



U4 Hamburg HafenCity – Tunnel Baakenhafen und Trog Baakenwerder Straße (T+T)

3-D-Ankerplanung im interaktiven Dialog mit Planern und
Ausführenden

U4 Hamburg HafenCity – Tunnel Baakenhafen und Trog Baakenwerder Straße (T+T)

3-D-Ankerplanung im interaktiven Dialog mit Planern und Ausführenden

Mit dem erfolgten Bau der Linie U4 von der Station „Jungfernstieg“ zur Station „HafenCity Universität“ wurde die westliche und zentrale HafenCity mit einem leistungsfähigen, öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) bereits erschlossen. Die neuen in Planung befindlichen Quartiere der östlichen HafenCity erfordern ebenfalls eine leistungsfähige ÖPNV-Erschließung. Hierfür wird die U4 von der Haltestelle „HafenCity Universität“ bis zur Haltestelle „Elbbrücken“ verlängert. Bei der Baumaßnahme „U4 Tunnel Baakenhafen und Trog Baakenwerder Straße“ (nachstehend T+T genannt) handelt es sich um ein ca. 710 m langes Rahmentunnelbauwerk sowie ein ca. 230 m langes Rahmentrogbauwerk als WU-Beton-Konstruktion. Die Strecke wird auf gesamter Länge zweigleisig ausgeführt. Die Errichtung der Ingenieurbauwerke erfolgt im Schutz wasserdichter Schlitzwandbaugruben mit rückverankerten Unterwasserbetonsohlen. Insbesondere die Planung und Ausführung der Rückverankerungen im Trogbereich erfordern eine hohe Planungs- und Ausführungsqualität, um Kollisionen mit im Baufeld vorhandenen Bauwerken und Rückverankerungen Dritter zu vermeiden. Für solche Planungsaufgaben ist eine dreidimensionale Ankerplanung unverzichtbar und bietet viele Vorteile sowohl in der Planung als auch bei der Qualitätssicherung während der Ausführung.

Keywords U4; HafenCity Hamburg; Versmannstraße; Tunnel und Trog; T+T; Baakenhafen; 3-D; Ankerplanung; Vermessung; Kollisionsprüfung

U4 Hamburg HafenCity – tunnel Baakenhafen and trough Baakenwerder Straße (T+T) – anchor planning 3-D in the interactive dialogue with planners and executors

With the completing of the construction of the subway line U4 from the station “Jungfernstieg” to the station “HafenCity Universität” the western and central part of the HafenCity were connected to an efficient public transport. The new quarters in the eastern part of the HafenCity that are currently planned also need an efficient public transport. For this purpose the line U4 will be extended from the station “HafenCity Universität” to the station “Elbbrücken”. The building project “U4 Tunnel Baakenhafen and Trog Baakenwerder Straße” (hereafter called T+T) involves an approximately 710 m long tunnel as well as an approximately 230 m long trough construction made of waterproof concrete. The line will be executed double tracked. The installation of the civil engineering structure will be done in the protection of a watertight excavation pit made out of diaphragm walls and an anchored underwater concrete base. In particular the planning and execution of the grouted anchors in the area of the trough require a high quality in planning and execution to avoid collisions with other existing structures and anchors. For such planning tasks a 3-dimensional planning of the anchors is essential and offers many advantages for planning as well as quality assurance during the construction work.

Keywords U4; HafenCity Hamburg; Versmannstraße; tunnel and trough; T+T; Baakenhafen; 3-dimensional; anchorage; measurement; collision risk

1 Einleitung

Die HafenCity umfasst einen vollständig von Fluss- und Kanalläufen umgebenen Stadtteil der Freien und Hansestadt Hamburg im Bezirk Hamburg-Mitte mit einer Gesamtfläche von ca. 2,2 km². Die HafenCity grenzt im Norden an die Innenstadt, im Osten an den Oberhafen und im Westen und Süden an die Elbe (Bild 1).

Der Begriff HafenCity steht überdies als Projektname für ein über 157 ha großes und auf dem nördlichen Teil des Großen Grasbrooks gelegenes Stadtentwicklungsgebiet, auf welchem bis ca. 2025 zehn sogenannte „Quartiere“ mit durchmischter Nutzung (Wohn-, Büro-, Einkaufs- und Freizeiteinheiten) entstehen sollen.

