

Abschlussbericht

Thema: „Entwicklung und Erprobung einer Rohrvortriebstechnik für Böden mit Hindernissen“

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

Ausführende Stellen: RWTH Aachen,
ibb – Institut für Baumaschinen und Baubetrieb
Mies-van-der-Rohe-Str. 1
52074 Aachen

Bohrtec GmbH
Konrad-Zuse-Str. 24
52477 Alsdorf

Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
Ostmerheimerstraße 555
51109 Köln

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

Aachen im April 2005

Dr.-Ing. Rainard Osebold
Universitätsprofessor

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation und Zielsetzung.....	2
2. Stand der Technik	6
2.1 Pilotrohrbohrverfahren	7
2.2 Pressbohrtechnik.....	9
2.3 Steuerschnecken-Vortrieb	10
3. Neuentwicklung in der Rohrvortriebstechnik	13
3.1 Technisches Konzept.....	13
3.2 Bohrkopf mit Mantelrohrsteuerung	14
3.2.1 Schneidrad / Brecherraum	15
3.2.2 Mantelrohrsteuerung	19
3.3 Aktive Aufweitungsbohrtechnik	20
4. In-situ nahe Erprobung in der Versuchsbahn des ibb	26
4.1 Versuchsaufbau in der Startgrube	26
4.2 Simulierte Bodenverhältnisse in der Versuchsbahn.....	28
4.3 Versuchsdurchführung.....	31
4.4 Versuchsergebnisse.....	32
4.5 Erprobung der Vortriebstechnik in Felsgestein.....	36
5. Baustellenerprobung in Köln – Widderdorf	40
6. Präsentation der neuen Vortriebstechnik	47
7. Zusammenfassung	48
8. Literaturverzeichnis	51

1. Motivation und Zielsetzung

Aus einer Umfrage der DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. aus dem Jahr 2001 zum Zustand der deutschen Kanalisation geht hervor, dass 17% der Kanalisation kurz- bis mittelfristig und weitere 12% langfristig sanierungsbedürftig sind¹. Ein Großteil der schadhafte Kanäle ist über 75 Jahre, teilweise sogar über 100 Jahre alt und wird zumeist in den Stadtzentren vorgefunden, da hier um 1900 mit dem Bau von Abwasserkanälen begonnen wurde.

Zur Sanierung schadhafter Abwasserkanäle können grundsätzlich drei Alternativen angewendet werden. Geringe und vereinzelt auftretende Schäden können durch Reparatur, umfangreiche Schäden durch Renovierung oder durch Erneuerung behoben werden. Hierbei sollte beachtet werden, dass der Erfolg und die Dauerhaftigkeit einer Sanierung durch das eingesetzte Verfahren bestimmt wird. Ein langfristiger Sanierungserfolg (>50 Jahre) kann jedoch nur durch eine Neu- beziehungsweise Ersatzverlegung der schadhafte Leitung in offener Bauweise oder in geschlossener Bauweise erreicht werden.

Die Erneuerung von innerstädtischen Kanälen in offener Bauweise unter Verwendung von Leitungsgräben ist bekanntermaßen mit vielen Nachteilen verbunden. Dass bis heute dennoch vielfach Kanäle in offenen Leitungsgräben verlegt werden, liegt insbesondere an den Preisvorteilen, die mit dieser Verlegetechnik einhergehen. Die bessere Alternative ist die Erneuerung in geschlossener Bauweise, die allerdings meist noch kostenintensiver ist.

Für die Erneuerung in geschlossener Bauweise gibt es zwei Lösungswege, die Verlegung in gleicher oder in neuer Trasse. Für die Erneuerung in gleicher Trasse sind in den vergangenen Jahren zahlreiche Versuche unternommen worden, Geräte und

¹ Der Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001.
Informationsbroschüre der ATV-DVWK

Verfahrenstechniken zu entwickeln². Der Erfolg dieser Entwicklungen ist jedoch gering.

Die Gründe hierfür sind vielfältig:

- Das Abwasser des Kanals und der betroffenen Hausanschlüsse muss während der gesamten Bauzeit übergeleitet werden.
- Die Hausanschlüsse müssen in offenen Baugruben vorab abgetrennt und können erst nach Abschluss der Neuverlegung wieder angebunden werden.
- Die Zerkleinerung der Kanalrohre erfordert eine sehr aufwändige Maschinenteknik, mit der nur geringe Leistungen erzielbar sind.
- Lageabweichungen der zu erneuernden Kanäle können nur eingeschränkt ausgeglichen werden.
- Die Bettung des neuen Kanals wird im Vergleich zum alten Kanal nicht verbessert.
- Der alte Kanal muss in der Regel vorab verdämmt werden.
- Es entstehen im Vergleich zur Verlegung in neuer Trasse deutlich höhere Kosten³.

Insgesamt ist festzustellen, dass der planerische und bautechnische Aufwand für die Erneuerung in gleicher Trasse und damit auch die Kosten der Verlegung sehr hoch sind. Alle Entwicklungen auf diesem Gebiet konnten sich deshalb bisher am Markt nicht durchsetzen.

Die Stadtentwässerungsbetriebe Köln beschreiten daher seit vielen Jahren einen anderen Weg bei der innerstädtischen Erneuerung von Kanälen. Dort wird über den zu erneuernden Kanal händisch ein so genannter π -Stollen aufgefahren. In diesem

² vgl. Beyert, J.: Erneuerung von Kanälen in geschlossener Bauweise; Straßen- und Tiefbau 12/1988, S. 9 – 18

Pohle, G., Beyert, J.: Erneuerung von Abwasserleitungen; Hoch- und Tiefbau 6/1990, S. 54 – 57

Beyert, J.: Entwicklung und Erprobung eines Geräts zur unterirdischen Kanalauswechslung, Tagungsband Internationales Symposium Microtunnelbau 1995, A.A. Balkema Rotterdam

Zapel, K.: Unterirdisches Auswechseln nichtbegehrter Abwasserkanäle mit dem „Crush-Linig-System“, GWF Wasser Abwasser, 15/1996, S.17ff.

Braun, E.: Modifiziertes Pilot-Vortriebsverfahren, bi-Umweltbau 3/2000, S.63-65.

³ Möhring, K.: Wirtschaftliche und umweltgerechte Herstellung von Abwasserkanälen und -leitungen durch Microtunnelbau, Vulkan-Verlag, Essen 1997

Stollen wird der alte Sammler erneuert; die Hausanschlüsse werden dann hieran wieder angebunden.

Diese Art der Erneuerung ist zwar einfacher zu planen und sicherer, was den technischen Erfolg anbelangt, aber, bedingt durch das große Ausbruchvolumen und den hohen Anteil Handarbeit auch teuer.

Zielführender wäre daher eine Weiterentwicklung der Verfahren zur Kanalerneuerung in neuer Trasse, da hierbei die technischen Probleme kleiner sind und die Kanalrohre kostengünstiger verlegt werden können. Positiver Nebeneffekt eines solchen Vorgehens gegenüber der offenen Bauweise wäre zudem, dass die ebenso alten und schadhafte Hausanschlussleitungen hierbei nicht nur wieder an den neuen Kanal angeschlossen, sondern zum großen Teil aus den vorhandenen Pressgruben kostengünstig mit erneuert werden könnten.

Da etwa 80 % der zu erneuernden Kanäle \leq DN 800 sind, bietet sich für die unterirdische Erneuerung in neuer Trasse das Microtunnelbohrverfahren an. Hierfür gibt es seit mehr als 10 Jahren geeignete Geräte und Verfahrenstechniken. Entscheidender Nachteil ist jedoch die eingeschränkte Einsetzbarkeit in schwierigen Böden und insbesondere der dort immer noch hohe Ausführungspreis.

Die Stadtentwässerungsbetriebe Köln haben dennoch in den vergangenen Jahren in vielen Fällen die Erneuerung von Kanälen mit Microtunneling ausführen lassen und nehmen auf diesem Gebiet in Nordrhein-Westfalen eine Vorreiterrolle ein.

Neben dem Erfordernis, Microtunneling zu günstigeren Preisen als bisher ausführen zu können, ist auch ein technisches Problem zu lösen. In grobkörnigen Böden, insbesondere in Rollkies, besteht die Gefahr einer zu hohen Bodenentnahme. Dies gilt sowohl bei Schneckenförderung als auch bei hydraulischer Förderung und kann in der Folge zu Setzungen an der Geländeoberfläche und somit zu Schäden an angrenzenden Gebäuden führen.

Grobkörnige Bodenarten sind in Köln häufig anzutreffen, stehen aber im gesamten Rheinland, beispielsweise auch in Bonn, Düsseldorf, Duisburg, Krefeld, Mönchengladbach und anderen Kommunen an.

Daraus leiten sich für die Entwicklung einer neuen Microtunnelling-Technik folgende Aufgabenstellungen ab:

- Verlegung von Kanälen DN 300 bis DN 800 preisgünstiger als in offener Bauweise.
- Bewältigung auch grobkörniger Kiesböden ohne wesentliche Leistungseinbuße.
- Sichere Vermeidung von Setzungen in grobkörnigen Kiesböden.
- Geringer Platzbedarf für Gerätschaft und Baustelleneinrichtung.
- Option zur Herstellung von Hausanschlüssen mit der gleichen, vorort umgebauten Gerätetechnik.

Die Zielstellung dieses Forschungsvorhabens war demnach, eine geeignete Gerätetechnik für die Verlegung von Kanälen in geschlossener Bauweise in Böden mit Hindernissen zu entwickeln, die durch geringe Investitionskosten sowie niedrige Betriebskosten zu günstigen Herstellungspreisen der damit verlegten Leitungen führt. Diese Aufgabe war nur zu lösen, indem mit der zu entwickelnden Vortriebs-technik auch in partiell schwierigen Bodenverhältnissen und im Grundwasser eine hohe Vortriebsleistung sowie eine hohe Richtungs- und Lagegenauigkeit der Produktenrohre erreichbar ist.

Bei der maschinentechnischen Entwicklung sollten insbesondere die mit dem herkömmlichen Pilotrohrbohrverfahren einhergehenden Vorteile kleiner Start- und Zielgruben, geringer Platzbedarf der Baustelleneinrichtung sowie kurzer Einrichtungs- und Umsetzdauern berücksichtigt und bestmöglich gewahrt werden. Hierbei sollte die Maschinentechnik ähnlich robust und einfach zu handhaben sein.

Damit den Kommunen die neue Rohrvortriebstechnik zeitnah zur Verfügung steht, sollte den Unternehmen, die in Nordrhein-Westfalen bereits das herkömmliche Pilotrohrbohrverfahren einsetzen, eine Erweiterung der bestehenden Ausrüstung um die neu entwickelten Komponenten ermöglicht werden. Des weiteren sollte ein Konzept erarbeitet werden, mit dem die bauausführenden Unternehmen ohne hohe Investitionskosten Produktenrohre in allen gängigen Außendurchmessern verlegen können.

2. Stand der Technik

Als Alternative zur offenen Bauweise steht für den Kanal- und Leitungsbau das Microtunnelling mit zwei Varianten zur Verfügung.

Für den Bereich kleiner Nennweiten DN 200 bis DN 800 und Haltungslängen von bis zu 80 m wurden das steuerbare Pilotrohrbohrverfahren und das Pressbohrverfahren entwickelt⁴. Die Gerätetechnik ist durch geringe Investitionskosten, kurze Einrichtungs- und Rückbauzeiten, robuste und einfache Maschinenkonstruktion sowie einfache Bedienbarkeit gekennzeichnet; die Verfahren sind damit in leicht bohrbaren Böden wirtschaftlich konkurrenzfähig zur offenen Bauweise.

Für Nennweiten von DN 250 bis weit in den Bereich der begehbaren Rohrleitungen und Haltungslängen von 1000 m und mehr stehen Micromaschinen zur Verfügung, die nach dem Schild-Verfahren arbeiten. Bei dieser Verfahrenstechnik wird die Schildmaschine direkt von den Produktrohren in den Boden vorgetrieben (einphasiger Vortrieb). Durch die sehr aufwendigen Maschinen-, Steuerungs- und Materialförderer- und die Separationsanlage entstehen allerdings hohe Investitionskosten und folglich hohe Ausführungskosten. Zudem ist für ihren Betrieb eine umfangreiche Baustelleneinrichtung erforderlich.

Diese Maschinenteknik kann daher wirtschaftlich nur bei großen und mehreren Vortriebsstrecken von mindestens ca. 80 m Länge und besonderen Randbedingungen, wie größere Tiefenlage, hoher Grundwasserstand, ausreichende Arbeitsfläche, eingesetzt werden.

Die nachfolgende Darstellung des Standes der Technik beschränkt sich deshalb auf die Verfahrenstechniken, die für Nennweiten des nichtbegehbaren Bereichs geeignet sind, die steuerbare Pilotrohrbohrtechnik und die Pressbohrtechnik.

⁴ Vgl. Stein, Dietrich: Leitungstunnelbau, S. 344 ff. Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1988

2.1 Pilotrohrbohrverfahren

Bei dem Pilotbohrverfahren ist der eigentlichen Bohrphase eine Phase vorgeschaltet, in der ein Pilot-Stahlrohr Boden verdrängend bis in die Zielgrube gepresst wird. Die Rohrschüsse der Pilotrohre haben in der Regel eine Baulänge von 1,0 m und einen Durchmesser von 10 cm.

Die normalerweise einwandig ausgeführten Pilotgestänge werden bei Einsatz in Grundwasser oder in bindigen Böden, wo es durch erhöhte Kohäsion zum Anstieg des Drehmomentes kommen kann, doppelwandig ausgeführt⁵. Der freie innere Durchmesser verringert sich dadurch. Dieser innere Hohlraum bildet die optische Gasse, durch die eine im Steuerkopf angebrachte Diodenzieltafel beobachtet werden kann. Mit Hilfe eines Theodoliten ist eine kontinuierliche Richtungskontrolle möglich.

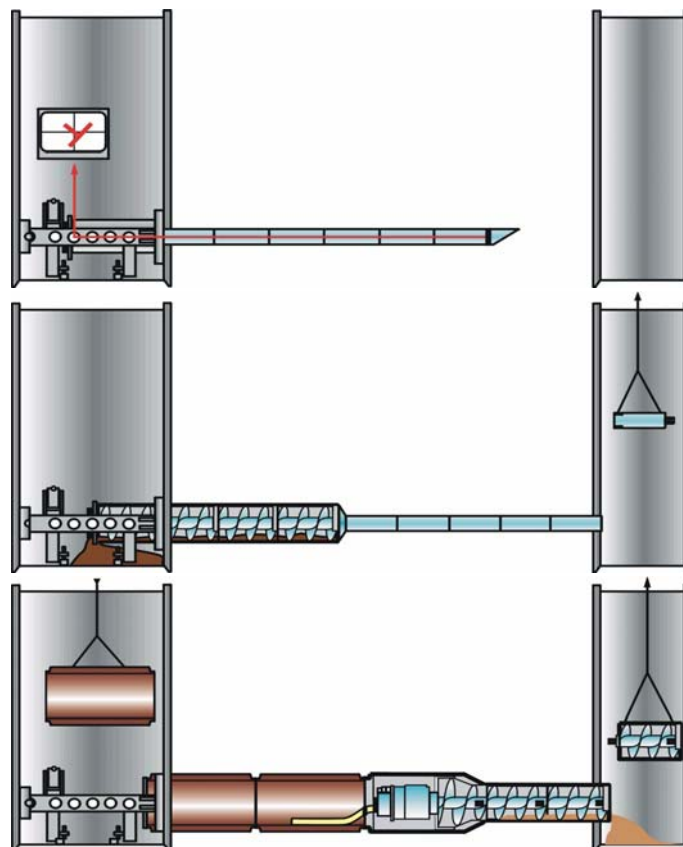


Bild 2-1: Pilotrohrbohrverfahren

⁵ Vgl. Firmenprospekt der Firma Bohrtec GmbH, Alsdorf

Sobald eine Abweichung von der Sollbohrrichtung erkannt wird, kann durch Gegensteuern mit einer abgeschrägten Steuerspitze eine Richtungskorrektur durchgeführt werden.

Nachdem das Pilotrohr die Zielgrube erreicht hat, wird im Startschacht eine Aufweitungsstufe an das Pilotrohr angekoppelt und eine an der Pilotrohrbohrung orientierte Bohrung mit Stahlschutzrohren und mechanischer Schneckenförderung durchgeführt. Dabei werden die Stahlschutzrohre von der Startgrube aus nachgepresst und die Pilotrohre in der Zielgrube ausgebaut. Der Boden wird in die Startgrube gefördert und dort mit einem Bodenkübel an die Oberfläche transportiert.

Nachdem auch die Aufweitungsstufe den Zielschacht erreicht hat, wird die Schnecke zurückgezogen, die Produktrohre werden nachgeschoben und die Stahlrohre im Zielschacht ausgebaut. Diese Verfahrenstechnik wird als dreiphasiger Vortrieb bezeichnet.

