

2. Norddeutsche Kanalbautage 1./2. März in Schwerin

Grabenlose Verlegung von Abwasserleitungen und Kanälen

Prof. Jens Hölterhoff

Prof. Hölterhoff & Partner Ingenieursozietät Berlin

1. Einführung

Die enormen Vorteile, die die geschlossene Bauweise gerade in Städten mit beengten Platzverhältnissen und hoher Verkehrsdichte bietet, werden wegen der zu gering bewerteten volkswirtschaftlichen Einsparungen zu wenig genutzt.

Schwerpunkt der Ausführungen soll der Mikrotunnelbau und der Pilotrohr-Vortrieb nach DIN EN 12889 sein, zumal mehr als 90 % aller Kanäle und Druckrohrleitungen in Deutschland kleiner als 800 mm i.L. sind.

Der Rohrvortrieb im nicht begehbaren Durchmesserbereich hatte in Deutschland in den letzten 20 Jahren im Kanalbau eine sprunghafte Entwicklung. Herkömmliche und neue Verfahren des Rohrvortriebes werden gegenübergestellt und Perspektiven aufgezeigt.

2. Nichtsteuerbare Rohrvortriebsverfahren

Nichtsteuerbare Verfahren werden auch in Zukunft aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten, für kurze Vortriebsstrecken, neben den besseren steuerbaren Verfahren bestehen können.

Die Wahl des Verfahrens hängt ab von

- der erforderlichen Lagegenauigkeit
- der Entfernung zu anderen Ver- und Entsorgungsleitungen
- dem Außendurchmesser
- der Vortriebslänge
- den Baugrundverhältnissen und
- der Mindestüberdeckung

Der Einsatz der nichtsteuerbaren Verfahren sollte jedoch hier auf kurze Vortriebsstrecken mit möglichst homogenen Bodenverhältnissen begrenzt werden. Von den in der DIN EN 12889 aufgeführten Verfahren sollten im Nennweitenbereich < 200 mm Verdrängungshämmer und Horizontalrammen mit geschlossenem Rohr nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen. Der Einsatz von Horizontal-Preßanlagen sollte auf Hausanschlußpressungen mit Längen unter 10 m beschränkt werden.

Bei Nennweiten > 200 mm werden Horizontalrammen mit offenem Rohr bzw. Horizontal-Preßbohrverfahren für den Vortrieb von Schutzrohren eingesetzt, in welche später die Kanalrohre eingezogen werden. In Abhängigkeit von der Nennweitendifferenz zwischen Produkt - und Schutzrohr lassen sich hierbei kleine Abweichungen von Gefälle und Richtung ausgleichen.

Da diese Verfahren während des Vortriebes nicht beeinflußt werden können, hängt der Erfolg wesentlich von der Erfahrung und Qualifikation der ausführenden Firma, dem Durchmesser des Verdrängungshammers bzw. des Produktrohres und von den Bodenverhältnissen ab.

Inhomogenitäten im Baugrund, wie Findlinge oder schräge Schichtverläufe, können leicht zu Abweichungen führen. Beschädigungen bei parallel verlaufenden bzw. kreuzenden Leitungen sind nicht selten die Folge.

Einen Sonderfall stellen Rohrberst- und Rohr-Ausziehverfahren dar. Durch die im Regelfall fehlende Stabilität der Rohrwerkstoffe findet das Ausziehverfahren ausschließlich im Druckrohrbereich Verwendung. Das Rohrberstverfahren hingegen ist ein kostengünstiges Erneuerungsverfahren mit dem Nachteil, daß das neue Rohr auf den Scherben des alten Kanals gegründet wird.

3. Steuerbare Rohrvortriebs-Verfahren

Mit den steuerbaren Verfahren können gegenüber den ungesteuerten Verfahren aufgrund der größeren Genauigkeiten bedeutend längere Vortriebsstrecken unterirdisch aufgeföhren werden. Folgende Vorteile der grabenlosen Bauweise haben beim Kostenvergleich mit der konventionellen offenen Bauweise direkten Einfluß:

- Verringerung von Straßenaufbrüchen
- Wegfall von Aushub und Transport großer Bodenmassen
- Reduzierung von Leitungsumlegungen
- Wegfall bzw. Einschränkung von Grundwasserhaltungen.

