

# U5 Berlin - Baugrundvereisung für den NÖT-Vortrieb der Station Museumsinsel unter anspruchsvollen technischen Randbedingungen

R. Theiß<sup>1)</sup>, J. Meier<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ISP ZT GmbH, Wien

<sup>2)</sup>Implenia Spezialtiefbau GmbH, Technical Competence Centre, Mannheim

## 1 Einführung

Das Projekt Lückenschluss der U5 der U-Bahn in Berlin verbindet die bestehende Linie U5 von Hönow im Osten Berlins zum Alexanderplatz mit der wegen ihrer geringen Länge im Shuttlebetrieb geführten Linie U55 vom Berliner Hauptbahnhof zum Brandenburger Tor. Die Neubaustrecke beinhaltet drei neue Stationen: Im Anschluss an den östlichen Abschnitt entsteht die Station Rotes Rathaus und im Westen die neue Kreuzungsstation mit der Bestandslinie U6 Unter den Linden. Dazwischen kommt die Neubaustation Museumsinsel zu liegen (siehe Abb. 1).



Die U5.  
Für mehr Mittendrin.

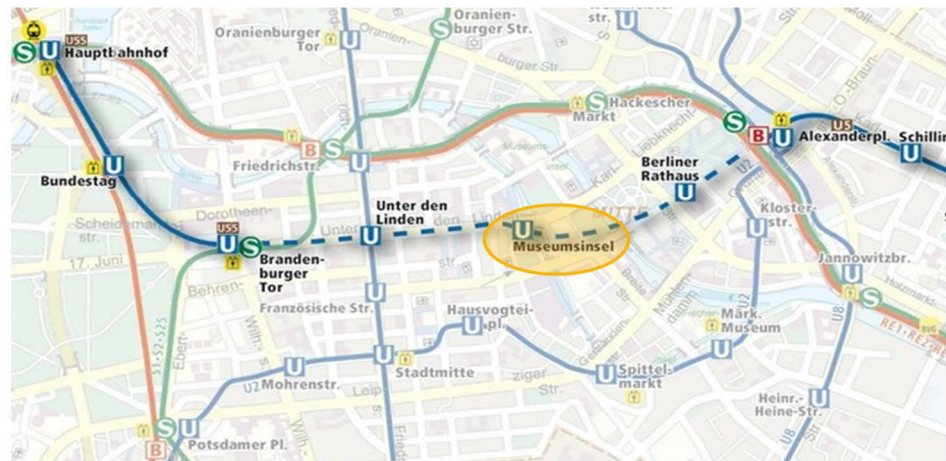


Abb. 1: Lageplan Lückenschluss U5

Der Entwurf zu diesem Bauvorhaben sah vor, dass die beiden Streckenröhren von einem westlich der neuen Station Rotes Rathaus gelegenen Schachtbauwerk, der späteren Gleiswechsellanlage, aus in Richtung Brandenburger Tor mittels einer TVM aufgefahen werden sollten. Deren Durchmesser waren so gewählt worden, dass der Bahnsteigbereich der Station Museumsinsel lediglich durch einen zwischen den TVM-Röhren aufzufahenden und mit diesen zu verbindenden zusätzlichen Mittelstollen entstanden wäre. Das hatte zur Folge, dass zwischen den Bahnhöfen Streckenröhren entstanden wären, die den erforderlichen U-Bahn-Lichtraum bei Weitem überstiegen.

Der Vortrieb des Mittelstollens hätte im Schutze einer Baugrundvereisung durchgeführt werden sollen, die aus je einem ober- und unterhalb des Mittelstollens liegenden Microtunnel aufgebaut worden wäre.

Im Jahr 2009 wurde seitens einer Planungsbietergemeinschaft – bestehend aus den Büros SSF Ingenieure AG, Amberg Engineering und ISP ZT GmbH – im Zuge der Bewerbung zur Erstellung der Ausschreibungs- und Ausführungsplanung ein alternativer Vorschlag erarbeitet, dessen wesentlicher Inhalt die Wahl eines sehr viel kleineren TVM-Querschnitts war. Damit verbunden musste für die Gestaltung des Bahnhofs Museumsinsel, insbesondere dessen Herstellung in geschlossener Bauweise, ein alternatives Vortriebs- und Streckenröhrenerweiterungskonzept erarbeitet werden.

Die vorgeschlagene Variante fand die Zustimmung des Auftraggebers BVG (mittlerweile durch die Projektrealisierungsgesellschaft PRG U5 vertreten) und wurde der Ausschreibungsplanung zu Grunde gelegt.

Im Jahr 2012 erhielt die Bilfinger Construction GmbH, heute Implenia, den Auftrag für das Rohbau-Los 1 des Lückenschlusses, in dessen Projektumfang auch der Bahnhof Museumsinsel fällt.

## **1.1 Ursprünglicher Entwurf**

Der ursprüngliche Entwurf des Bauherrn, der auch der Genehmigungsplanung und der Planfeststellung zugrunde gelegt worden war, hatte für den zwischen zwei Schachtbauwerken und unter dem Spreekanal liegenden Bahnsteigbereich der Station Museumsinsel vorgesehen, den Bereich zwischen den vorab aufgefahenen TVM-Röhren (Außendurchmesser ca. 9,5 m) mittels eines bergmännischen Vortriebs im Schutze einer Baugrundvereisung auszubrechen und so eine dreischiffige Bahnsteighalle entstehen zu lassen (siehe Abb. 2).

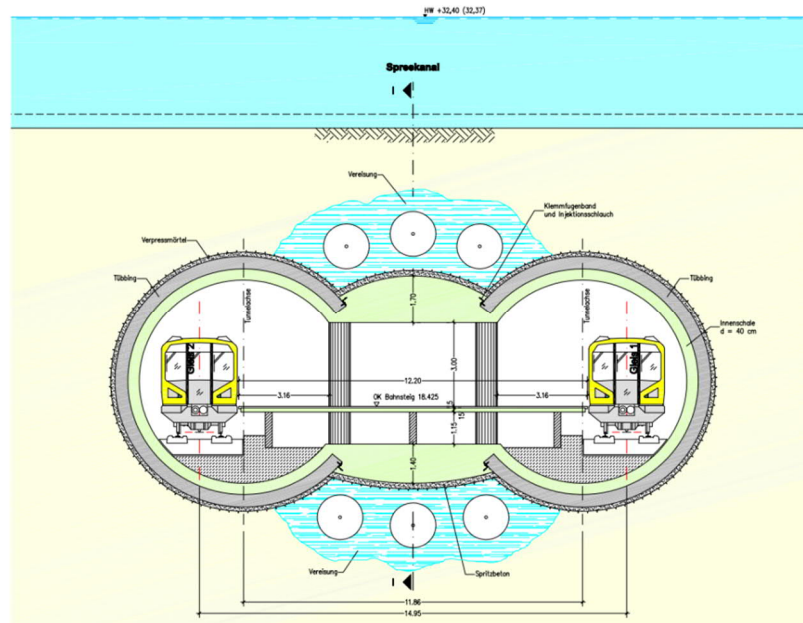


Abb. 2: Querschnitt Station Museumsinsel aus der Genehmigungsplanung

Mit diesem Entwurf waren folgende Planungsparameter verbunden:

- Übergroßer Streckentunnelquerschnitt und daher sehr große TVM und großer Setzungsmulden
- Schwierige Unterfahrungen der Spree, des Spreekanal und des Stadtschlusses sowie weiterer Bestandsgebäude aufgrund des großen Durchmessers
- Schwierige Einfahrssituation in die bestehende Station Brandenburger Tor aufgrund des großen Durchmessers
- Tiefere Schachtbauwerke in der Station Museumsinsel wegen des tief liegenden Microtunnels zum Aufbau der Vereisung
- Frostkörpers nur zwischen den Streckenröhren erforderlich

## 1.2 Alternativer Entwurf

Der alternative Entwurf, der auch zur Ausführung gekommen ist, sah für die Streckenröhrenvortriebe einen TVM-Durchmesser vor, der dem erforderlichen Lichtraum für Fahrzeuge, für die gebäude- und verkehrstechnische Ausrüstung und für das Masse-Feder-System des Fahrwegs entsprach. Aus diesen Randbedingungen ergab sich ein Außendurchmesser von 6,7 m. Wie im ursprünglichen Entwurf musste auch hier zwischen den vorab aufgefahrenen TVM-Röhren mittels eines bergmännischen Vortriebs ein Mittelstollen hergestellt werden. Zusätzlich mussten danach noch die beiden Gleisbereiche mittels zweier Seitenstollen bei gleichzeitigem vollständigem Rückbau der TVM-Röhren ausgebrochen werden. Die Vortriebe der Bahnsteighalle sollten auch im Alternativvorschlag im Schutze einer Baugrundvereisung erfolgen,

deren Aufbau wurde aber über Kleinbohrungen (d bis max. 200 mm) und nicht mittels Microtunnels vorgesehen (siehe Abb. 3).

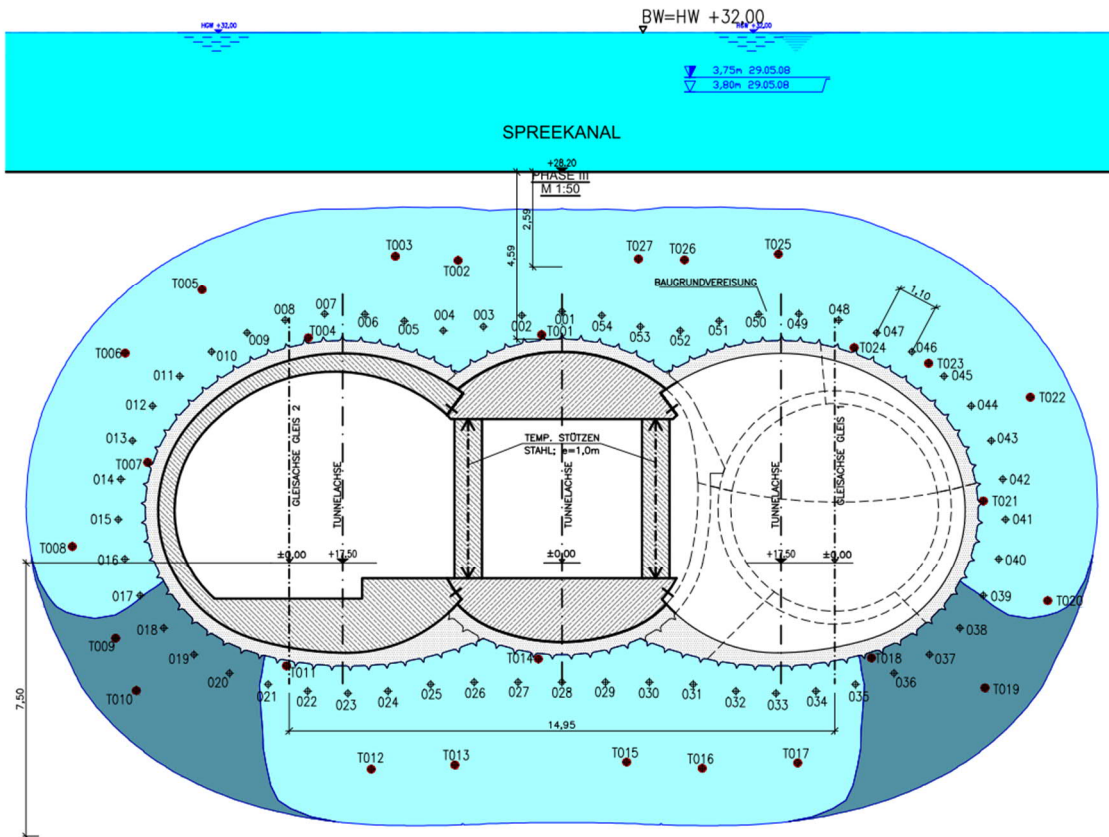


Abb. 3: Querschnitt Station Museumsinsel aus der Ausschreibungsplanung

Mit diesem Entwurf waren folgende Planungsparameter verbunden:

- Kleinerer Streckentunnelquerschnitt und daher kleinere TVM und Setzungsmulden
- Einfachere Einfahrsituation in die bestehende Station Brandenburger Tor
- Geringere Tiefe der Schachtbauwerke in der Station Museumsinsel durch Entfall der Microtunnels
- Größerer Umfang der Baugrundvereisungsmaßnahme, da Frostkörpers rundum den Gesamtquerschnitt erforderlich
- Große erforderliche Bohrlängen der Vereisungs- und Temperaturmessrohre, verbunden mit hohen Genauigkeitsanforderungen