Das Pilotrohr-Verfahren ermöglicht den Einsatz in allen verdrängbaren Böden bei Haltungslängen bis zu 80 m mit Nennweiten von DM 150 – DN 300⁶. Bei anstehendem Grundwasser können Zusatzausrüstungen, wie z.B. eine so genannte „Wasserschnecke“, eingesetzt werden. Diese besteht aus einem Stahlschutzrohr mit innen liegender Schnecke und arbeitet nach dem Schleusenprinzip. Sie wird hinter dem Bohrkopf angebracht und verhindert den Eintritt von Grundwasser in das Förderrohr.

Besteht der Baugrund aus locker gelagerten Böden ohne größere Steineinlagerungen, kann auf die Stahlschutzrohre verzichtet und die Herstellung der Bohrung im Zweiphasenbetrieb durchgeführt werden⁷. In diesem Fall werden die Produktrohre mit einem Adapter an das Pilotrohr angekoppelt und direkt vorgepresst.

Die Pilotrohrtechnik ist ein sehr kostengünstiges Verfahren. Der Einsatz ist allerdings auf verdrängbare Böden ohne größere Steine beschränkt.

⁶ Vgl. Stein, Dietrich: Grabenloser Leitungsbau, S.293 Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2003

⁷ Vgl. Uffmann, Hans-Peter: Entwicklung und Stand der Technik (Microtunneling), bi-Umweltbau 5 /2001

2.2 Pressbohrtechnik

Steuerbare Pressbohrgeräte bestehen aus einem Bohr- und Steuerkopf zum Bodenabbau und zur Richtungssteuerung. Mit einer Förderschnecke wird der gelöste Boden kontinuierlich zum Startschacht gefördert, wobei gleichzeitig Schutz- oder Produktrohre vorgepresst werden.

Die Steuerbarkeit wird dadurch möglich, dass die Vortriebsmaschine aus zwei gelenkig verbundenen Teilen besteht, dem kürzeren Steuerkopf und dem längeren Nachläufer. Zwischen ihnen sind Steuerzylinder montiert, mit denen der Steuerkopf abgewinkelt werden kann.

Die Förderschnecke liegt beim Einphasenverfahren, bei dem keine Stahlschutzrohre, sondern direkt die Produktrohre vorgepresst werden, in einem besonderen Förderrohrstrang innerhalb der Vortriebsrohre, so dass diese nicht von der Schnecke beansprucht werden. Normalerweise werden der Bohrkopf und die Schnecke von einem einzigen Antriebsaggregat im Startschacht angetrieben. Bei schweren Böden und großen Vortriebslängen ist es jedoch erforderlich, ein hohes Drehmoment am Bohrkopf zur Verfügung zu haben, um den Boden effizient zerkleinern und abtransportieren zu können. Für solche Bedingungen werden Maschinen angeboten, die mit einem direkten Antrieb des Bohrkopfes und separatem Antrieb für die Schnecke ausgestattet sind.

Mit dem Pressbohrverfahren können Nennweiten von DN 200 – DN 1000 und Vortriebslängen von bis zu 100 m aufgefahren werden [9]. Beim Einsatz dieser Maschinen im Grundwasser sind Zusatzmaßnahmen erforderlich, da die Schneckenförderung ein offenes System ist, das eine Wasserströmung von der Ortsbrust bis in die Startgrube zulässt.

Bei Grundwasserständen bis max. 2,50 m über Rohrscheitel kann die Ortsbrust durch Druckluftzufuhr in der Vortriebsmaschine gestützt werden⁸. Ein sich in der Schnecke bildender Bodenpfropfen dichtet dabei das Förderrohr ab. Spezielle

⁸ Vgl. Firmenprospekt Bohrtec GmbH, Alsdorf

Schnecken mit geringer Ganghöhe können diese Pfropfenbildung unterstützen. Wenn die Grundwasserstände höher liegen, bleibt nur noch die Möglichkeit, unter Druckluft zu arbeiten.

In diesem Fall werden die Schächte mit Schleusen versehen, durch die Personal und Material in die Start- und Zielschächte gelangen. Da diese Variante nur unter den Auflagen für Druckluftarbeiten ausgeführt werden kann und dadurch sehr aufwändig ist, wird sie nur in Sonderfällen eingesetzt.

Das Pressbohrverfahren ist gerätetechnisch aufwändiger als das Pilotrohrverfahren, was sich in höheren Verlegekosten niederschlägt. Durch den relativ kleinen Förderquerschnitt muss der Boden bis DN 500 zudem auf etwa 40 mm Korngröße zerkleinert werden. Hierdurch reduziert sich die Leistung in grobkörnigen Böden erheblich und macht dort den Einsatz unwirtschaftlich.

2.3 Steuerschnecken-Vortrieb

Als innovative Variante des Pressbohrverfahrens wurde von der Firma Bohrtec ein preisgünstiges Verfahren entwickelt, das auf dem Prinzip einer steuerbaren Bohr- und Förderschnecke (Steuerschnecke) basiert.

In Anlehnung an das zwei- und dreiphasige Verfahren mit Pilotrohr wird bei der Steuerschnecke in der ersten Phase ein Stahlmantelrohr mit einem Durchmesser von 420 mm und einer innen liegenden Förderschnecke aus einem Startschacht vorgepresst. Gleichzeitig wird der Boden mit der rechtsdrehenden Förderschnecke in die Startgrube gefördert.

Die Spitze der Förderschnecke ist als Bohrkopf mit einer schrägen Ebene sowie einer innen liegenden Diodenzieltafel ausgebildet. Je nach Stellung dieser schrägen Ebene können bei Stillstand der Schnecke Richtungskorrekturen vorgenommen werden. Die Steuerschnecke ist als Hohlbohrschnecke ausgebildet, wodurch eine optische Gasse zur Verfügung steht, durch welche die Zielausrichtung der Bohrung mit Hilfe eines Theodoliten überwacht werden kann.

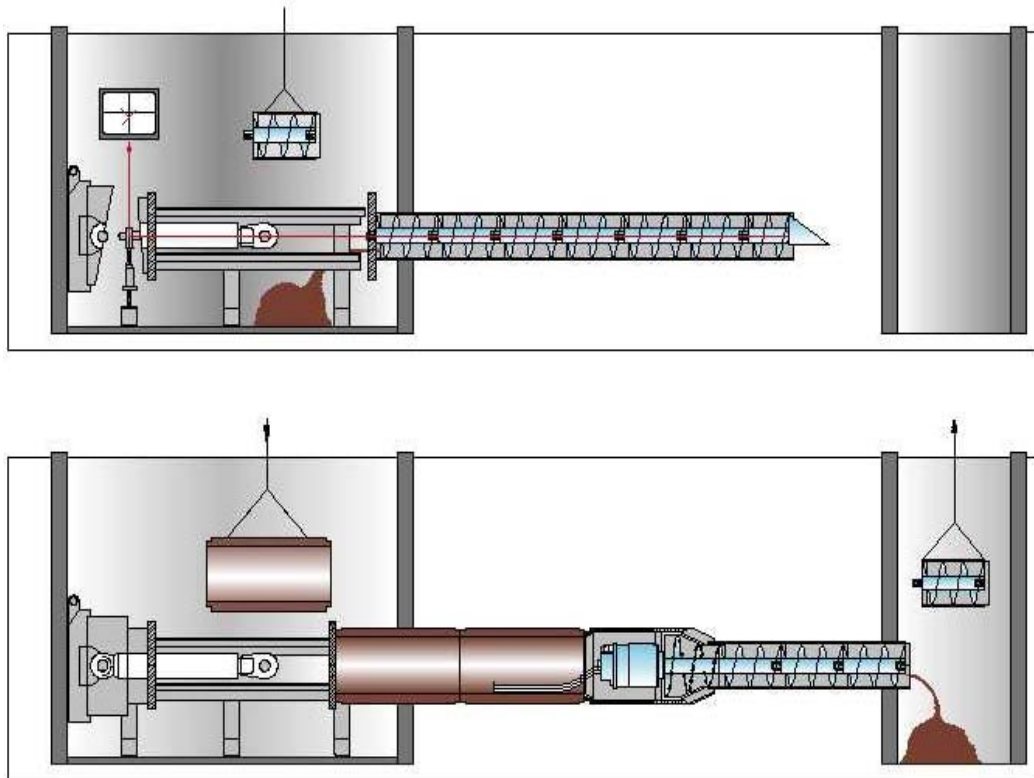


Bild 2-2: Steuerschneckenverfahren

Nach Erreichen der Zielgrube können direkt Produktrohre mit gleichen Außendurchmessern nachgeschoben werden, oder es wird bei größeren Durchmessern eine Aufweitungsstufe mit Direktantrieb an das Stahlrohr angekoppelt und eine Aufweitungsbohrung durchgeführt. Der in der Aufweitungsstufe abgebaute Boden wird durch die dann linksdrehende Schnecke in die Zielgrube gefördert.

Die Produktrohre werden gleichzeitig vom Startschacht aus eingeschoben und die Stahlschutzrohre samt Schnecke im Zielschacht entnommen.

Wegen der größer werdenden Menge an Abraum bei steigendem Rohrdurchmesser wird eine leistungsfähige Entnahme des Bodens aus dem Zielschacht erforderlich.

Durch die örtliche Trennung von Produktrohr-Einbau und Abraumentnahme ist eine gegenseitige Behinderung dieser Vorgänge ausgeschlossen, so dass eine hohe Bohrleistung erzielt werden kann.

Mit dem Verfahren der Steuerschnecke ist es grundsätzlich möglich, auch Böden mit größeren Steineinlagerungen zu durchfahren und Steine bis zu einem Durch-

messer von etwa 120 mm zu fördern, da für den Transport des Bodens der gesamte Querschnitt zur Verfügung steht. Bisher wurde jedoch keine verlässliche Lösung für die Steuerung in schwierigen Böden gefunden.

Kritisch ist zudem der Einsatz der Aufweitungsstufe in grobkörnigen Böden. Da die Aufweitungsstufe den Boden an der Ortsbrust nicht abbaut, können größere Steine (> 120 mm) nicht zerkleinert und gefördert, sondern nur verdrängt werden. Hierdurch kommt es zu einer erheblichen Leistungsreduzierung bei gleichzeitiger Erhöhung der Presskraft. Vereinzelt mussten Bohrungen wegen dieser Probleme abgebrochen werden. Darüber hinaus führt die Zerkleinerung von Steinen mit einem Bohrkopf, der durch die Förderschnecke angetrieben wird, zu einer unkontrollierten Bodenentnahme mit der Folge von Kavernenbildung über dem Bohrkopf. Kommunen, denen diese Probleme bekannt sind, schließen den Einsatz solcher Verfahren in grobkörnigen Böden aus.

So besteht in den Zusätzlichen Technischen Vorschriften (ZTV) der Stadtentwässerungsbetriebe Köln die Forderung an Microtunnelmaschinen, dass eine Trennung von Förderung und Bohrkopftrieb erforderlich ist.

Hierdurch scheidet der Einsatz kostengünstiger Bohranlagen mit Schneckenförderung aus, und es lassen sich nur die wesentlich teureren Anlagen mit hydraulischer Förderung einsetzen.

3. Neuentwicklung in der Rohrvortriebstechnik

3.1 Technisches Konzept

Zur Lösung der zuvor erläuterten Problemstellung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens von der Firma Bohrtec GmbH, Alsdorf eine neuartige Rohrvortriebstechnik entwickelt, bei der sich die Verlegung von Abwasserrohren in Anlehnung an das Steuerschneckenverfahren in zwei Phasen gliedert.

Nach der Baustelleneinrichtung und der Installation des Pressrahmens in der Startgrube wird im ersten Verfahrensschritt eine Pilotbohrung mit einem steuerbaren Bohrkopf durchgeführt. Im Schutze des Steuerkopfes werden Stahl-Mantelrohre mit innen liegender Förderschnecke vorgepresst. Der anstehende Boden sowie anstehende Hindernisse werden durch das Schneidrad des Bohrkopfes gelöst, falls erforderlich im Bohrkopf weiter zerkleinert und durch Rechtsdrehung der Förderschnecke kontinuierlich in die Startgrube gefördert.

Bei Einsätzen im Grundwasser wird dem Steuerkopf ein besonders ausgebildetes Schleusen-Mantelrohr nachgeschaltet, das mit den nachfolgenden Mantelrohren bis zur Startgrube ein abgeschlossenes System ausbildet. Hierdurch kann eine Wasserströmung von der Ortsbrust bis in die Startgrube und ein hierdurch verursachter Grundbruch bis zu einer Grundwasser-Überdeckungshöhe von maximal drei Metern sicher vermieden werden.

Die Richtung der gesteuerten Pilotbohrung wird wie beim herkömmlichen Pilotrohrbohrverfahren vom Startschacht aus durch einen Theodolith mit CCD-Kamera kontrolliert, dessen optische Zielachse auf die Leitungs-Sollachse eingerichtet wird. Im Steuerkopf befindet sich eine Zieltafel mit LED-Leuchten, die von dem Theodolith durch eine optische Gasse in der Schneckenseele anvisiert wird. So können auftretende Abweichungen unmittelbar auf einem am Steuerstand montierten Monitor als Differenz zwischen der angezeigten Zieltafellaage und der durch ein Fadenkreuz abgebildeten Sollage dargestellt werden.

Nach dem Vorpresen des Steuerkopfes bis zur Zielgrube wird dieser dort von den Stahlrohren abmontiert. So ergibt sich ein Strang von Stahlschutzrohren mit innen liegender Schnecke vom Startschacht bis zum Zielschacht. An diesen Strang wird

im Startschacht die entwickelte aktive Aufweitungsstufe mit dem Außendurchmesser der Produktröhre angekoppelt und vorgepresst. Die Aufweitungsstufe wird hierbei von den davor liegenden Stahlschutzrohren geführt. Der anstehende Boden wird an der Ortsbrust gelöst, falls erforderlich im Inneren der Aufweitungsstufe zerkleinert und durch die Stahlschutzrohre durch Linksdrehung der Schnecke bis zum Zielschacht gefördert. Im Schutze der Aufweitungsstufe werden die Produktröhre bis zur Zielgrube vorgepresst.

3.2 Bohrkopf mit Mantelrohrsteuerung

Während des ersten Verfahrensschritts wird mit dem Bohrkopf eine gesteuerte Bohrung durchgeführt. Der Bohrkopf wird mit Stahl-Mantelrohren mit innen liegender Förderschnecke und optischer Gasse sowie einem Außendurchmesser von 419 mm vorgepresst.

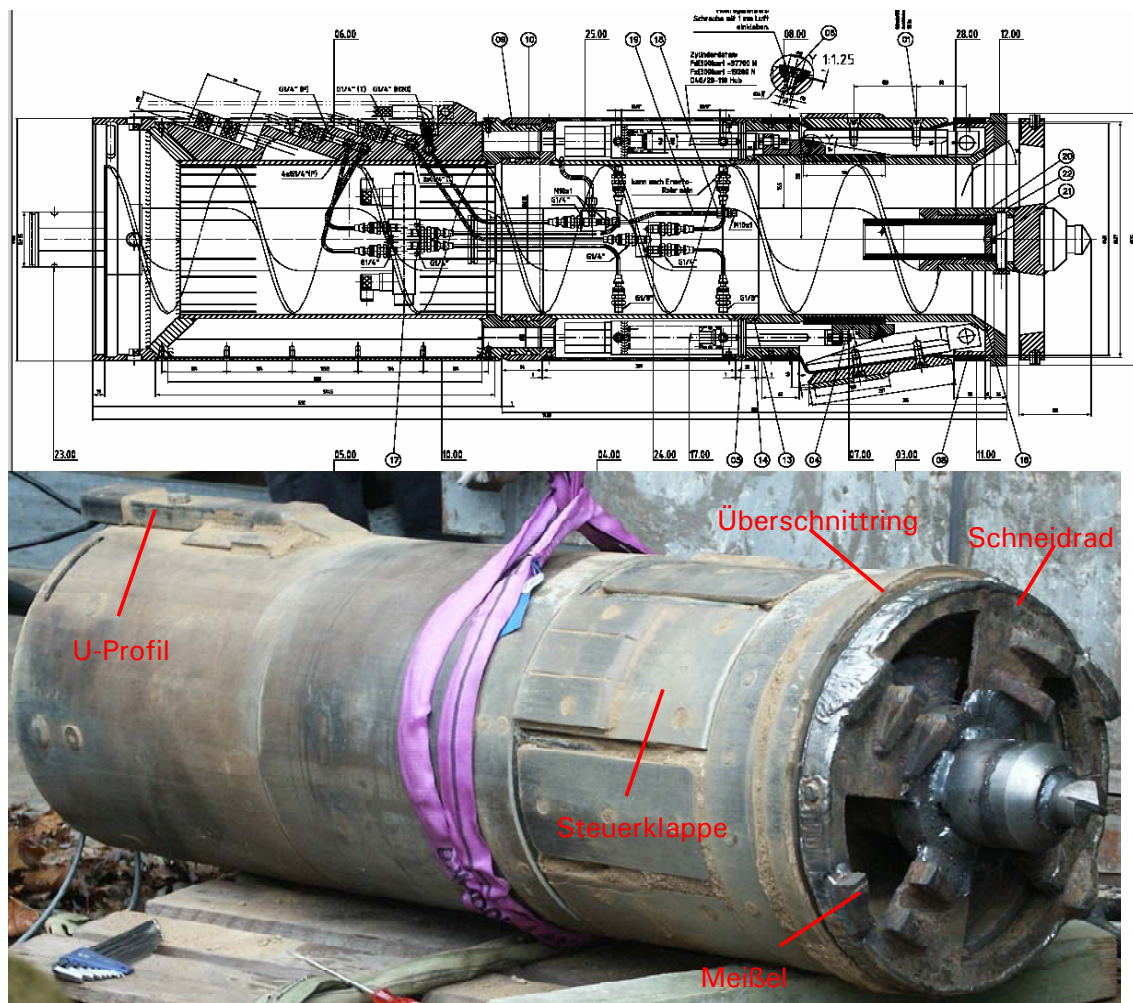


Bild 3-1: entwickelter Steuerkopf S76.001

Der entwickelte Steuerkopf unterscheidet sich von herkömmlichen Microtunneling-Maschinen bzw. Pilotrohrbohrmaschinen in folgenden Komponenten:

- Schneidrad / Brecherraum / Schneckenförderung
- Zieleinrichtung
- Klappensteuerung

3.2.1 Schneidrad / Brecherraum

Die wesentliche Funktion des Bohrkopfes ist das Lösen des an der Ortsbrust anstehenden Bodens. Der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelte Bohrkopf sollte in möglichst vielfältigen Bodenverhältnissen von bindigen bis dicht gelagerten sandigen/ kieshaltigen Böden und in Böden mit Hindernissen (Steinen) > 120 mm eingesetzt werden können. Diese Randbedingungen stellen hohe Anforderungen an das Schneidrad, das über eine kurze Förderschnecke von einem hydraulischen Motor in der Vortriebmaschine angetrieben wird.