Die nachfolgend genannten Vorteile werden nach wie vor zu wenig bewertet, bieten volkswirtschaftlich betrachtet jedoch noch weitere teilweise enorme Einsparungen:

- Beschränkung von Verkehrsbeeinträchtigungen
- Verringerung von Lärm- und Emissionsbelastungen
- Reduzierung von Unfallgefahren
- Verminderung von Schäden an benachbarten Baulichkeiten
- Wegfall von witterungsbedingten Ausfallzeiten
- Schonung von Bäumen

3.1 Horizontalspülbohrverfahren (Directional Drilling)

Die Anwendungsbereiche des Horizontalspülverfahrens haben sich von der PEHD- Rohrverlegung erweitert zur grabenlosen Verlegung von duktilen Gußrohren mit zugfesten Steckmuffenverbindungen und von Stahlrohren auch kleiner Nennweiten für Druckrohrleitungen. Gegenüber der Mikrotunneltechnologie wirken sich vor allem die annähernd um die Hälfte geringeren Investitionskosten sowie die enorme Mobilität der Horizontalspülbohrsysteme vorteilhaft aus. Ein Nachteil liegt in der "Trägheit" der verwendeten Steuersysteme und der damit verbundenen größeren Ungenauigkeit sowie in den Anwendungsgrenzen des Systems vor allem bei kiesigen Böden. Für Freispiegelleitungen sollte dieses Verfahren trotz gelegentlicher Literaturhinweise keine Anwendung finden. Die in der ATV A 125 Tabelle 11 geforderten Toleranzen können mit den erwähnten Steuersystemen in der Regel nicht eingehalten werden.

3.2 Mikrotunnelbau

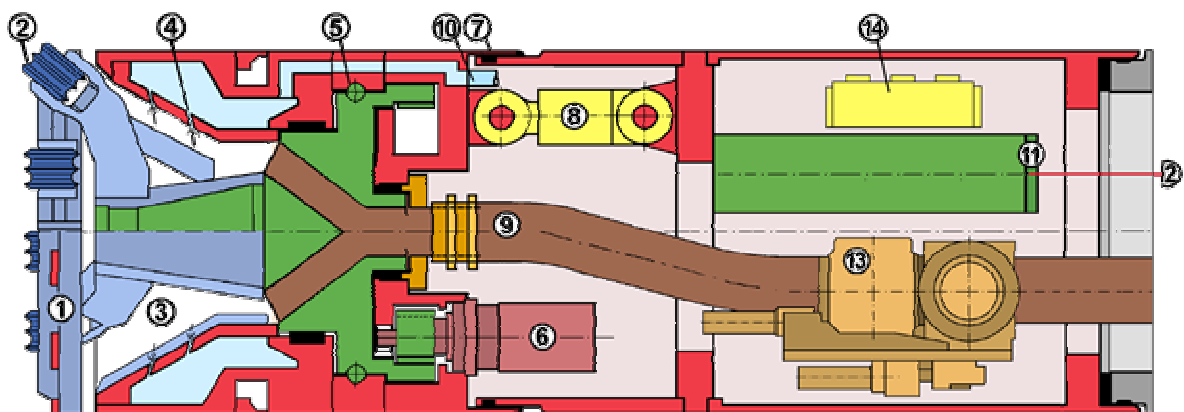
3.2.1 Arbeitsweise von Mikrotunnelmaschinen

Die Entwicklung der gesteuerten Mikrotunnelsysteme hat seinen Ursprung in Japan, in der Zwischenzeit stehen aber leistungsfähige Systeme deutscher Hersteller zur Verfügung.