## 2 Planerische Herausforderungen

Aus Planersicht stellten von Anbeginn der Planungsarbeiten an vor allem die großen erforderlichen Bohrlängen für die Vereisungs- und Temperaturmessbohrungen eine große Herausforderung dar. Es stellte sich sehr bald heraus, dass Bohrlängen bis zu 105 m erforderlich sein würden, da es aus

dem Westschacht der Station Museumsinsel mit seiner eng begrenzten Ausdehnung im Grundriss, die der verkehrlichen Belastung des Boulevards Unter den Linden und der gedrängten Einbautensituation geschuldet war, nicht möglich war, den gesamten Umfang der dreischiffigen Bahnsteighalle mit Vereisungsrohren einzufassen (siehe Abb. 4). Somit ergab sich das Erfordernis, aus dem zum Teil im Spreekanal liegenden und im Bohrbereich verbreiterten Ostschacht so lange Bohrungen herzustellen, dass diese bis zum Westschacht reichten. Auch die Bohrungen, für die eine Gegenbohrung aus dem Westschacht möglich war, waren mit ca. 85 m konzipiert, da ein bloßes Halbieren der erforderlichen Strecke für beide Schachtbauwerke zu Bohrlängen geführt hätte, die für übliche, ungesteuerte Bohrungen zu lang gewesen wäre. So entstand ein Konzept, bei dem aus dem Ostschacht gesteuerte lange und aus dem Westschacht ungesteuerte kurze Bohrungen herzustellen waren.

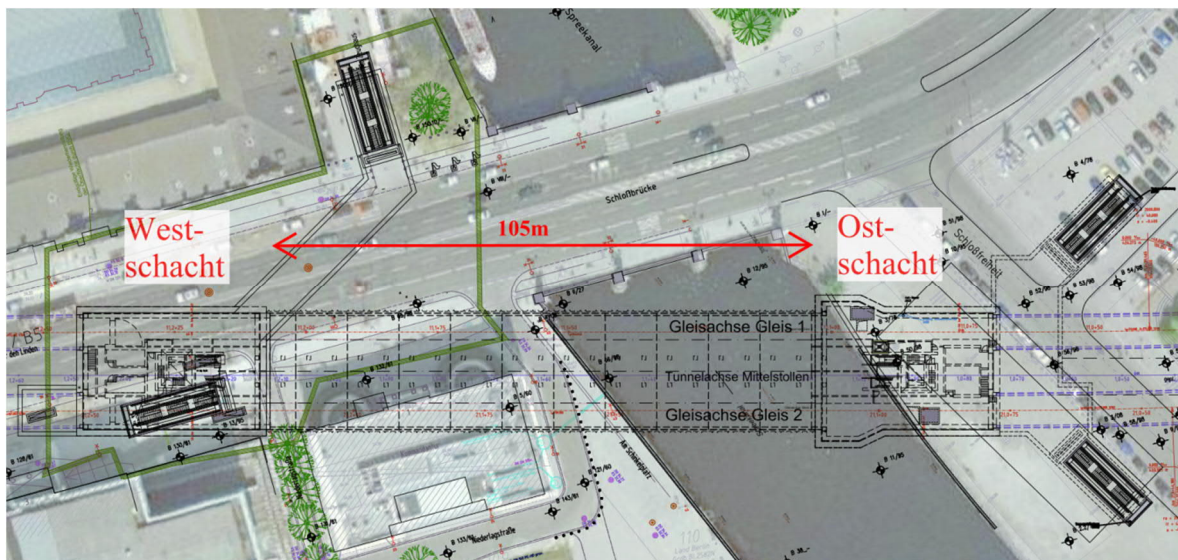


Abb. 4: Grundriss Station Museumsinsel aus der Ausführungsplanung

Derart große Bohrlängen waren bislang nicht oder nur in nicht direkt vergleichbaren Verhältnissen hergestellt worden. Die dazu nötigen Voraussetzungen in der Planung zu schaffen, angefangen von den Platzverhältnissen in den Schachtbauwerken, über die Formulierung von Vorgaben zur Qualitätssicherung und zur Überwachung im Bauvertrag, bis zur Gestaltung der Leistungsbeschreibung und des Terminplans, erforderten eine intensive Auseinandersetzung mit dem technisch Erprobten und Möglichen. Aber auch die Beantwortung der Frage, inwieweit diese Grenzen ausgeweitet werden könnten, ohne die Kumulierung technischer und wirtschaftlicher Risiken projektgefährdende Ausmaße erreichen zu lassen, erforderte eine enge und aufwändige Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, den Prüfinstanzen und dem Baugrund- und Vereisungsberater bei der Erstellung der Ausschreibungsplanung.

Neben diesen grundsätzlichen Herausforderungen zeichnet sich das Projekt hinsichtlich der Bohrarbeiten für die Baugrundvereisung durch weitere schwierige Randbedingungen aus, auf die im Folgenden eingegangen wird.

## 2.1 Baugrund

### 2.1.1 Hydrogeologie

Der Projektbereich liegt im Berliner Urstromtal, einem der Hauptabflusswege der Schmelzwässer in der Weichselkaltzeit. Typisch für dieses Gebiet ist, dass unter Bauwerken bzw. Resten davon sowie Anschüttungen aus jüngster Zeit unterschiedlich mächtige eiszeitliche Ablagerungen folgen. Bei diesen handelt es sich überwiegend um Sande, weniger häufig auch Kiese, wobei insbesondere letztere verbreitet Steine und vereinzelt Blöcke einschließen. Darunter befindet sich Paket der Geschiebemergel der Saalekaltzeit. Dazwischen eingelagert finden sich in geringem Umfang lokal organogenen Bildungen (Mudden und Torfe) sowie Tertiärschichten in ursprünglicher Lagerung (miozäne Braunkohlensande, -schluffe und -tone).

Die Sande teilen sich in zwei grobe Schichtpakete auf: Das obere Sandpaket besteht aus den sogenannten oberen Sanden, die als locker bis mitteldicht gelagert beschrieben wurden, und das untere Paket, den sogenannten Tal- und Schmelzwassersanden, die mitteldichte bis dichte Lagerung aufweisen.

Die Sande des Berliner Urstromtales bilden im Projektgebiet trotz der bereichsweise eingelagerten Geschiebemergelschichten einen zusammenhängenden und ergiebigen Grundwasserleiter mit nur geringer Fließgeschwindigkeit.

Für den durch die Horizontalbohrungen zu umschließenden Tunnelvortriebsbereich der Stationshalle ergab sich damit folgendes Gesamtbild:

Im unteren Baugrundvereisungsbereich steht die Mergelschicht an, im oberen kommen die Talsande zu liegen, im unteren steht auf fast die ganze Tunnellänge Mergel an. Die Grenze zwischen Mergel und darüber liegenden Sanden steigt von Osten nach Westen an, sodass die unter dem Tunnelquerschnitt liegenden bis zu 105m langen Bohrungen schleifend in die aufsteigende Schichtgrenze einzudringen hatten. Darüber hinaus war an der Schichtgrenze mit Blocklagen (Granite, Gneise, Diorite) zu rechnen.

