

Bohrtec Gesellschaft für Bohrtechnologie mbH

**Entwicklung
eines ressourcen- und umweltschonenden Verfahrens zum gesteuerten
Auffahren von kleinen Tunnelquerschnitten im Fels mit einaxialer
Druckfestigkeit bis zu 250 MPa**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt
gefördert unter dem AZ 30688-210 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Heinz Plum

Alsdorf, 18.3.2016

Bohrtec Gesellschaft für Bohrtechnologie mbH

**Entwicklung
eines ressourcen- und umweltschonenden Verfahrens zum gesteuerten
Auffahren von kleinen Tunnelquerschnitten im Fels mit einaxialer
Druckfestigkeit bis zu 250 MPa**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt
gefördert unter dem AZ 30688-210 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Heinz Plum

Alsdorf, 18.3.2016

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	DBU AZ 30688-210	Referat	Fördersumme 805.588 EUR		
Antragstitel		Entwicklung eines ressourcen- und umweltschonenden Verfahrens zum gesteuerten Auffahren von kleinen Tunnelquerschnitten im Fels mit einaxialer Druckfestigkeit von bis zu 250 MPa			
Stichworte		Tunnel, Fels, gesteuert, kleine Bohrdurchmesser			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
36 Monate	18.3.2013	18.3.2016	13		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger		Bohrtec Gesellschaft für Bohrtechnologie mbH Konrad-Zuse-Str. 24 52477 Alsdorf		Tel	02404 98810
				Fax	02404 988125
				Projektleitung	
				Dr. Uffmann	
				Bearbeiter	
				Dr. Heinz Plum	
Kooperationspartner		keine			

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollte eine neuartige Technologie/ein neuartiges Bohrverfahren entwickelt werden, mit der auch in Felsböden bis 250 MPa und in Böden mit großen Steinen Haltungen für Ver- und Entsorgungsleitungen bis zu 800 mm Durchmesser sicher, lage- und höhengerecht, unterirdisch, wirtschaftlich und ressourcenschonend extrem konkurrenzfähig zu allen anderen Verfahren hergestellt werden können.

Dazu sollte die von Bohrtec entwickelte Front Steer Technologie, für die die Bohrtec die Patentrechte hält, mit einem sogenannten Imlochhammer mit speziell zu entwickelnder Bohrkronen bestückt und als Innovation zur Marktreife gebracht werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Vorversuche: Konstruktion und Beschaffung

Für die Vorversuche musste ein Versuchskasten konstruiert werden, in den verschiedene Natursteinfindlinge eingesetzt wurden. Für den Aufbau des Versuchskastens mussten Stahlprofile und -bleche beschafft und entsprechend der Planung vorbereitet werden. Außerdem mussten ein geeigneter Imlochhammer mit grundsätzlicher Eignung gesucht und beschafft und die tatsächliche Gesteinshärte der Findlinge durch Druckversuche bestimmt werden.

Vorversuche: Aufbau

In diesem Arbeitspaket wurde der Versuchskasten aufgebaut und erstmalig mit den Natursteinfindlingen bestückt und ausbetoniert.

Vorversuche: Durchführung

In diesem Arbeitspaket wurden mehrere Vorversuche zur grundsätzlichen Eignung und Gestaltung der Bohrkopfgeometrie, der Art und Anordnung der Abbauwerkzeuge und der Anordnung der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnungen an unterschiedlichen Natursteinmaterialien überprüft und ggf. optimiert.

Eignungsversuche Meßtechnik

Im Rahmen der Eignungsversuche Meßtechnik sollten die bislang verwendeten Meßtechnikkomponenten wie Abstandssensoren für die Messung der Auslenkung, Drucksensoren für die Höhenmessung und Inclinometer für die Neigungsmessung auf deren Tauglichkeit und Eignung unter der dynamischen Belastung bei Einsatz eines Imlochhammers und eines Rollenbohrkopfes geprüft werden. Dazu wurden die dynamischen Beschleunigungswerte, die auf die Komponenten einwirken, bei den Vorversuchen gemessen. Anschließend sollte eine Vorrichtung konstruiert und gebaut werden, in der die Meßtechnikkomponenten ohne Einsatz des großen Imlochhammers oder Rollenbohrkopfes jedoch bei ähnlicher Belastung überprüft werden konnten.

Eignungsversuche Steuertechnik

Entsprechend der Prüfserie für die Meßtechnik wurden im Rahmen einer weiteren Prüfserie die hydraulischen Komponenten der Steuereinrichtung, wie Hydraulikkissen, Ventile, Schläuche, Rohre, Verbinder geprüft und, falls erforderlich, entsprechend den Anforderungen modifiziert.

Neukonstruktion

In dem Arbeitspaket Neukonstruktion wurden zunächst die in den Vorversuchen gewonnenen Daten und Erkenntnisse ausgewertet, die in das Pflichtenheft für den Entwurf einer neuen Konstruktion einfließen sollten. Die anschließende Neukonstruktion sollte die im Pflichtenheft geforderten Anforderungen beachten und in der Umsetzung weitestgehend erfüllen.

Bau Prototyp: Beschaffung

In diesem Arbeitspaket wurden alle für die Neukonstruktion erforderlichen Teile produktionsfertig gezeichnet und bestellt.

Bau Prototyp: Vorbereitung

Nach Eingang der Bestellteile mußten diese gesichtet und für den Zusammenbau vor- und aufbereitet werden.

Bau Prototyp: Montage

In diesem Arbeitspaket wurden alle Teile zur Gesamtkonstruktion des Prototypen zusammengefügt.

Umkonstruktion Hammerkrone

Ebenso wie der Front Steer mußte auf Grundlage der Ergebnisse aus den Vorversuchen der Bohrkopf des Imlochhammers neu konstruiert werden. Neben der Optimierung der Abbaufäche ist das Hauptziel, die Entwicklung eines mehrteiligen und dennoch unter dynamischer Belastung dauerstandfesten Imlochbohrkopfes, der ein Zurückziehen samt Imlochhammer mit Bohrkronen erlaubt.

Bau und Anpassung des Prototyps einer mehrteiligen Imlochhammerbohrkrone bzw. eines ausklappbaren Rollenbohrkopfes

In diesem Arbeitspaket wurden die Ergebnisse der zuvor geleisteten Konstruktionsarbeit zusammen mit dem Hersteller von Imlochhammer- und Rollenbohrkronen umgesetzt. Nach der Fertigung der Bohrkronen wurde diese an den Prototypen angepaßt und für den ersten Einsatz in der Versuchsbahn vorbereitet.

Erste Tests in der Versuchsbahn

Nach Abschluß der Fertigung des Prototypen wurde dieser unter Realbedingungen in einer geeigneten Versuchsstrecke eingesetzt und auf grundsätzliche Tauglichkeit geprüft werden. Sich dabei herausstellende kurzfristig behebbare Schwächen wurden im Anschluß an die jeweiligen Versuche behoben.

Weitere Tests in der Versuchsbahn nach Modifizierung

In einer zweiten Versuchsphase wurde der Prototyp nach Anpassung und Modifizierung weiter getestet.

Konstruktion und Bau eines zweiten Prototypen

Am vorhandenen Prototypen nicht mehr behebbare Schwächen, die sich während der Versuche in der Versuchsbahn gezeigt haben, wurden durch den Bau einer zweiten Prototypkombination beseitigt. Beides wurde im Rahmen dieses Arbeitspaketes realisiert.

Zweite Testreihe in der Versuchsbahn

Nach dem Bau des zweiten Prototypen wurden die vorgenommenen Optimierungen in einer zweiten Testreihe in der Versuchsbahn überprüft.

Änderungen für Praxistests auf Realbaustellen

Nach Abschluß der zweiten Versuchsserie in der Versuchsbahn wurden die beiden Prototypen entsprechend den weiteren Erfahrungen aus den Tests modifiziert und optimiert und für den Praxiseinsatz vorbereitet.