Das Grundprinzip der Preßbohr- bzw. Schild-Rohrvortriebssysteme für die Neuverlegung von Kanälen und Druckrohrleitungen im Nennweitenbereich DN 250 - 1600 ist gleich. Ein durch drei bis vier Hydraulikzylinder steuerbarer Stahlgelenkkopf baut mit einer Schürfscheibe den anstehenden Boden ab. Der gelöste Boden wird mit speziellen Förderschnecken abgefordert oder im Einlauftrichter mit Wasser bzw. Bentonit gemischt und abgepumpt. Die Lage des Kopfes wird durch das Auftreffen eines Laserleitstrahles auf einer, in der Regel elektronischen Zieltafel, ermittelt.

Zusätzlich geben Inklinometer (elektrische Neigungsmesser) Auskunft über das Gefälle und die Verrollung des Kopfes. Alle gemessenen Werte werden von einem Rechner registriert und auf einem Monitor sichtbar gemacht.

Der Maschinenfahrer kann eventuelle Abweichungen durch Steuerbewegungen des Stahlgelenkkopfes kompensieren.



- | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------|
| 1. Schneidrad | 6. Drehantrieb | 11. Zieltafel |
| 2. Abbauwerkzeug | 7. Schildgelenkdichtung | 12. Laserstrahl |
| 3. Brecherraum | 8. Steuerzylinder | 13. Bypass |
| 4. Düsen | 9. Förderleitung | 14. Ventilblock |
| 5. Hauptlager | 10. Speiseleitung | |

Bild Mikrotunnelbau Schild-Rohrvortriebssystem Fa. Herrenknecht

Neben den bereits genannten Fördersystemen, der Schneckenförderung und der hydraulischen Förderung muß der Vollständigkeit halber noch die pneumatische Förderung aufgeführt werden. Da die Anwendung der pneumatischen Förderung bei bindigen Böden und Grundwasser Probleme verursacht, wird sie auch in Zukunft eher zu den Exoten unter den Fördersystemen gehören.

3.2.2 Mikrotunnelmaschinen mit Schneckenförderung (Preßbohr - Rohrvortrieb)

Bei der Schneckenförderung besteht die Möglichkeit die Schürfscheibe mit der Schnecke anzutreiben, d. h. auf einen zusätzlichen Antrieb im Kopf kann verzichtet werden. Diese Systeme sind unkomplizierter im Aufbau, für die Kompensation der Verrollung wird allerdings eine steuerbare Verrollungsflosse benötigt. Die Anwendungsmöglichkeiten sind bei dem Schneckensystem eingeschränkt. Grenzen werden vor allem durch den Grundwasserstand sowie durch die möglichen Vortriebslängen gesetzt.

Das Grundwasser kann an der Ortsbrust durch Druckluftbeaufschlagung verdrängt werden. In Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen und der Nennweite können Grundwasserstände von i.M. 2 Metern bzw. Vortriebslängen von im Mittel rund. 70 Metern beherrscht werden. Bei den unter 3.3 aufgeführten Pilotrohr-Vortriebssystemen werden zwischenzeitlich zellrad-schleusenähnliche Konstruktionen eingesetzt, mit denen bereits auch Grundwasserstände über 2 m mit der Schneckenförderung beherrscht werden können.

3.2.3 Mikrotunnelmaschinen mit Spülförderung (Schild - Rohrvortrieb)

Die hydraulischen Systeme benötigen einen direkten Antrieb der Schürfscheibe im Steuerkopf. Der gelöste Boden wird im Kopf mit Wasser bzw. Bentonit gemischt und abgepumpt. Der Boden wird anschließend separiert, die Förderflüssigkeit geht wieder in den Kreislauf. Die Verrollungskompensation erfolgt über Rechts- bzw. Linksdrehung der Schürfscheibe. Durch die Möglichkeit, das Fördermedium im Steuerkopf mit Überdruck zu fahren, kann jeder Grundwasserstand mit diesem System beherrscht werden. Nach dem Steuerkopf und einem Stahlnachlaufrohr folgen die Produktrohre, so daß nach dem Erreichen der Zielbaugrube nur noch Kopf, Nachläufer und die Versorgungs- und Förderleitungen demontiert werden müssen.