Bild 3-2: freigelegter Bohrkopf mit Stein

Das Schneidrad besteht aus einem außen liegenden Kreisring und vier innen liegenden Speichen. Der anstehende Boden wird durch auf der Oberfläche des Schneidrades angeordnete Meißel gelöst und durch die von den Speichen gebildeten Fenster

in die Brecherkammer gepresst. Hierbei können Hindernisse, die kleiner als etwa 120 mm sind, direkt, ohne zerkleinert werden zu müssen, durch die Fenster in den Bohrkopf gelangen und über die Schnecke gefördert werden.

Hindernisse, die größer als 120mm sind, müssen zunächst an der Ortsbrust sukzessive zerkleinert werden (Bild 3-2), indem die auf dem Schneidrad montierten Meißel kleine Stücke (Chips) aus dem Stein heraus brechen, bis der verbleibende Stein kleiner als 120mm ist.

Die Geometrie der Meißel wurde im Zuge der Erprobungen mehrfach verändert, bis letztendlich mit den rechts im Bild 3-3 dargestellten 8-Kant-Meißeln die besten Ergebnisse erzielt wurden. Die Meißel sind über den Durchmesser des Schneidrads derart verteilt angeordnet, dass bei einer vollständigen Umdrehung des Schneidrads jeder Punkt außerhalb der kurzen Spitze von einem Meißel abgedeckt wird (Bild 3-3 links).



Bild 3-3: verschiedene Varianten des Schneidrads

Mit den rechts in Bild 3-3 dargestellten größeren Meißeln können zwar auch größere Stücke aus dem Hindernis gebrochen werden. Beim Brechen der Hindernisse lässt sich jedoch eine kaum korrigierbare Drift des gesamten Bohrkopfes nach oben rechts feststellen. Diese Abweichungen entstehen, indem die großen Meißel sich an

einem Hindernis verhaken und somit der gesamte Bohrkopf im Ringraum angehoben wird, bis die Meißel beim Weiterdrehen des Schneidrads vom Hindernis abrutschen und der Bohrkopf wieder fällt. Durch das Anstoßen des Bohrkopfes am Scheitel des Ringraums werden dort jedoch geringe Mengen des anstehenden Bodens gelöst. Dieser Boden fällt im Ringraum herab und unterfüttert hierdurch sukzessive den Bohrkopf. Die Tendenz nach rechts entsteht durch die Rechtsdrehung des Schneidrads, um den gelösten Boden zur Startgrube zu fördern.

Dieser Effekt konnte durch die Verwendung der kleineren 8-Kant-Meißel verhindert werden.

Eine im Bild 3-4 links dargestellte Schneidrad-Variante mit drei Armen und auswechselbaren Meißeln wurde im frühen Entwicklungsstadium ebenfalls getestet. Diese Variante wurde jedoch verworfen, da die Steuerbarkeit des Bohrkopfes zwar in homogenen Bodenverhältnissen ausreichend war; bei Hindernissen dagegen konnten mit dem Bohrkopf keine Richtungskorrekturen mehr vorgenommen werden. Schließlich musste der Vortriebsversuch mit dem dreiarmligen Schneidrad abgebrochen werden, da sich ein Stein, wie in Bild 3-4 rechts abgebildet, derart hinter einen Arm geklemmt hatte, dass dieser bei der Drehbewegung des Schneidrads mitgeschleift wurde, ohne dass der Stein von den Meißeln zerkleinert werden konnte.



Bild 3-4: Variante des Steuerkopfes mit dreiarmligen Schneidrad

Sollten Hindernisse durch die Öffnung im Schneidrad gelangen, die wegen ihres Durchmessers nicht direkt durch die Schnecke gefördert werden können, besteht die Gefahr, dass alle Fenster zugesetzt werden. Es kann dann kein weiterer Boden mehr gefördert werden. Um dies zu verhindern, sind in der Brecherkammer hinter dem Schneidrad Brecherleisten montiert (Bild 3-4 links). Durch die Drehung des Schneidrads werden die Hindernisse zwangsweise von diesen Brecherleisten erfasst und sukzessive verkleinert.

Bei Einsätzen des entwickelten Bohrkopfes in bindigen bzw. wechselnden Bodenverhältnissen können die Brecherkammer sowie die Fenster im Schneidrad von klebrigen bindigen Bodenanteilen zugesetzt werden. Zum Lösen dieser Bodenpfropfen sind in der Brecherkammer Düsen als Bestandteil eines Hochdruck-Spülsystems montiert. Durch die Düsen, die vom Startschacht aus über eine Hochdruckleitung versorgt werden, treffen Hochdruckwasserstrahlen auf die Abbawerkzeuge und die Brecherkammer, die den anhaftenden Boden lösen. Gleichzeitig wird der Boden derart verflüssigt, dass während der Förderung des Bohrkleins bis zur Startgrube in der Schnecke keine Pfropfenbildung auftritt.

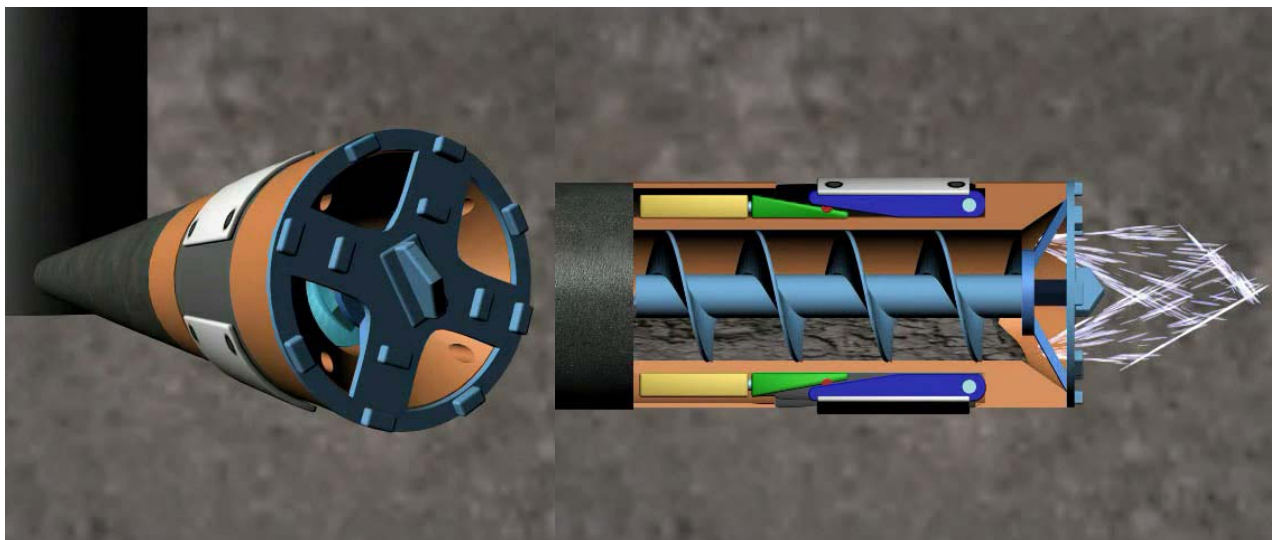


Bild 3-5: Hochdruckbedüsung für Einsätze in Baugrundverhältnissen mit bindigen Anteilen

3.2.2 Mantelrohrsteuerung

Für einen Einsatz der entwickelten Vortriebstechnik in dicht gelagerten Böden ist eine Steuertechnik erforderlich, mit der Steuervorgänge bei gleichzeitiger Bodenförderung durchgeführt werden können. Dies ist beim konventionellen Pilotrohrbohrverfahren und beim Steuerschneckenverfahren nicht möglich. Aus diesem Grunde wurde der Bohrkopf mit einer neuartigen, einfachen Steuertechnik ausgerüstet, die während des Bodenabbaus arbeitet.

Zur Steuerung können vier in Umfangsrichtung auf der Außenseite des Bohrkopfes angeordnete Steuerklappen stufenlos ausgefahren werden (Bild 3-6). Hierzu schieben hydraulische Zylinder keilförmige Scheiben unter die Steuerklappen und fahren diese im Schutze einer Gummiarmierung aus, die das Eindringen von Boden hinter die Klappen verhindert.

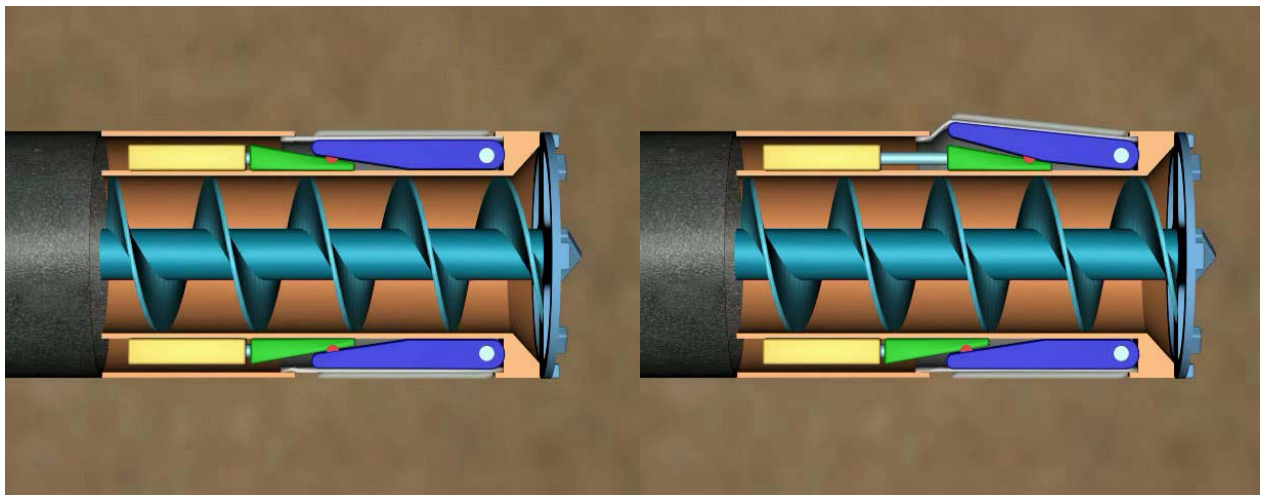


Bild 3-6: Steuerklappe im eingefahrenen Zustand **Bild 3-7: ausgefahrene Steuerklappe**

Die Schlauchleitungen der Hydraulikzylinder werden unter einem auf der Oberseite der Stahlverrohrung montierten U-Profil vom Startschacht bis zum Bohrkopf geführt. Die Zuleitung der Hydraulikflüssigkeit zu dem gewünschten Zylinder wird mittels Magnetventilen gesteuert, die von einem Schalterpult am Steuerstand der Vortriebsmaschine aus bedient werden können.

An der Kontaktstelle zwischen der ausgefahrenen Steuerklappe und dem Boden wird eine Reaktionskraft erzeugt, die den Steuerkopf in die gewünschte Richtung bewegt.

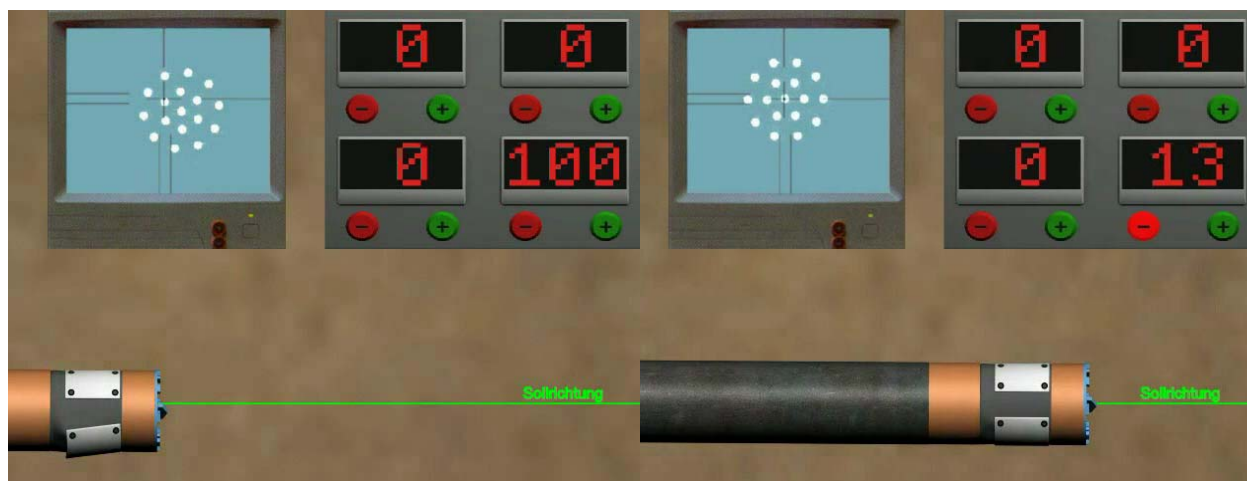


Bild 3-8: Steuerkorrektur bei Abweichungen des Bohrkopfes von der Sollage

In Bild 3-8 ist die Abfolge einer Steuerbewegung beispielhaft dargestellt: Auf dem ersten Monitorbild ist eine Abweichung des Steuerkopfes von der Sollrichtung nach unten rechts erkennbar. Um den Bohrkopf wieder auf die Sollrichtung zu bringen, wird am rechts oben dargestellten Steuerpult die untere rechte Steuerklappe um 100% ausgefahren. Wenn der Steuervorgang beendet und der Bohrkopf wieder auf der Sollrichtung ist, wird der hydraulische Zylinder wieder zurückgestellt und die Steuerklappe durch die Bodenreaktionskraft zurück gedrückt. Ein Einfahren der Steuerklappen ohne Reaktionskraft ist dagegen nicht möglich.

Eine unabdingbare Voraussetzung für das erfolgreiche Steuern des Bohrkopfes ist jedoch der Überschnitt, der mit dem Steuerkopf hergestellt wird. Hierzu ist hinter dem Schneidrad auf der Außenseite des Bohrkopfes ein Überschnittring angeordnet (Bild 3-1). Dieser Überschnittring hat einen gegenüber dem Bohrkopf etwa 15mm größeren Durchmesser. Dieser Überschnitt dient zum einen der Reduzierung der Mantelreibungskraft zwischen den Stahlrohren und dem umgebenden Boden, soll aber zum anderen auch Steuerbewegungen des Bohrkopfes ermöglichen.

3.3 Aktive Aufweitungsbohrtechnik

Für möglichst universelle und kostengünstige Einsätze der entwickelten Rohrvortriebstechnik müssen unterschiedliche Außendurchmesser ohne hohe zusätzliche Investitionen erbohrt werden können. Für viele Bauunternehmen ist eine Anschaffung von Steuerköpfen und einer entsprechenden Anzahl an Pilotrohren, in deren

Schutz-Produktenrohre im Anschluss an die gesteuerte Pilotbohrung ohne gesonderte Aufweitungsbohrung nachgeschoben werden können, für die Vielzahl der geforderten Durchmesser wirtschaftlich nicht realisierbar.