Praxistests

In diesem Arbeitspaket wurde der optimierte Prototyp unter Realbedingungen bei mehreren Bohrungen getestet.

Hierbei wurde die gesamte Technologie zum einen in Lockerböden mit einzelnen größeren Findlingen wie auch in Bohrstrecken in reinem Fels unterschiedlicher Härte unter Praxisbedingungen getestet.

Während dieser Arbeiten wurden die eingesetzten Meß- und Steuerkomponenten sowie der Verschleiß der Bohrkronen und des Imlochhammers unter Realbedingungen bzw. unter den real auftretenden Belastungen überwacht.

Inhaltsverzeichnis

1.	Vorversuche	12
2.	Eignungsversuche.....	15
3.	Neukonstruktion Front Steer	17
4.	Umkonstruktion Hammerkrone	21
5.	Bau und Anpassung des Prototyps einer mehrteiligen Imlochhammerbohrkrone	22
6.	Erste Tests in Versuchskasten und Versuchsbahn.....	24
7.	Weitere Tests in Versuchsbahn nach Modifizierung	26
8.	Vorgezogene Praxistests	29
9.	Konstruktion und Bau eines zweiten Prototypen.....	33
10.	Zweite Testreihe in der Versuchsbahn.....	33
11.	Änderungen für Praxistests auf Realbaustellen	35
12.	Fazit	36

Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildung 1: Versuchskasten mit Findlingen	12
Abbildung 2: Klappbohrkopf bei der Einfahrt	13
Abbildung 3: Feststehender Bohrkopf bei der Einfahrt	13
Abbildung 4: Feststehender Bohrkopf mit modifiziertem Vorbohrer.....	14
Abbildung 5: Feststehender Bohrkopf Bohrbild	15
Abbildung 6: Front Steer innen	16
Abbildung 7: Schwenkbare Zahnleiste	18
Abbildung 8: Zahntrieb.....	18
Abbildung 9: Schneckenantrieb	19
Abbildung 10: Front Steer mit Verzahnung und Aktivierung über Keile	20
Abbildung 11: Front Steer rückziehbar Prototyp	21
Abbildung 12: Bohrkrone mit Klappflügeln Entwurf.....	22
Abbildung 13: Bohrkrone mit Klappflügeln.....	23
Abbildung 14: Bohrkrone mit Klappflügeln.....	23
Abbildung 15: Versuchskasten vorbereitet für Imlochhammerversuch	24
Abbildung 16: Bohrbild Imlochhammerversuch	24
Abbildung 17: Vorbereitung Versuchsbahn	25
Abbildung 18: Front Steer vorbereitet für erste Probebohrung	25
Abbildung 19: Front Steer auf Versuchsbaustelle.....	27
Abbildung 20: Front Steer auf Versuchsbaustelle.....	28
Abbildung 21: Front Steer Strömungssimulation	29
Abbildung 22: Hammermantelschnecke 1. Optimierung.....	29
Abbildung 23: Hammermantelschnecke 2. Optimierung.....	30
Abbildung 24: Hammermantelschnecke letzte Optimierung	30
Abbildung 25: Ring Bit nach dritter Modifikation	31
Abbildung 26: Ring Bit nach vierter Modifikation	32
Abbildung 27: Bohrkopf zweiter Prototyp.....	33
Abbildung 28: Bohrkopf zweiter Prototyp, Modifikation.....	34

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Nicht erforderlich

Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollte auf der Basis der Front Steer Technik eine neuartige Technologie/ein neuartiges Bohrverfahren entwickelt werden, mit der/dem auch in Fels mit einaxialer Druckfestigkeit von bis zu 250 MPa und in Böden mit großen Steinen Haltungen für Ver- und Entsorgungsleitungen bis zu 800 mm Durchmesser sicher, lage- und höhengerecht, unterirdisch, wirtschaftlich und ressourcenschonend extrem konkurrenzfähig zu allen anderen Verfahren hergestellt werden können.

Durch die Entwicklung eines für den Imlochhammer Einsatz tauglichen Front Steer mit spezieller für das Rückziehen geeigneter Hammerbohrkrone ist dieses Ziel erreicht worden. Auf einer Großbaustelle in Hong Kong in 2015/2016 wurden mehrere dieser Front Steer Systeme mit Imlochhammer in rückziehbarer Version in schwersten und schwierigsten Baugrundverhältnissen erfolgreich eingesetzt.

Anfänglich noch vorhandene Schwächen des Systems wurden im Rahmen weiterer Tests erfolgreich beseitigt, so dass diese Technik nun uneingeschränkt auf weiteren Baustellen eingesetzt werden kann.

Mit dem System Front Steer mit Imlochhammer in rückziehbarer Version ist nun ein Produkt am Markt verfügbar, mit dem auch in Fels mit einaxialer Druckfestigkeit von bis zu 250 MPa und in Böden mit großen Steinen Bohrungen bis zu 800 mm Durchmesser sicher, lage- und höhengerecht, unterirdisch, wirtschaftlich und ressourcenschonend hergestellt werden können

Einleitung

Ver- und Entsorgungsleitungen im öffentlichen Baugrund werden auch heutzutage meist noch in offener Bauweise verlegt. Bei der offenen Bauweise wird eine Baugrube entlang der vorgesehenen Leitungstrasse hergestellt. Mit der Herstellung in offener Bauweise sind üblicherweise insbesondere innerstädtisch erhebliche Schwierigkeiten, Einschränkungen und Umweltbelastungen verbunden.

Zur Vermeidung dieser Schwierigkeiten, Einschränkungen und Umweltbelastungen wurden vor ca. 30 Jahren Verfahren entwickelt, mit denen solche Leitungen unterirdisch und ferngesteuert verlegt werden können. Diese Verfahren hatten und haben allerdings den Nachteil, dass sie im Vergleich zur offenen Bauweise meistens deutlich teurer sind.

Deshalb begann man vor etwa 15 Jahren einfachere, ressourcenschonendere und damit kostengünstigere Alternativen für das Auffahren unterirdischer Leitungen für Ver- und Entsorgungsleitungen zu suchen. Diese wurden mit dem Pilotbohrverfahren dann auch gefunden.

Bedauerlicherweise hat dieses günstige und ressourcenschonende Bohrverfahren bislang die entscheidende Einschränkung, dass es nur in verdrängbaren Böden eingesetzt werden kann. In extrem dicht gelagerten Böden oder Böden mit Grobgesteinsanteilen und im Fels, war das Pilotbohrverfahren bislang nicht einsetzbar.

Daher hat die Firma Bohrtec in den vergangenen Jahren mit verschiedenen Forschungsansätzen versucht, ein Verfahren zu entwickeln, welches unter Einsatz einfacher Schneckenbohrtechnik mit einfacher Messtechnik den Einsatz in schwierigeren Bodenverhältnissen ermöglicht. Dies ist mittlerweile mit der sogenannten Front Steer Technik gelungen. Viele Baustelleneinsätze und mehr als 5.000 Meter Einsatzerfahrungen unter zum Teil extremen Bedingungen haben die Tauglichkeit dieses neuen Systems unter Beweis gestellt.

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben soll deshalb auf der Basis der Front Steer Technik eine neuartige Technologie/ein neuartiges Bohrverfahren entwickelt werden, mit der auch in Fels mit einaxialer Druckfestigkeit von bis zu 250 MPa und in Böden mit großen Steinen Leitungen für Ver- und Entsorgungsleitungen bis zu 800 mm Durchmesser sicher, lage- und höhengerecht, unterirdisch, wirtschaftlich und ressourcenschonend extrem konkurrenzfähig zu allen anderen Verfahren hergestellt werden können. Bislang sind beim Vorliegen von Fels bis zu 250 MPa für kleinere Durchmesser bis 800 mm große Mikrotunnelbohranlagen mit minimal 1.600 mm Außendurchmesser erforderlich.