Den erreichbaren Vortriebslängen werden bei der Spülförderung nur Grenzen durch die Mantelreibung und dem Laserleitstrahl gesetzt. Beim Mikrotunnelvortrieb mit kleinen Nennweiten sollten die Strecken nicht länger als 100 - 140 Meter sein, bei größeren Nennweiten

sind in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen, durch den Einsatz von Dehnerstationen, auch deutlich größere Vortriebsstrecken möglich.

3.2.4 Pipe-eating

Die erfolgreiche Entwicklung des Mikrotunnelbaues war die Veranlassung über die Modifizierung, der ursprünglich nur für den Neubau eingesetzten Vortriebssysteme, zum gesteuerten Überfahren schadhafter Kanäle, nachzudenken.

Gegenüber der Sanierung bietet das Pipe-eating die Möglichkeit der Querschnittvergrößerung, der Lageoptimierung durch die exakte Steuerbarkeit sowie einer wesentlich längeren Lebensdauer der qualitativ hochwertigen Vortriebsrohre. Durch das Zerfräsen und Abfördern des alten Rohrmaterials ist außerdem ein exakt definiertes Auflager gewährleistet.

Zeitgleich wurden 1986, sowohl in Berlin als auch in Hamburg, Mikrotunnelmaschinen modifiziert. Obwohl das Pipe-eating Verfahren durch das zwischenzeitliche Überpumpen von Hausanschlüssen und Vorflutkanälen aufwendig ist, zeigen sich bei entsprechenden Randbedingungen oftmals Einsparungen gegenüber der konventionellen Leitungserneuerung in gleicher Trasse, bei offener Bauweise.

3.3 Pilotrohr - Vortrieb

3.3.1 Dreistufiges Verfahren

In den letzten vier Jahren wurden die ursprünglich für die unterirdische Herstellung von Hausanschlußkanälen DN 150 konzipierten Vortriebssysteme, für den Bau von Sammelkanälen DN 200 erweitert.

Die wesentlich robusteren Maschinen können mit größeren Drehmomenten und höheren Pressenkräften Vortriebslängen von i.M. 80 Meter auffahren.

Die Systeme sind im Aufbau wesentlich einfacher als die bisher vorgestellten Anlagen, sie arbeiten i. d. Regel in drei Stufen:

1. Stufe Pilotbohrung

Die Pilotbohrung erfolgt im Verdrängungsverfahren. Der Kopf des Pilotgestänges ist beim Vortrieb über eine schräge Ebene steuerbar. Mit der Rotation des Gestänges kann die schiefe Ebene beim Vortrieb in jede Richtung gebracht werden. Durch ein Hohlgestänge kann die Lage des Kopfes mit einem Theodoliten mit einer speziellen Videoptik und einer beleuchteten Zieltafel im Kopf jederzeit beobachtet werden.

2. Stufe Aufweitungsstufe

Nachdem die Pilotbohrung die Zielbaugrube erreicht hat, wird im Preßschart das Aufweitungsrohr an das letzte Pilotgestänge angekoppelt. Im Gegensatz zur 1. Stufe wird der Boden beim Vortrieb des Aufweitungsrohres abgebaut und mit einer Schnecke in den Preßschart gefördert. Das Pilotgestänge wird in der Zielbaugrube demontiert.

3. Stufe Produktrohr

Analog der 2. Stufe wird nun mit dem Produktrohr das Aufweitungsrohr in die Zielbaugrube geschoben und dort demontiert. Da das Aufweitungsrohr den gleichen Außendurchmesser wie das Produktrohr hat, braucht bei der dritten Stufe kein Boden mehr abgebaut zu werden.