Sämtliche Bohrungen mussten gegen das Grundwasser erfolgen, für die untersten Bohrungen musste mit einem Wasserdruck von 1,75 bar umgegangen werden.

## 2.1.2 Bohrhindernisse

Neben den zuvor erwähnten natürlichen Bohrhindernissen, den Steinen und Blöcken, war zusätzlich von künstlichen Bohrhindernissen auszugehen. Dabei sind zu nennen:

- Holzpfähle samt stählernen Bohrspitzen der Fundierung der westlichen Uferwand des Spreekanals
- Holzpfähle samt stählernen Bohrspitzen der Fundierung des westlichen Widerlagers der Schlossbrücke
- Holzpfähle der seinerzeitigen Baugrubensicherungen der zuvor erwähnten Bauwerke
- Den Baugrubenumschließungswänden vorgelagerte Dichtkörper für die TVM-Durchfahrten
- Reste alter Bauwerke, Brunnen und Pegel konnten nicht ausgeschlossen werden

## 2.2 Geometrie der Schachtbauwerke

Wie bereits erwähnt bestand aus der Genehmigungsplanung heraus wenig Spielraum, die Schachtbauwerke im Grundriss so zu gestalten, dass in beiden Schachtbauwerken rund um den Ausbruchsquerschnitt ausreichend Platz vorhanden wäre, um für die Bohrarbeiten ausreichenden Arbeitsraum zu schaffen. Lediglich der Ostschacht, der mit seiner westseitigen Baugrubenwand im Spreekanal zu liegen kam, konnte in brauchbarer Weise aufgeweitet werden (siehe Abb. 5). So war es möglich, einen Minimalabstand der am weitesten seitlich liegenden Bohrungen von 115 cm zu konzipieren.

Für beide Schachtbauwerke gab es hinsichtlich ihrer möglichen Tiefe Einschränkungen aus den Erfordernissen der Tiefenlage der Baugrubendichtsohlen. Somit konnte die Aushubsohle zur Herstellung der untersten Vereisungsbohrungen nicht beliebig tief gesetzt werden, was einen Minimalabstand der untersten Bohrachsen zur Geräteaufstandsfläche von nur 90 cm ergab.

Ähnliche Einschränkungen gab es für die obersten Bohrungen nach oben zu den Decken- und provisorischen Zwischenhorizonten zur Schachtausteiung.

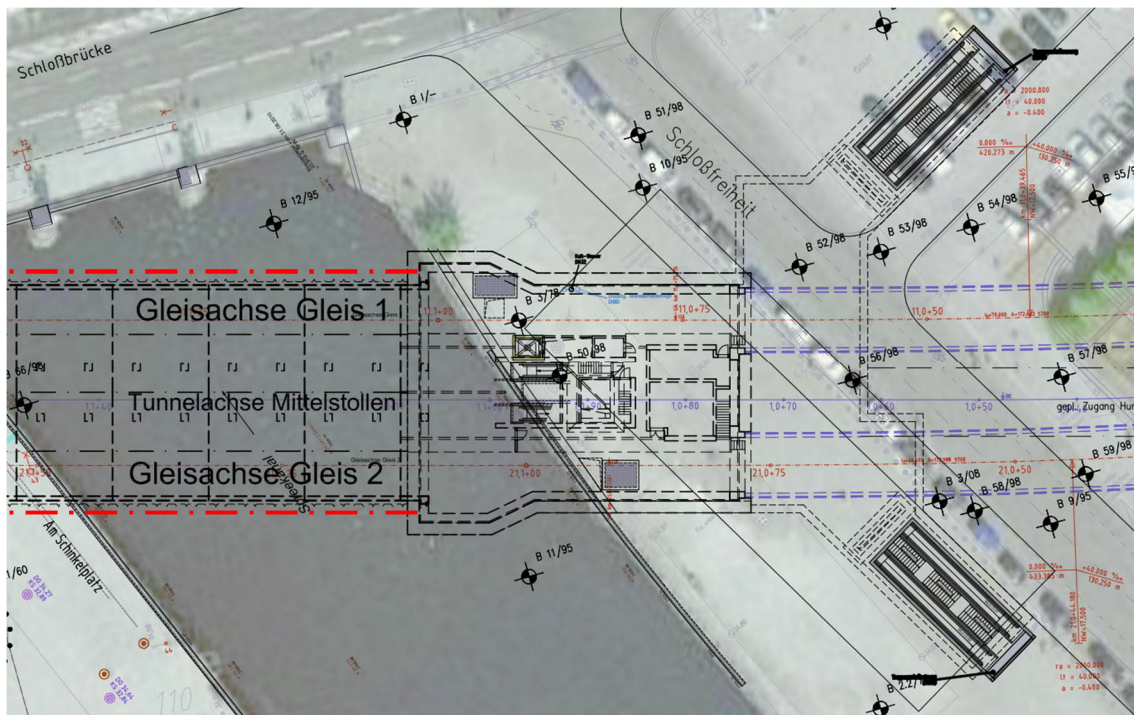


Abb. 5: Grundriss Schachtbauwerk Ost Station Museumsinsel mit außen liegenden Bohrungen

## 2.3 Bauablauf und Terminrahmen

Aufgrund von komplizierten Einbauten- und Verkehrsverlegungsphasen an der Oberfläche im Bereich des Westschachts, der inmitten des Boulevards unter den Linden zu liegen kommt, ergab sich, dass der gesamte Roh- und Tunnelbau der Station Museumsinsel am kritischen Terminweg des Gesamtprojekts zu sehen war. Sämtliche Arbeiten, insbesondere die zeitaufwändigen Bohrarbeiten standen daher unter großem Zeitdruck. Hinsichtlich der Einschätzung der Herstellungsdauer für die Bohrungen ergab sich einerseits das Problem, dass vergleichbare Erfahrungen für die Kombination der beschriebenen Randbedingungen nicht vorlagen. Und andererseits mussten brauchbare Abschätzungen zum Bewältigen von Bohrhindernissen vorgenommen werden.

