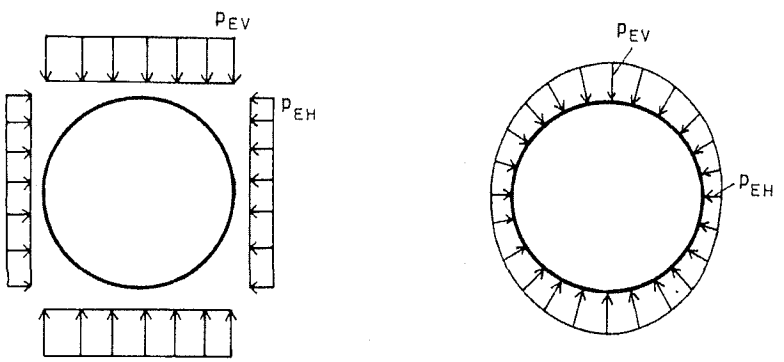
Lasten, quer zur Rohrachse wirkend		
Belastung	im Bauzustand wirkend	im Betriebszustand wirkend
Eigengewicht	+	+
Erdlast	+	+
gleichmäßig verteilte Flächenlasten (Schüttgüter)	+	+
seitlicher Erddruck	+	+
Verkehrslasten	+	+
begrenzte Flächenlasten	+	+
Wasserfüllung bis Rohrscheitel		+
Innerer Überdruck		+
Innerer Unterdruck		+
Äußerer Wasserdruck bis Rohrscheitel	+	+
Äußerer Wasserdruck über Rohrscheitel	+	+
Stütz- und Gleitmitteldruck	+	
Druckluft	+	+
Zwängungsbeanspruchung	+	
Auftrieb	+	+

Lasten, in Achsrichtung der Rohre wirkend		
Belastung	im Bauzustand wirkend	im Betriebszustand wirkend
Vorpreßkräfte	+	
Druckluft	+	
zusätzliche Beanspruchungen z. B. infolge Steuerung des Vortriebes	+	

Sonderfälle sind zusätzlich zu erfassen.

Tab. 1-3, [2]

Die Belastung des Rohres quer zur Achse infolge des Bodeneigengewichtes wird in gleichmäßig verteilte vertikale und horizontale Komponenten zerlegt. Der vertikale Anteil ergibt sich aus den vertikalen Bodenspannungen. Durch Multiplikation der vertikalen Spannungen mit einem Erddruckbeiwert K_2 erhält man die horizontalen Erddruckordinaten. Diese Belastungsfigur ist für den Endzustand hinreichend genau. Während des Vortriebs wird allerdings von einer radial wirkenden Belastungsverteilung ausgegangen, die durch eine $\cos^2$-Funktion angenähert werden kann. Bei der Bemessung mittelt man die Schnittgrößen beider Belastungszustände.



Angenommene Verteilung der Erddruckspannungen a) im Ausgangs- und Endzustand und b) während des Vortriebes

Bild 1-11, [2]

Während des Vortriebs wird der Rohrstrang in axialer Richtung durch die Vorpresskraft beansprucht. Diese ist zur Überwindung des Vortriebswiderstandes nötig. Die Abschätzung bzw. Bestimmung des zu erwartenden Vortriebswiderstandes ist ausschlaggebend für die Dimensionierung der Vortriebspressen und des Widerlagers. Der Vortriebswiderstand setzt sich zusammen aus der Mantelreibung zwischen Boden und Rohr und dem Schneidenwiderstand an der Ortsbrust.