Zielsetzung des Vorhabens war, die von Bohrtec entwickelte Front Steer-Technologie, für die Bohrtec die Patentrechte hält, mit einem sogenannten Imlochhammer mit speziell zu entwickelnder Bohrkrone zu bestücken und als Innovation zur Marktreife zu bringen.

Imlochhämmer werden weltweit von vielen Herstellern sowohl für Vertikalbohrungen als auch für ungesteuerte Horizontalbohrungen im Fels bis 250 MPa angeboten. Entscheidend ist nun die Entwicklung des Einsatzes dieser Imlochhammertechologie in dem neu entwickelten Front Steer der Firma Bohrtec, um diese Technik auch gesteuert durchführen zu können.

Mit Erreichen der Zielsetzung können die genannten kleinen Bohrdurchmesser bis 800 mm mit deutlich geringerem Ressourcenverbrauch, mit deutlich geringeren Umweltbelastungen und deshalb auch deutlich günstiger als mit allen anderen am Markt verfügbaren grabenlosen Verfahren aufgefahren werden.

Zur Entwicklung der neuen Kombination von Imlochhammertechologie mit Front Steer für Horizontalbohrungen im Fels bis zu 250 MPa waren folgende Entwicklungsschritte geplant:

- Vorversuche
- Eignungsversuche Messtechnik
- Eignungsversuche Steuertechnik
- Neukonstruktion Front Steer
- Bau Prototyp
- Umkonstruktion Hammerkrone
- Bau und Anpassung des Prototyps einer mehrteiligen Imlochhammerbohrkrone bzw. eines ausklappbaren Rollenbohrkopfes
- Erste Tests in der Versuchsbahn
- Weitere Tests in der Versuchsbahn nach Modifizierung
- Konstruktion und Bau eines zweiten Prototypen
- Zweite Testreihe in der Versuchsbahn
- Änderungen für Praxistests auf Realbaustellen
- Praxistests

Das Projekt wurde entsprechend dieser Entwicklungsschritte durchgeführt.

Hauptteil

1. Vorversuche

Im Rahmen der Vorversuche wurde ein Versuchskasten konstruiert, in den verschiedene Natursteinfindlinge eingesetzt wurden, deren Mindestgröße das Doppelte des geplanten Rohrdurchmessers von 410 mm betrug. Für den Aufbau des Versuchskastens wurden Stahlprofile und -bleche beschafft und entsprechend der Planung vorbereitet. Außerdem wurden ein geeigneter Imlochhammer und ein Bohrkopf mit grundsätzlicher Eignung gesucht und beschafft und die tatsächliche Gesteinhärte der Findlinge durch Druckversuche bestimmt.

Der speziell für die Vorversuche konstruierte Versuchskasten wurde entsprechend der Planung aufgebaut und mit Natursteinfindlingen bestückt und ausbetoniert.



Abbildung 1: Versuchskasten mit Findlingen vor Verfüllung mit Beton

Nach Fertigstellung des Versuchskastens wurden mehrere Versuche zur grundsätzlichen Eignung und Gestaltung der Bohrkopfgeometrie, der Art und Anordnung der Abbauwerkzeuge und der Anordnung der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnungen an unterschiedlichen Natursteinmaterialien untersucht.



Abbildung 2: Klappbohrkopf bei der Einfahrt



Abbildung 3: Feststehender Bohrkopf bei der Einfahrt



Abbildung 4: Feststehender Bohrkopf mit modifiziertem Vorbohrer

Dabei wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Grundsätzlich scheinen die Rundschaftmeißel eine ausreichende Eignung für den Abtrag auch härterer Materialien zu haben.
- Bei dem rückziehbaren Klappkopf ist jedoch die mögliche Anordnung der Meißel wegen des Klappmechanismus beschränkt.
- Der Abstand der Rundschaftmeißel zueinander ist so groß, dass die stehenbleibenden Gesteinsreste nicht wegbrechen.
- Der Gesteinsabbau im Zentrum des Bohrkopfes ist unzureichend und der eingesetzte Standardvorbohrer verschleißt auf kurzer Distanz.
- Selbst Modifikationen des Vorbohrers führen nicht zu einer längeren Standzeit.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse und weiterer Recherchen wurde deshalb festgelegt, die rein rotierend arbeitende Abbaumethode nicht weiter zu verfolgen, sondern die weiteren Untersuchungen auf den Gesteinsabbau mit Imlochhammer zu fokussieren.



Abbildung 5: Feststehender Bohrkopf Bohrbild

Voraussetzung für den Einsatz eines Imlochhammers im Front Steer war allerdings, daß die im Front Steer eingesetzten Meßtechnikkomponenten wie Abstandssensoren für die Messung der Auslenkung, Drucksensoren für die Höhenmessung, Inclinometer für die Neigungsmessung, den harten Einsatzbedingungen mit Vibrationen und Schlägen widerstehen, wie sie beim Imlochhammerbetrieb regelmäßig auftreten.

2. Eignungsversuche

Im Rahmen der Eignungsversuche wurden sowohl die Meßtechnik als auch die Steuertechnik und die hydraulischen Komponenten der Steuereinrichtung, Hydraulikkissen, Ventile, Schläuche, Rohre und Verbinder den bei

Imlochhammerbohrungen zu erwartenden Vibrationen, Beschleunigungen und warm-feuchten Umgebungsbedingungen ausgesetzt.

Bei den Eignungsversuchen mit der Messtechnik stellte sich heraus, dass lose Komponenten wie Kondensatoren oder Kabel eine typische Schwachstelle darstellten. Sämtliche Komponenten wurden deshalb nach Abschluss der Eignungsversuche durch Vergießen der elektronischen Bauteile modifiziert.

Die Drucksensoren für die Höhenvermessung wurden in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten ebenfalls so konditioniert, dass deren Einsatz unter den erschwerten Randbedingungen zuverlässig möglich war.

Die Kupplungsstellen der Messtechnik wurden auf ein Minimum reduziert und sämtliche Anschlüsse wurden als IP67 bzw. IP69 Anschlüsse ausgeführt.



Abbildung 6: Front Steer innen

Zusätzlich wurde während der Eignungsversuche die Erfahrung gemacht, dass Hitzeentwicklung ein weiterer zu beachtender Faktor ist. Entsprechend wurden sämtliche Kunststoffleitungen innerhalb des Front Steer, bei denen eine Gefährdung durch Hitze nicht ausgeschlossen werden konnte, mit einem hitzeresistenten Schlauchmaterial gegen Beschädigung durch Wärme oder Reibung geschützt.

Mit Blick auf die zu erwartenden Vibrationen wurden die Hydraulikkomponenten im Front Steer auf ein Minimum reduziert. Sämtliche Ventile wurden ausgelagert und in einem externen Steuerkasten verbaut, der im Steuercontainer in der Startgrube verbleibt.

Die im Front Steer verbliebenen Komponenten wurden sämtlich entweder elastisch ausgeführt (Steuerkissen) oder gesondert gegen lösen oder brechen (Leitungen und Schläuche) gesichert.

3. Neukonstruktion Front Steer

Basierend auf den in den Vorversuchen gewonnenen Erkenntnissen wurde der Front Steer neu konstruiert. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, dass das äußere Lenkrohr abwerfbar konstruiert wurde. Mit dieser Konstruktion soll ermöglicht werden, die Hauptbestandteile des Front Steer innerhalb des Stahlvortriebrohres im Falle einer Havarie zurückziehen zu können.

Dazu wurde zunächst nach Möglichkeiten zur Verriegelung des äußeren Mantelrohres mit dem inneren Steuerrohr gesucht. Die Verriegelung muß dabei die aus dem vorderen Mantelrohr entstehenden Kräfte aufnehmen und auf die Innenkonstruktion übertragen können.

Erste Ansätze aus einer schwenkbaren Zahnleiste, aus Bolzen mit Zahntrieb und aus Bolzen mit Schneckentrieb wurden wegen zu großer Bauhöhe der Konstruktion oder wegen nicht ausreichender Kraftübertragung verworfen.