Die HafenCity ist damit aktuell eines der markantesten Stadtentwicklungsvorhaben in Wasserlage weltweit.

2 Allgemeines/Projektüberblick

Anschließend an die bereits in Betrieb befindliche Haltestelle „HafenCity Universität“ erfolgt derzeit durch die Hamburger Hochbahn AG (HHAG) die Verlängerung der Linie U4 bis zur Haltestelle „Elbbrücken“. Ein erster Abschnitt ist mit der Kehr- und Abstellanlage (KAA) bereits fertiggestellt. Im April 2014 erfolgte der Baubeginn für den Bauabschnitt „Tunnel Baakenhafen und Trog Baakenwerder Straße“, ein Jahr später folgte der Baubeginn der Haltestelle „Elbbrücken“ (Bild 2).

Bei den Baumaßnahmen des Abschnitts T+T handelt es sich um ein ca. 710 m langes Rahmentunnelbauwerk sowie um ein ca. 230 m langes Rahmentrogbauwerk als WU-Beton-Konstruktion. Die Strecke wird auf gesamter Länge zweigleisig ausgeführt.



Bild 1 Übersicht HafenCity
Layout HafenCity



Bild 2 Übersicht Verlängerung der Linie U4
Overview extension of line U4

Auf ca. halber Länge des Tunnelbauwerks liegen beidseitig angeordnete Notausstiege. In der Nähe des Tunnelmunds wird eine Kaverne zur Entwässerung des Trogs angeordnet.

Die Tunnelstrecke liegt weitestgehend unterhalb der zukünftigen, nach Norden verlegten und auf hochwassergeschütztes Niveau aufgehöhten Versmannstraße Mitte/Ost. Die Trogstrecke liegt südwestlich bzw. westlich der verlegten Versmannstraße Ost.

Beim westlichen Tunnelabschnitt im Anschluss an die KAA beträgt die zukünftige Bauwerksüberdeckung bis zum späteren Geländeniveau ca. 7,2 m. Die Gradiente steigt hier über eine Länge von ca. 89 m an, sodass die

Bauwerksüberdeckung auf ein Maß von ca. 4,0 m abnimmt. Danach verläuft die Gradiente über eine Länge von ca. 563 m horizontal. Circa 58 m vor dem Tunnelmund steigt die Gradiente bis zur Haltestelle Elbbrücken wieder an. Am Tunnelmund wird die Überschüttung ca. 2,0 m betragen.

Der Abschnitt T+T wird in offener Bauweise hergestellt. Die seitliche Abdichtung der Baugrube erfolgt im Tunnel sowie im tief liegenden Trogabchnitt mittels 1,0 m dicken Schlitzwänden mit Längen von ca. 22–28 m. Die horizontale Abdichtung der Baugrubensohle wird mittels einer 1,2 m starken, mit Mikroverpresspfählen rückverankerten Unterwasserbetonsohle sichergestellt. Die Baugrube des Tunnelabschnitts wird i. d. R. durch eine hoch lie-

gende Stahlbeton-Steifenlage ($B/H = 0,8/0,8$ m) mit einem Stahlbetonkopfbalken ($B/H = 1,0/1,0$ m) und die tief liegende Unterwassersohle ausgesteift (Bild 3).

Die Baugruben der hoch liegenden Trogabscnitte werden mit Mikroverpresspfählen einfach rückverankerten Spundwänden hergestellt.

Die Gesamtbaugrube des Abschnitts T+T wird durch Querschotte in neun Teilbauabschnitte, sogenannte „Docks“, unterteilt. Die Dockeinteilung dient insbesondere dazu, um Bauabläufe parallel laufen zu lassen und um zusätzliche Sicherheit im Havariefall zu schaffen.