Dazu war es zunächst erforderlich, vor allem die nicht genau zu bestimmenden Blocklagen in ihren Ausmaßen und Auftretungshäufigkeiten abzuschätzen. In enger Zusammenarbeit mit dem Baugrundgutachter des Bauherren wurde auf Basis der Bodenerkundungsergebnisse eine Lage- und Größenverteilung angenommen und unter Berücksichtigung des Bohrrasters (mittels thermodynamischer Berechnungen waren Vereisungsrohrabstände von ca. 1,1 m ermittelt worden) eine Trefferhäufigkeit berechnet und diese mit einer mittleren Blocklänge multipliziert, um zu Werten für Hindernislängen und zugehörigen Durchörterungszeiten für die Leistungsbeschreibung und die Terminplanung zu gelangen. Die große Unbekannte in dieser Betrachtung war das zur Anwendung



gelangende Bohrverfahren, insbesondere die Frage, wie dieses aufgrund seiner Grundkonzeption mit der Hindernisbewältigung umzugehen haben werde.

Im Ausführungsprojekt wurde dieses Herangehen noch durch eine Entscheidungsmatrix ergänzt, die die Bohrlochtiefe beim Antreffen des Hindernisses berücksichtigte und als Lösungsmöglichkeiten neben dem Durchörtern auch das Umfahren, das Gegenbohren aus dem Westschacht oder sogar das Inkaufnehmen einer kürzeren Bohrung als vorgesehen als Lösungsmöglichkeit beinhaltete. Basis für die Entscheidung war ggf. auch eine rasch durchgeführte Thermodynamische Berechnung mit der Fragestellung, ob eine Verkürzung einer Bohrung oder eine Bohrabweichung zur Umfahrung eines Hindernisses die Herstellung eines ausreichend großen und kalten Frostkörpers im Rahmen der vorgegebenen Bauzeiten ermöglichte.

## **3 Eingesetztes Bohrverfahren**

### **3.1 Vorbetrachtung aus Sicht des Bieters**

In der Angebotsphase musste ein Bohrverfahren kalkulatativ eingeschätzt werden, für das weder Kosten- noch Leistungserwartungen vorlagen. Ebenso war der Baugrund zwar geotechnisch korrekt umrissen, der Anteil des kostentreibenden Grobgeschiebes an den gesamten Bohrmeterern war jedoch unbekannt. Ebenso schwer konnte dessen Zusammensetzung und Auswirkung auf den Bohrfortschritt eingeschätzt werden. Nach einer kurzen, aber intensiven Marktschau und einigen Fachgesprächen mussten wir uns sehr zügig für eine Herangehensweise entscheiden. Auf dieser Grundlage wurden dann die Geräte- und Materialbeschaffungskosten möglichst gut eingegrenzt. Problematisch war zum einen die Bohrkopfortungstechnik, die zum damaligen Zeitpunkt entweder zu groß, zu ungenau, oder zu störanfällig war und oftmals nur als unwirtschaftlich teure Dienstleistung ohne Übernahme jeglicher Verantwortung angeboten wurde. Der zweite, schwer zu fassende Posten waren die Leistungsansätze für hindernisfreien Boden und für Hindernisse. Hier wurden die erforderlichen Tätigkeiten in kleine und kleinste Arbeitsschritte gegliedert und minutengenau mit Ausführungsdauern hinterlegt, die zum Teil in Arbeitsversuchen an Modellen ermittelt wurden. Die Ergebnisse waren zum Teil sehr ernüchternd, aber fundiert und unwiderlegbar. So kam beispielsweise heraus, dass ein hartes Hindernis nach 40 Bohrmeterern, dessen reine Durchörterungszeit nur eine Stunde betrug, aufgrund von Ausbau, Einbau und Werkzeugwechseln die Bohrzeit fast verdoppelte. Somit war klar, dass die vertragliche Frage, ob die Einbau-, Ausbau- und Werkzeugwechselzeiten zur Hinderniszeit zählen oder nicht, von großer Bedeutung war und in der Minimierung dieser Zeiten sehr viel Potential für beide Seiten lag. Deshalb

wurde bereits in der Angebotsphase versucht, auf die unausweichlichen, bohrtechnischen Hindernisarten

- Holzrammpfähle,
- Grobgeschiebe,
- Ablenkung beim schleifenden Übergang von lockerer Lagerung (eizeitlich unbelasteter Sand) in den halbfesten Ton (Geschiebemergel),
- ausbleibende Steuerwirkung beim Bohren im locker gelagerten Sand

möglichst detaillierte und wirtschaftliche Antworten zu geben.

Anhand dieser Ausarbeitungen konnten die Angebote vorheriger Konkurrenten, die uns nach Auftragserlangung wieder zur Verfügung standen, recht klar eingeschätzt werden. Es zeigte sich, dass unser eigener Ansatz, insbesondere bei den Positionen mit großem Hebel, erhebliche Vorteile aufwies. So fiel schließlich die Entscheidung, unseren Ansatz zu verfolgen und die Vorteile der konkurrierenden Ausführungsarten in der weiteren Entwicklungsarbeit möglichst weitgehend in unser System zu integrieren.

Der Auftraggeber und seine Fachplaner wurden frühzeitig in unsere technischen Überlegungen eingebunden. Gemeinsam wurden erfolgreich Konzepte zur gerechten Verteilung der Risiken gefunden. Grundlage bildete die transparente und partnerschaftliche Durchführung der ausgeschriebenen Probebohrungen.

### 3.2 Wahl des Bohrsystems

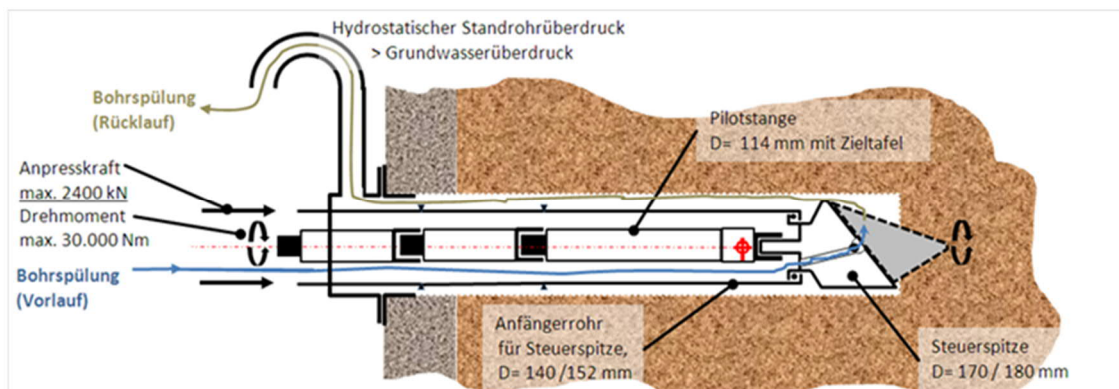


Abb. 6: Schemazeichnung des Bohrsystems

Einige der oben genannten Anforderungen scheinen sich zu widersprechen oder weisen zumindest quantitativ in entgegengesetzte Richtungen. Die Wahl der Ausgangsbasis für das Bohrsystem wurde schließlich von den Anforderungsfaktoren bestimmt, die sich nicht durch bloße Weiterentwicklung erfüllen lassen. Beispielsweise lässt sich die Reibung im Sand und die Klemmwirkung im Grobgeschiebe nur mit der Kraft und dem Drehmoment einer Pressbohranlage überwinden. Die Weiterentwicklung dieses Systems zur kontrollierten, drehspülenden Bodenentnahme erschien dagegen machbar.