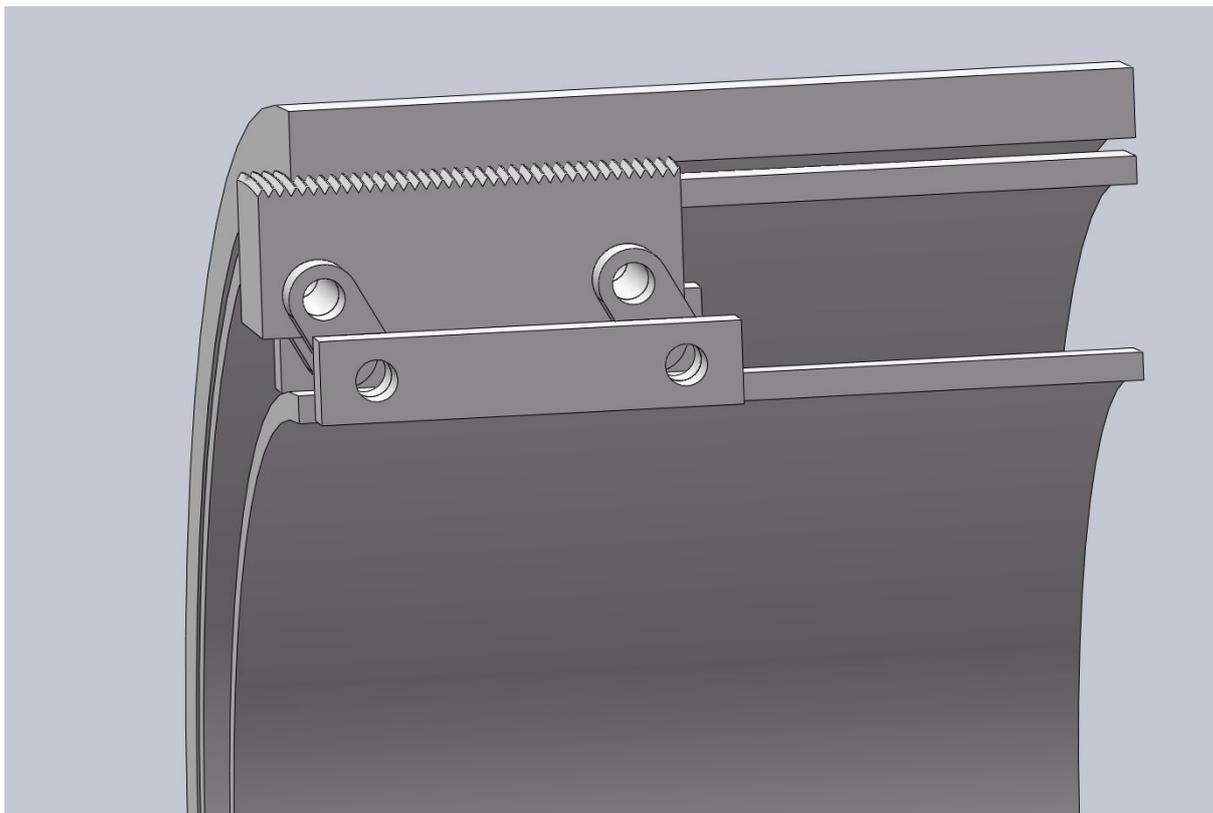


Abbildung 7: Schwenkbare Zahnleiste

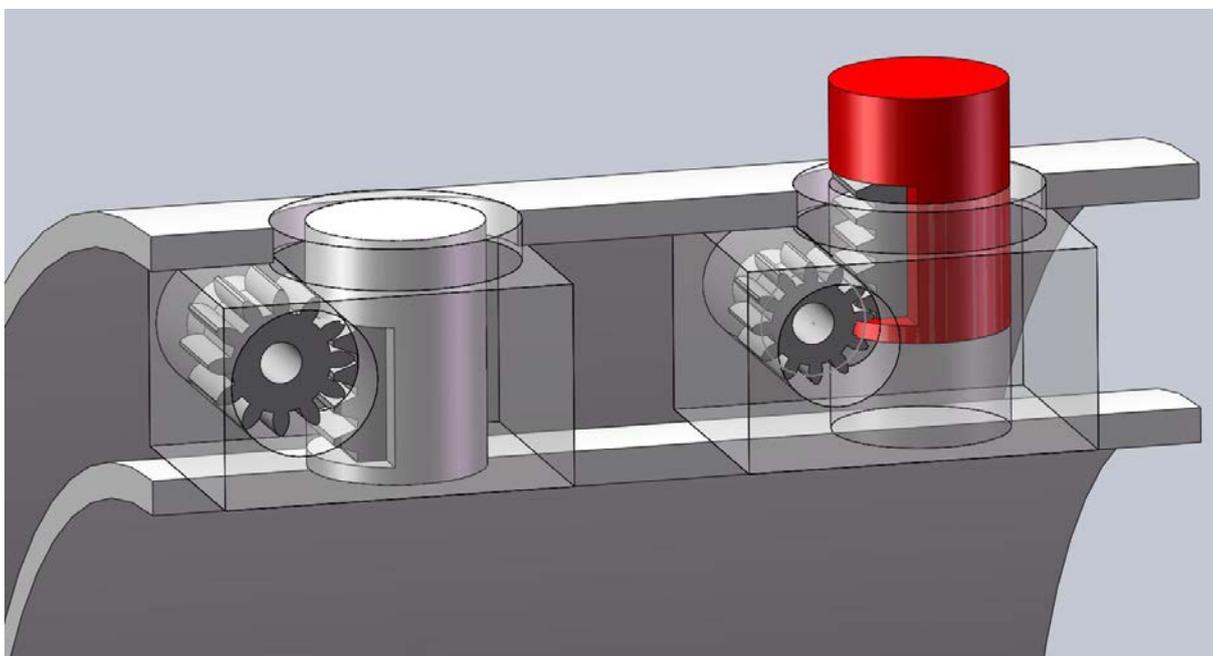


Abbildung 8: Zahntrieb

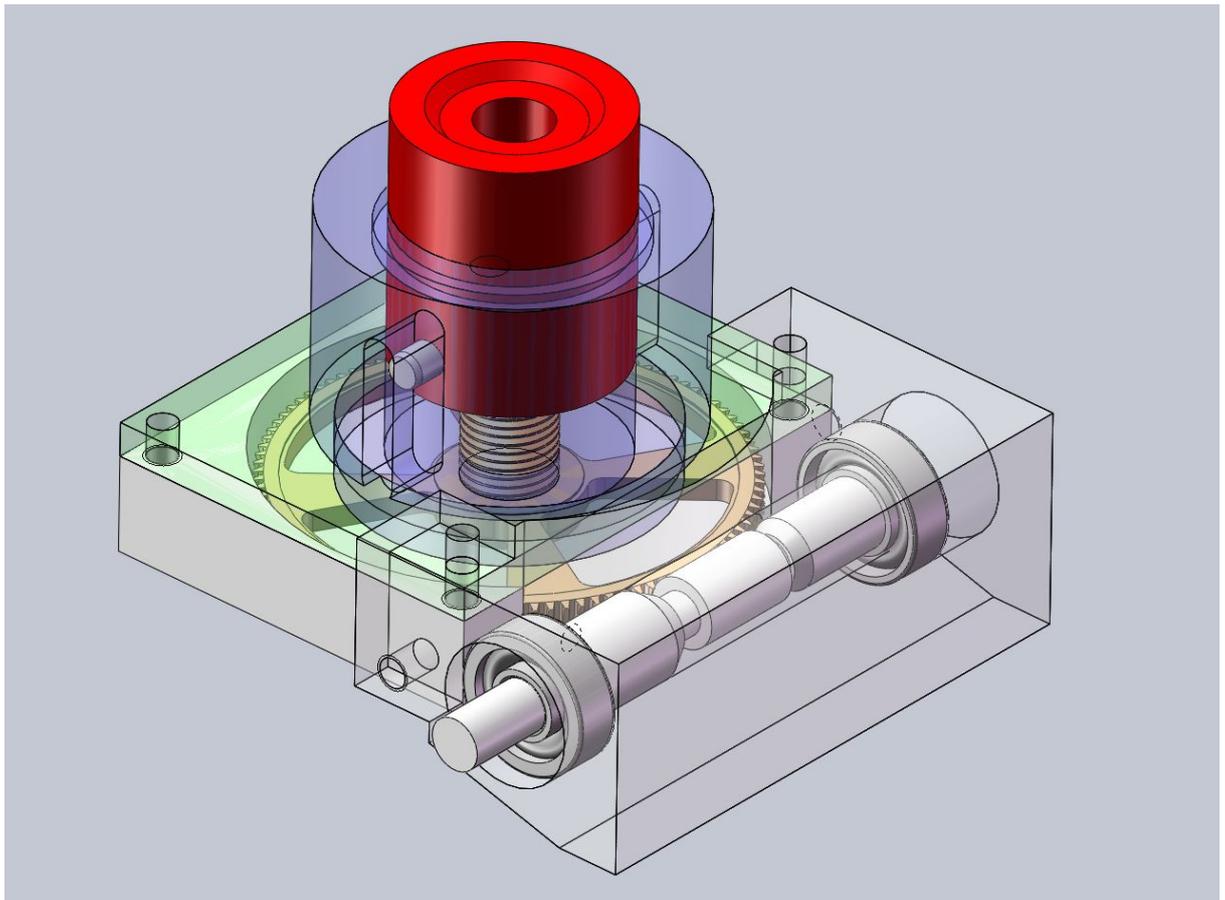


Abbildung 9: Schneckenantrieb

Als verfolgbarer Lösungsansatz hat sich schließlich eine Verbindung aus zwei keilförmigen Stahlformteilen angeboten. Eines der Formteile wird radial beweglich und eine horizontal beweglich ausgeführt. Durch die horizontale Bewegung eines Keils wird das anliegende zweite Keilteil radial verschoben, so dass dessen zahnförmige Oberfläche mit einer Zahnleiste am Außenrohr formschlüssig verbunden werden kann. Die Bewegung wird dabei mit einem kleinen Hydraulikzylinder realisiert. Über die Verzahnung der beiden Leisten kann schließlich ein ausreichender Kraftschluß zwischen Außenrohr und Innenrohr hergestellt werden.

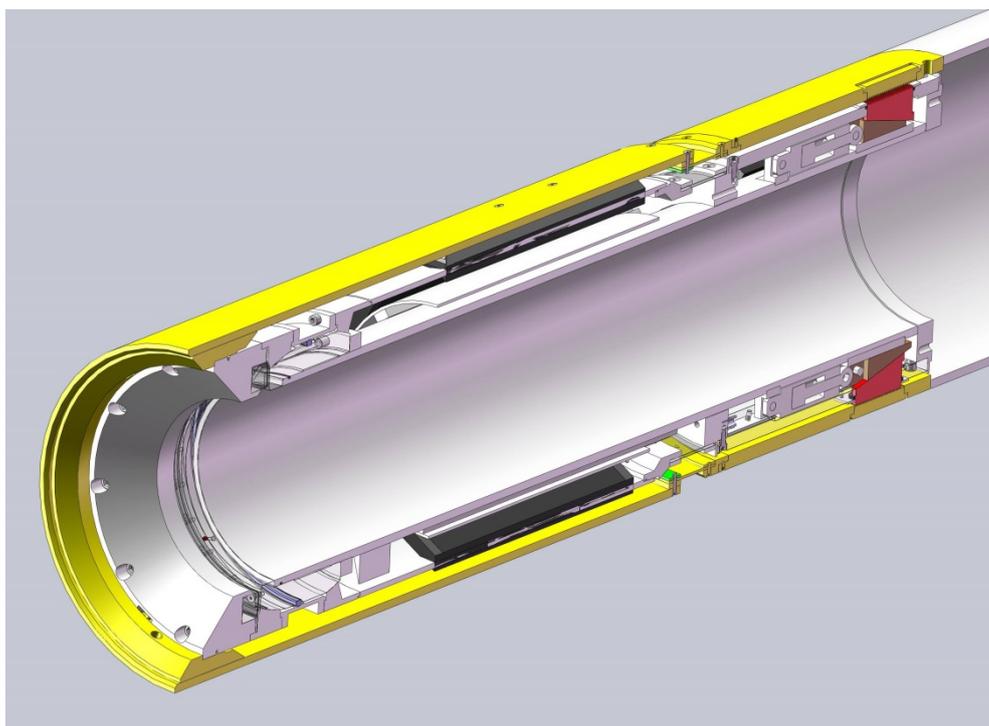


Abbildung 10: Front Steer mit Verzahnung und Aktivierung über Keile

Auf Basis dieses Entwurfes wurde die Konstruktion weiter detailliert und für die Fertigung vorbereitet. Im Rahmen der Fertigung wurden erforderliche Anpassungen durchgeführt und am Prototypen in praktikable Lösungen umgesetzt



Abbildung 11: Front Steer rückziehbar Prototyp

4. Umkonstruktion Hammerkrone

Auf Grundlage der Ergebnisse aus den Vorversuchen und der Konstruktion des Front Steer Prototypen wurde der Bohrkopf des Imlochhammers neu konstruiert. Neben der Optimierung der Abbaufäche war das Hauptziel, die Entwicklung eines mehrteiligen und dennoch unter dynamischer Belastung dauerstandfesten Bohrkopfes, der ein Zurückziehen des Front Steer samt Imlochhammer mit Bohrkrone erlaubt.

Aufbauend auf den Erfahrungen des Bohrkopfherstellers wurde eigens für den Front Steer eine Spezialbohrkrone mit Klappflügeln konstruiert und schließlich dann auch für den Prototyp gebaut.