Die Mantelreibungskraft F_M läßt sich aus folgendem Ansatz [2] berechnen:

$$F_M = \mu * N_{res} * l \qquad (1.1)$$

μ - Reibungsbeiwert
N_{res} - resultierende, senkrecht zum Rohrmantel wirkende Kraft pro m infolge Erdlast
l - Rohrleitungslänge

In der Bodenmechanik wird bei einer Relativbewegung zwischen Wand und Boden üblicherweise der Wandreibungswinkel δ herangezogen. Den Reibungsbeiwert μ und den Wandreibungswinkel δ kann man in folgende Beziehung zueinander setzen $\mu = \tan\delta$. Da mit zunehmender Vortriebslänge die Mantelreibung ansteigt, kann man zur Herabsetzung des Reibungsbeiwertes den Raum zwischen Rohrmantel und Boden mit einer Bentonitsuspension schmieren. Durch die Aufrechterhaltung des Suspensionsdruckes während des gesamten Vortriebs wird der anstehende Boden daran gehindert, sich an das Rohr anzulegen. Der Erfolg der Ringraumschmierung hat sich in der Praxis schon oft gezeigt. So konnte z.B. von der Fa. Gildemeister GmbH & Co.KG (kurz „Gildemeister") beim Bauvorhaben Hauptstraße in Berlin-Pankow(Buchholz) ein Stahl-Stahlbetonverbundrohr DN1200 mittels Bentonitschmierung über eine Haltungslänge von ca. 315m mit einer maximalen Presskraft von ca. 1300kN vorgetrieben werden.

Für die Bestimmung bzw. Abschätzung des Reibungsbeiwertes und der resultierenden Normalkraft finden sich in der Literatur zahlreiche unterschiedliche Vorstellungen und Vorschläge, deren weitere Betrachtung hier außen vorbleibt.

Der Schneidenwiderstand kann durch die Ausbildung einer grundbruchähnlichen Fließzone vor der Schneide beschrieben werden. Die rechnerische Ermittlung führt in der Literatur zu sehr unterschiedlichen Auffassungen und auch recht großen Abweichungen in den Ergebnissen untereinander. Da aber, wie schon erwähnt, mit zunehmender Vortriebslänge die Mantelreibung steigt, vermindert sich der Anteil des Schneidenwiderstandes an der erforderlichen Vortriebskraft ständig. Im Vergleich zur

Mantelreibung ist der Schneidenwiderstand als gering einzustufen, sodass grobe Schätzungen für die Ausführung ausreichend sind.

Die so ermittelte, erforderliche Vortriebskraft wird nur dem zuletzt angesetzten Rohrsegment in voller Größe beaufschlagt. In Richtung Bohrkopf nimmt sie durch steigende Widerstände ab.

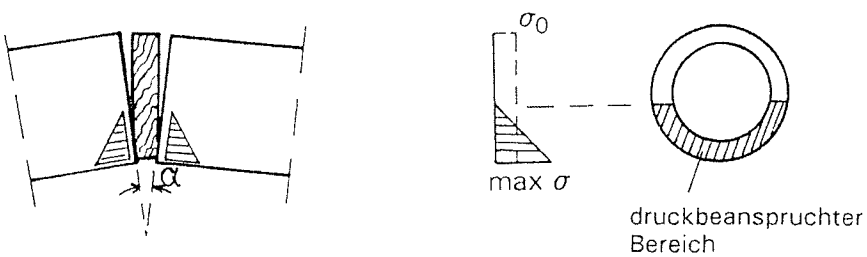
Als gleichmäßig über den Querschnitt verteilte Druckspannung σ_0 [2] ergibt sich:

$$\sigma_0 = \frac{V}{A} \tag{1.2}$$

V - Vortriebskraft

A - Profilfläche

Aufgrund von Bodeninhomogenitäten kommt es in der Praxis zu ungewollten Ausmitten und von planmäßigen Ausmitten infolge von Steuerbewegungen.



Klaffende Fuge infolge geknickter Gradiente der Leitung

Bild 1-12, [2]

Teilbereiche des Querschnittes werden so stärkerer beansprucht. Die zulässige Vortriebskraft zul V läßt sich dann aus [2] :

$$\text{zul } V = A * \frac{\text{zul } \sigma_{LD}}{\frac{\max \sigma}{\sigma_0}} \tag{1.3}$$

zul σ_{LD} - zulässige Längsdruckspannung

$\frac{\max \sigma}{\sigma_0}$ - Spannungsverhältnis zwischen exzentrischer und zentrischer Belastung