

Rohrvortrieb

Durchpressung begehrter Leitungen

Hermann Schad, Tobias Bräutigam,
Steffen Bramm

Hermann Schad, Tobias Bräutigam, Steffen Bramm
Rohrvortrieb
Durchpressung begehrbarer Leitungen
2. Auflage

Rohrvortrieb

Durchpressung begehrter Leitungen

Hermann Schad, Tobias Bräutigam,
Steffen Bramm

Dr.-Ing. habil. Hermann Schad
Dipl.-Ing. Tobias Bräutigam
Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart
Otto-Graf-Institut
Pfaffenwaldring 32
D-70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. (FH) Steffen Bramm
H. Bramm GmbH
Rotenbergstraße 7
D-71665 Vaihingen

Titelbild: Rohrvortrieb (DN 2600 mm) für die Meerwasserentsalzungsanlage
in Ashkelon (Israel); Fotografin: Mali Goldfarb / H. Bramm GmbH

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

ISBN 978-3-433-02912-1

© 2008 Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen,
vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung
des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein
anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere
von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder
übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages).
No part of this book may be reproduced in any form – by photoprint,
microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine
language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen
Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von
jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um
eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen
handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Umschlaggestaltung: eiche.eckert° | Werbeagentur, Achern
Druck: Strauss GmbH, Mörlenbach
Bindung: Litges & Dopf Buchbinderei GmbH, Heppenheim

Printed in Germany

Vorwort zur 2. Auflage

Da bereits nach nicht ganz 5 Jahren der 1. Auflage eine 2. Auflage folgt, konnte auf eine inhaltliche Überarbeitung und Erweiterung verzichtet werden. Es wurden lediglich Druckfehler berichtigt und eine Anpassung an die neue Situation in der Normung vorgenommen.

Unser herzlicher Dank gilt dem Verlag, vor allem Frau Dipl.-Ing. Ozimek, durch deren Engagement die 2. Auflage möglich wurde.

Stuttgart und Vaihingen/Enz, im März 2008

Hermann Schad
Tobias Bräutigam
Steffen Bramm

Vorwort zur 1. Auflage

Angesichts der knapper werdenden Bauflächen und der zunehmenden Schwierigkeiten bei der Inanspruchnahme fremder Grundstücke gewinnt die unterirdische Bauweise im Kanal- und Leitungsbau immer mehr an Bedeutung. Mit dem unterirdischen Einbringen der Leitungen werden Verkehrsstörungen, Rechtsstreitigkeiten und schädliche Eingriffe in die Umwelt weitgehend vermieden.

Unter den Verfahren der geschlossenen Bauweise wird der Rohrvortrieb, das Durchpressen, beim Kanal- und Leitungsbau im begehbaren Bereich auch in Zukunft meist die optimale Technik sein, da der Grad der Mechanisierung leicht für die jeweilige Bauaufgabe optimiert werden kann.

Die Fortschritte in der Maschinen- und Steuerungstechnik innerhalb des letzten Jahrzehntes haben den kostengünstigen und umweltschonenden Einsatz der Durchpresstechnik – auch bei gekrümmtem Verlauf der Leitung – stark erweitert. Mit der Einschaltung von Dehnerstationen wurden schon Leitungen von bis zu 2,5 km ohne Zwischenschacht aufgefahren.

Das vorliegende Buch beschreibt nicht nur die Anforderungen an Rohrvortriebe, sondern zeigt auch detaillierte Lösungswege auf, um unseren Fachkolleginnen und -kollegen bei der Bewältigung der bei Rohrvortrieben häufig schwierigen Situationen zu helfen. Da wir uns bemühten, die Darstellung überschaubar zu gestalten und den Umfang des Buches begrenzten, konnten nicht alle Fragestellungen mit der wünschenswerten Ausführlichkeit behandelt werden. Für gründliche Antworten bei Spezialfragen verweisen wir daher die Leserinnen und Leser auf das umfangreiche Literaturverzeichnis. Für die Bearbeitung des Themas wurde folgende Aufteilung gewählt:

- Kapitel 1 bis 3: T. Bräutigam,
- Kapitel 4 und 5: H. Schad,
- Kapitel 6: S. Bramm.

Die Autoren danken dem Verlag für die Herausgabe des Buches und die stets gute Zusammenarbeit mit Frau Dipl.-Ing. Herr und Frau Dipl.-Ing. (FH) Herrmann,

die uns durch ihre Hinweise und Korrekturen stets engagiert und kompetent unterstützten.

Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt, dem Direktor des Otto-Graf-Instituts der Universität Stuttgart, an dem die Autoren der Kapitel 1 bis 5 arbeiten, gebührt Dank für sein Interesse und Verständnis. Für die Durchsicht der Formeln und Ableitungen in Kapitel 4 sei Herrn Prof. Dr.-Ing. Buchmaier herzlich gedankt. Für die Hilfe bei der Benutzung des Textsystems und der grafischen Aufbereitung der Bilder danken wir Herrn Dipl.-Ing. Willand und Frau Bauer.

Stuttgart und Vaihingen/Enz, im Juli 2003

Hermann Schad
Tobias Bräutigam
Steffen Bramm

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Rohrvortriebstechnik	1
1.1	Einführung	1
1.1.1	Grundprinzip des Bauverfahrens	1
1.1.2	Abgrenzung zu anderen Bauverfahren	2
1.1.3	Vortriebstechnik: Tendenzen und technische Grenzen	5
1.1.4	Nutzungsgerechte Planung	13
1.2	Regelwerke	17
1.2.1	Klassifikationssystem für Locker- und Festgesteine	18
1.2.2	Herstellverfahren und Regelwerke für Stahlbetonrohre	20
1.2.3	Anforderungen und Toleranzen für Stahlbetonrohre	23
1.3	Auffahrung von Rohrvortrieben	33
1.3.1	Vortriebe mit steigender Gradiente	33
1.3.2	Besonderheiten bei fallender Gradiente	34
1.3.3	Bogenförmige Trassen	35
1.4	Startschächte, Zielschächte und Zwischenschächte	37
1.4.1	Technologie des Schachtbaus	37
1.4.2	Auslegung von Startschächten	42
1.4.3	Zwischenschächte	43
1.4.4	Zielschächte, Zielbaugruben und Bergegruben	45
1.5	Rohrverbindungen und Dichtungen	46
1.5.1	Druckübertragungsring	47
1.5.2	Stahlführungsring	51
1.5.3	Außendichtung	53
1.5.4	Innendichtung	55
1.5.5	Aufbau von Rohrverbindungen	59
1.6	Halboffener Vortrieb	62
1.7	Ferngesteuerte Vortriebsverfahren für kleine bis mittlere Querschnitte	64
1.7.1	Gesteuerte Pressbohrverfahren	64
1.7.2	Einsatz ferngesteuerter Schildvortriebsmaschinen (Microtunneling)	65
2	Vortriebstechnologie: Maschinen und Geräte	69
2.1	Gesteinsabtrag, Laden und Fördern	69
2.1.1	Maschineller Gesteinsabtrag	69
2.1.2	Handabbau und manuelle Nachzerkleinerung	85
2.1.3	Unstetigförderung des Haufwerks im Rohrstrang	85
2.1.4	Stetigförderung des Haufwerks im Rohrstrang	87