Von den neun Teilbauabschnitten betreffen die Docks 1–7 die Teilbaugruben für das Tunnelbauwerk. In diesen Docks werden die einzelnen Tunnelblöcke hergestellt. Die Teilbauabschnitte 8 und 9 sind aufgeteilt in das tiefer liegende Trogbauwerk (Troglöcke 26.1, 26.2) und ein höher liegendes Trogbauwerk (Troglöcke 26.3–26.6).

Im Bereich Dock 6 entfernt sich das Tunnelbauwerk von der nördlichen Straßenbegrenzungslinie der neu geplanten Versmannstraße Ost. Um negative Einflüsse infolge von horizontalen und vertikalen Bodenverformungen sowie Kleisub in den Weichschichten auf die nördlichen Anlagen der DB durch die geplante Aufhöhung der Versmannstraße Ost zu vermeiden, wird in diesem Bereich nördlich des Tunnelbauwerks (Dock 6.1) ein separates Dock (Dock 6.2) mit Bodenaustausch ausgebildet.

Die Docks 1–6 übernehmen im Endzustand als Gesamtsystem aus Baugrubenverbau – bestehend aus nördlicher und südlicher Schlitzwand, Unterwasserbetonsohle, Stahlbetonkopfbalken und -steifen sowie dem Tunnelbauwerk – die Funktion einer dauerhaften Abschirmung der Versmannstraße zu den Anlagen der DB (Ausbildung sämtlicher Bauteile als Dauerbauwerke).

Im Vorfeld der Maßnahme wurde ebenfalls zur Abfangung eines ca. 3,0 m hohen Höhensprungs und zur Reduzierung der Auswirkungen infolge des horizontalen Kleisubs auf die DB-Strecke eine parallel zur DB-Strecke verlaufende Abschirmwand errichtet. Diese Abschirmwand ist mit Verpressankern rückverankert, welche in das Baufeld der Maßnahme T+T hineinragen und ein bei der Planung zu berücksichtigendes Hindernis im Boden darstellen.

3 Herausforderungen in der Planung

Der Schlitzwandverbau im Dock 8 und ein Teilbereich des daran anschließenden Spundwandverbaus werden mit Mikroverpresspfählen rückverankert.

Die in dem dafür erforderlichen Baufeld vorhandene Abschirmwand wurde mit 47 Verpressankern mit Längen von ca. 24–28 m und einer Neigung von 45° rückverankert. Zudem wurden auf einer Breite von ca. 11,0 m vor