### 3.2.1 Bohrgerät

Daher wurde ein relativ starkes Pressbohrgerät gewählt und um Komponenten zum drehspülenden Bohren, für Imlochhammer Einsatz, für MWD-Bohrkopffortung, sowie um eine fortschrittliche, elektronische Bohrdatenerfassung und -anzeige ergänzt.

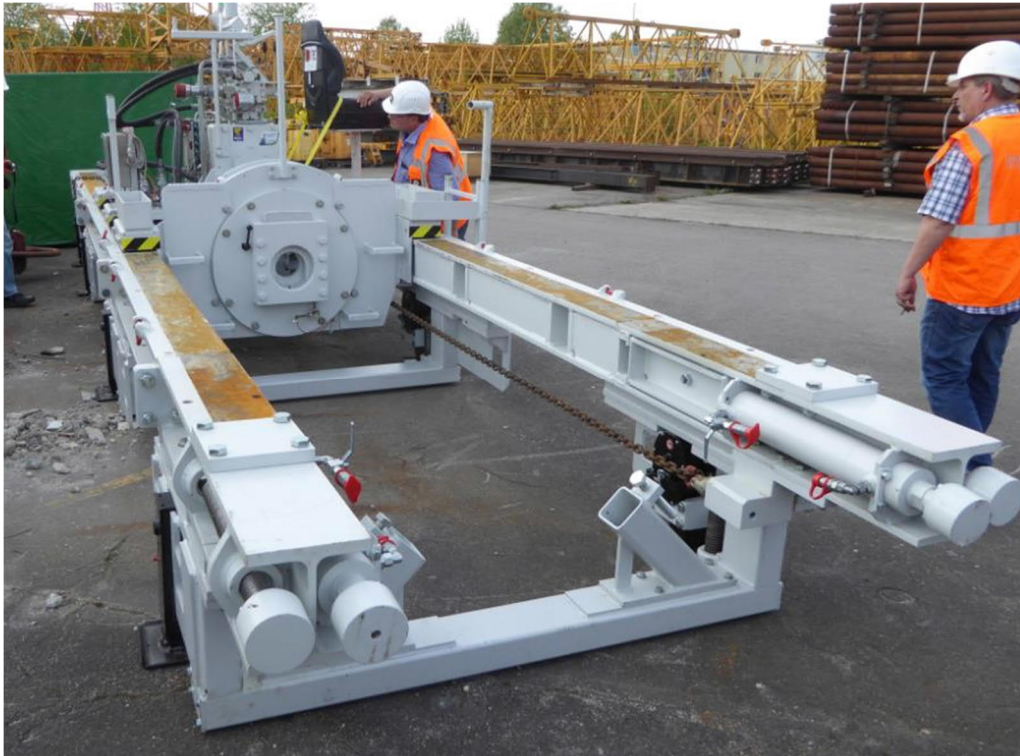


Abb. 7: Pressbohrgerät als Basis des steuerbaren Bohrsystems

Es stellt ein Drehmoment von 30.000 Nm bei einer Drehzahl bis zu  $67 \text{ min}^{-1}$ , sowie eine Andruckkraft von maximal 2400 kN zur Verfügung und wurde für den wirtschaftlichen und zeitsparenden Bohrbetrieb in technischen Details angepasst.

- Schnellere Einrichtung auf die Bohrachse
- Justierbare, hydraulische Absteifung front- und heckseitig
- Hydraulikschlauchzuführung.

Der Antrieb erfolgte über ein elektrohydraulisches Aggregat, das ebenfalls in der Baugrube aufgestellt wurde.