2.2	Vorpresseinrichtungen	91
2.2.1	Hauptpressstation	91
2.2.2	Hauptvortriebspresen	91
2.2.3	Stahldruckring	97
3	Ausführung	99
3.1	Vorpressen von Rohren	99
3.1.1	Einbringen der Vortriebsrohre	99
3.1.2	Zwischenpress-Stationen	99
3.1.3	Steuerung von Rohrvortrieben	108
3.1.4	Vermessung und Vortriebsdokumentation	114
3.2	Abtragstechnik	119
3.2.1	Gesteinsabtrag	119
3.2.2	Standicherheit der Ortsbrust	122
3.2.3	Voraushub	128
3.2.4	Vorabinjektionen	128
3.2.5	Überschnitt und geologisch bedingter Mehrausbruch	129
3.3	Vorpresswiderstände	131
3.3.1	Brustwiderstand	132
3.3.2	Mantelreibung	135
3.4	Schmiermittel	143
3.4.1	Bentonit-Suspensionen	143
3.4.2	Schmierung mit Bentonit-Suspensionen	144
3.5	Verdämmung	152
3.5.1	Zweck und Anwendung des Verdämmens	152
3.5.2	Mineralische Verdämmstoffe	153
3.5.3	Technologie der Verdämmung des äußeren Ringspalts	156
3.6	Rohrvortriebe unter Druckluftbedingungen	159
3.6.1	Allgemeines	159
3.6.2	Hauptanwendungsgebiete	163
3.6.3	Baugrund und technische Einsatzgrenzen	163
3.6.4	Druckluftbedarf und bautechnische Maßnahmen	166
3.6.5	Medizinische Vorsorge, Arbeits- und Brandschutz	172
4	Statische Berechnung von Vortriebsrohren	173
4.1	Allgemeines	173
4.2	Belastung und Beanspruchung eines Kreisrings	174
4.2.1	Beanspruchung und Verschiebung bei Schneidenlast	177
4.2.2	Beanspruchung und Verschiebung bei Flächenlast	179
4.2.3	Superposition von horizontaler und vertikaler Flächenlast	181
4.3	Beanspruchungen im Baugrund	182

4.4	Regelungen von ATV A 161, DIN EN 1916 und DIN V 1201	185
4.4.1	Beanspruchung nach ATV A 161	186
4.4.2	Übergang zum Konzept von DIN 1045-1 (2001)	189
4.4.3	Zulässige Vortriebskraft	191
4.4.4	Begrenzung der Betonzugspannung	196
4.5	Berechnungsbeispiel	199
5	Statische Berechnung von Nebenbauwerken	203
5.1	Allgemeines	203
5.1.1	Verbaugeräte und Verbauboxen	204
5.1.2	Spundwände	204
5.1.3	Bohrpfahlwände	206
5.1.4	Schlitzwände	206
5.1.5	Spritzbeton	206
5.1.6	Schachtbauwerk als Senkkasten	207
5.2	Ein- und Ausfahrwand	209
5.3	Widerlagerwand	211
5.3.1	Einfache Berechnung der möglichen Widerlagerbelastung	211
5.3.2	Widerlagerbelastung nach dem Diagramm aus SIA 195 (1992)	211
5.4	Verankerung und Vernagelung	214
5.5	Erddruck und Böschungsstandsicherheit	217
5.5.1	Vergleich verschiedener Berechnungsverfahren	220
5.5.2	Einfluss der räumlichen Wirkung	221
6	Ausschreibung	227
6.1	Vertragsgrundlagen	227
6.2	Möglichkeiten der verschiedenen Vertragsformen	227
6.2.1	Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis	227
6.2.2	Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm	228
6.3	Risikoverteilung	228
6.4	Grundlagen der Ausschreibung	229
6.5	Beispiel eines Leistungsverzeichnisses	230
6.5.1	Vorbemerkungen	230
6.5.2	Tabelle der Positionen	233
	Literaturverzeichnis	237
	Stichwortverzeichnis	259

beton & rohrbau

C.-F. Thymian GmbH & Co. KG

Kanalbau
Druckrohrleitungen
Microtunneling · Rohrvortrieb
Rohreinzug
Provisorische Umleitungen · Heber
Kläranlagen
Pumpwerke
Regenklärbecken
Senkkästen · Absenkschächte
Ingenieurbau · SF-Bau
Kanalsanierung
Fernwärme

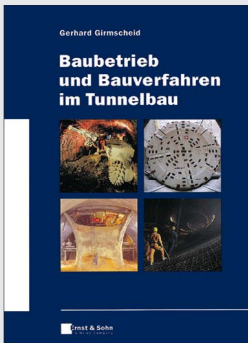
Berlin
Leipzig
Halle
Magdeburg
Potsdam
Dessau
Rostock
Regensburg
Dresden



beton & rohrbau
C.-F. Thymian GmbH & Co. KG
Westhafenstr. 1, 13353 Berlin
Tel. (030) 39 73 41-0
Fax (030) 39 73 41-24
E-mail berlin@beton-rohrbau.de
Internet www.beton-rohrbau.de



BUCHEMPFEHLUNG



Girmscheid, G.
Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau
2., aktualisierte Auflage
2008. ca. 750 Seiten, ca. 500 Abb.
Gebunden.
ca. € 149,- / sFr 235,-
ISBN: 978-3-433-01852-1

* Der €-Preis gilt ausschließlich für Deutschland.
Irrtum und Änderung vorbehalten.
008128016_my

Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau

2., aktualisierte Auflage

Wirtschaftlich und sicher bauen mit dem richtigen Bauverfahren

In dem vorliegenden Buch werden ausgehend von der geologischen Situation Verfahren vorgestellt und alle zu beachtenden Arbeitsschritte aus der Sicht des Baubetriebs erläutert. Bei der Festlegung von Straßentrassen und Bahnstrecken werden heute umweltverträgliche Lösungen gefordert. Dies hat dazu geführt, daß der Tunnelbau im Fels- und Lockergestein einen großen Aufschwung erlebt. Obwohl die Entscheidung für Tunnelbauwerke, z. B. im Innenstadtbereich, hohe Kosten verursacht, akzeptiert man diese, um unabhängiger von der bestehenden Infrastruktur zu werden. Sowohl die technischen Möglichkeiten als auch die Anforderungen an diese Ingenieurdisziplin sind vielfältiger als früher. Für die Durchführung von Tunnelbauprojekten haben damit die Verfahrensauswahl und baubetriebliche Abwicklung einen hohen Stellenwert erhalten.

Bei der Planung und Durchführung von modernen Tunnelbauwerken wird das vorliegende Buch ein hilfreiches Arbeitsmittel sein.

Ernst & Sohn
A Wiley Company
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
Für Bestellungen und Kundenservice: Verlag Wiley-VCH, Boschstraße 12, D-69469 Weinheim
Tel.: +49(0)6201 606-400, Fax: +49(0)6201 606-184, E-Mail: service@wiley-vch.de

1 Grundlagen der Rohrvortriebstechnik

1.1 Einführung

1.1.1 Grundprinzip des Bauverfahrens

Beim Rohrvortrieb werden Rohre mit Hilfe von Hydraulikpressen in den Untergrund vorgepresst. Im Bereich vor dem ersten Vortriebsrohr wird das Locker- oder Festgestein meist im Schutz eines Vortriebsschildes mit einem Bagger, mit einer Fräsmaschine oder mit einer Tunnelbohrmaschine gelöst. Das Lösen mittels Hochdruckwasserstrahl findet überwiegend bei Horizontalbohrverfahren (HDD, siehe unten) Anwendung. Der generelle Handabbau wird nur noch selten praktiziert.

Bei allen Abbauverfahren wird eine möglichst gute Übereinstimmung von Rohraußenquerschnitt und Ausbruchquerschnitt angestrebt, wobei meist ein geringfügiger planmäßiger Überschnitt als Ringspalt zu berücksichtigen ist.

Durch das beschriebene Vortriebsprinzip können beim Rohrvortriebsverfahren erhebliche Mantelreibungskräfte auftreten. In der Vortriebsphase wird daher meist in den vorerwähnten Ringspalt ein Schmiermittel injiziert. Zusätzlich treten im Bereich der Rohrortsbrust Widerstandskräfte auf, die aus dem Eindringen der Schildschneide bzw. des Abbauwerkzeugs herrühren. Beim Vorpressen der Rohre sind von den Vortriebspressen im Wesentlichen die beiden genannten Kräfte zu überwinden.