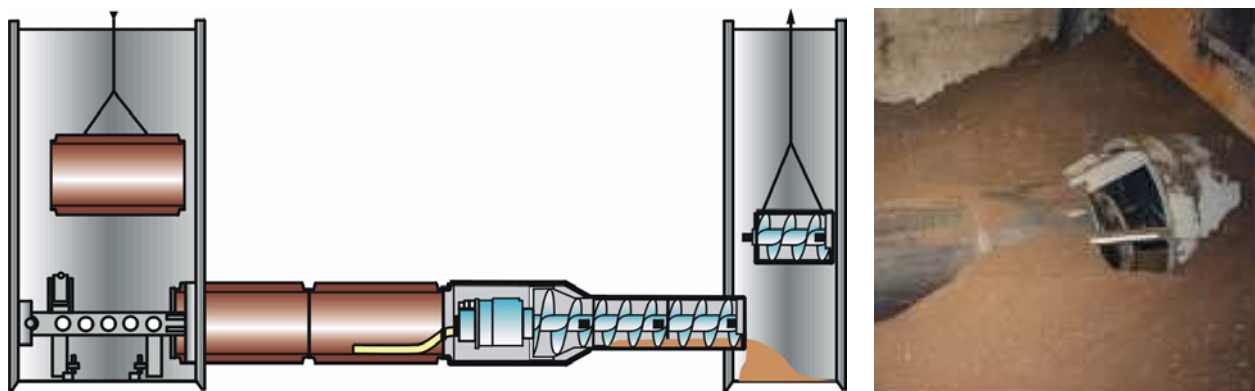


Bild 3-9: herkömmliche Aufweitungsstufe

Aus diesem Grund wird schon bei dem herkömmlichen Pilotrohrbohrverfahren mindestens eine Aufweitungsbohrung durchgeführt (Bild 3-9). Bei bislang eingesetzten Aufweitungsstufen sind zwischen Außen- und Innenrohr Stahlarme angeordnet. Der zu fördernde Boden muss zwischen den Stahlarmen in das Innere der Aufweitungsstufe eindringen, um dort von der innen liegenden Schnecke gefördert werden zu können. Hierfür müssen die Stahlarme zunächst in den anstehenden Boden eingepresst werden. Dies ist jedoch in dicht gelagerten, nicht verdrängbaren Böden und in Böden mit Hindernissen nicht möglich.

Ein weiterer Nachteil der bislang eingesetzten Aufweitungstechnik liegt in dem Antrieb der Förderschnecke. Hindernisse, die wegen ihrer Größe nicht unmittelbar von der Schnecke gefördert werden können, müssen zunächst zwischen den Stahlarmen durch Drehung der Förderschnecke gebrochen werden. Bei diesem Vorgang wird jedoch weiterhin kontinuierlich Boden gefördert. Dies kann in fließenden Böden dazu führen, dass nachrutschender Boden gefördert und somit mehr Volumen entnommen wird, als durch den nachgepressten Rohrstrang ersetzt wird. Hierdurch werden Kavernen gebildet, die zu Setzungen an der Oberfläche führen können.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens eine so genannte „aktive Aufweitungsstufe“ mit separatem Antrieb von Förderschnecke und Schneidrad entwickelt (Bild 3-10).

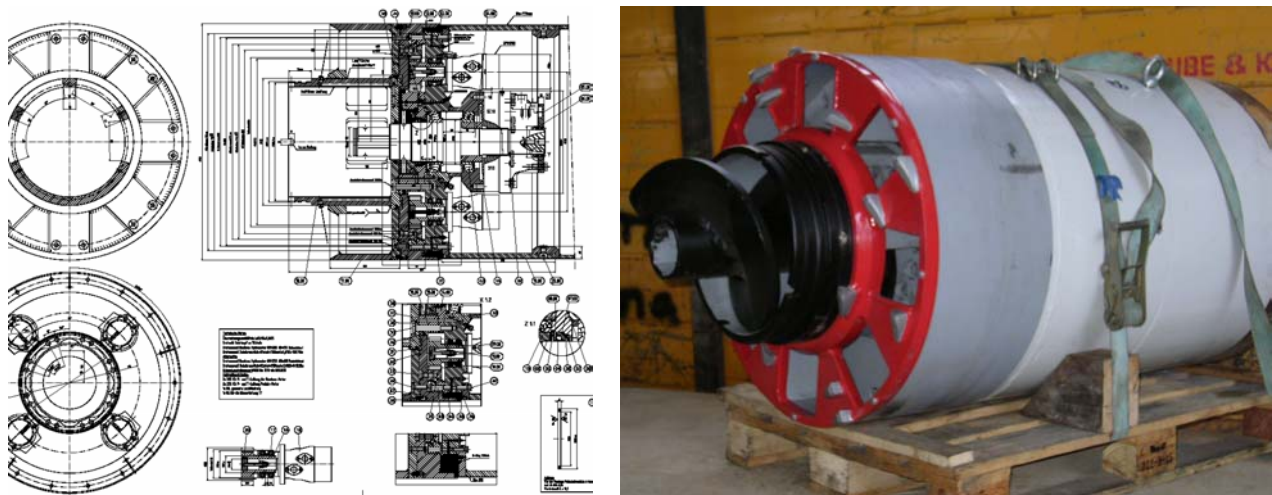


Bild 3-10: aktive Aufweitungsstufe

Der anstehende Boden muss nicht wie bislang an den Stahlarmen vorbei ins Innere der Aufweitungsstufe gepresst werden, sondern wird durch ein mit Meißeln bestücktes Schneidrad „aktiv“ an der Ortsbrust gelöst. Der gelöste Boden gelangt durch die acht über das Schneidrad verteilten Fenster ins Innere der Aufweitungsstufe und wird durch Linksdrehung der Schnecke in die Zielgrube transportiert.

Vor der Ortsbrust liegende Steine werden zunächst von den Meißeln und anschließend im Inneren der Aufweitungsstufe soweit zerkleinert, dass sie von der Schnecke gefördert werden können. Damit nicht, wie zuvor beschrieben, nachrutschender Boden gefördert wird, kann der Antrieb der Förderschnecke während des Zerkleinerns von Hindernissen unterbrochen werden, wodurch Kavernenbildung und dadurch verursachte Setzungen an der Oberfläche sicher vermieden werden.

Das Schneidrad und die Förderschnecke werden über Hydraulikmotoren im Inneren der Aufweitungsstufe angetrieben. Die vier Motoren des Schneidradantriebs sind hierfür parallel geschaltet, so dass sich insgesamt ein Drehmoment von maximal 19.400 Nm ergibt. An den Motorwellen sind Zahnräder montiert, die einen Zahnkranz (Bild 3-11 oben rechts) antreiben, der mit dem Schneidrad verbunden ist. Die Förderschnecke hat einen separaten, in der Maschinenachse angeordneten Hydraulikmotor.

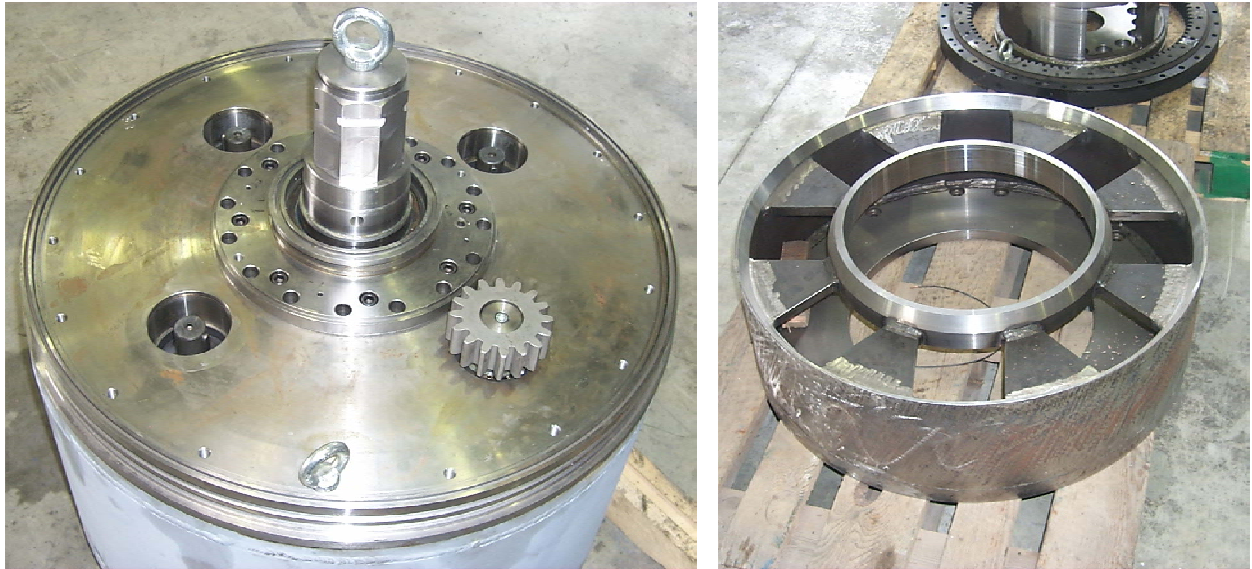


Bild 3-11: Antrieb der Aufweitungsstufe

Das an der Ortsbrust erzeugte Drehmoment wird zum einen durch einen Kraftschluss zwischen der Aufweitungsstufe und die Mantelreibung der nachfolgenden Rohre in den umliegenden Boden übertragen. Der Kraftschluss wird durch die von der anliegenden Vorpresskraft in der Fuge erzeugten Reibkraft hergestellt. Zum anderen wird das Drehmoment über die mit der Aufweitungsstufe drehmomentschlüssig verbundene Stahlverrohrung in den vor der Aufweitungsstufe liegenden Baugrund übertragen. Das Moment wird hierbei einerseits über die Mantelreibung zwischen den Stahlrohren und dem Boden, andererseits durch Verzahnung der auf der Stahlverrohrung montierten U-Profile in den Boden übertragen.

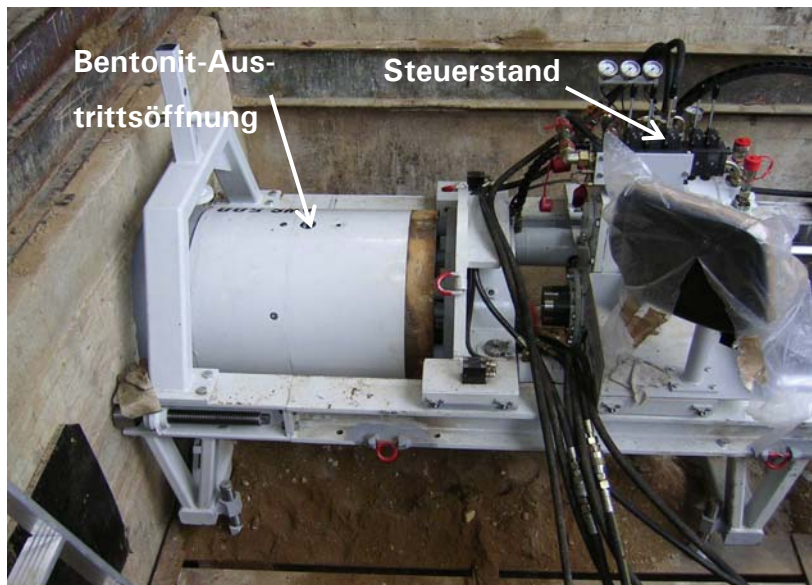


Bild 3-12: Verbindung Stahlverrohrung – Aufweitungsstufe; Versorgungsleitungen und Steuerstand

In Zuge der Erprobung wurde das Schneidrad der Aufweitungsstufe mit unterschiedlichen Meißelgeometrien getestet. Hierbei wurden zunächst die größeren, in Bild 3-12 dargestellten Meißel erprobt. In zwei Versuchsserien wurde das Schneidrad dagegen nicht mit großen Meißeln, sondern mit Leisten bestückt, auf denen 8-Kant Meißel aufgeschweißt waren (Bild 3-13). Diese Meißel hatten sich schon beim Steuerkopf bewährt.



Bild 3-13: Schneidrad mit 8-Kant-Meißeln

Während der Versuche stellte sich jedoch heraus, dass die Steine von den Meißelleisten nicht zerstört, sondern nur mitgedreht wurden, wobei etwa die Hälfte des Steins in das Schneidrad eindrang und die andere Hälfte aus dem Schneidrad hervorstand. Die mitgedrehten hervorstehenden Steine verdichteten so den vor dem Schneidrad anstehenden Boden und erzeugten somit einen Hohlraum, in dem die Meißel nicht mehr mit dem Boden in Kontakt kamen. Als die Vorpresskraft erhöht wurde, drückte sich der Stein in den anstehenden Boden und das Schneidrad blockierte. Aus diesem Grund wurden wieder die anfangs gewählten, größeren Meißel auf dem Schneidrad angeordnet, zumal die negativen Effekte, die beim Steuerkopf in Verbindung mit den größeren Meißeln aufgetreten sind, bei der Aufweitungsstufe nicht beobachtet wurden.

Insbesondere bei längeren Vortriebsstrecken und großen Außendurchmessern der Rohre nimmt die Vorpresskraft stark zu. Bei zu hohen Vorpresskräften können die Vortriebsrohre jedoch Schaden nehmen. Die Vorpresskraft kann gesenkt werden, indem die Mantelreibung zwischen dem nachfolgenden Rohrstrang und dem umgebenden Boden herabgesetzt wird. Zur Reduzierung der Mantelreibung wird mit der Aufweitungsstufe ein größerer Durchmesser als der Rohrdurchmesser aufgeföhren. In den so erzeugten Ringraum kann zur weiteren Reduzierung der Mantelreibung eine bentonithaltige Stütz- und Gleitflüssigkeit über Austrittsdüsen auf die Außenseite der Aufweitungsstufe gepresst werden (Bild 3-12).

Für einen Einsatz der aktiven Aufweitungsbohrtechnik in Böden mit bindigen Bestandteilen sind an dem Anschlussstück der Aufweitungsstufe zur Stahlverrohrung wie schon beim Steuerkopf Wasseraustrittsdüsen angeordnet, die über eine Hochdruckleitung vom Startschacht aus versorgt werden können.

Die Versorgung der Hydraulikmotoren sowie die Bentonit- und die Wasserversorgung wird von der Startgrube aus über Leitungen gewährleistet, die beim Koppelvorgang der Rohre sukzessive mit dem eingepressten Rohrstrang verlängert werden. Die Antriebe des Schneidrads und der Förderschnecke werden über die Hydraulikdrücke und die Durchflussmengen vom Steuerstand der Vortriebsmaschine aus geregelt.

4. In-situ nahe Erprobung in der Versuchsbahn des ibb

Bereits während der Entwicklungsphase der neuen Rohrvortriebstechnik wurden die verschiedenen konstruktiven Varianten des Steuerkopfes und der Aufweitungsstufe in der Versuchsbahn des ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb erprobt. Hierbei sollte vornehmlich die Praxistauglichkeit der verschiedenen Entwicklungsstufen nachgewiesen werden. Zusätzlich sollten Erkenntnisse zur gezielten Weiterentwicklung der Komponenten gewonnen werden.

Die Erprobungsvortriebe wurden im Zeitraum von August 2002 bis August 2004 am ibb durchgeführt. In der ersten Versuchsphase wurde zunächst nur der Steuerkopf erprobt, in der zweiten Versuchsphase wurden ab Oktober 2003 vollständige Rohrvortriebe simuliert, wobei sowohl der Steuerkopf als auch die aktive Aufweitungsstufe in der Versuchsbahn eingesetzt wurden.

4.1 Versuchsaufbau in der Startgrube

Bei der maschinentechnischen Entwicklung sollte insbesondere berücksichtigt werden, dass die neue Rohrvortriebstechnik ohne aufwändige Veränderungen mit den gängigen Bohrtec-Maschinen BM400, BM500 und BM600 sowie den jeweiligen L-Varianten dieser Maschinen mit verlängertem Pressrahmen eingesetzt werden kann. Aus diesem Grund wurden verschiedene Bohrtec-Maschinen für die unterschiedlichen Vortriebsversuche eingesetzt (vgl. Bild 4-1), angefangen mit der kleinen Vortriebsmaschine für Rundschächte ab 3,0m Innendurchmesser, für die in der rechteckigen Startgrube ein kreisrundes Widerlager errichtet wurde, bis hin zur Vortriebsmaschine BM600, deren Gesamtlänge im Versuch etwa 5,5m betrug, die jedoch mit Verlängerungsstücken eine maximalen Rahmenlänge von über 12m erreichen kann.

Die Maschinentechnik für das herkömmliche Pilotrohrbohrverfahren muss für einen Einsatz der entwickelten Komponenten lediglich um die hydraulische Steuereinheit für die Steuerklappen erweitert werden (Bild 4-2). Für den Antrieb des Steuerkopfes, der Aufweitungsstufe und der Presszylinder können die üblicherweise bei der Pilotbohrtechnik verwendeten Hydraulikaggregate eingesetzt werden. Falls die in Kapitel 3.2.1 beschriebene Hochdruckspülung eingesetzt werden soll, muss hierfür ein Modul zur Bereitstellung der Hochdruck-Wasserversorgung montiert werden.