### 3.2.2 Bohrarbeitsbühne

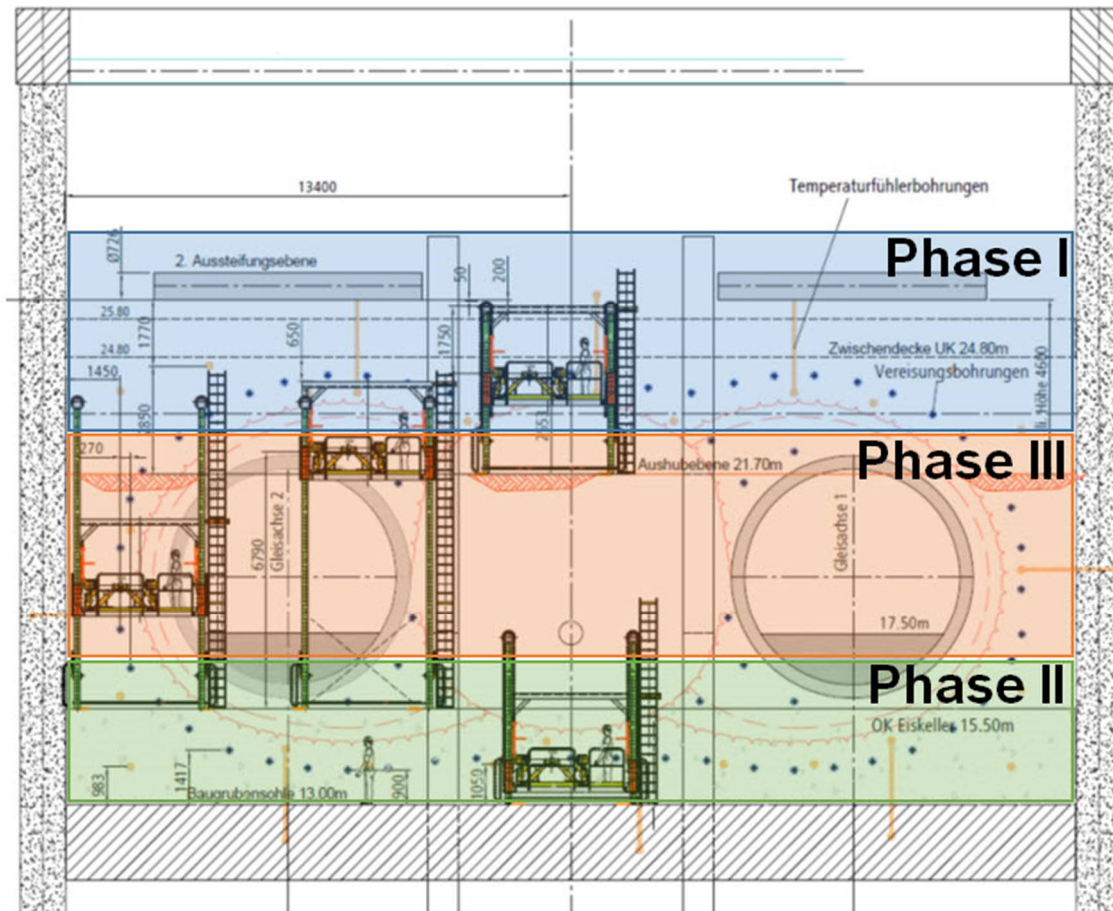


Abb. 8: Bohrphaseneinteilung

Um den Bauablauf der Haltestelle mit den Bohrungen möglichst wenig zu stören, wurden die Bohrungen in drei Phasen eingeteilt:

Phase I: Teilaushub bis OK TVM-Vortriebe (Tübbingröhren vorher teilverfüllt). Hier Holzrammpfähle, verkitteter Sand und Kulturschutt erwartet, größte Nähe zu Spreekanal und Nachbarbebauung.

Phase II: Aushub auf Sohle mit Abbruch der Tübbingröhren. Herstellung der endgültigen Haltestellensohle zeitgleich mit den Bohrungen, hinter dem Bohrgerät. Hier Einbohren in den aufsteigenden Mergel, Durchörtern des quarzitäen Grobgeschiebes.

Phase III: Teilanfüllung und Abdeckelung des späteren Revisionsanges für die Vereisungsanlagen. Hier größter Höhenunterschied zwischen Bohransatzpunkt und Bohrebene (über 7 m), locker gelagerter, sowie verkitteter Sand erwartet.



Abb. 9: Bohrgerät im Einsatz

Die dafür erforderliche Hubarbeitsbühne wurde auf Verringerung der Umsetzzeiten hin optimiert, die große Herausforderung bestand jedoch darin, eine Arbeitsplattform für große Höhen und schwere Lasten (Nutzlast ca. 16 to.) zu schaffen, die dennoch geringe Wandabstände der Bohrungen zulässt. Sie erhielt, neben dem Fahr- und Hubsystem, auch einen eigenen Gestängekran.

Der Entwurf, die sicherheitstechnische Abstimmung mit Aufsichtsbehörden, Konstruktion, Statik und Herstellung erfolgten bei der Implenia Maschinen- und Elektrotechnik Mannheim.

### 3.2.3 Rückstiefekonstruktion

Das Projekt profitierte sehr von der guten Zusammenarbeit zwischen Fachplanern und Ausführenden. Beispielsweise wurden unproblematisch zwei Schlitzwandbarrette eingeplant, um die bis zu 1200 kN große Reaktion der Vorschubkraft einzuleiten. An den Barretten lagen horizontale Stahlträger an, die mit dem Bohrgerät stufenlos höhenverstellbar waren, darauf steifte das Bohrgerät horizontal ab.

### 3.2.4 Messtechnik Bohrlochverlauf

Beim HDD-Spülbohren übliche Verfahren zur Bohrkopfortung, wie z.B. Magnetsonde oder Walkover waren hier umgebungsbedingt nicht anwendbar. Als geeignete Messverfahren wurden daher das optische Verfahren und das Inertialmesssystem mit lichtfaseroptischen Kreiseln gewählt.

Bei dem optischen System blickt eine hinter dem Bohrgerät angeordnete Kamera durch das Innengestänge auf eine selbstleuchtende Zieltafel in der Bohrkronen. Dieses System ist hochgenau, jedoch durch den maximalen lichten Innendurchmesser des Bohrgestänges auf eine maximale Abweichung von 6cm begrenzt. Übersteigen die Abweichungen diesen Wert, wird die Diodenzieltafel nicht mehr von der Kamera erfasst.

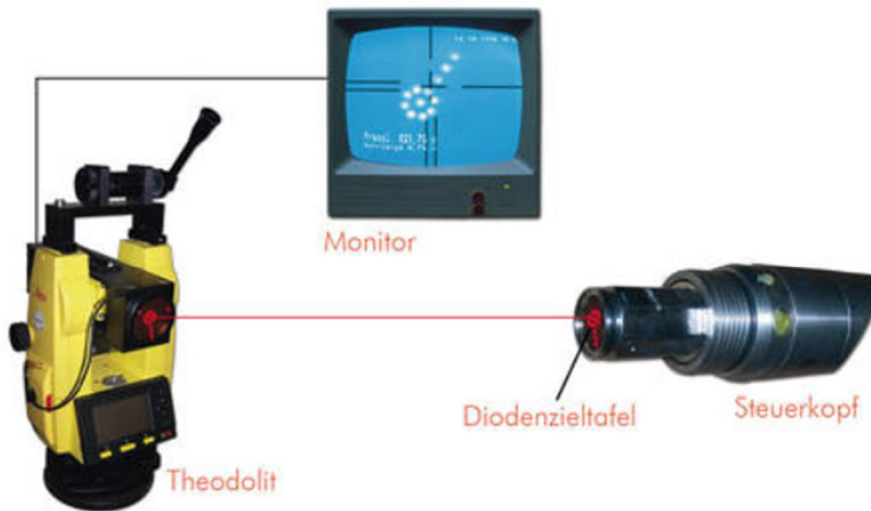


Abb. 10: Optische Bohrkopffortung (Quelle: Bohrtec)

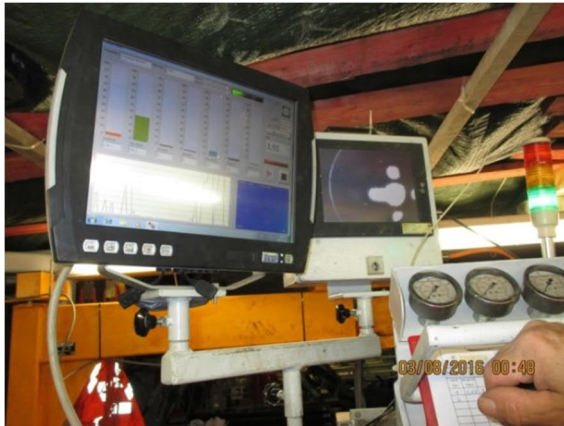
Das Inertialmesssystem führt eine laufende Trägheitsnavigation des Bohrkopfes durch. Es basiert auf einer Kombination aus Lichtfaserkreisel und Accelerometern, die Dreh- und Translationsbeschleunigungen erfassen.