Die Vortriebsrohre erfüllen bei der Rohrvortriebsbauweise zwei Funktionen:

1. Sie dienen der Sicherung des bereits aufgefahrenen Hohlraums vor eventuell hereindrängendem Gebirge;
2. Der Vortriebsrohrstrang ist auch fertiges Stollen- oder Kanalbauwerk.

Bei tief liegenden Rohrtrassen und Stauraumkanälen, bei beengten oberirdischen Platzverhältnissen (z. B. in Innenstädten) oder bei der Unterquerung von Bebauung, Straßen, Bahnanlagen, Flughafenanlagen, Flüssen, Natur- oder Wasserschutzgebieten, bei denen große, offene Leitungsgräben nicht akzeptabel oder technisch nicht ausführbar sind, stellt das technisch ausgereifte Rohrvortriebsverfahren ein sehr wirtschaftliches Bauverfahren dar. Die Beeinträchtigungen während der Bauzeit und der Platzbedarf an der Geländeoberfläche sind bei Anwendung des Rohrvortriebsverfahrens vergleichsweise gering. Bei Anwendung der Rohrvortriebsbauweise fallen gegenüber der offenen Bauweise geringere Aushubmassen an, so dass sich insbesondere beim Neubau von Rohrleitungen durch kontaminierte Schichten maßgebende Einsparungen bei den Entsorgungskosten ergeben können.

1.1.2 Abgrenzung zu anderen Bauverfahren

Nach dem Automatisierungsgrad des Vortriebsverfahrens und nach der Größe des erzeugten Hohlraumquerschnittes werden unbemannte und bemannte Rohrvortriebe unterschieden. Bei den unbemannten Rohrvortrieben ist eine Differenzierung zwischen ungesteuerten und gesteuerten Vortriebsverfahren möglich. Ferngesteuerte, unbemannte Rohrvortriebsverfahren werden meist unter dem Begriff „Mikrotunnelbau“ (engl.: „Microtunneling“) zusammengefasst. Ungesteuerte Vortriebsverfahren sind nicht Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen. Diese Bauverfahren werden z. B. von Stein, Möllers, Bielecki [165] eingehend beschrieben. Eine generelle Übersicht über die grabenlosen Bauverfahren findet sich in DIN EN 12889 (2000-03), Tabelle 1 [55].

Die für einen bemannten Vortrieb erforderlichen Mindestlichtmaße ergeben sich aus der Unfallverhütungsvorschrift für Bauarbeiten ([132], § 42, Abs. 1 und 2). Danach gelten folgende Regelungen:

- (1) „Arbeitsplätze in Tunnels, Stollen und Durchpressungen müssen folgende Mindestlichtmaße aufweisen:

Länge: $l < 50$ m	Kreisquerschnitt	$\varnothing 0,80$ m
	Rechteckquerschnitt	0,80 m Höhe/0,60 m Breite
Länge: $50 \text{ m} \leq l < 100$ m	Kreisquerschnitt	$\varnothing 1,00$ m
	Rechteckquerschnitt	1,00 m Höhe/0,60 m Breite
Länge: $l \geq 100$ m	Kreisquerschnitt	$\varnothing 1,20$ m
	Rechteckquerschnitt	1,20 m Höhe/0,60 m Breite
- (2) Steigschächte müssen einen freien Querschnitt von mindestens $0,70 \times 0,70$ m haben.“

Aus den Regelungen von BGV C 22, § 42 (1) und (2) folgt, dass kleinere Querschnitte unbemannt aufgefahren werden müssen.

Der Begriff der „Begehbarkeit“ leitet sich aus den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung [130] (§§ 17, 44 und 52) an die Zugänge zu den Arbeitsplätzen ab. Da sich bei der Mehrzahl der Vortriebsrohrstränge die Querschnittsabmessungen der Rohre auf einer Haltung nicht ändern, entsprechen die oben genannten Mindestquerschnitte für die Arbeitsplätze im Wesentlichen den Abmessungen für die Zugänge zu den Arbeitsplätzen. Vereinfachend werden Rohrquerschnitte, die diese Mindestabmessungen aufweisen daher auch als „begehbar“ im Sinne der UVV bezeichnet.

Als „begehbar“ geltende Querschnittsabmessungen können jedoch auch ferngesteuert aufgefahren werden. Beim Mikrotunnelbau werden in der Regel kleinere Querschnitte, im Durchmesserbereich zwischen DN 200 und ca. DN 1800 ferngesteuert aufgefahren. Die Verfahren des Mikrotunnelbaus finden also auch im unteren und mittleren Segment der als „begehbar“ geltenden Rohrquerschnitte Anwendung. Nach dem ATV-Arbeitsblatt A 125 [104] sind die in Tabelle 1.1 zusammengestellten Hauptgruppen ferngesteuerter Vortriebsverfahren im als „begehbar“ geltenden Durchmesserbereich zu unterscheiden.

In Sonderfällen wurden auch bereits wesentlich größere Rohrquerschnitte ferngesteuert aufgefahren, z. B. ein Rohrvortrieb DA 3800, im Zusammenhang mit der *Europipe*-Ferngasleitung im Norddeutschen Wattenmeer [161]. Abweichend von

Tabelle 1.1. Übersicht zu ferngesteuerte Vortriebsverfahren [104]

ferngesteuertes Vortriebsverfahren	Außendurchmesser DA [mm]	derzeit übliche Vortriebslängen l [m]
Pressbohr-Rohrvortrieb	≤ 1300	≤ 100
Schild-Rohrvortrieb	≤ 1850	≤ 250
HDD-Verfahren	≤ 1500	≤ 1500

HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling): Beim HDD-Verfahren wird zunächst eine Pilotbohrung hergestellt und der Querschnitt der Pilotbohrung anschließend mit einem Aufweitungskopf vergrößert. In diesen aufgeweiteten Querschnitt wird der Rohrstrang eingezogen.

Im Regelfall handelt es sich dabei um einen Stahl- oder Kunststoffrohrstrang, nicht jedoch um Stahlbeton-Vortriebsrohre. Bei der Herstellung der Pilotbohrung erfolgt das Lösen des Gesteins zum Teil mittels Hochdruckwasserstrahl. Zum Schneiden von Fels sind sehr hohe Wasserdrücke erforderlich. Diese sind jedoch bei großen Vortriebslängen infolge von Druckverlusten in den Leitungen oft nicht realisierbar.

den Regelungen der UVV Bauarbeiten empfiehlt das ATV-Arbeitsblatt A 125 Rohrvortrieb die Einhaltung von Mindestlichtmaßen für bemannte Rohrvortriebe:

- bei Kreisquerschnitten unabhängig von der Vortriebslänge: \geq DN 1200
- Ausnahme: bei Vortriebslängen von maximal 80 m: DN 1000, wenn dem Rangstrang ein mindestens 2 m langes Arbeitsrohr DN 1200 vorgeschaltet wird.

Aus humanitären und zum Teil auch aus wirtschaftlichen Gründen ist in der Praxis anzustreben, bemannte Vortriebe generell nur ab DN 1000 bzw. ab DN 1200 durchzuführen. Abweichende Mindestdurchmesser oder abweichende maximale Vortriebslängen können sich auch aus technischen Gründen oder aus vertragsrechtlichen Bedingungen ergeben. Technische Mindestdurchmesser ergeben sich beispielsweise bei Vortrieben mit Druckluftstützung auf Grund der Schleusengröße. Die Einhaltung von Mindestdurchmessern bei abweichenden maximalen Vortriebslängen können aus vertragsrechtlichen Gründen z. B. bei der Unterfahrung von Bahnanlagen gefordert werden.

Für bemannte Rohrvortriebe mit Kreisquerschnitt unter Bahngleisen gilt beispielsweise:

- bei Vortriebslängen von maximal 25 m: min DN 1000,
- bei Vortriebslängen über 25 m: min DN 1200.