Dieses dreistufige Verfahren findet zur Zeit im Kanalbau, im Bereich DN 150/200/250, Verwendung. Für den Nennbereich DN 300-1000 steht seit kurzem ein Vortriebssystem zur Verfügung, welches auf der beschriebenen Konzeption aufbaut, jedoch als „Zweiphasenvortrieb“ arbeitet. Durch die relativ geringen Investitionskosten, in Verbindung mit kürzeren Rüstzeiten, gegenüber der herkömmlichen Mikrotunneltechnologie, ist die Anwendung dieser Mikrotunnelvariante auch für kürzere Vortriebsstrecken interessant.

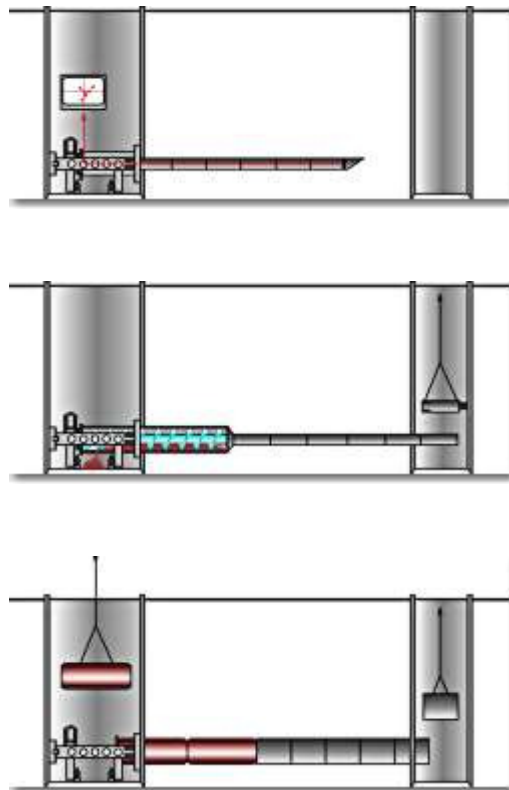


Bild Dreistufiges Verfahren Firma Bohrtec

3.3. 2 Zweistufiges Verfahren

Gesteuerte Schneckenbohrung

Im ersten Verfahrensschritt wird eine gesteuerte Bohrung mit einer patentierten Steuer-schnecke durchgeführt.

Das Preßbohrgerät wird auf Sollrichtung in der in Preßrichtung mindestens 3,20 m langen Startgrube eingerichtet. Anschließend wird der Theodolit mit der CCD - Kamera auf Sollneigung und -richtung eingerichtet. Die Bohrung wird als normale Räumbohrung mit Stahl-schutzverrohrung und Hohlbohrschnecken durchgeführt. Der Schneckenbohrkopf besitzt, wie bei der Pilotbohrung, eine schräge Ebene in der eine Diodenzieltafel befestigt ist. Während der Bohrung wurde mit der CCD-Kamera durch die optische Gasse der Hohlbohr-schnecken kontinuierlich Position und Stellung des Schneckenbohrkopfes überwacht und dem Maschinenfahrer auf dem Monitor angezeigt. Erkennt der Maschinenfahrer auf dem Monitor eine Abweichung des Diodenzielfeldes von der Sollachse, kann er den Schnecken-bohrkopf mit der Steuerebene so drehen, daß bei weiterem Vorpressen ohne Drehung eine Steuerbewegung in die gewünschte Richtung eintritt. Die gesteuerte Bohrung wird in der beschriebenen Weise entlang der Sollachse aufgefahren.

Direkt angetriebene Aufweitungsbohrung

Im zweiten Verfahrensschritt wird eine direkt angetriebene Aufweitungsstufe an die Stahl-schutzverrohrung gekoppelt. Beim Nachschieben der Produktenrohre wird der Boden an der Aufweitungsstufe von einer mit Abbauwerkzeugen bestückten Speziialschnecke gelöst und durch Linksdrehung der Hohlbohrschnecken durch die Stahlschutzrohre hindurch in die Ziel-grube gefördert. Die Stahlschutzrohre mit den Hohlbohrschnecken werden sukzessive in der Zielgrube entnommen.