Bild 4-1: Eingesetzte Maschinentypen: links BM400, in der Mitte BM400 L, rechts BM600

Vor dem eigentlichen Vortriebsversuch wurden der Pressrahmen und der Theodolit in der Startgrube der Versuchsbahn mit einem Schnurgerüst auf die geplante Sollachse eingerichtet. Hierzu wurde über zwei in Vortriebsrichtung ausgerichtete Kerben an der Widerlagerwand und an der Durchfahröffnung eine Schnur gespannt, an der wiederum Lotschnüre eingehängt wurden. Mit diesen Lotschnüren konnte anschließend der Theodolit auf die Sollachse ausgerichtet werden, indem der in Visierrichtung eingebaute Laserstrahl mit beiden Lotschnüren in Deckung gebracht wurde. Die vertikale Ausrichtung konnte über den im Theodolit eingebaute Neigungsmesser eingestellt werden. Die Mitte des Pressrahmens wurde gleichfalls über die am Schnurgerüst befestigten Lotschnüre ausgerichtet. Die vertikale Ausrichtung des Pressrahmens konnte mit Hilfe einer Wasserwaage durchgeführt werden, da bei den simulierten Versuchsvortrieben im Unterschied zu realen Vortrieben kein Gefälle aufgefahren wurde.

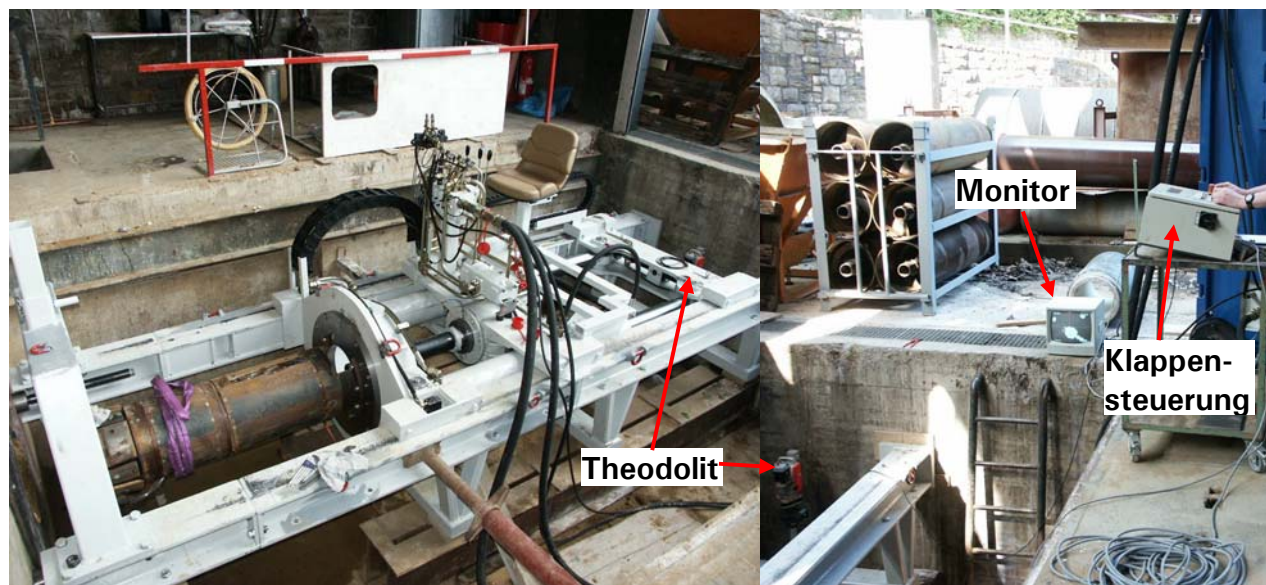


Bild 4-2: Startgrube mit eingerichteter Vortriebsmaschine und Zieleinrichtung

Die größten unplanmäßigen Abweichungen von der Solllage traten bei den Erprobungsvortrieben in der Versuchshalle zumeist beim Einfahren des Bohrkopfes in den Boden auf. In diesem Bereich konnte der umgebende Boden nicht ausreichend verdichtet werden, weshalb die Steuerklappen keine Reaktionskraft aktivieren konnten und die Steuerung des Bohrkopfes noch nicht funktionierte.

Aus diesem Grund wurde zum genauen Einfahren des Bohrkopfes für die gesteuerte Pilotbohrung an der Stirnwand eine Stahlplatte mit Einfahröffnung montiert, die für die zweite Bohrphase mit der Aufweitungsstufe wieder abgenommen werden konnte (Bild 4-3).



Bild 4-3: Einfahrplatte

4.2 Simulierte Bodenverhältnisse in der Versuchsbahn

Zur Erprobung der verschiedenen konstruktiven Varianten der Vortriebstechnik steht am ibb eine Versuchsbahn für Rohrvortriebe zur Verfügung. Die Versuchsbahn (Bild 4-4) ist etwa 3,60m breit, 28m lang und im Schnitt 2m tief. Während der Versuchsreihen war in der Bahn ein weit gestufter Bergkies mit einem Größtkorn von etwa 40mm eingebaut. Dieser Boden hat für Rohrvortriebe den Vorteil, im feuchten Zustand sehr fest verdichtet werden zu können. Des Weiteren kommt Bergkies der Schneckenförderung entgegen, da im Boden wenig bindige Anteile vorhanden sind und so eine Pfropfenbildung vermieden werden kann.

Die Erprobungsversuche wurden in zwei Versuchsphasen durchgeführt. Die erste Versuchsphase diente der Erprobung des Steuerkopfes. Hierfür wurde die Versuchsstrecke ohne Zielschacht eingebaut, da der Steuerkopf aufgrund der zugkraft-

schlüssigen Verbindungen zwischen den Rohren durch Zurückziehen geborgen werden konnte. In der zweiten Versuchsphase wurden sowohl Steuerkopf als auch Aufweitungsstufe erprobt. Hierfür wurde als Zielschacht in der Versuchsbahn nach etwa 16m ein Querschott mit Durchfahröffnung eingesetzt.



Bild 4-4: Versuchsbahn für Rohrvortriebe am ibb **Bild 4-5: Querschott mit Ausfahröffnung**

Zur Simulation schwieriger Bodenverhältnisse, bei denen ein herkömmlicher Pilotrohrvortrieb nicht mehr möglich ist, wurden in der Versuchsbahn zwei unterschiedliche Bodenarten eingebaut.

Boden A: ca. 10% Anteil Steine \varnothing 120-150mm

Boden B: zusätzlich etwa 5% Anteil Steine \varnothing 150-210mm

Aufgrund der Gangweite der Förderschnecke betrug der förderbare Anteil der Steine in Boden A etwa 50 %; die andere Hälfte musste zur Förderung zerkleinert werden. In Boden B war der Anteil der zusätzlichen Steine vollständig zu zerkleinern. Dies stellte sehr hohe Anforderungen an die Steuerung, Bohrkopfgestaltung, Abbauwerkzeuge und den Antrieb des Bohrkopfes und der Aufweitungsstufe.

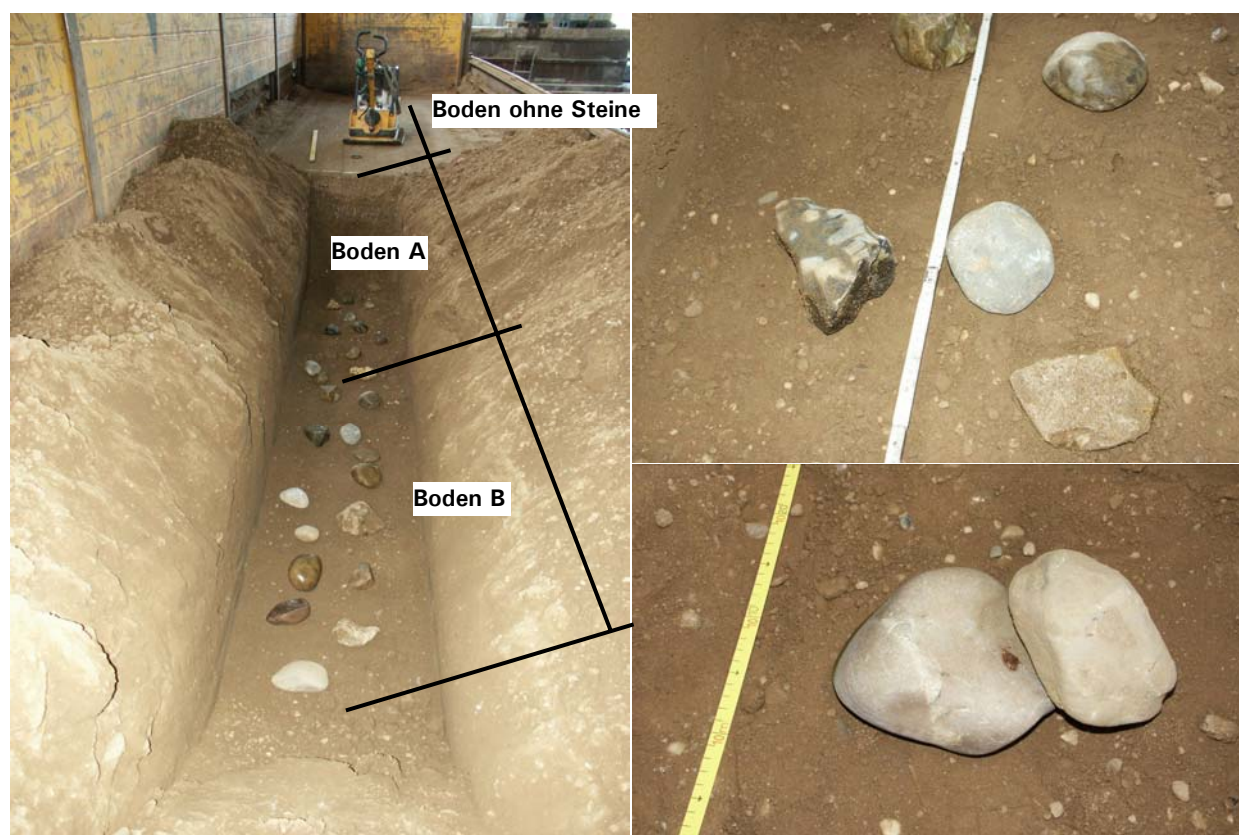


Bild 4-6: unterschiedliche Bodenverhältnisse in Vortriebsrichtung

Bild 4-7: Hindernisse der Kategorie A (oben) und der Kategorie B (unten)

Die beiden unterschiedlichen Bodenverhältnisse A und B wurden zumeist in einer Teststrecke realisiert. Hierfür wurde die Versuchsbahn folgendermaßen präpariert: Zunächst wurde die Versuchsbahn bis unterhalb der geplanten Vortriebstrasse freigelegt. Anschließend wurde der Bergkies lagenweise in Schritten von etwa 50cm bis über einem Meter oberhalb des Rohrscheitels eingebaut und mit mehreren Übergängen verdichtet. Auf den ersten fünf Vortriebsmetern wurden keine Hindernisse eingebaut, da der Bohrkopf auf dieser Strecke zunächst in Lage und Höhe auf der Sollachse stabilisiert werden sollte. Dies war erforderlich, da der ungleichmäßige Verdichtungsgrad des Bodens im Bereich der Durchfahröffnung beim Einfahren des Bohrkopfes zu unvermeidbaren Lageabweichungen führte.

Im Bereich von 5m bis 10m wurde der oben beschriebene Boden A eingebaut, indem mit dem Bagger ein Graben in den Bergkies bis auf Höhe der Sollachse gezogen wurde. In diesen Graben wurden zusätzlich zum Bergkies Steine mit einem Durchmesser von 120-150mm so eingebaut, dass sie auf der geplanten Solltrasse von sowohl Steuerkopf als auch Aufweitungsstufe lagen. Nachdem die Steine plat-

ziert waren, wurde der Graben wieder lagenweise verfüllt und verdichtet. Auf den weiteren Vortriebsmetern wurden gleichermaßen bis zum geplanten Ende der Vortriebsstrecke Steine mit einem Durchmesser $> 150\text{mm}$ eingebaut (Boden B).

Nachdem der Boden im Bereich der Sollachse vorbereitet war, wurde weiterer Boden unverdichtet aufgeschüttet. Diese Auflast sollte Hebungen der Oberfläche und hierdurch verursachte Auflockerungen des Bodens vermeiden, die sich sonst aufgrund zu geringer Überdeckungshöhen einstellen können.

4.3 Versuchsdurchführung

Nach dem Einbau des Bodens in der Versuchsbahn, dem Einrichten des Pressrahmens in der Startgrube sowie dem Anschluss sämtlicher Versorgungsleitungen wurde der Versuchsvortrieb mit dem Steuerkopf gestartet. Die gesteuerte Bohrung gliederte sich dabei in zwei Phasen: Auf den ersten fünf Vortriebsmetern ohne Hindernisse wurde der Bohrkopf zunächst auf die Sollrichtung gesteuert, wo er anschließend bestmöglich gehalten wurde. Hierbei wurde insbesondere Augenmerk auf den Geradeauslauf des Steuerkopfes und die dafür erforderlichen Bewegungen der Steuerklappen gelegt.

Die zweite Vortriebsphase begann bei den ersten Hindernissen. Ab hier sollte festgestellt werden, inwieweit der Bohrkopf bei anliegenden Hindernissen einerseits zu Lageabweichungen tendiert, und andererseits wie gut und auf welcher Strecke sich aufgetretene Lageabweichungen wieder korrigieren lassen. Die Lageabweichungen traten in der zweiten Phase, wie zuvor beschrieben, beim Brechen der Steine auf, wurden jedoch auch durch Steuerbewegungen bewusst eingeleitet. Während der Erprobungsvortriebe mit dem Steuerkopf wurden Erkenntnisse gewonnen, die zur Optimierung der Geometrien von Schneidrad und Steuerklappen genutzt wurden.

In den ersten Versuchen, die der Erprobung des Steuerkopfes dienten, wurde der Rohrstrang am Ende der gesteuerten Bohrung wieder zurückgezogen. In den folgenden Versuchsreihen wurde die gesteuerte Bohrung bis zum Zielschacht ausgeführt, wo der Steuerkopf abgekoppelt wurde. Anschließend wurde in der Startgrube die aktive Aufweitungsstufe angekoppelt und die Aufweitungsbohrung ausgeführt. Während der Aufweitungsbohrung sollte die optimale Abstimmung zwischen der

Drehzahl des Schneidrads der Aufweitungsstufe und der Drehzahl des Förderschneckenantriebs gefunden werden. Des Weiteren sollten während der Erprobung das Drehmoment der Antriebsmotoren und die Anordnung der Meißel auf dem Schneidrad optimiert werden.

Nach der Aufweitungsbohrung war der Erprobungsvortrieb beendet und der Pressrahmen wurde aus der Grube entfernt. Bei der Mehrzahl der Versuche wurden die verlegten Betonrohre durch Zurückziehen und nicht durch Freilegen mit dem Bagger wieder geborgen. Dies hatte zum Ziel, den aufgefahrenen Hohlraum prüfen zu können und festzustellen, ob sich im Boden Spuren der ausgefahrenen Steuerklappen abzeichnen und ob sich über dem Scheitelbereich der Rohre durch eine zu hohe Bodenentnahme Kavernen gebildet hatten. Des Weiteren sollte geprüft werden, ob Steine von Bohrkopf und Aufweitungsstufe gebrochen oder nur verdrängt wurden.



Bild 4-8: Blick in den Hohlraum, der mit dem Steuerkopf (links) und der Aufweitungsstufe (rechts) aufgefahren wurde

4.4 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der in-situ nahen Erprobungen des Klappensteuerkopfes sollen exemplarisch an einem Vortrieb mit dem Bohrkopf der Entwicklungsstufe S76.022 (Bild 3.3 links) dargestellt werden. Die Fortschritte in der Entwicklung des Klappensteuerkopfes sollen durch einen Vergleich dieses Vortriebs mit der Auswertung des Höhenverlaufs eines früheren Vortriebs mit der Entwicklungsstufe S75 verdeutlicht werden.

In Bild 4-9 ist mit dem roten Graphen die vertikale Lage des Steuerkopfes S76.022 zur Sollachse über der Stationierung abgebildet. Der Steuerkopf hatte zu Beginn des Vortriebs wegen der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten beim Einfahren in den Boden eine Abweichung zur Sollachse von etwa 5 cm.