Für Bauarbeiten in oberirdisch oder unterirdisch verlegten Rohrleitungen (z. B. Inliner) mit rundem, annähernd rundem oder ovalem Querschnitt gelten die zusätzlichen Bestimmungen von BGV C 22, Kap. IX. Hiernach ist eine bemannte Befahrung bei einem minimalen Lichtmaß von > 600 mm zulässig. Bei Einfahrlängen von mehr als 20 m in Rohrstrecken mit einem Lichtmaß ≤ 800 mm ist ein Rollenwagen zu verwenden, der in der Regel seilgeführt sein muss. (Abweichungen siehe BGV C 22, § 72(2).)

Die nachfolgenden Kapitel beziehen sich vorwiegend auf die „klassische“ Technologie der bemannten Vortriebsverfahren für Leitungstunnel aus Stahlbetonrohren. Ein Kapitel ist den ferngesteuerten Vortriebsverfahren gewidmet, soweit diese den als „begehbar“ geltenden Durchmesserbereich \geq DN 800 für den Vortrieb von Stahlbetonrohren, betreffen.

Wenn man das Grundprinzip des Bauverfahrens am Beispiel eines klassischen Rohrvortriebes mit offenem Schild darstellt, lassen sich fünf Funktionsbereiche unterscheiden:

1. übertägiger Bereich
2. Startschacht
3. Bereich Rohrstollen
4. Bereich Zielschacht
5. Maschinenrohr

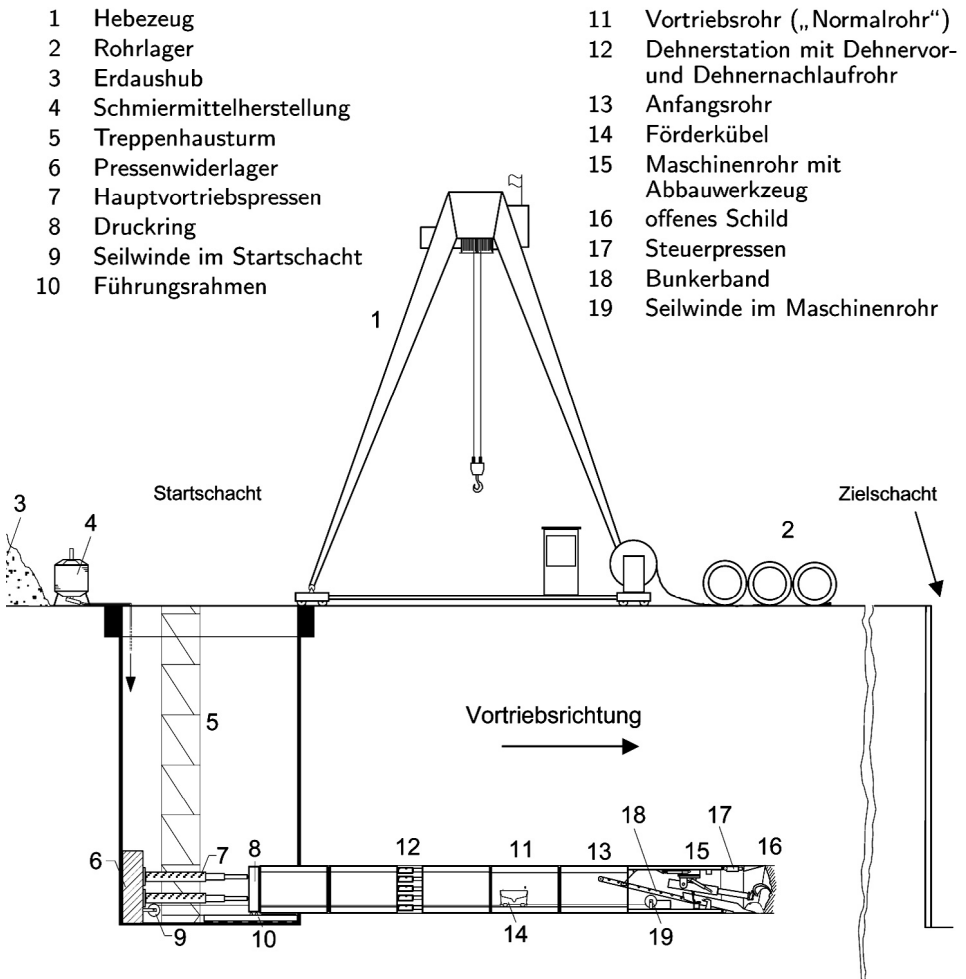


Bild 1.1. Schema eines bemannten Rohrvortriebes mit offenem Schild



Foto: T. Bräutigam, Stuttgart

Bild 1.2. Typische Situation am Startschacht eines Rohrvortriebs DN 2000

1.1.3 Vortriebstechnik: Tendenzen und technische Grenzen

Die Rohrvortriebstechnik hat vor allem in den letzten 30 Jahren eine rasante Entwicklung erfahren und heute einen hohen technischen Stand erreicht. Hier sind in erster Linie die Fortschritte im Bereich des Mikrotunnelbaus sowie die Einführung elektronischer bzw. interaktiver Regel- und Steuerungskomponenten zu nennen. Im Bereich der begehbaren Rohrquerschnitte können bogen- oder S-förmige Vortriebe auf Steigungs- oder Gefälletrassen mit relativ engen Kurvenradien ausgeführt werden. Rohrvortriebe sind mittlerweile in nahezu allen bautechnisch relevanten Festgesteinen, einer großen Bandbreite von Lockergesteinen sowie in Trassen unter offenem Wasser hindurch technisch beherrschbar. Die derzeitigen Entwicklungstendenzen zielen auf eine Verbesserung der Automatisierung und Koppelung von Trassenvermessung und Steuerung des Vortriebs ab. Die automatisierte Steuerung (siehe 3.1.3.8, S. 112) wird vor allem bei der Steuerung großer Tunnelbohrmaschinen und beim Microtunneling bereits eingesetzt.

Relativ neu sind Entwicklungen, die eine Ortung von Vortriebshindernissen über Sensoren in der Vortriebsmaschine ermöglichen.

Im Bereich der Vortriebsrohre wurden nicht zuletzt durch Initiative und Selbstverpflichtung der Stahlbetonrohrhersteller erheblich verbesserte Konstruktionen und Qualitäten für Vortriebsrohre erzielt, die oft über die in den Rohrnormen (vgl. 1.2.2 und 1.2.3) geforderten Mindeststandards hinausgehen.

In der Vortriebspraxis wünschenswert wäre oftmals eine gegenüber den geltenden Regeln generell robustere Rohrbewehrung, speziell zur Abdeckung von Spaltzug- und Randzugspannungen im Bereich der Rohrspiegel. Risse in Rohrspiegelnähe stellen die Dichtigkeit der Rohrverbindung bei regelkonform bewehrten Vortriebsrohren noch allzu oft in Frage und führen häufig zu Sanierungsmaßnahmen noch bevor ein Rohrstollen seiner Bestimmung übergeben werden kann.

Bemerkenswert sind Entwicklungen im Bereich spezieller Vortriebsrohre. Hierzu zählen beispielsweise:

1.1.3.1 Profilrohre

Profilrohre sind Rohre, deren Querschnitt von der Kreisringform abweicht. Häufig sind dabei Vortriebsrohre, deren Innenkontur nach individuellen Anforderungen geschalt wird und deren Außenkontur eine Kreisringform aufweist. Typisch für diese Gruppe sind Rohre mit Eiprofil, Drachenprofil oder Trockenwetterabflussrinne. Diese Rohrprofile kommen häufig dann zur Anwendung, wenn die Wasserabflussmengen großen Schwankungen unterworfen sind. Durch die Ei- oder Rinnenform werden auch bei geringen Abflussmengen relativ hohe Abflussgeschwindigkeiten erzielt. Der Stoß von Profilrohren erfordert eine verrollungsfreie Zentrierung.