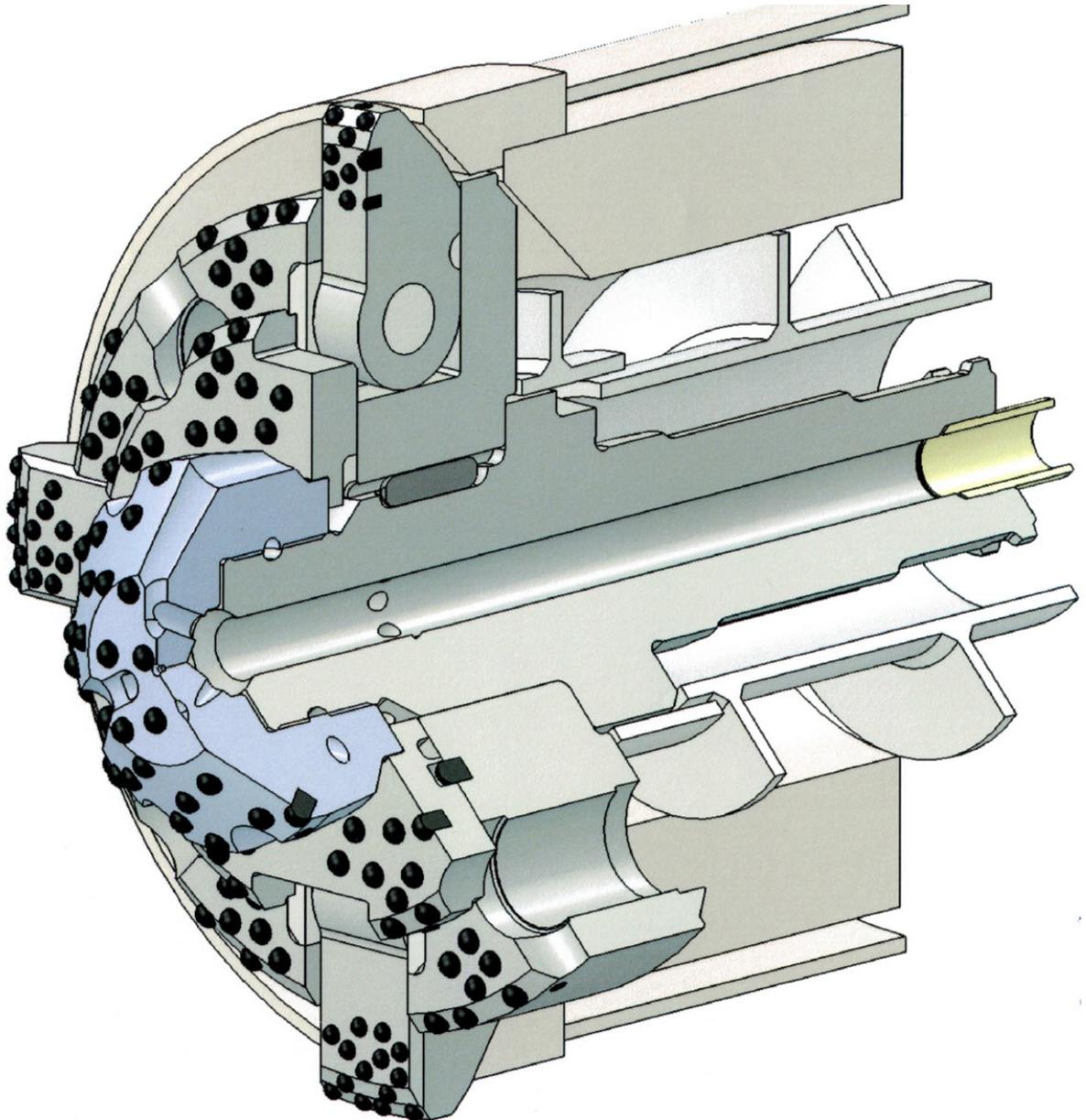


Abbildung 12: Bohrkrone mit Klappflügeln Entwurf

5. **Bau und Anpassung des Prototyps einer mehrteiligen Imlochhammerbohrkrone**

Dem Entwurfs des Herstellers der Bohrkrone folgend wurde diese entsprechend konstruiert und passend für den rückziehbaren Front Steer gefertigt.



Abbildung 13: Bohrkronen mit Klappflügeln



Abbildung 14: Bohrkronen mit Klappflügeln

6. Erste Tests in Versuchskasten und Versuchsbahn

Zur Erprobung des Systems rückziehbarer Front Steer mit klappbarer Imlochhammerbohrkrone wurde der Versuchskasten ein zweites Mal mit Granitblöcken bestückt und mit Beton aufgefüllt. Anschließend wurde das Gesamtsystem einschließlich Imlochhammerbohrkopf getestet.



Abbildung 15: Versuchskasten vorbereitet für Imlochhammerversuch

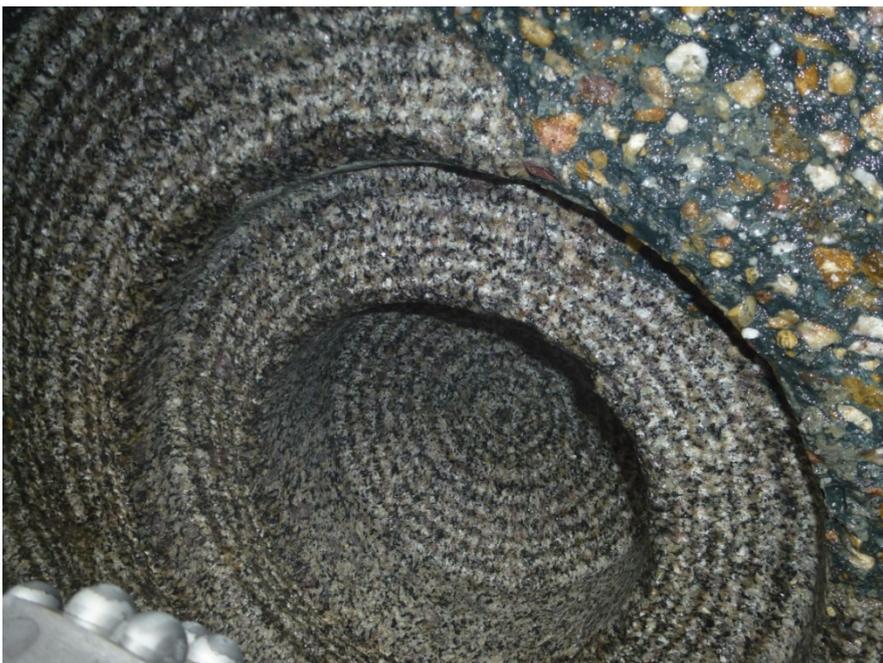


Abbildung 16: Bohrbild Imlochhammerversuch

Bei dem Versuch im Versuchskasten zeigte der Bohrkopf ein gutes Bohrbild und eine soeben noch akzeptable Vortriebsleistung von bis zu 1,0 m pro Stunde. Da der Versuchskasten jedoch nur eine Bohrlänge von ca. 1 m zuließ, wurde im Anschluß an den Versuch im Versuchskasten die Versuchsbahn entsprechend der Anforderungen mit großen Granitblöcken bestückt, die in einer Matrix aus Beton eingebettet wurden.



Abbildung 17: Vorbereitung Versuchsbahn



Abbildung 18: Front Steer vorbereitet für erste Probebohrung

Bei dem Test in der Versuchsbahn konnte die Tauglichkeit des rückziehbaren Front Steer mit abwerfbarem Lenkrohr erfolgreich nachgewiesen werden.

Allerdings ließ die Vortriebsleistung im Vergleich zum Versuch im Versuchskasten weiter nach und es kam zu erheblicher Staubbildung.

Offensichtlich ist die Staubbildung ein Indiz dafür, dass die Vortriebsleistung zu gering ist und das Material an der Ortsbrust zu sehr zu Pulver zerkleinert wird. Die Energie des Kompressors wird demnach nicht überwiegend zum Aufbruch und zum Abtrag der an der Ortsbrust anstehenden Geologie sondern zum Zerkleinern der bereits ausgebrochenen Felsstücke verbraucht.

Nach einer Analyse der Versuchsergebnisse zusammen mit dem Hersteller der Hammerbohrkrone konnte die Ursache für die unzureichende Vortriebsleistung auf folgende Parameter eingegrenzt werden:

- ungünstiges Verhältnis zwischen der Fläche der Klappflügel und der im Außendurchmesser anstehenden Abtragsfläche
und
- Übermäßiger Energieverlust durch Übertragung der Schlagenergie über den Klappmechanismus

Da weder das Flächenverhältnis noch der Klappmechanismus an der vorliegenden Hammerkrone verändert werden konnten, wurde die Bohrkopfvariante mit Klappen nach ausführlicher Diskussion mit dem Hersteller verworfen und entschieden, dass eine neue Krone entwickelt werden muss.

7. Weitere Tests in Versuchsbahn nach Modifizierung

Mit Blick auf die zum Ende des Forschungsvorhabens vorgesehenen Praxisversuche wurde parallel ein Kunde gesucht, der bereit war, in Zusammenarbeit mit einem weiteren Hersteller von Bohrkronen eine andere Art der Bohrkrone für den Front Steer und den vorgesehenen Einsatzzweck zu entwickeln.

Bei den Gesprächen mit dem Kunden und dem neuen Hersteller der Hammerbohrkrone stellte sich heraus, dass zweiteilige Bohrkronen mit Außenring und zentralem Schlagteil schon mehrfach erfolgreich von Kunden des Bohrkronenherstellers bei ungesteuerten Bohrungen eingesetzt wurden. Neu war allerdings das Verhältnis zwischen Ringfläche und Zentrumsfläche, das für den vorgesehenen Einsatz im Front Steer deutlich ungünstiger ausgelegt werden mußte.