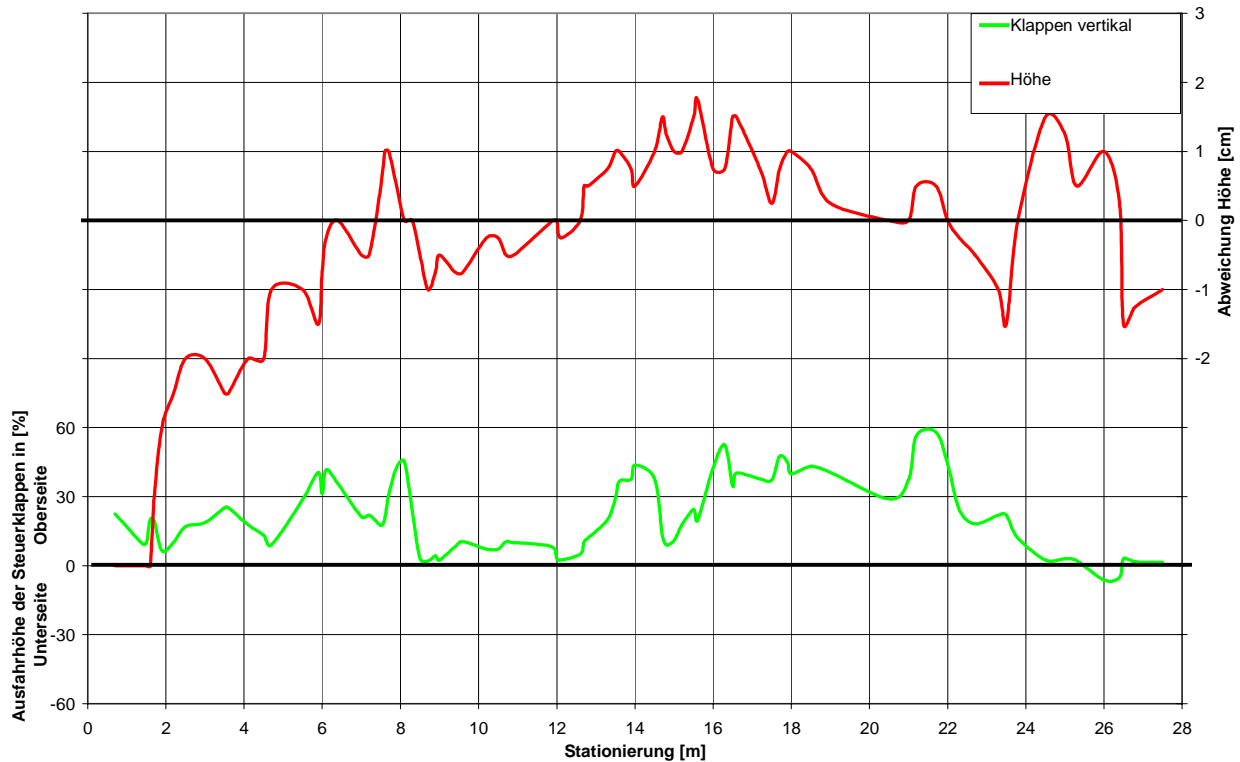


Bild 4-9: vertikale Lage des Steuerkopfes und Steuerklappeneinsatz

Der Steuerkopf wurde auf dem Pressrahmen nach oben geneigt eingerichtet, so dass er nach dem Einfahren in den Boden eine starke Tendenz nach oben zeigte. Um dieser Tendenz entgegen zu wirken, wurden die oberen Klappen von Beginn an mit bis zu 30 Prozent der maximalen Ausfahrlänge ausgefahren (grüne Linie). Nach fünf Metern hatte der Steuerkopf annähernd die Sollachse erreicht. Die Klappen auf der Oberseite wurden weiter ausgefahren, um die Aufwärtstendenz zu stoppen.

Nachdem die Lage des Steuerkopfes nach etwa acht Metern auf der Sollachse stabilisiert werden konnte, wurden die Klappen zum vertikalen Steuern eingefahren. Ab einer Station von etwa 5m waren bei diesem Vortriebsversuch die ersten Steine vereinzelt (alle 50cm) in der Vortriebstrasse eingebaut worden. Mit den eingefahrenen Steuerklappen zeigte der Bohrkopf im Bereich zwischen 8m und 12m wiederum eine geringe Aufwärtstendenz, die sich durch die bereits in Kapitel 3.2.1 beschrie-

bene „Aufwärtstendenz“ des Steuerkopfes beim Zerkleinern von Hindernissen erklären lässt.

Nach 15 Vortriebsmetern war die Hindernisdichte beim Einbau des Bodens in der Versuchsbahn erhöht worden. Obwohl nun kontinuierlich Steine vor dem Schneidrad des Steuerkopfes lagen, konnte die geringe Abweichung des Steuerkopfes nach oben bis zur Station 20m korrigiert werden.

Nach 22m waren die Steine so in die Vortriebstrasse eingebaut worden, dass mehrere Steine zeitgleich vom Steuerkopf zu zerkleinern waren. Durch diese enorme Beanspruchung wurden bei 24m und 26,5m ruckartige Lageänderungen des Steuerkopfes hervorgerufen. Dennoch konnte die absolute Abweichung des Steuerkopfes von der Solllage innerhalb des zulässigen Grenzwerts nach DWA - A 125 von 20mm begrenzt werden.

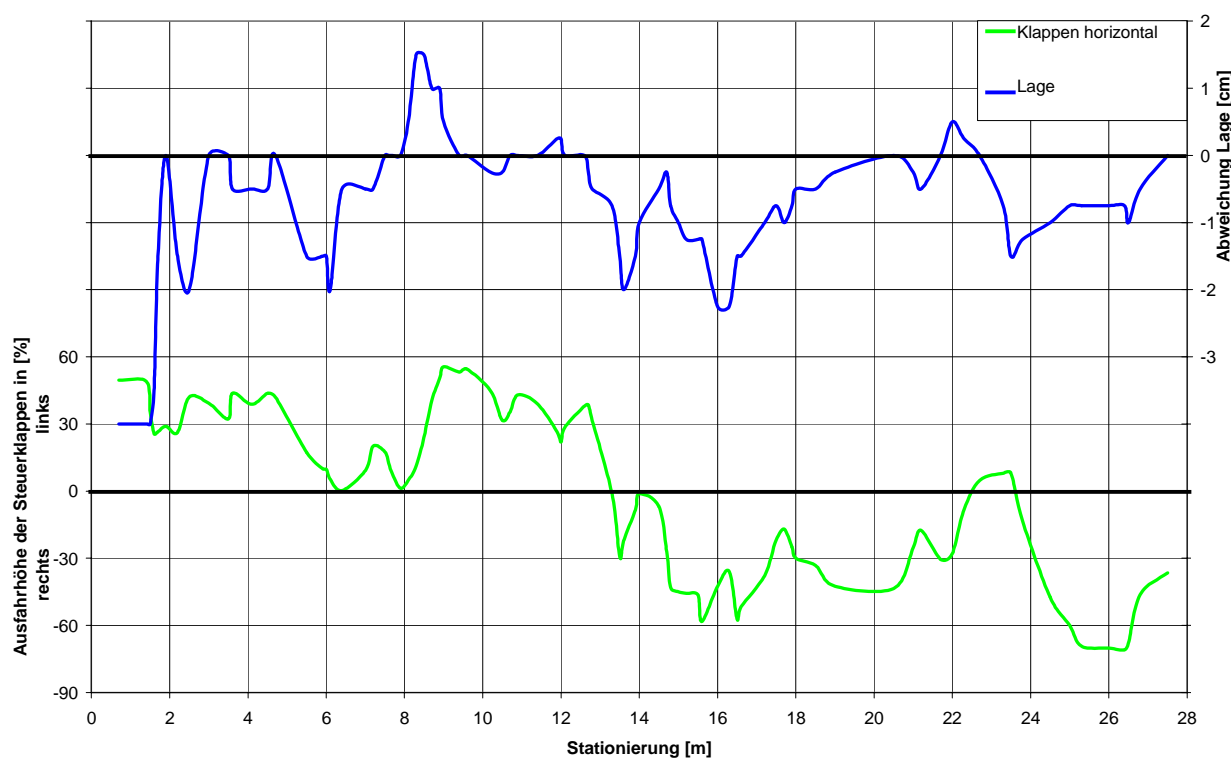


Bild 4-10: horiz. Lage des Steuerkopfes und Ausfahrhöhe der Steuerklappen in % vom Maximum

In Bild 4-10 ist über der Stationierung die horizontale Lage des Steuerkopfes und die Ausfahrhöhe der beiden rechten und der linken Steuerklappen in Prozent der maximalen Ausfahrhöhe aufgetragen. Wie schon bei der vertikalen Lage konnten die Lageabweichungen beim Einfahren des Steuerkopfes in den Boden innerhalb der

ersten Meter korrigiert werden. Im weiteren Vortriebsverlauf konnte die Lage des Steuerkopfes durch den Einsatz der Steuerklappen innerhalb der zulässigen Grenzen von 25mm für seitliche Abweichungen gehalten werden.

Zur Verdeutlichung des Entwicklungsfortschritts in der Phase der Erprobungsvortriebe ist in Bild 4-11 der Höhenverlauf eines Steuerkopfes der Entwicklungsstufe S75 dargestellt, der im Vergleich zum zuvor beschriebenen Steuerkopf S76.022 noch mit großen Meißeln auf einem dreiarmligen Schneidrad, aber bereits mit einem in Umfangrichtung angebrachten 8mm starken Flachstahl als Überschnitt ausgestattet war (vgl. Bild 3-4).

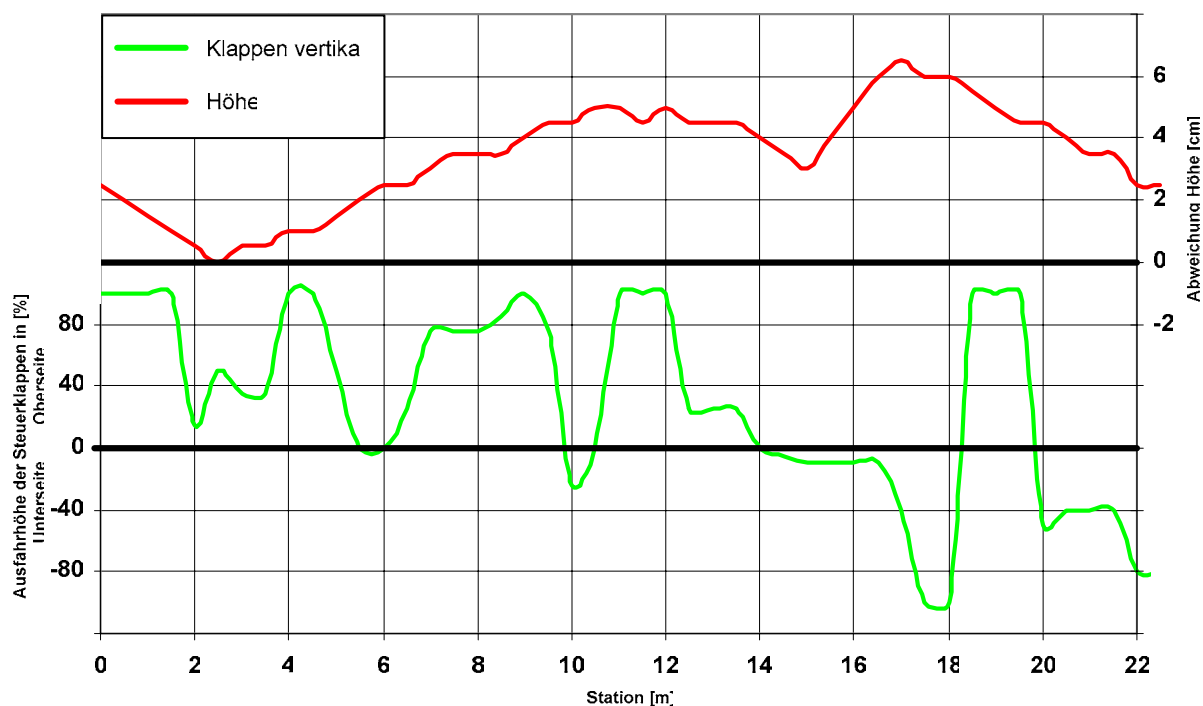


Bild 4-11: vert. Lage des Steuerkopfes und Ausfahrlänge der Steuerklappen in % vom Maximum

In dem Höhenverlauf wird die zuvor beschriebene Problematik deutlich, dass ein mit den großen Meißeln bestückter Steuerkopf eine kaum korrigierbare Drift nach oben aufweist. Auf den ersten zwei Metern konnte die anfängliche Abweichung nach oben noch bis zur Sollachse korrigiert werden. Dies wurde jedoch weniger über die Steuerklappen als vielmehr durch die Zwangszentrierung am Pressenrahmen erreicht. Mit dieser Zwangszentrierung (vgl. Bild 4-3 links, im eingefahrenen Zustand) kann über einen Stempel mit Gewindestange eine abwärts gerichtete Kraft auf den Scheitel des Steuerkopfes ausgeübt werden.

Ab der Stationierung 2m nahm der Einfluss der Zwangszentrierung ab, und der Steuerkopf wich kontinuierlich von der Sollachse nach oben ab. Auch durch maximalen Steuerklappeneinsatz ließ sich diese Abweichung während des gesamten Versuchs nicht wieder innerhalb der nach ATV-A 125 gültigen Grenzwerte reduzieren.

Im Unterschied dazu zeigen der Verlauf der Höhe und der Lage des Versuchs mit dem Steuerkopf der Entwicklungsstufe S76, dass die Position des Kopfes trotz extremer Bodenbedingungen in den Bereich der zulässigen Abweichungen gebracht und anschließend dort gehalten werden konnte. Mit Hindernissen von einer maximalen Größe von 35cm, was annähernd dem Durchmesser des Steuerkopfes entspricht, konnten zudem Bodenverhältnisse durchbohrt werden, bei der jede herkömmliche Pilotbohrtechnik versagt hätte. Die an die Steuerkopftechnik gestellten Anforderungen konnten demnach mit der entwickelten Technik erfüllt werden.

4.5 Erprobung der Vortriebstechnik in Felsgestein

Nach Abschluss der Erprobungsvortriebe und erfolgreicher Optimierung des Steuerkopfes sowie der Aufweitungsstufe in dicht gelagerten Böden mit Hindernissen sollte ein Einsatz der entwickelten Vortriebstechnik in leichtem Fels getestet werden. Im Vordergrund stand hierbei die Untersuchung des Verschleißes von Steuerkopf und Aufweitungsstufe beim Gesteinsabbau und die Frage, ob das Drehmoment der Antriebsmotoren zum Lösen des Felsgesteins ausreichend ist.

Zur Simulation des leichten Felses wurde für zwei Vortriebe in der Versuchsbahn im Bereich der Bohrachse ein etwa 1m breiter und 1m hoher Körper aus Magerbeton mit einer Länge von etwa 10m eingebaut. Der Beton wurde mit einer 28-Tage-Festigkeit von 3-4 N/mm² bestellt, was ungefähr der Festigkeit eines verwitterten Felsgesteins entspricht (Bodenklasse 6 nach DIN 18300). Zur Bestimmung der Druckfestigkeit des Betons während des Vortriebs wurden vor dem Einbau würfelförmige Prüfkörper aus dem gelieferten Beton hergestellt.



Bild 4-12: Einbau des Betons zur Simulation eines Felsgesteins

Nach einer Aushärtungszeit von 20 Tagen ergab die erste Druckfestigkeitsprüfung an den Würfelprüfkörpern eine Festigkeit von 2 bis 3 N/mm². Während des Vortriebsversuchs mit dem Steuerkopf stellte sich dagegen auf den ersten Metern heraus, dass der Beton um die Vortriebsachse noch nicht ausgehärtet war. Aus diesem Grund wurde der Betonkörper in einem zweiten Betonierabschnitt um 5m verlängert und der Versuch nach weiteren vier Wochen Aushärtungszeit fortgesetzt. Die Würfeldruckprüfung ergab zu diesem Zeitpunkt eine Festigkeit von 4 N/mm² für den ersten Betonierabschnitt und ungefähr 10 N/mm² für den zweiten Abschnitt, was etwa dem Doppelten der geplanten Festigkeit von 5 N/mm² entsprach.

Nachdem die gesteuerte Bohrung dennoch erfolgreich bis in den zweiten Betonierabschnitt geführt werden konnte, traten auf den letzten drei Metern Verschiebungen des zweiten Betonkörpers auf, da dieser nach dem Einbau der Schottwand an der Zielgrube nicht mehr ausreichend im umliegenden Boden verspannt war. Zu dieser durch die Vorpressekraft verursachten axialen Verschiebung traten gleichzeitig Höhenabweichungen des zweiten Betonkörpers auf, sodass sich der nachfolgende Strang aus Stahlschutzrohren an der Übergangsstelle zwischen den Betonierabschnitten zu verbiegen drohte und der Versuch abgebrochen werden musste.

Für den zweiten Versuch wurde ein neuer Betonkörper mit einer Länge von 16m in der Versuchsbahn hergestellt. Durch eine keilförmige Ausbildung des Betonkörpers konnte ein Verschieben verhindert werden. Der gewählte Beton sollte eine 28-Tage-Festigkeit von ungefähr 5 N/mm^2 aufweisen. Da beim vorherigen Versuch offensichtlich eine Diskrepanz zwischen der Festigkeit der Würfeldruckprüfkörper und des eingebauten Betons bestand, wurden vor dem Vortriebsversuch mit einem Kernbohrgerät kreisförmige Prüfkörper aus dem Beton entnommen und die Druckfestigkeiten geprüft (vgl. Bild 4-13).