Ein wichtiger Parameter für die hydraulische Profil-Beschreibung ist der *Hydraulische Radius* R (z. B. DIN 4263 [47], Abschnitt 2.5).

$$R = \frac{A}{U_t} \quad \begin{array}{l} A \text{ Durchflussquerschnitt} \\ U_t \text{ benetzter Umfang} \end{array} \quad (1.1)$$



Bild 1.3. Beispiele für nicht genormte Stahlbeton-Profil-Vortriebsrohre mit kreiszylindrischer Außenkontur

Weitere standardisierte Querschnittsprofile sind DIN 4263 [47] zu entnehmen.

Grundsätzlich können auch Rohre vorgepresst werden, deren Außenkontur von der Kreisform abweicht. Meist handelt es sich in der Praxis um Maul-, Quadrat-, oder Rechteckquerschnitte. Rechteckförmige Großquerschnitte werden in Form von Stahlbetonrahmen in Ortbetonbauweise vorgepresst (Rahmenvortrieb, [164]). Hinsichtlich der Querschnittsabmessungen sind Großrahmenvortriebe, die im Verkehrswegebau häufig für die Unterquerung von Bahnanlagen angewandt werden, als extremal zu bezeichnen. Bei diesen Bauteilen handelt es sich jedoch nicht um Rohre im engeren Sinne. Ein Beispiel für die Ausführung eines Großrahmenvortriebes ist die Herstellung des Arlbergdurchlasses in Stuttgart-Untertürkheim durch die Bilfinger + Berger AG [144, 152].

Ein Beispiel für die Verwendung von Stahlbetonrohren mit maulförmigem Großquerschnitt ist das Bauvorhaben *Neckardüker* am Klärwerk Stuttgart-Mühlhausen. Hier wurden Profilrohre mit einem Stückgewicht von ca. 42 t ca. 10 m unter der Neckarsohle in einen zuvor bergmännisch im Sprengvortrieb aufgefahrenen Stollen eingeschoben (Bilfinger + Berger AG, Universale Grundbau).

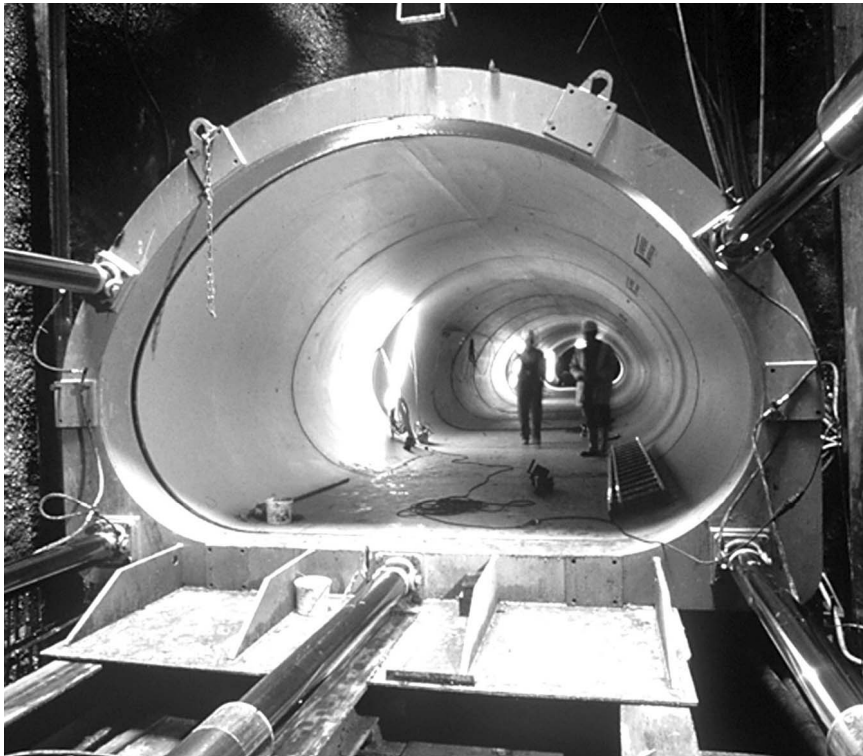


Foto: Gert Elsner, Stuttgart

Maulquerschnitt ca. 4,5 m breit, ca. 3 m hoch, Inbetriebnahme: September 1997

Bild 1.4. Neckardüker am Klärwerk Stuttgart-Mühlhausen

1.1.3.2 Dickwandige Großrohre

Für außergewöhnlich große schlaife Auflasten wurden schon Stahlbeton-Vortriebsrohre mit Wanddicken von 55 cm und 60 cm bei einem Außendurchmesser von 3,60 m gefertigt und mit Erfolg vorgepresst. Hinsichtlich der Rohrwanddicke sind diese Abmessungen für Vortriebsrohre nach derzeitigem Maßstab als extrem zu bezeichnen. Außer betontechnologischen Problemen, die aus dem Abbinde- und Schwindverhalten von massigen Stahlbetonbauteilen resultieren, ist bei der Steuerung von Rohrvortrieben mit schwergewichtigen Einzelrohren eine beachtliche Trägheit des Rohrstranges zu berücksichtigen.

Nicht zuletzt wird auf logistische und verkehrsrechtliche Beschränkungen hingewiesen, die sich im Zusammenhang mit dem Transport solcher Rohre vom Rohrwerk zur Baustelle ergeben können. Die maximalen Abmessungen von Vortriebsrohren, die als Fertigteile im Regeltransport über öffentliche Straßen transportiert werden können, liegen in der Größenordnung von DA 3600 und $l = 2,5$ m (siehe auch Bild 1.5).



Foto: T. Bräutigam, Stuttgart

Bild 1.5. Transport DA 3600 (Sattelzug mit Tiefladeauflieger, Masse des Rohres 35,6 t)

Noch größere Vortriebsrohre können auf öffentlichen Straßen nur als Sondertransporte bewegt werden. Die Obergrenze der Abmessungen und Gewichte ist von den Zwangspunkten der Fahrstrecke und den Auflagen der zuständigen Behörden abhängig. Stahlbeton-Vortriebsrohre \geq DN 4000 werden meist in Feldfabriken hergestellt.

Zwischen Mitte der sechziger Jahre und Mitte der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts etablierte sich die Rohrvortriebstechnologie so weit, dass Vortriebsrohre mit immer größeren Durchmessern zur Anwendung kamen. Ab

Ende der siebziger Jahre war praktisch kein Zuwachs bei den Größtquerschnitten von Einzelrohren mehr festzustellen. Ausschlaggebend hierfür waren vorrangig logistische Gründe. Die Verrohrung der Alten Emscher (DA 5360/DN 4400) im Jahre 1978 markiert auch heute noch die Obergrenze des geometrisch und wirtschaftlich Machbaren im Bereich der klassischen Rohrvortriebsbauweise.

Zurzeit werden Rohre mit Außendurchmessern $> DA 4000$ relativ selten vorgepresst. Im Durchmesserbereich $> DA 4000$ dominiert im Leitungsbau, z. T. auch im U-Bahnbau, die Tübbingbauweise und im Bereich der Straßen- und Bahntunnel die Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT/NAT).