Systemschnitt A-A Dock 5 M 1:100

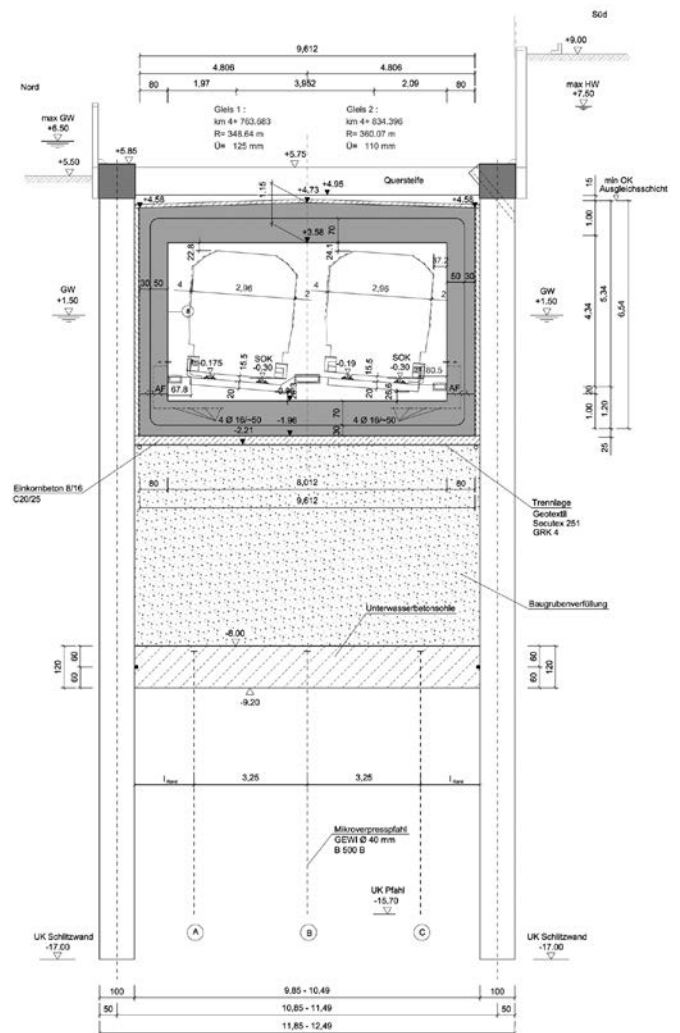


Bild 3 Querschnitt Tunnel T+T
Cross section tube T+T

der Abschirmwand vertikale Betonsäulen zur Bodenverbesserung mit einem Durchmesser von 0,5 m in einem Raster von ca. 2,5 × 2,5 m und einer Unterkante bei ca. -10,0 mNN hergestellt. Die Abschirmwand und die Verbauwände T+T verlaufen in verschiedenen Radien, sodass sich die Verankerungen im Grundriss gering schiefwinklig kreuzen. Aufgrund des geringen Abstands der Verbauwände T+T zur Abschirmwand von ca. 27–33 m liegen damit bei der Herstellung der Mikroverpresspfähle Kollisionsrisiken mit den bereits hergestellten Verpressankern und Betonsäulen im Einflussbereich des von der Maßnahme T+T betroffenen Baufelds vor (Bild 4).

Die Risiken möglicher Kollisionen und dadurch eventueller Beschädigungen von Bauteilen gilt es durch die Planung und Bauausführung mit allen Mitteln auf ein Minimum zu reduzieren. Zur uneingeschränkten Erfassung aller Bauteile ist eine 3-D-Ankerplanung durchzuführen, auf deren Grundlage die späteren 2-D-Planunterlagen abgeleitet werden. In das 3-D-Ankermodell werden sämtli-