Die Prüfung ergab eine Festigkeit des eingebauten Betons von $6.5\text{-}9 \text{ N/mm}^2$. Obwohl dies wiederum fast dem Doppelten der geplanten Festigkeit entsprach, konnte diesmal der Vortrieb mit dem steuerbaren Bohrkopf erfolgreich bis zum Zielschacht durchgeführt werden. Hierbei konnte eine Vortriebsleistung von etwa 5 m/h erzielt werden, was ungefähr 50% der Leistung von Vortrieben in den Bodenverhältnissen A und B entsprach. Der an der Ortsbrust anstehende Beton wurde vom Schneidrad bis auf das Größtkorn des Zuschlags ($\sim 10 \text{ mm}$) zerkleinert, sodass kein zusammenhängendes Gefüge des Zuschlags mehr zu erkennen war.



Bild 4-13: Druckfestigkeitsprüfung an Bohrkernen aus dem Betonkörper

Während des Vortriebs im Beton wurden bewusst Lageabweichungen durch Steuerbewegungen eingeleitet. Anschließend konnte der Bohrkopf auf einer Vortriebslänge von $1 - 1.5\text{m}$ wieder zurück auf die Sollachse gesteuert werden. Im Unterschied zu Steuerbewegungen in den Bodenverhältnissen A und B waren zum Ausfahren der Steuerklappen jedoch deutlich höhere Hydraulikdrücke erforderlich. Nach dem Vortrieb wurde an dem Schneidrad des Steuerkopfes nur geringer Verschleiß festgestellt (Bild 4-14).

**Bild 4-14: Steuerkopf im Beton****Bild 4-15: freigelegte Aufweitungsstufe**

Im Anschluss an die Pilotbohrung wurde die aktive Aufweitungsstufe angekoppelt und der Vortriebsversuch fortgesetzt. Während des Vortriebs mit der Aufweitungsstufe wurden die Funktion und der Verschleiß der Meißel des Schneidrads geprüft, indem der Betonkörper von der Oberfläche aus bis zum Scheitel der Aufweitungsstufe frei gestemmt wurde (Bild 4-15).

Hierbei stellte sich heraus, dass der anstehende Beton gut vom Schneidrad gelöst wurde. Als der Maschinenführer jedoch die Vorpresskraft bis zum maximalen Anpressdruck erhöhte, reichte das Drehmoment des Schneidradantriebs nicht mehr aus, und das Schneidrad blieb stehen. Nachdem die Vorpresskraft wieder reduziert wurde, konnte auch das Schneidrad wieder gedreht werden. Problematisch ist hierbei, dass der Maschinenführer am Steuerstand nicht erkennen kann, ob sich das Schneidrad dreht, wenn an den Antriebsmotoren der maximale Hydraulikdruck anliegt.

Der Vortrieb mit der aktiven Aufweitungsstufe im Beton konnte ebenfalls erfolgreich beendet werden. Das Drehmoment des Schneidrads und die Anordnung der Meißel sind demnach grundsätzlich auch für Vortriebe in vergleichbaren Bodenverhältnissen geeignet. Der Verschleiß an den Abbauwerkzeugen war auch bei der Aufweitungsstufe gering, so dass Haltungslängen von 50- 70m sicher aufgefahren werden können. Bei dem Vortrieb mit der Aufweitungsstufe konnte eine Vortriebsleistung von etwa 1,5m pro Stunde erreicht werden. Dies ist im Vergleich zu Micro-tunnelingmaschinen, die für einen Felsvortrieb ausgelegt sind, ein akzeptabler Wert.

5. Baustellenerprobung in Köln – Widderdorf

Nachdem die grundsätzliche Einsatztauglichkeit der entwickelten Rohrvortriebs-technik für Vortriebe in schwierigen Bodenverhältnissen in den Erprobungsversuchen am ibb nachgewiesen werden konnte, sollte die Praxistauglichkeit der Geräte- und Verfahrenstechnik durch einen Baustelleneinsatz bestätigt werden. Hierfür wurden in Zusammenarbeit mit den Stadtentwässerungsbetrieben Köln, AöR zwei Vortriebsstrecken insbesondere unter dem Aspekt schwieriger Bodenverhältnisse ausgewählt.

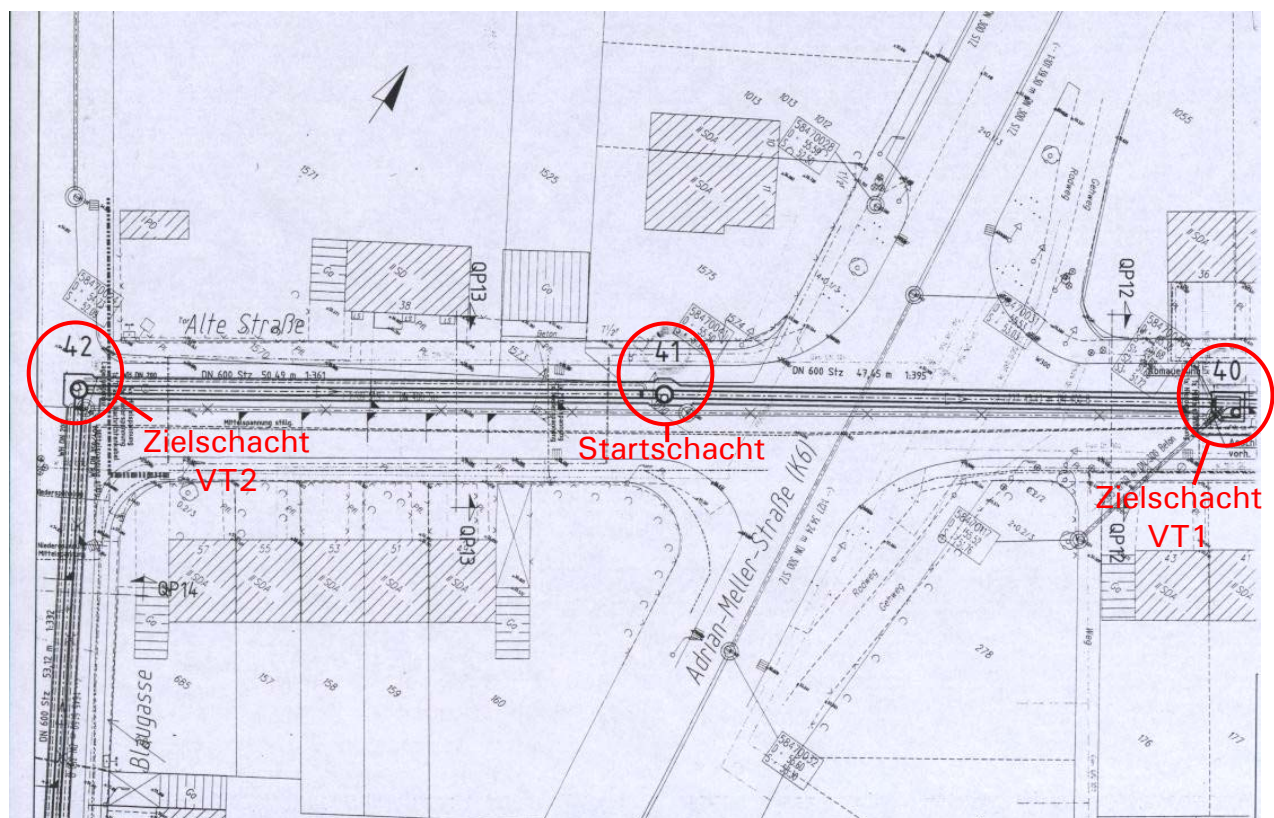


Bild 5-1: Baumaßnahme „Querung der Adrian-Meller-Straße“

Die Vortriebsbaustelle gehörte zu einer Kanalsanierungsmaßnahme in Köln-Widderdorf, in deren Rahmen die stark befahrene Adrian-Meller-Straße gequert werden sollte. Die bauausführende Firma F.C.Trapp Tief- und Straßenbau Köln GmbH hatte die Querung als Sondervorschlag im Rohrvortriebsverfahren angeboten, um den Verkehrsfluss nur minimal zu beeinträchtigen. Die zweite Haltung sollte aus dem gleichen Startschacht in die entgegen gesetzte Richtung aufgefahren werden. Hierfür wurde ebenfalls das Rohrvortriebsverfahren vorgeschlagen, da zum

einen der Startschacht für die erste Haltung bereits bestand und zum anderen in diesem Bereich nur ein Hausanschluss zu verlegen war. Für die zwei Haltungen waren Steinzeugvortriebsrohre DN600 vorgesehen. Die Vortriebsrohre hatten einen Außendurchmesser von 760mm, was dem Außendurchmesser der entwickelten Aufweitungsstufe entspricht.

Der erste Vortrieb begann am Startschacht 41 und führte auf einer Länge von etwa 45m unterhalb der Adrian-Meller-Straße zum Zielschacht 40. Die Sohle der Vortriebsrohre lag im Durchschnitt 4m unter der Geländeoberkante und sollte mit einem Freigefälle von 0,25% hergestellt werden. Der zweite Vortrieb ging vom selben Startschacht 41 ebenfalls in einer Tiefenlage von etwa 4m mit einer Steigung von 0,25% zum Zielschacht 42.

Dem Bodengutachten zufolge variierten die Bodenverhältnisse in der Bohrachse von einem sandigen Kies bis zu einem kiesigen Mittelsand mit jeweils geringem Steinanteil. Da die Vortriebsbaustelle im Bereich früherer Flussbetten des Rheins lag, musste auch mit größeren Steinen gerechnet werden. Diese Bodenverhältnisse entsprachen demnach zwar nicht dem Schwierigkeitsgrad des in der Versuchsbahn eingebauten Bodens, stellten aber unter dem Gesichtspunkt, dass ein Abbruch des Vortriebs mit der Herstellung und den Kosten einer Bergegrube sowie einer dadurch verursachten Verkehrsbehinderung verbunden wäre, dennoch eine Herausforderung an den ersten Baustelleneinsatz der entwickelten Rohrvortriebstechnik dar.



Bild 5-2: Baustelleneinrichtung des ersten Vortriebs

Bild 5-2 zeigt die Baustelleneinrichtung des ersten Vortriebs. Im Vordergrund des linken Bildes ist der Startschacht 41, im Hintergrund ist hinter der Adrian-Meller-Straße der Zielschacht 40 dargestellt. Der Startschacht war etwa zwei Meter breit, fünf Meter lang und mit zweifach gegurteten Spunddielen verbaut. Die wesentlichen Bestandteile der oberirdischen Baustelleneinrichtung waren zum einen der Portalkran über dem Startschacht, mit dem der Steuerkopf, die Aufweitungsstufe sowie die Stahl- und Vortriebsrohre in den Schacht herab gelassen wurden, zum anderen das Strom- und Hydraulikaggregat zum Antrieb der Vortriebsmaschine und der Presszylinder. Auf beiden Bildern ist der geringe Platzbedarf der Baustelleneinrichtung an der Oberfläche zu erkennen, was einen wesentlichen Vorteil des Pilotrohrvortriebs gegenüber dem konventionellen Microtunnelingvortrieb und insbesondere gegenüber der offenen Bauweise darstellt.

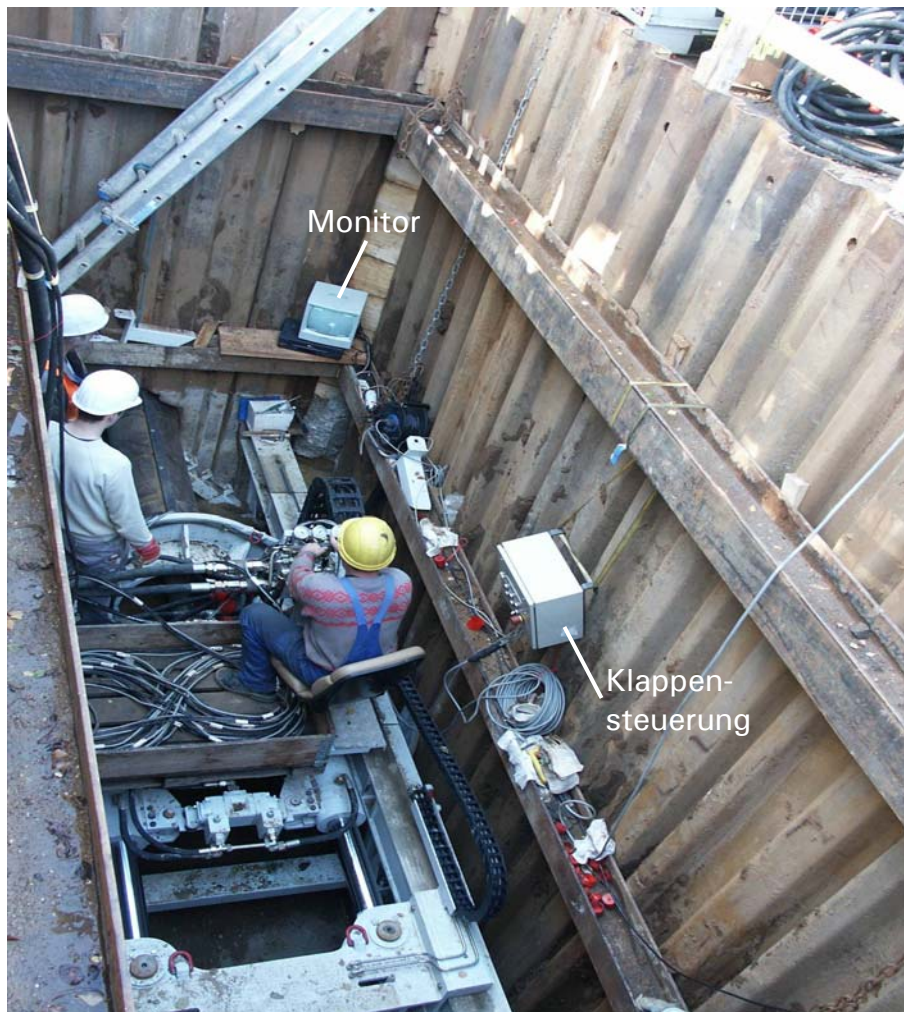


Bild 5-3: Startschacht 41 mit BM600L

Bild 5-3 zeigt einen Blick in den Startschacht. Für beide Vortriebe wurde ein Pressrahmen BM 600 L der Firma Bohrtec eingesetzt. In der Mitte des Bildes ist der Steuerstand der Vortriebsmaschine mit den Steuerhebeln und Manometern zur Kontrolle der Hydraulikdrücke von Presszylindern und Antriebsmotoren dargestellt. An der rechten Schachtwand war die Bedieneinheit für die Steuerklappen des Steuerkopfes montiert. Im Blickfeld des Maschinenführers war der Monitor platziert, auf dem das von der CCD-Kamera des Theodolithen erfasste Bild dargestellt wurde, mit dem die Lage der Zieltafel im Steuerkopf kontrolliert werden konnte.

Der erste Vortrieb wurde nach dem Einrichten des Pressrahmens und dem Ausrichten des Theodolithen auf die Sollrichtung begonnen. Die Vortriebslänge von 40,2m konnte dabei mit dem Klappensteuerkopf innerhalb eines Arbeitstages erbohrt werden, sodass der Steuerkopf am Ende des Vortriebstages unmittelbar vor dem Zielschacht lag. Die Abweichungen des Steuerkopfes von der Sollachse konnten durch geringe Steuerbewegungen innerhalb der zulässigen Toleranzen in vertikaler Richtung auf etwa 10mm und in horizontaler Richtung auf unter 15mm begrenzt werden. Wie in Abbildung 5-1 dargestellt, lagen die von den Hauptpresszylinder erzeugten Vortriebskräfte während der Pilotbohrung bei Spitzenwerten von etwa 1200kN, im Mittel unterhalb von 600 kN.