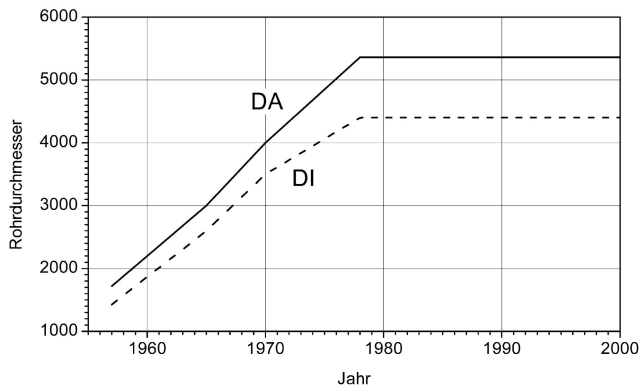


Bild 1.6. Entwicklung der Durchmesser von Stahlbeton-Vortriebsrohren (in Anlehnung an [157])

1.1.3.3 Schrägspiegelrohre

Bei Parallelspiegelrohren sind beide Rohrspiegelflächen planmäßig eben, parallel und stehen senkrecht zur Rohrlängsachse. Bei Schrägspiegelrohren sind die beiden Rohrspiegelflächen planmäßig eben, jedoch nicht parallel. Mindestens eine der beiden Rohrspiegelflächen ist bezüglich der Rohrlängsachse geneigt. Schrägspiegelrohre ermöglichen bei Vortrieben auf bogenförmiger Trasse eine Minimierung der klaffenden Fuge im Bereich der Rohrstöße. Dies führt zu einer günstigeren Normalspannungsverteilung, da zur Vorschubkraftübertragung planmäßig ein größerer Anteil der Spiegelfläche zur Verfügung steht als bei Parallelspiegelrohren. Anfangsrohre werden teilweise auch als Doppelschrägspiegelrohre gefertigt, da die Kontaktfläche am Maschinenrohr im Regelfall senkrecht zur Maschinenrohrlängsachse steht. Der Stoß von Schrägspiegelrohren erfordert eine verrollungsfreie Zentrierung.

1.1.3.4 Technische Grenzen und Sonderfälle der Rohrvortriebstechnik

War die Anwendung der Rohrvortriebstechnik bis vor etwa zwei Jahrzehnten allgemein auf bindige oder rollige Lockergesteine beschränkt, so lassen sich heute mit den Möglichkeiten modernster Vortriebstechnologie Rohrvortriebe durch eine wesentlich vielfältigere Palette von Gesteinsarten bis hin zum Hartgestein ausführen. Rohrvortriebe durch wechselnde Gesteinsarten sind ebenso möglich wie Rohrvortriebe unter Druckluftbedingungen und auf gekrümmten Trassen.

Das Rohrvortriebsverfahren ist nicht oder nur bedingt geeignet in flüssigen und breiigen Bodenarten sowie in Hausmüll. Da diese Bodenarten die erforderliche Führung des Rohrstrangs meist nicht ermöglichen, besteht die Gefahr, dass das Maschinenrohr und der Rohrstrang zu stark abdriften oder absacken. Muss eine Leitungstrasse höhenmäßig im Bereich unzureichend tragfähiger Schichten vorgepresst werden, besteht bei nicht zu tief anstehenden tragfähigen Schichten technisch oftmals die Möglichkeit den Rohrvortrieb auf vorab von der Geländeoberfläche aus hergestellten Pfählen, Schottersäulen etc. durchzuführen. Die Bohrstrecke zwischen der Geländeoberfläche und der Tiefenlage des Vortriebsrohrstranges kann ggf. als Leerbohrstrecke ausgeführt werden.

In der Altstadt von Sindelfingen wurde durch die Fa. H. Bramm GmbH im Jahre 1995 ein Rohrvortrieb (Hauptsammler V, 2. BA), DN 1800, ausgeführt, bei dem die Vortriebsrohre über insgesamt 91 Pfähle mit einem Pfahldurchmesser von 1,2m und mit Pfahllängen von bis zu 12m hinweg vorgepresst wurden [123] (siehe Prinzipskizze Bild 1.7).

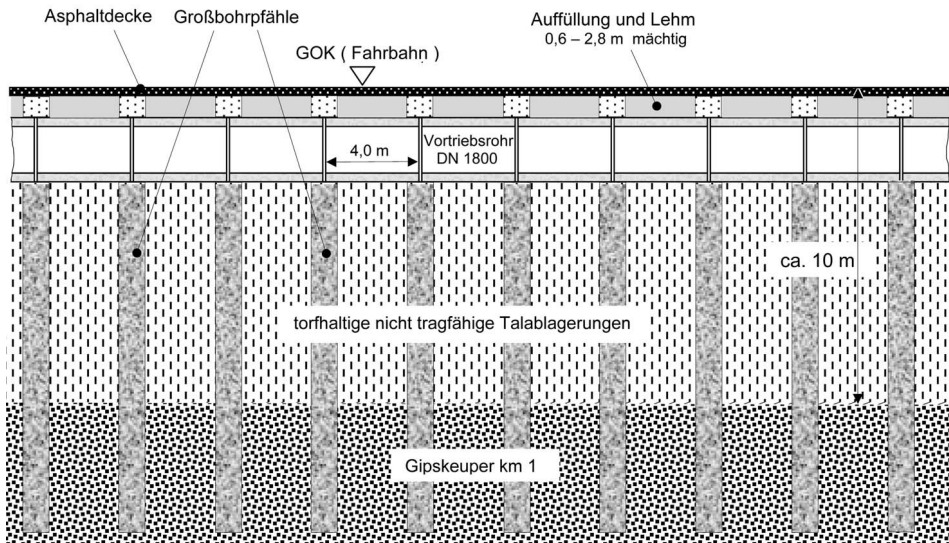


Bild 1.7. Rohrvortrieb auf Großbohrpfählen \varnothing 1,2m in torfhaltigen Talablagerungen

Vortriebsschwierigkeiten können sich in Boden- und Felsarten ergeben, bei denen es infolge von Mineralumwandlungen zu einer relevanten Volumenzunahme kommt. Hier besteht das Risiko, dass der Rohrstrang vom Gebirge auf Grund des Quelldrucks eingespannt wird und ein weiterer Vortrieb nicht mehr möglich ist, da die zur Überwindung der Mantelreibung erforderlichen Vorpresskräfte über den statisch zulässigen Vorpresskräften der Vortriebsrohre liegen würden. Der Lastfall *Quelldruck* ist einer der ganz wenigen Ausnahme-Lastfälle, die bei einem Vortriebsrohr gegenüber dem Lastfall „Vorpressen“ maßgebend werden können.

1.1.3.5 Trassenradien

Es kann zwischen horizontalen Trassenradien und vertikalen Trassenradien unterschieden werden. Ein Trassenbogen kann mit geraden und starren Einzelrohren nur durch einen Polygonzug angenähert werden. Die Rohrstöße sind gleichzeitig die Eckpunkte des Polygonzugs. Die Richtungsänderung kann somit nur durch eine gewisse Klaffung (Abwinklung) der Rohrstoßfugen erzwungen werden. Entscheidend hierfür sind die Dicke des Druckübertragungsrings und die Baulänge der Vortriebsrohre. Je gedrungener die Rohre eines Rohrstollens sind, d. h. je kleiner ihre Länge in Bezug zum Durchmesser ist, desto gelenkiger ist das Verhalten des Rohrstollens bei Richtungsänderungen. Das Streben nach immer kleineren Trassenradien ist dabei im Wesentlichen begrenzt durch:

- die Bogenlänge,
- die aufnehmbaren Betondruckspannungen im Betonrestquerschnitt bei klaffender Fuge,
- die Abdichtung der Fuge.

Bisher wurden in einzelnen, sehr außergewöhnlichen Sonderfällen extreme Trassenradien bis zum sechsfachen Rohraußendurchmesser realisiert. Eine solche Durchpressung wird von *Nußbaumer* [157], S. 56, erwähnt, bei der von der Ed. Züblin AG Rohre DA 4160 auf einem Kurvenradius von 25 m vorgepresst wurden.