Die Anlage, mit der Produktenrohre bis zu einer Nennweite DN 800 vorgepreßt werden kön-nen, hat eine Vorschubkraft von 160 to sowie einen Drehmoment von 24.000 Nm.

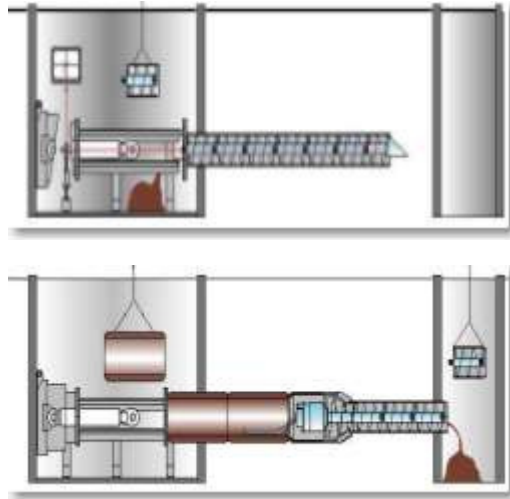


Bild Zweistufige Bohrung Firma Bohrtec

4. Baustellenerfahrungen mit neuen Technologien des grabenlosen Kanal- und Druckrohrleitungsbaus

Der gesteuerte Mikrotunnelvortrieb gehört in Deutschland bereits zu den Standardbauverfahren im Kanalbau, wobei hier vor allem die Preßbohr- und Schild- Vortriebe dominieren.

Bundesweit werden zwar erst 9 % aller neu gebauten Kanäle grabenlos erstellt, einzelne Netzbetreiber, wie z.B. die Berliner Wasserbetriebe bauen allerdings schon mehr als 50 % ihrer Kanäle in dieser Bauweise.

In den letzten drei Jahren findet eine massive Verdrängung der konventionellen Mikrotunnelvortriebe durch die Pilotrohr - Vortriebe statt. Anstelle der kleinsten Mikrotunnelnennweite DN 250, welche oftmals hydraulisch überdimensioniert war, wird heute in der Regel mit Pilotrohr-Vortrieben die Nennweite DN 200 deutlich kostengünstiger aufgeföhren. An dieser Stelle sollen anhand einiger Bauvorhaben neue und innovative Mikrotunneltechnologien für Abwasserkanäle vorgestellt werden.

Der bereits mit der Nennweite DN 200 erfolgreich eingeschlagene Weg, den Mikrotunnelbau wirtschaftlicher und konkurrenzfähiger zur offenen Bauweise zu machen, hat die Firma Bohrtec mit dem Vortriebssystem BM 300 / 800 konsequent für die Nennweiten DN 300 - 1000 fortgesetzt (max. DA 1400 mm).

Aus dem Anspruch, die Wirtschaftlichkeit zu optimieren, ergeben sich die nachfolgend genannten Anforderungen an eine Vortriebsmaschine, die von herkömmlichen Mikrotunnelan-

lagen in wesentlichen Punkten nicht erfüllt werden.

- geringerer Baustelleneinrichtungsaufwand
- kurze Rüstzeiten
- geringer Bedienungsaufwand
- hohe Vortriebsleistung bei kurzen Koppelzeiten
- geringe Investitionskosten

Im Hinblick auf eine möglichst einfache Bedienbarkeit und eine für die Vortriebsrohre absolut sichere Verfahrenstechnik wurde nicht versucht, die herkömmlichen Mikrotunnelmaschinen, mit denen die Produktenrohre direkt gesteuert vorgetrieben werden, weiterzuentwickeln.

Besonders vorteilhaft in der Praxis erwies sich die einfache und robuste Maschinenkonstruktion in Verbindung mit kurzen Einrichtungs- und Rückbauzeiten.

Vor allem durch die Möglichkeit, mit der robusten Förderschnecke (\varnothing 360 mm) in Verbindung mit dem Stahlschutzrohr (419 x 20 mm) auch größere Steinhindernisse (bis 120 mm Durchmesser) unzerkleinert abfordern zu können, hat sich die Anzahl der Hindernisbeseitigungen gegenüber den Spülfördersystemen im kleinen Nennweitenbereich, erheblich verringert.