Schnitt 0+753 M.1:200
Endzustand

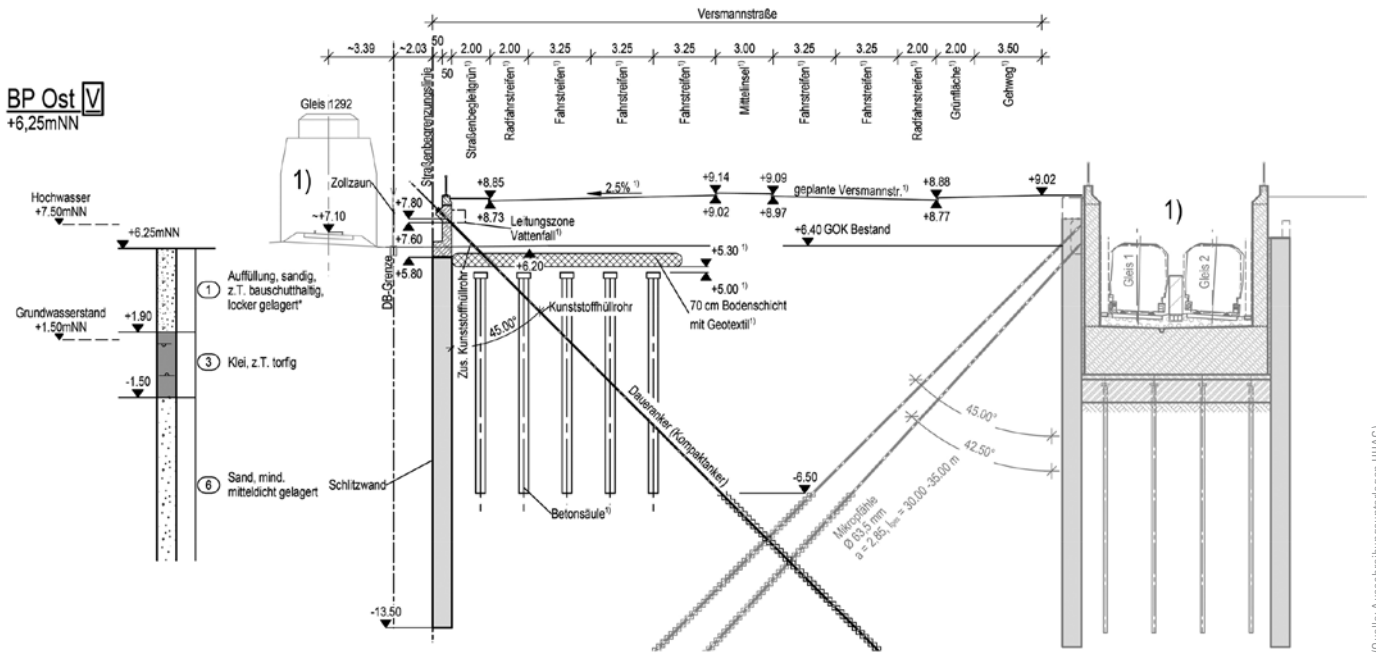


Bild 4 Abschirmwand
Protection wall

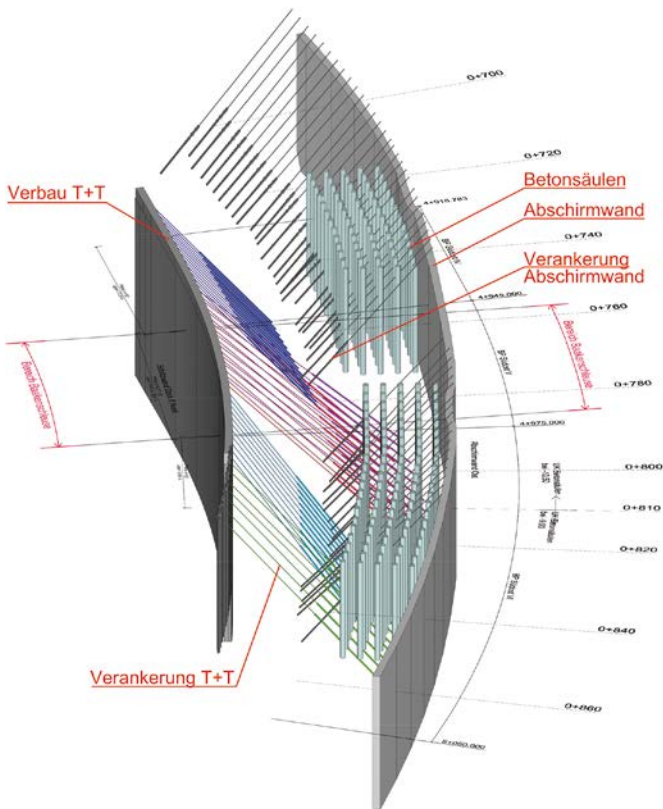


Bild 5 3-D-Ankermodell
3-D-model anchorage

che Bauteile (Abschirmwand, Verpressanker, Betonsäulen, Schlitzwand mit Kopfbalken T+T, Spundwand T+T, Mikroverpresspfähle T+T) mit allen erforderlichen Details wie z. B. der Verpresskörper aufgenommen. Grundlage des 3-D-Ankermodells bilden das Aufmaß der Ab-

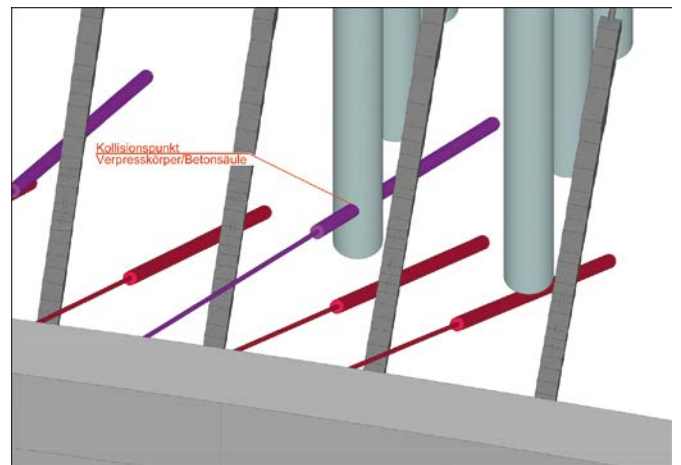


Bild 6 Identifizierung Kollisionspunkt
Identification collision risk

schirmwand einschließlich der Vermessung der Verpressankerlagen, das Aufmaß der Betonsäulen sowie die Planung der Verbauwände T+T. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Aufmaße kann der Bestand realitätsnah in den tatsächlich hergestellten Abmessungen in das Modell implementiert werden (Bild 5).