Im kommunalen Tiefbau sind Rohrvortriebe auf Trassenradien bis zum 100-fachen Rohraußendurchmesser relativ häufig. Rohrvortriebe auf Trassenradien bis zum 70-fachen Rohraußendurchmesser sind bereits seltener und stellen erhöhte Anforderungen an das bauausführende Unternehmen. Häufig kommen in diesem Krümmungsbereich Kurzrohre mit Schrägspiegeln zum Einsatz. Trassenradien bis zum 40-fachen Rohraußendurchmesser werden bereits äußerst selten realisiert und sind mit massiven ausführungstechnischen Problemen verbunden, die sich aus der Abwinklung, z. B. bei Dehnerstationen, ergeben.

1.1.3.6 Schwierigkeitsgrade bei Rohrvortriebsarbeiten

Rohrvortriebsarbeiten sind generell zu den schwierigen Bauverfahren zu rechnen. Im deutschen Normenwerk kommt dies unter anderem dadurch zum Ausdruck, dass Rohrvortriebe als Hohlraumbaumaßnahmen nach DIN 4020 [27], Abschnitt 6.2.2.3, in die Geotechnische Kategorie 3 eingestuft werden.

1.1.3.7 Ansätze für eine Differenzierung der Schwierigkeitsgrade

Eine allgemein gültige Regelung zur Abgrenzung von Schwierigkeitsgraden für Rohrvortriebsarbeiten ist in Deutschland bisher nicht eingeführt worden. Rohrvortriebe wurden jedoch im Zusammenhang mit Bauschadensstudien in Vortriebsklassen eingeteilt (*Vogel* [170]). Diese Vortriebsklassen (siehe Tabelle 1.2) können auch als Klassen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades interpretiert werden.

Tabelle 1.2. Vortriebsklassen bei Rohrvortriebsarbeiten in Anlehnung an *Vogel*

Klasse	Geometrische Kriterien DN [mm] und l [m]	Geotechnische Kriterien
VK 1	DN \leq 1000 und $l \leq$ 25	Baugrund homogen, kein Grundwasser bzw. Grundwasser erst unterhalb Trasse keine Unterfahrung von offenen Gewässern, Bauwerken oder baulichen Anlagen
VK 2	DN \leq 1000 und $l >$ 25	Baugrund wechselnd, sofern Grundwasser ansteht ist dieses abgesenkt, auch mit Unterfahrung von nicht setzungs- empfindlichen Bauwerken (baulichen Anlagen)
	DN \leq 1000 und $l \leq$ 25	Baugrund wechselnd, sofern Grundwasser ansteht ist dieses abgesenkt, auch mit Unterfahrung von nicht setzungs- empfindlichen Bauwerken (baulichen Anlagen)
	1000 \leq DN \leq 2500 und $l \leq$ 100	Baugrund homogen oder wechselnd, sofern Grundwasser ansteht ist dieses abgesenkt, auch mit Unterfahrung von nicht setzungs- empfindlichen Bauwerken (baulichen Anlagen)
VK 3	Vortriebe, die nicht in die Vortriebsklassen 1 oder 2 fallen	
	alle Nennweiten, beliebige Vortriebslängen	Vortriebe mit nicht abgesenktem Grundwasser Vortriebe mit Unterfahrung offener Gewässer Vortriebe mit Unterfahrung von setzungs- empfindlichen Bauwerken (baulichen Anlagen) in Verbindung mit beliebigen Baugrundverhältnissen
	DN \geq 2500 oder $l >$ 100	Rohrvortriebe in beliebigem Baugrund

Eine Klassifizierung der Schwierigkeitsgrade findet sich in der früher in der Schweiz gültigen Regelung SIA 195 [90]. Die inzwischen überarbeitete Schweizer Norm *Pressvortrieb* [90] nennt drei Schwierigkeitsgrade für Rohrvortriebsarbeiten:

1. Normale Ausführung ist der niedrigste Schwierigkeitsgrad nach SIA 195 (1992) der gekennzeichnet ist durch:

- dauernd standfeste Ortsbrust,
- gut grabbarer Boden ohne Grundwasser,
- Nennweite der Vortriebs Elemente bis DN 1800,
- keine speziellen Bedingungen bezüglich der Setzungen des Bodens,
- Vortriebsstrecke innerhalb der optimalen Länge (siehe Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3. Optimale Vortriebsstrecke nach SIA 195 (1992)

Nennweite DN [mm]	optimale Vortriebsstrecke [m]
1000	$40 \leq l \leq 60$
1250	$80 \leq l \leq 150$
1500	$120 \leq l \leq 180$
1800 3000	$150 \leq l \leq 200$

Die Vortriebstoleranzen, d. h. die zulässigen Abweichungen von der Sollachse dürfen folgende Grenzwerte erreichen:

DN 1000.....DN 1500:	max. vertikale Abweichung:	30 mm
	max. horizontale Abweichung:	75 mm
> DN 1500	max. vertikale Abweichung:	DN/50

Hierbei darf die Richtungsänderung im Rohrstoß 5° betragen
(zulässige Abwinklung nach deutschen Regelwerken siehe 1.2.3, S. 23)

2. Schwierige Ausführung liegt nach SIA 195 (1992) vor bei:

- nur kurzfristig standfester Ortsbrust,
- nicht oder nur sehr wenig standfester Ortsbrust, die Spezialmaßnahmen erfordert, wie Ortsbrustabstützung, Verfestigungsinjektionen und dgl.,
- Vortrieb im Grundwasser,
- Vortrieb im Festgestein,
- Nennweite der Vortriebs Elemente > DN 1800,
- Vortriebslänge größer als die optimale Länge (siehe Tabelle 1.3),
- Vortrieb mit besonderen Maßnahmen zur Begrenzung der Setzungen des Bodens,
- strengere Anforderungen an die Vortriebstoleranz.

3. Spezialausführung nach SIA 195 (1992) ist gegeben bei:

- Vortrieb unter Druckluftbedingungen,
- Vortrieb mit Vereisung,
- Vortrieb mit Bogentrassen,
- Vortrieb mit Vortriebs Elementen, die von der Kreisform abweichen.

1.1.4 Nutzungsgerechte Planung

Rohrstollen werden für zahlreiche Nutzungszwecke in der Rohrvortriebsbauweise hergestellt. Hinsichtlich der Nutzung werden **Medienrohrstollen** und **Schutzrohrstollen** unterschieden.

In **Medienrohrstollen** benetzt das zu fördernde Medium unmittelbar die Innenwandung der Vortriebsrohre oder ggf. die eines fest eingebauten Inliners bzw. einer Auskleidung/Beschichtung. Ein typischer Medienrohrstollen ist beispielsweise ein als Abwasserkanal genutzter Rohrstollen. Allgemein werden bei Medienrohrstollen Freispiegelgerinne und Druckleitungen unterschieden.

Im Gegensatz zum Medienrohrstollen wird die Innenwandung eines **Schutzrohrstollens** nicht oder nur im Ausnahmefall (Leckagefall) benetzt. Ein Schutzrohrstollen dient meist dazu, eine oder mehrere Leitungen und ggf. auch einen Kontrollgang aufzunehmen. Sind mehrere Leitungen von kleinerem Querschnitt unterzubringen, so werden diese im Regelfall auf nachjustierbaren Konsolen, auf Kabelpritschen oder mit speziellen Halterungen befestigt. Stollenbauwerke mit diesem Verwendungszweck werden auch als „Infrastrukturstollen“ oder als „Leitungsgänge“ bezeichnet.

Schutzrohrstollen können auch als Baubehelf dienen, z. B. wenn

- die später einzubauenden Medienrohre als Vortriebsrohre ungeeignet sind,
- die Medienrohre nicht von Vortriebskräften oder Erddruckkräften beansprucht werden sollen.

Sind die Schutzrohrstollen nur Baubehelf, wird abschließend häufig der Ringraum zwischen Medienrohrstrang und Vortriebsrohrstrang verpresst.

Einen Sonderfall der Schutzrohre stellt die Gruppe der Vortriebsverbundrohre dar, bei denen innerhalb eines Stahlbetonvortriebsrohres ein Medienrohr aus einem anderen Werkstoff, z. B. GFK, werkseitig eingebettet wird.