Vor allem bei kurzen Haltungslängen bzw. einzelnen Durchörterungen ist bei der konventionellen Mikrotunneltechnologie oftmals die Wirtschaftlichkeit gegenüber der offenen Bauweise nicht gegeben. Aufwendige Baustelleneinrichtungen, hohe Vorhaltekosten und lange Rüstzeiten, umgelegt auf kurze Preßstrecken, führen zu extrem hohen Meterpreisen.

5. Ausblick

Der gesteuerte Microtunnelvortrieb hat im Kanalbau durch die weiterentwickelten Pilotrohr - Vortriebe eine wesentliche Bereicherung erfahren.

Im Gegensatz zu den sehr aufwendigen und kostspieligen konventionellen Microtunnelbohranlagen steht mit der weiterentwickelten Technologie eine sehr einfache und wirtschaftliche Alternative zur Verfügung. Diese Technik kann sich sicherlich nicht mit den Leistungen konventioneller Microtunnelbohranlagen messen, bei hohen Grundwasserständen bzw. langen Vortriebsstrecken werden nach wie vor Systeme mit Spülforderung und Lasersteuerung zum Einsatz kommen.

Die neue Verfahrenstechnik für die Verlegung von Sammlern DN 200 bis DN 1000 läßt sich aber in einer Vielzahl von Anwendungsfällen einsetzen und braucht hier den wirtschaftlichen Vergleich zur offenen Bauweise nicht scheuen.

Für den grabenlosen Druckrohrleitungsneubau stehen zahlreiche unterschiedliche Vortriebsverfahren zur Verfügung. Die Wahl des jeweils geeigneten Verfahrens wird durch technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte vorgegeben. Nicht steuerbare Verfahren können durch die relativ geringen Investitionskosten vor allem bei kurzen Vortriebsstrecken kostengünstig angeboten werden. Bei den gesteuerten Verfahren wirkt sich bei dem Horizontalspülbohrverfahren, neben dem gegenüber der Microtunneltechnologie annähernd um die Hälfte geringeren Investitionskosten, vor allem die enorme Mobilität dieser Systeme aus. Die Nachteile solcher Systeme liegen in der wesentlich ungenaueren Steuerung, wodurch es zu ungewollten „Schlangelinien“ des Rohrstranges kommen kann. Die kleineren mobilen Systeme haben im Vergleich zu den Preßkräften der eingesetzten Microtunnelmaschine von 120 - 160 Tonnen nur Zugkräfte von 10 - 20 Tonnen zur Verfügung. Großbohranlagen mit vergleichbaren Zugkräften haben einen bedeutend größeren Platzbedarf und enorme Anfahrstrecken bedingt durch den relativ großen Biegeradius der Bohrgestänge.

Microtunnelanlagen haben daher beim Druckrohrleitungsneubau durchaus ihre Berechtigung. Vor allem bei schwierigen Bodenverhältnissen, langen Vortriebsstrecken und größeren Nennweiten ist es in Ballungsgebieten oftmals wirtschaftlicher, eine Microtunnelmaschine einzusetzen.

Es steht vor allem im Grenzbereich zwischen ungesteuerten Durchörterungen auf kurzen Längen und Vortrieben über lange Strecken im Grundwasser ein neues Verfahren zur Verfügung, welches gegenüber herkömmlichen Systemen nicht nur technische sondern vor allem wirtschaftliche Vorteile bietet.

Prof. Jens Hölterhoff

Prof. Hölterhoff & Partner
Ingenieursozietät
Im Amseltal 2
13465 Berlin
Tel. +493040105521
Fax. +493040105497
hoelterhoff@hbing.de

Vorstandsvorsitzender GSTT
German Society for Trenchless Technology e.V.
Messedamm 22
14055 Berlin
Tel. +49(30)30382143
Fax. +49(30)30382079
hoelterhoff@gstt.de www.gstt.de