Nach einer abschließenden Feinabstimmung zwischen dem Kunden, dem Lieferanten des Imlochhammers und der Bohrkrone und der Bohrtec wurde Ende 2014/Anfang 2015 ein erster Versuch mit einem Front Steer FS813 und rückziehbarem Imlochhammer auf einer Versuchsbaustelle des Kunden über

eine Gesamtlänge von mehr als 30 m im Granit mit einer einaxialen Druckfestigkeit über 200 MPa durchgeführt.

Dabei wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Vortriebsgeschwindigkeit auf den ersten 10 bis 15 m überdurchschnittlich hoch mit bis zu 6 m/h
- Vortriebsgeschwindigkeit nach 12 bis 15 Bohrlänge abfallend auf bis zu keinem Vortrieb
- Vortrieb nach Abkühlung des Systems wieder möglich, jedoch mit sehr geringer Vortriebsleistung
- Materialaustrag mit zunehmendem Vortrieb und nachlassender Vortriebsgeschwindigkeit immer feiner werdend
- Tendenz des Front Steer Systems zur Abweichung nach unten von der Sollachse bei Verwendung der neuen Bohrkronen
- Bislang mit Hammerkronen in Mischböden verwendete Abdeckringe/Schleppbleche für die zweiteilige Bohrkronen nicht geeignet
- Erhebliche Radialkräfte auf den Front Steer durch Bohrklein und rollende „Exzentersteine“ der vorgegebenen Geologie



Abbildung 19: Front Steer auf Versuchsbaustelle



Abbildung 20: Front Steer auf Versuchsbaustelle

Als Konsequenz dieser Feststellungen wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Front Steer Rohraufgabe für exzentrischen Betrieb des Hammers zur Reduzierung der Abwärtstendenz
- Front Steer Verstärkung der Schraubkonstruktion und Auffüllung der Nut in der Außenkugel zur Vermeidung von Beschädigungen durch Exzentersteine
- Bohrkopf Verzicht auf Schleppblech zwischen Bohrkopf und Front Steer
- Bohrkopf zusätzliche Nuten im Zentrumsteil des Bohrkopfes zur Verbesserung des Luftdurchsatzes
- Bohrkopf zusätzliche Nuten an der Rückseite der Ringfläche zur Beseitigung von einfallendem Material
- Verstärkung des Außenhaut des Front Steer durch innere Stützbleche

Nach der Modifizierung wurde im Rahmen eines weiteren Versuchs nachgewiesen, dass sämtliche Modifikationen am Front Steer erfolgreich waren. Sowohl die Steuerbarkeit als auch die Rückziehbarkeit des Hammers waren bei diesem zweiten Versuch unproblematisch.

Das Problem mit der Vortriebsgeschwindigkeit war jedoch trotz der vorgenommenen Modifikationen nicht befriedigend gelöst. Immer wieder kam es zu einer deutlichen Reduzierung der Vortriebsgeschwindigkeit, die selbst

nach Durchführung mehrerer aufwendiger Strömungssimulationen nicht erklärt werden konnte.

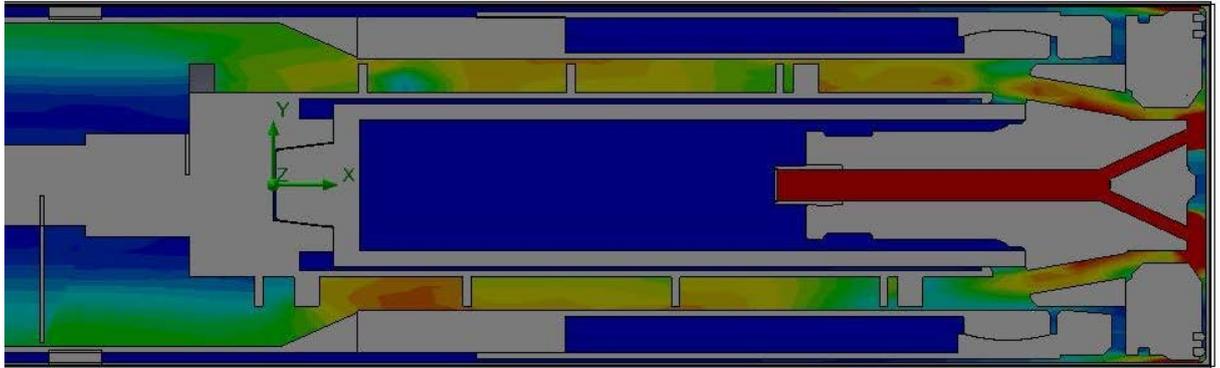


Abbildung 21: Front Steer Strömungssimulation

8. Vorgezogene Praxistests

Im Rahmen der vorgezogenen Praxistests wurden im weiteren Verlauf des Projekts festgestellt, dass die Ursache der reduzierten Vortriebsleistung auf eine Luftpolsterbildung vor dem Bohrkopf zurückzuführen ist. Entsprechend wurde deshalb zunächst die Hammermantelschnecke in mehreren Schritten modifiziert und optimiert, um den Luftstrom durch den Front Steer zu erleichtern.



Abbildung 22: Hammermantelschnecke 1. Optimierung



Abbildung 23: Hammermantelschnecke 2. Optimierung



Abbildung 24: Hammermantelschnecke letzte Optimierung

Die Veränderung der Hammermantelschnecke brachte zwar eine sicht- und messbare Verbesserung, jedoch immer noch nicht den durchschlagenden Erfolg einer konstant hohen Vortriebsleistung.

Entsprechend wurde nun begonnen, die Bohrkronen schrittweise so zu modifizieren, dass ein größerer Luft- und Materialdurchlass möglich war.



Abbildung 25: Ring Bit nach dritter Modifikation

Dazu wurden die Nuten auf dem Außendurchmesser der Ringkronen deutlich vertieft, so dass durch diese Nuten zusätzlich Material und Luft in den Front Steer strömen konnten.

Diese Modifikation brachte zwar eine sichtbare Verbesserung in der Konstanz der Vortriebsleistung, dennoch wurden im weiteren Verlauf die hohen Vortriebsleistungen von 6 bis 10 m/h immer noch nicht erreicht, die bei Beginn jeder Bohrung erreicht werden konnten. Erreicht wurden Vortriebsleistungen von 2 bis 4 m/h.

Vom Hersteller der Bohrkronen wurde deshalb die Bohrkronen ein weiteres Mal modifiziert. Dabei wurden die radialen Luftkanäle der Ringkronen nach außen verlängert, die Ringkronen auf der Rückseite komplett konisch eingedreht und zusätzliche Spülnuten auf dem Außendurchmesser der Ringkronen angeordnet.

Die weitere Modifikation brachte in den weiteren Praxisversuchen einen durchschlagenden Erfolg in der Vortriebsleistung. Es konnten nun durchgängig Vortriebsleistungen von 6 bis 10 m/h erreicht werden. Die Erhöhung der Vortriebsleistung hatte allerdings zur Konsequenz, dass der Front Steer nur noch eingeschränkt steuerbar war.

Der Front Steer hatte nun eine deutliche und wiederholt auftretende Tendenz, nach oben rechts abzudriften, was trotz maximaler Gegensteuerung mit dem Front Steer nicht kompensiert werden konnte.

Offensichtlich hatten und haben die vom Hersteller der Bohrkronen gewünschten und angeordneten äußeren Spülnuten/Einkerbungen eine Art

Zahnradeneffekt zur Folge, bei dem der Bohrkopf den Front Steer kurzfristig leicht anhub, so dass Material unter den Front Steer gelangen konnte. Dieses zusätzliche Material unterhalb des Front Steer führte zu der zuvor beschriebenen Aufwärtstendenz.



Abbildung 26: Ring Bit nach vierter Modifikation

Dennoch wurden im Rahmen des vorgezogenen Praxistests nun insgesamt 42 Bohrungen bei einer Gesamtlänge je Bohrung von 60 bis 70 m mit dem System Front Steer mit Hammer rückziehbar durchgeführt.