Abb. 11: Inertiale Mess- und Steuersonde

Ein innovatives Inertialsystem wurde von der Implenia-Messtechnik im Prototypenzustand akquiriert und gemeinsam mit dem Erfinder weiterentwickelt, auf die verfügbaren, beengten Bohrdurchmesser angepasst und erstmals bei einer nachträglich abgeordneten Probebohrung erfolgreich eingesetzt. Es zeichnet sich durch verringerte Baumaße bei einer gleichzeitig extrem gesteigerten Langzeitstabilität der Messwerte aus.

Die tatsächliche Lage des Bohrkopfes gegenüber der Soll-Lage wird dem Gerätefahrer ständig optisch angezeigt (MWD), sodass dieser unmittelbar Korrektursteuerungen ausführen kann. Ständige Unterbrechungen des Bohrablaufes für Messfahrten mit nachträglich in das Bohrrohr einfahrenden Messsystemen entfallen so.



Die Bohr- und Maschinenparameter der Bohrarbeiten, sowie der Bohrverlauf werden dem Gerätefahrer kontinuierlich angezeigt, damit er im Bedarfsfall umgehend reagieren kann. Die Daten werden zudem durchgehend aufgezeichnet und ausgewertet. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für das 3D-Temperaturmodell.

Abb. 12: Fahrstand mit Monitoren der Bohrdatenerfassung und optischen Steueranlage

## 4 Ausführung

Die Ausführung einer Horizontalbohrung und Nebenarbeiten ohne Bohrhindernisse benötigte etwa 2 AT. Es wurde dabei im durchgängigen 24 Stunden / 7 Tage-Betrieb gearbeitet. Diese Leistungswerte entsprachen den in der Angebotsphase in der Angebotsphase 2011 ermittelten Werten.

Bereits bei der Planung und Arbeitsvorbereitung der Arbeitsabläufe, Geräte und Hilfskonstruktionen wurden der Arbeits- und Gesundheitsschutz konsequent berücksichtigt. Die konstruktiven Maßnahmen sind von den technischen Aufsichtsbehörden anerkannt, sie wurden bei deren regelmäßigen Baubegehungen kontrolliert.

Aufgrund der praxisgerechten Planung der zahlreichen technischen Lösungen lag die Unfallrate deutlich unter der des Gesamtprojektes. Darunter waren erfreulicherweise keine schweren Unfälle.

Die Bauüberwachung des Bauherrn wurde mit der identischen Auswertesoftware ausgerüstet, wie die Implemia Bauleitung. So war sie in der Lage, jederzeit eigene Detailauswertungen der Bohrdaten zu erstellen.

Diese Auswertungen bildeten die Arbeitsgrundlage für die wöchentliche, sogenannte „Bohrkonferenz“. Dort besprach und einigte sich ein kleiner Kreis operativer Ingenieure beider Seiten verbindlich über Bedeutung der Daten, weiteres Vorgehen und Vergütung von Hindernisbeseitigung – ein alter, aber bei heutigen Großprojekten schon beinahe wieder revolutionärer Ansatz.

Dieses Modell wurde bis zum Ende der Bohrungen zur beiderseitigen Zufriedenheit beibehalten und ermöglichte allen Beteiligten, sich auf die Bohrtechnik zu konzentrieren.

Das zahlte sich am Ende aus:

- alle drei Bohrkampagnen wurden jeweils deutlich vor Termin fertiggestellt.
- Die Abweichungen im Bohrlochtiefsten lagen größtenteils unter 10 Zentimetern und ansonsten im Toleranzbereich der wärmetechnischen Berechnungen.
- Nur drei von etwa 100 Bohrungen wurden vor Erreichen der Solltiefe, jedoch ausschreibungskonform in Reichweite planmäßiger Gegenbohrungen, beendet.
- Es kam zu keinerlei relevanten Bewegungen an den benachbarten Bauwerken.

Diese außergewöhnliche Zusammenarbeit wurde durch die Probebohrungen auf der Baustelle sehr begünstigt. Bauausführende und Bauüberwachung hatten Gelegenheit, sich kennenzulernen und einen gemeinsamen modus operandi, ja eine gemeinsame Sprache zu finden. Die Leistungsfähigkeit der Anlagen konnte unter Einsatzbedingungen für alle transparent getestet werden und schuf die Grundlage für eine spätere, gerechte Vergütung der Hindernisbeseitigung.

## 5 Aktueller Stand der Bauarbeiten, Ausblick

Aufgrund der akkuraten Lage der Vereisungsbohrungen wurde die Aufgefrierphase ca. 10 Tage vor Plan abgeschlossen. Der „Lavinia-Tunnel“ konnte pünktlich Anfang Mai 2018 angeschlagen werden. Derzeit läuft die Aufweitung auf das volle Profil der späteren Bahnsteighalle. Die Arbeiten liegen im Plan.



Abb. 13: Vortrieb der Bahnsteighalle im gefrorenen Boden unter dem Spreekanal



## 6 Literatur

- Kogler, K., Maroschek, Ph., 2010. Vom Bandschreiber zur digitalen Datenaufzeichnung - 25 Jahre innovative Entwicklung in der Bohr- und Injektionstechnik. *Heft 38 - Tagungsband 25. Christian Veder Kolloquium*, TU Graz.
- Fuchs, C., Schmeiser, J., Theiß, R., 2016. Bodenvereisung als Baugrundverbesserung - Umsetzung in den einzelnen Projektphasen. *Heft 56 - Tagungsband 31. Christian Veder Kolloquium*, TU Graz.

**Autor:**

Vorname, Name: Reinhold, Theiß

Titel: DI

Firma, Abteilung: ISP ZT GmbH, Spezialtiefbau, Tunnelbau

Adresse: 1080 Wien, Blindengasse 26

Tel: 0043 1 4054286 44

Fax: 0043 1 5074712

mail: theiss.reinhold@isp-zt.at

internet: www.isp-zt.at

**Nicht Zutreffendes bitte löschen:**

Teilnahme: ja

Vortragender: ja

**Co-Autor:**

Vorname, Name: Joachim, Meier

Titel: Dipl.-Ing. , Oberingenieur

Firma, Abteilung: Implenia Spezialtiefbau GmbH, Technical Competence Centre

Adresse: Diffenstraße 14, 68169 Mannheim, Deutschland

Tel: +49 173 530 30 62

Fax: +49 621 700 14 299

mail: joachim.meier@implenia.com

internet: www.implenia.com

**Nicht Zutreffendes bitte löschen:**

Teilnahme: ja

Vortragender: ja