1.1.4.1 Polygonzugartige Trasse oder Bogentrasse

Ein Rohrvortrieb auf einer bogenförmigen Trasse wird durch die Einsparung von Zwischenpressschächten kostenmäßig meist erheblich günstiger als ein Rohrvortrieb auf einer polygonzugartig verlaufenden Trasse. Der Rohrvortrieb auf einer Bogentrasse stellt jedoch höhere Anforderungen an die Kompetenz des bauausführenden Unternehmens. Es ist auch zu bedenken, dass bestimmte Nutzungsfälle geradlinige Vortriebsstrecken voraussetzen. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn sehr lange, verschweißte, gerade Stahlrohrschüsse in einen bestehenden Schutzrohrstollen eingezogen oder eingeschoben werden sollen.

1.1.4.2 Zwischenschächte

Aus Kostengründen sollte der Abstand von Zwischenschächten möglichst groß gewählt werden. Die Herstellung von Zwischenschächten kann sich sehr leicht bis auf etwa ein Drittel der Gesamtbaukosten belaufen. Sind Zwischenschächte zu Revisionszwecken im Betriebszustand erforderlich, so sollte deren Abstand ca. 150 m nicht überschreiten. Diese Distanz scheint auch im Hinblick auf einen möglichst kurzen Fluchtweg aus dem Rohrstollen angemessen. Bezüglich der Anwendung und des Baus von Zwischenschächten wird auf 1.4.3 verwiesen.

1.1.4.3 Gefälle

Vortriebstechnisch ist bei Freispiegelgerinnen die Einhaltung eines hydraulisch erforderlichen Mindestgefälles von Bedeutung. Bei Medienrohren mit Freispiegelgerinne sollte nach dem Abschluss des Vortriebes an jeder Stelle des Stollens ein Gefälle von mindestens 1 % vorhanden sein. Da Steuerungsfehler nicht selten dazu führen, dass bei Stollen mit einem planmäßig geringen Gefälle eine Gegensteigung im Gerinne entsteht, sollte, wenn immer dies möglich ist, planerisch eine Gefällereserve berücksichtigt werden. Diese beträgt im Idealfall 1 %–2 %, d. h. das projektierte Mindestgefälle sollte möglichst in der Größenordnung von 2 % oder darüber liegen. Ein solches größeres Gefälle bei Abwassergerinnen vermindert als Nebeneffekt die Tendenz zur Versandung und Verschlammung. Die Versandung stellt bei Abwasserdükern, die einen tatsächlichen Tiefpunkt aufweisen, teilweise ein besonderes Problem dar.

Vortriebstechnisch sind Längsneigungen von unter 1 % jedoch durchaus möglich. Das Gefälle sollte zum Pressschacht hin orientiert sein (vgl. 1.3.1).

1.1.4.4 Berücksichtigung von Setzungen

Im Rahmen der Planung ist bei Rohrstollen mit Schwerkraftabfluss zu untersuchen, ob langfristig Setzungen zu erwarten sind, die zu einer Verminderung des Gefälles führen können. Die Ursachen für langfristig größere Änderungen der Trassenneigung können sein:

- Bergsenkungsvorgänge,
- Bildung oder Aktivierung von Auslaugungshohlräumen,
- große Auffüllungen, z. B. im Deponiebau,
- sehr stark uneinheitliche Bettungsverhältnisse unter dem Rohrstollen.

Wie bereits erwähnt, besteht bei Schutzrohrstollen die Möglichkeit, die Halterungen und Konsolen für die Medienrohre höhenverstellbar auszuführen. Hierdurch können mäßige Setzungsunterschiede ausgeglichen werden. Sind große Setzungen bzw. Setzungsunterschiede zu befürchten, so müssen im Regelfall vorab baugrundverbessernde Maßnahmen ergriffen werden.

1.1.4.5 Rohrdurchmesser

Der Anteil der Baukosten für einen größeren Rohrdurchmesser ist im Sammlerbau vergleichsweise nicht sehr bedeutsam. Im Sammlerbau bietet ein größerer Rohrdurchmesser als er nach der hydraulischen Berechnung erforderlich wäre mehrere Vorteile. Einerseits entsteht ein größeres Speicher- und Puffervermögen der betreffenden Haltung, und andererseits besteht die Möglichkeit eines späteren Inliner-Einbaus ohne Einbuße an Förderkapazität im Vergleich zur ursprünglichen hydraulischen Berechnung.

Bei Schutzrohrstollen mit innen liegenden Medienrohrsträngen führt die Wahl eines größeren Schutzrohrdurchmessers bei unverändertem Medienrohrdurchmesser zu einem erhöhten Verfüllgutverbrauch, wenn der Ringraum verschlossen werden soll und ist damit ggf. unwirtschaftlich.

1.1.4.6 Vortriebstoleranzen

Abweichungen von der idealen Vortriebstrasse sind verfahrensbedingt nicht ganz vermeidbar. Die Umsetzung von Forderungen nach hohen Lagegenauigkeiten ist mit erhöhtem vermessungstechnischen Aufwand, erheblichen Kosten und mit einer Verlangsamung des Vortriebes verbunden. Deshalb sollte der Bauherr genau prüfen, welche Maßtoleranzen für die spezielle Nutzung des Rohrstollens eingeräumt werden können, um Einschränkungen im weiteren Ausbau und im Gebrauch des Rohrstollens zu vermeiden.

Um bei durchströmten Rohrstollen ein Mindestgefälle zu gewährleisten, können in vertikaler Richtung meist nur geringere Lageabweichungen zugelassen werden als in horizontaler Richtung. Bezüglich der Mittelpunktslage des Rohrquerschnittes ergibt sich daraus ein elliptisches Toleranzfeld. Für den Bereich der Abwasserkanäle empfiehlt das ATV-Arbeitsblatt A 125 [104] folgende maximalen Abweichungen in Regelfällen:

Tabelle 1.4. Zulässige Abweichungen von der Solltrasse im Fall von Abwasserleitungen und -kanälen [104]

Nennweite DN [mm]	maximale Abweichung [mm]	
	vertikal	horizontal
$(600)800 \leq DN \leq 1000$	± 25	± 40
$1000 < DN < 1400$	± 30	± 100
$DN \geq 1400$	± 50	± 200

Diese Lageabweichungen sind nur insoweit zulässig, wie

- der Zweck des Rohrvortriebes bei Ausnutzung der Toleranzen nicht infrage zu stellen ist,
- andere Bauwerke und Anlagen nicht beeinträchtigt werden.

Für den Vortrieb von Ersatzleitungen („Auswechslungen“) zwischen bestehenden Anschlusspunkten können oftmals nur geringere Lageabweichungen toleriert werden. Beispielsweise kann in diesen Fällen so verfahren werden, dass die in Tabelle 1.4 in der zweiten und dritten Spalte aufgelisteten Abweichungen für größere als die in der ersten Spalte tabellierten Nennweiten gelten. Die zulässigen Lageabweichungen nach SIA 195 [91] sind gegenüber den Vortriebstoleranzen des ATV-Arbeitsblattes A 125 etwas enger gehalten (siehe Abschnitt 1.1.3). Im Gegensatz zur SIA 195 wird in DIN 18319 [78] auf die Angabe nennweitenabhängiger Vortriebstoleranzen verzichtet.

Wenn den Rohrvortriebsarbeiten das ATV-Arbeitsblatt A 125 zugrunde gelegt wird, so bezieht sich die Einhaltung der Toleranzen auf jeden Bauzustand und auf den Endzustand. In diesem Zusammenhang ist insbesondere bei langen Vortriebsstrecken in Lockergestein zu bedenken, dass sich der Rohrstrang beim Vorpressen in unterschiedlichem Maße in das Gebirge einschleifen kann.