Bei dem Praxistest und weiteren Diskussionen mit anderen Anwendern der Schneckenbohrtechnik stellte sich zudem heraus, dass für ausführende Unternehmen Zurückziehbarkeit und Wiedereinfahrbarkeit des Hammers einen deutlich höheren Stellenwert haben als eine einmalige Zurückziehbarkeit des Front Steer unter Aufgabe der Haltung.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde deshalb ein neuer Bohrkopf entwickelt, der folgende Eigenschaften aufweisen sollte

- Zweiteiliges Bohrkopfsystem
- Möglichkeit zum Zurückziehen und Wiedereinfahren des Hammers
- Luftspülung auf der gesamten Schlagfläche
- Möglichst große Öffnungen für den Materialtransport

Auf Grundlage der Erkenntnisse die im Rahmen der ersten Versuche und der vorgezogenen Tests in der Praxis gewonnen wurden und der zuvor genannten Anforderungen, wurde ein neuer Prototyp für eine weitere Versuchsphase entwickelt.

9. Konstruktion und Bau eines zweiten Prototypen

Grundlage für die Neukonstruktion des Bohrkopfes waren die Erfahrungen der vorgezogenen Praxistests. Die dort erkannten Schwächen sollten bei der Neukonstruktion vermieden werden.

Es wurde deshalb entschieden, auf sämtliche Außennuten zu verzichten, eine möglichst große Luftspülung insbesondere der Fläche der Ringbohrkrone zu gewährleisten und die Löcher für den Eintrag von Bohrklein und Luft möglichst groß zu gestalten.



Abbildung 27: Bohrkopf zweiter Prototyp

10. Zweite Testreihe in der Versuchsbahn

Nach dem Bau des zweiten Prototypen wurden Front Steer und Bohrkrone und die vorgenommenen Optimierungen in einer zweiten Testreihe in der Versuchsbahn überprüft.

Dabei stellte sich heraus, dass die Luftführung für die Zuluft des neuen Prototypen eine vorher nicht erkannte Schwäche hatte.

Entsprechend der Empfehlung des Herstellers der Bohrkrone, wurde die Zuluft zum Ringteil über eine Ringnut am Zentrumsteil zugeführt. Diese Nut konnte

im Betrieb aber nicht so dicht gehalten werden, dass ausreichend Luft am Ringteil ankam.

Diese Schwäche führte dazu, dass der Ringteil der Bohrkronen nicht ausreichend durchspült und das Bohrklein in diesem Bereich nicht weggeräumt wurde. Die Vortriebsleistung war entsprechend auf etwa 1 bis 1,5 m/h reduziert und es kam als Folge wieder zu großer Staubbildung.

Nach Abstimmung mit dem Hersteller wurde deshalb beschlossen den Bohrkopf ein weiteres Mal zu überarbeiten und dabei für eine gesicherte Luftspülung am Ringteil des Bohrkopfes zu sorgen. Zudem sollten in den Ringteil Öffnungen für den Abtransport des Bohrkleins eingearbeitet werden, die den Abtransport von Bohrklein und Abluft deutlich erleichtern sollten.



Abbildung 28: Bohrkopf zweiter Prototyp, Modifikation

Mit diesem überarbeiteten Bohrkopf wurden dann nochmalig Versuche in der Versuchsbahn durchgeführt.

Bei diesen Versuchen wurde eine Vortriebsgeschwindigkeit von 4 bis 10 m pro Stunde erreicht. Bei dem eingesetzten Hammer eine hervorragende Leistung die bei Einsatz eines größeren Hammer sicher noch gesteigert werden könnte.

Insgesamt konnte im Rahmen der zweiten Testreihe nachgewiesen werden, dass mit der neuen Gestaltung des Bohrkopfes der Durchbruch zum Erreichen einer konstanten und akzeptablen Vortriebsgeschwindigkeit gelungen war. Der in diesem Test erprobte Bohrkopf ist nun uneingeschränkt praxistauglich und wird von Bohrtec inzwischen entsprechend aktiv vermarktet.

11. Änderungen für Praxistests auf Realbaustellen

Durch die vorgezogenen Praxistest und die dort auf inzwischen insgesamt 2.300 m Bohrlänge gesammelten Erfahrungen konnten die Schwächen des zweiteiligen Bohrkopfsystems aufgedeckt und im Rahmen einer zweiten Testreihe so beseitigt werden, dass es nach der Erprobung nun uneingeschränkt für den weiteren Praxis Einsatz geeignet ist.

12. Fazit

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben sollte auf der Basis der Front Steer Technik eine neuartige Technologie/ein neuartiges Bohrverfahren entwickelt werden, mit der/dem auch in Fels mit einaxialer Druckfestigkeit bis 250 MPa und in Böden mit großen Steinen Haltungen für Ver- und Entsorgungsleitungen bis zu 800 mm Durchmesser sicher, lage- und höhengerecht, unterirdisch, wirtschaftlich und ressourcenschonend extrem konkurrenzfähig zu allen anderen Verfahren hergestellt werden können.

Durch die Entwicklung eines rückziehbaren und für den Imlochhammer Einsatz tauglichen Front Steer mit spezieller zweiteiliger Hammerbohrkrone ist dieses Ziel erreicht worden. Auf einer Großbaustelle in Hong Kong wurden in 2015/2016 mehrere dieser Front Steer Systeme mit Imlochhammer in rückziehbarer Version in schwersten und schwierigsten Baugrundverhältnissen erfolgreich eingesetzt.

Anfänglich noch vorhandene Schwächen des Systems wurden im Rahmen weiterer Tests erfolgreich beseitigt, so dass diese Technik nun uneingeschränkt auf weiteren Baustellen eingesetzt werden kann.

Mit dem System Front Steer mit Imlochhammer in rückziehbarer Version ist nun ein Produkt am Markt verfügbar, mit dem auch in Fels mit einaxialer Druckfestigkeit bis 250 MPa und in Böden mit großen Steinen Bohrungen bis zu 800 mm Durchmesser sicher, lage- und höhengerecht, unterirdisch, wirtschaftlich und ressourcenschonend hergestellt werden können.

Bislang waren solch schwierige Geologien erst mit Bohrungen ab einem Außendurchmesser von minimal 1.600mm beherrschbar. Nun können in solchen Geologien auch Bohrungen von 800 mm und kleiner durchgeführt werden. Bei einer Bohrung mit 1.600 mm Durchmesser müssen pro Meter Bohrlänge 2,0 m³ Boden/Fels gelöst und abtransportiert werden. Bei einer Bohrung mit einem Durchmesser von 800 mm sind dies nur noch 0,5 m³ pro Meter Bohrlänge. Da der Energiebedarf einer Bohrung bei gleicher Bohrungslänge und etwa gleicher Bohrzeit von der Menge des abzutragenden Bodens/Felses abhängt, kann demnach der Ressourcenverbrauch durch den Einsatz einer Bohrung mit Durchmesser 800 mm statt einer Bohrung mit Durchmesser 1.600 mm auf weniger als ein Viertel reduziert werden.

In Europa werden jährlich Bohrungen in einer Gesamtlänge von etwa 20 km in solchen Geologien ausgeführt, von denen ein Anteil von etwa 50% durch kleinere Durchmesser ersetzbar ist. Bei einem geschätzten Energiebedarf von 1.000 kWh pro Meter Bohrlänge für einen Durchmesser von 1.600 mm errechnet sich die benötigte Gesamtenergie für 10 km Bohrungen zu 10.000 MWh, die bei Einsatz des Front Steer Systems auf weniger als 2.500 MWh reduziert werden könnte.

Weltweit wird das Einsparpotenzial auf mindestens das 10fache der zuvor
dargestellten Differenz eingeschätzt.

Literaturverzeichnis

Nicht erforderlich

Anhänge

Nicht erforderlich