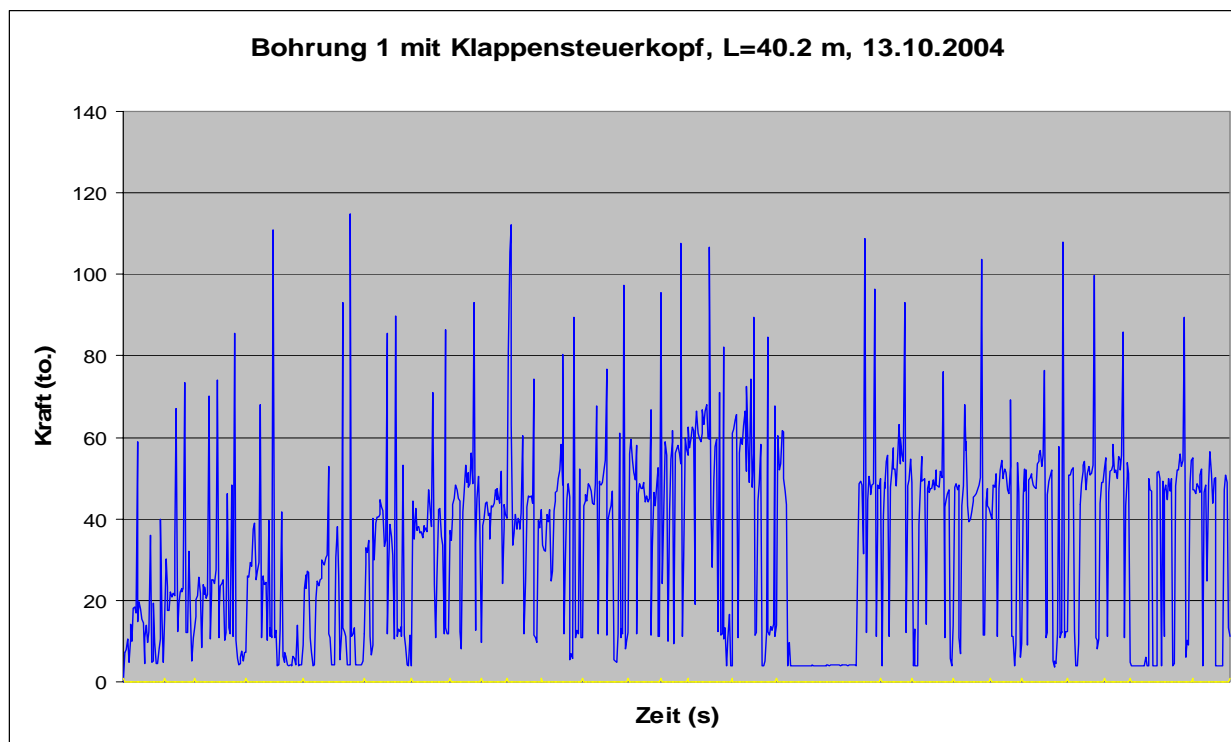


Abbildung 5-1: Verlauf der Pressenkräfte während des ersten Vortriebs mit dem Klappensteuerkopf

Zum Abschluss der gesteuerten Pilotbohrung wurden am folgenden Tag die Lage des Bohrkopfes vor dem Zielschacht geodätisch bestimmt und die Spundbohlen für das Ausfahren des Bohrkopfes mit einem Schneidbrenner ausgeschnitten (Bild 5-4 o.l.). Anschließend wurde der Bohrkopf vorgeschoben und im Zielschacht abmontiert (Bild 5-4 o.r.). Im Startschacht wurde die Öffnung zum Einfahren der aktiven Aufweitungsstufe vergrößert und diese an die Stahlverrohrung angekoppelt (Bild 5-4 u.l.).



Bild 5-4: Durchstoß des Steuerkopfes im Zielschacht, Montage der aktiven Aufweitungsstufe, Vortriebsrohre Stz DN600

Der Vortrieb der aktiven Aufweitungsstufe wurde am Nachmittag begonnen und am nachfolgenden Tag bis kurz vor den Zielschacht geführt. Hinter der aktiven Aufwei-

tungsstufe wurden Steinzeugrohre DN600 mit Vorspannring und einer Länge von 2m nachgeschoben (Bild 5-4 u.r.). Die Rohre durften nach der statischen Berechnung mit einer zulässigen Vorpresskraft von 3000 kN vorgepresst werden.

Während des Vortriebs lagen die Vorpresskräfte mit Spitzenwerten von 1700 kN deutlich unterhalb der zulässigen Vorpresskraft (Abbildung 5-2). Eine Bentonitschmierung zur Reduzierung der Mantelreibung wurde aus diesem Grund nicht eingesetzt, obwohl hierfür Zuleitungsschläuche mitgeführt wurden. Die Spitzen in der Vortriebskraft, die zum Ende des Vortriebs auftraten, waren in dem Wiederanfahren des Vortriebs nach einem Stillstand der Vortriebsarbeiten über das Wochenende begründet.

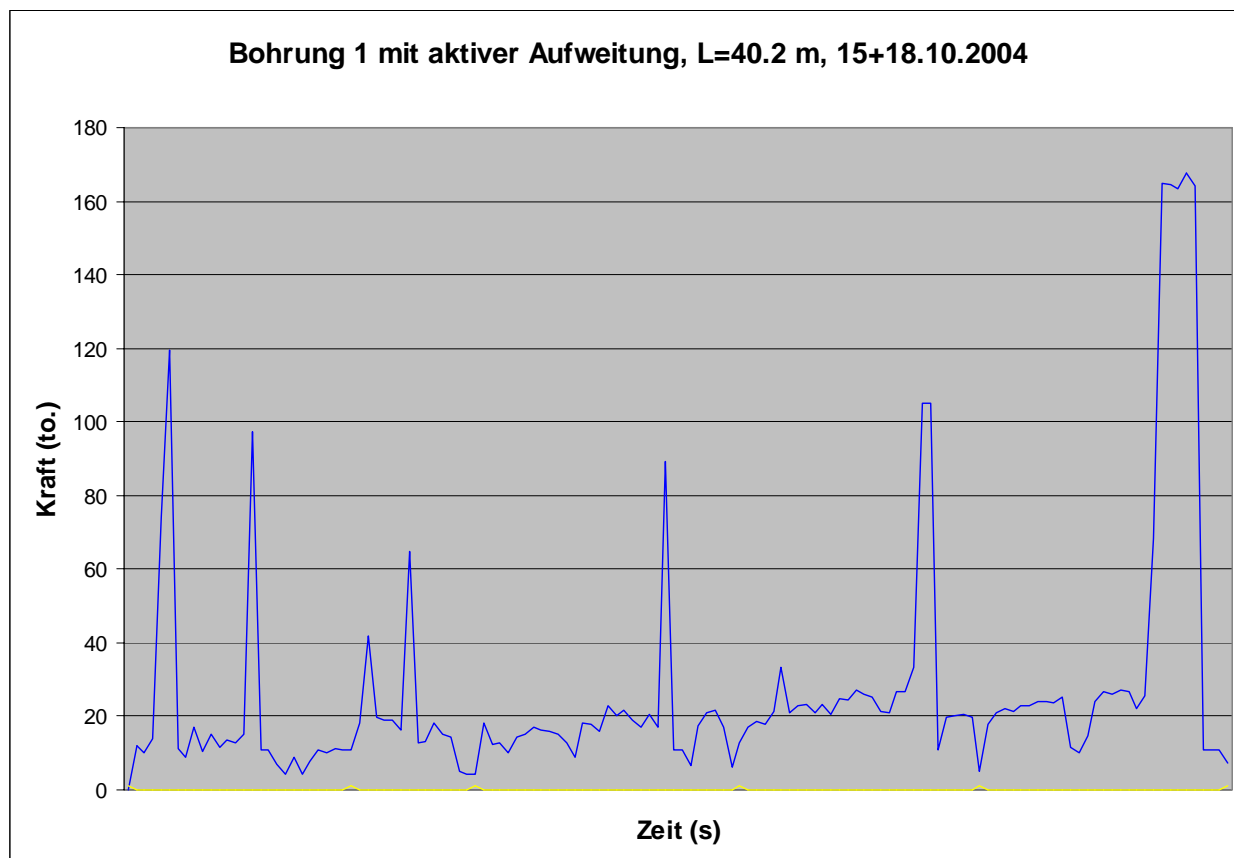


Abbildung 5-2: Vorpresskraft im Verlaufe der Aufweitungsbohrung

Die Vortriebsarbeiten des zweiten Bauabschnitts zwischen Startschacht 41 und Zielschacht 42 konnten in der darauf folgenden Woche abgeschlossen werden, so dass für die Erstellung der zwei Haltungen mit dem Herstellen der Schächte insgesamt drei Wochen benötigt wurden. Eine Verlegung der Abwasserleitung in offener

Bauweise wäre in dieser kurzen Frist, insbesondere wegen der erforderlichen aufwändigen Verkehrsumleitung, nicht möglich gewesen.

Die Abweichungen von der Sollachse und die aufgetretenen Vortriebskräfte lagen im zweiten Vortriebsabschnitt in der selben Größenordnung wie beim ersten Vortriebsabschnitt. Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten wurden sowohl der Steuerkopf als auch die aktive Aufweitungsstufe auf Verschleiß an den Abbauwerkzeugen hin kontrolliert. Wie in Bild 5-5 dargestellt, konnte hierbei jedoch kein signifikanter Verschleiß festgestellt werden.



Bild 5-5: Steuerkopf und Aufweitungsstufe nach Abschluss der Vortriebsarbeiten

6. Präsentation der neuen Vortriebstechnik

Die Pilotrohrbohrtechnik wurde bislang in Nordrhein-Westfalen als kostengünstige Alternative zur offenen Verlegung von Abwasserleitungen wegen der oftmals vorliegenden schwierigen Bodenverhältnisse nur selten eingesetzt. Daher war die herkömmliche und insbesondere die neu entwickelte Pilotrohrbohrtechnik Planern und Ingenieurbüros auf der einen Seite sowie Auftraggebern und Auftragnehmern auf der anderen Seite bislang weitestgehend unbekannt.

Aus diesem Grund wurden während des zweiten Vortriebsabschnitts zwei Seminare abgehalten, in denen Planern und Auftraggebern aus NRW die neu entwickelte Vortriebstechnik aus planerischer und verfahrenstechnischer Sicht vorgestellt wurde. Aus dem positiven Feedback der Seminare lässt sich ableiten, dass diese wirtschaftliche Alternative zur offenen Verlegung in Zukunft mehr Verbreitung finden wird und Kommunen in NRW hierdurch Kosten bei der Verlegung von Abwasserkanälen einsparen können.



Bild 6-1: Seminar zur Präsentation der entwickelten Rohrvortriebstechnik

7. Zusammenfassung

Das Rohrvortriebsverfahren besitzt als grabenloses Verfahren zur Neu- und Ersatzverlegung von Abwasserleitungen vielfältige Vorteile gegenüber der Verlegung in offenen Leitungsgräben. Oftmals geht die geschlossene Bauweise wegen der aufwändigen Maschinenteknik aber auch mit höheren Kosten einher, sodass vielfach noch auf die herkömmliche offene Bauweise zurückgegriffen wird.

Eine Alternative zur offenen Bauweise stellt das Pilotrohrbohrverfahren dar, das in Berlin - begünstigt durch die dortigen Bodenverhältnisse - seit mehreren Jahren wirtschaftlich eingesetzt wird. In Nordrhein-Westfalen dagegen lassen die Bodenverhältnisse einen Einsatz des Pilotrohrbohrverfahrens oftmals nicht zu. Gründe hierfür sind zumeist nicht verdrängbare Böden oder Hindernisse, die ein Einpressen des Pilotgestänges in den Boden extrem erschweren.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war daher die Entwicklung und Praxiserprobung einer steuerbaren Rohrvortriebstechnik für Leitungsdurchmesser bis DN 800 unter Berücksichtigung der positiven Eigenschaften des herkömmlichen Pilotrohrbohrverfahrens (kostengünstig, einfache Handhabung, minimale Baustelleneinrichtung,...). Mit dieser Technik sollten Kanalrohre unter den oftmals in NRW vorliegenden schwierigen Bodenverhältnissen sicher und wirtschaftlich verlegt werden können.

Im Zuge des Forschungsvorhabens wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Bohrtec GmbH, Alsdorf, eine Vortriebstechnik entwickelt und optimiert, bei der sich die Verlegung von Kanalrohren in zwei Phasen gliedert. Während einer gesteuerten Pilotbohrung wird der Boden im Gegensatz zum herkömmlichen Pilotrohrbohrverfahren nicht verdrängt, sondern mit einem Schneidrad gelöst und über eine Schnecke durch den bereits verlegten Rohrstrang gefördert. Die Lage des Bohrkopfes wird beim Vortrieb kontinuierlich mit einer Zieloptik überwacht, so dass Lageabweichungen umgehend erkannt und mit der neuartigen Klappensteuertechnik des Bohrkopfes korrigiert werden können.

Nach der gesteuerten Pilotbohrung wird in der zweiten Vortriebsphase eine aktive Aufweitungsbohrung durchgeführt. An die im ersten Verfahrensschritt verlegte Stahlverrohrung wird eine aktive Aufweitungsstufe angekoppelt, in deren Schutz

die Produktenrohre vorgepresst werden. Die entwickelte aktive Aufweitungsstufe erfüllt die Vorgabe zahlreicher Kommunen, nach der der Antrieb des Schneidrads vom Antrieb der Förderschnecke getrennt ist. Nur hierdurch können in rolligen oder fließenden Böden die Bildung von Hohlräumen beim Zerkleinern von Hindernissen und hierdurch verursachte Setzungen an der Geländeoberfläche sicher vermieden werden.

Die Steuerbarkeit des Bohrkopfes sowie die Praxistauglichkeit der entwickelten Vortriebstechnik in schwierigen Bodenverhältnissen konnten in mehreren Versuchsvortrieben am ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb sowie in zwei Vortrieben im Rahmen einer Kanalbaumaßnahme der Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurde zur Simulation eines Felsvortriebs eine Strecke aus Magerbeton erfolgreich durchbohrt. Grundsätzlich ist jedoch ein Einsatz höherer Festigkeit der entwickelten Vortriebstechnik für Vortriebe in Felsstein wegen des erhöhten Verschleißes an Schneidrad und Förderschnecke nicht zu empfehlen.

Beim einphasigen Rohrvortrieb führen Lageabweichungen und anschließende Korrektursteuerungen der Vortriebsmaschine unweigerlich zu Abwinkelungen zwischen den Produktenrohren. Die gegenseitige Abwinkelung zwischen zwei Rohren bedeutet zugleich aber auch eine ausmittige, konzentrierte Presskraftverteilung in der Rohrfuge. Die daraus resultierenden Spannungsspitzen können die Druckfestigkeit des Rohrwerkstoffs überschreiten und somit Schäden in Form von Rissen oder Abplatzungen an den Vortriebsrohren verursachen. Die Betriebssicherheit und die angestrebte Lebensdauer der so hergestellten Leitungen werden hierdurch gefährdet.

Während des Vortriebs mit der entwickelten Vortriebstechnik wird die aktive Aufweitungsstufe durch die davor liegende Stahlverrohrung geführt, sodass die nachfolgenden Produktenrohre annähernd die selben Lageabweichungen wie die Pilotrohre aufweisen. Hier hat das zweiphasige Verfahren Vorteile gegenüber einem einphasigen, da die Lageabweichungen, durch die anschließend Abwinkelungen zwischen den Produktenrohren hervorgerufen werden, bereits bei der Pilotbohrung festgestellt werden. Sollten diese Lageabweichungen und die voraussichtlich daraus resultierenden Abwinkelungen zwischen den Rohren zu groß sein, kann dies bei der

Aufweitungsbohrung durch eine angepasste reduzierte Vorpresskraft oder eine erhöhte Bentonitschmierung berücksichtigt werden.

Das herkömmliche Pilotrohrbohrverfahren findet trotz der wirtschaftlichen und verfahrenstechnischen Vorteile aufgrund der schwierigen Bodenverhältnisse in NRW bislang kaum Anwendung. Dementsprechend ist Planern, Ingenieurbüros und Auftraggebern dieses Bauverfahren weitestgehend unbekannt. Daher wurden im Rahmen der Erprobungsvortriebe in Köln – Widdersdorf auf den Baustellen der Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR zwei Seminare abgehalten, in denen interessierten Vertretern von Abwasserbetrieben und ausschreibenden Ingenieurbüros die Vorteile der entwickelten Vortriebstechnik präsentiert wurden. Hierdurch sollte den Kommunen aus Nordrhein-Westfalen, die Kanalverlegungsmaßnahmen in schwierigen Bodenverhältnissen durchzuführen haben, eine wirtschaftliche und praxistaugliche Alternative zur Verlegung von Rohren in offenen Leitungsgräben vorgestellt werden.

8. Literaturverzeichnis

Berger, C.; Wittner, A.:

Der Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001. Informationsbroschüre der ATV-DVWK

Beyert, J.:

Erneuerung von Kanälen in geschlossener Bauweise; Straßen- und Tiefbau 12/1988

Pohle, G., Beyert, J.:

Erneuerung von Abwasserleitungen; Hoch- und Tiefbau 6/1990

Beyert, J.:

Entwicklung und Erprobung eines Geräts zur unterirdischen Kanalauswechslung, Tagungsband Internationales Symposium Microtunnelbau 1995, A.A. Balkema Rotterdam

Braun, E.:

Modifiziertes Pilot-Vortriebsverfahren, bi-Umweltbau 3/2000

Firmenprospekt Bohrtec GmbH, Alsdorf

Möhring, K.:

Wirtschaftliche und umweltgerechte Herstellung von Abwasserkanälen und -leitungen durch Microtunnelbau, Vulkan-Verlag, Essen 1997

Stein, D.:

Leitungstunnelbau, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1988

Stein, D.:

Grabenloser Leitungsbau, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2003

Uffmann, H.-P.:

Entwicklung und Stand der Technik (Microtunneling), bi-Umweltbau 5 /2001

Zapel, K.:

Unterirdisches Auswechslern nichtbegehrter Abwasserkanäle mit dem „Crush-Linig-System“, GWF Wasser Abwasser, 15/1996