Anhand des 3-D-Ankermodells werden anschließend die Mikroverpresspfähle dreidimensional konstruiert und eingepasst. Grundlage der Pfahlgeometrie (Länge, Verpresskörperdurchmesser, maximale Neigung) bilden die Ergebnisse der statischen Berechnung. Kollisionspunkte werden identifiziert und durch Anpassung der Pfahlgeometrie (Neigungsanpassungen, Verschiebungen im Grundriss) auf ein minimales Kollisionsrisiko reduziert

(Quelle: Ausschreibungsumranden HHAG)

(Bild 6). Die Abstände benachbarter Bauteile werden dabei möglichst maximiert.

Der Prozess zur Optimierung der Lösung wurde iterativ in einem intensiven Dialog zwischen Planer und Ausführenden vollzogen und auf die Anforderungen der Bauausführung abgestimmt. Hierfür wurde das 3-D-Ankermodell einschließlich sämtlicher Layer-Eigenschaften als aktive pdf-Datei mit „selektiver Ebenendarstellung“ ausgetauscht. Anhand der aktiven pdf, welche auf diversen Medien mit einem pdf-Reader dargestellt werden kann, war es den Beteiligten möglich, sämtliche Detailpunkte aus allen räumlichen Situationen zu betrachten. Um den jeweiligen Kollisionspunkt vollumfänglich räumlich zu erfassen, ist ein Hereinzoomen oder auch ein Drehen des 3-D-Ankermodells individuell möglich, wodurch das Modell leichter nachvollziehbar und „erlebbar“ wird. Im Anschluss an die Optimierung der Pfahlanordnungen im 3-D-Ankermodell wird der 2-D-Verankerungsplan vom Modell abgeleitet und in der Ausführungsplanung übernommen. Im Ergebnis verbleiben einige wenige Pfähle mit erhöhtem Kollisionsrisiko, welche in der Bauausführung gesondert zu überwachen sind.

4 Herausforderungen in der Bauausführung

Die Überwachung der verbleibenden Pfähle mit erhöhtem Kollisionsrisiko erfolgt durch eine herstellbegleitende Bohrlochvermessung. Hierfür werden die Bohrungen in mehreren Intervallen auf Lagegenauigkeit überprüft.

Die Überprüfung der Zielwerte der Vermessung erfolgt auf Grundlage der vorab anhand des 3-D-Ankermodells ermittelten maximal zulässigen Abweichungen. Hierfür wird ausgehend vom Pfahldurchmesser am Pfahlkopf (= Deckfläche) entlang der Pfahllänge ein räumlicher Kegelstumpf konstruiert. Die Grundfläche des Kegelstumpfs bildet die maximal zulässige Abweichung zur Gewährleistung des erforderlichen Mindestabstands zweier kollisionsgefährdeter Bauteile.

Anhand des entstehenden Kegelstumpfs kann an jeder beliebigen Stelle bzw. nach beliebiger Festlegung der Bohrlänge eine maximal zulässige Abweichung in Form des Durchmessers des Kegelstumpfs als sogenannte „Zielscheibe“ abgelesen werden (Bild 7).

Für die Umsetzung der Verankerungsarbeiten auf der Baustelle werden die Radien der „Zielscheiben“ (= Abstand der Pfahlachsen bis zur Außenkante der Verpresskörper der Anker der Abschirmwand) an abgestimmten Bohrpunkten (Kontrollpunkt, theoretischer Kollisionspunkt) ausgewertet, tabellarisch zusammengestellt und der ausführenden Firma im Vorfeld zur Verfügung gestellt.

Im Bereich des Schlitzwandverbaus werden die Mikroverpresspfähle vor Herstellung des Kopfbalkens hergestellt. Für den Ansatz der Pfähle stehen somit keine An-

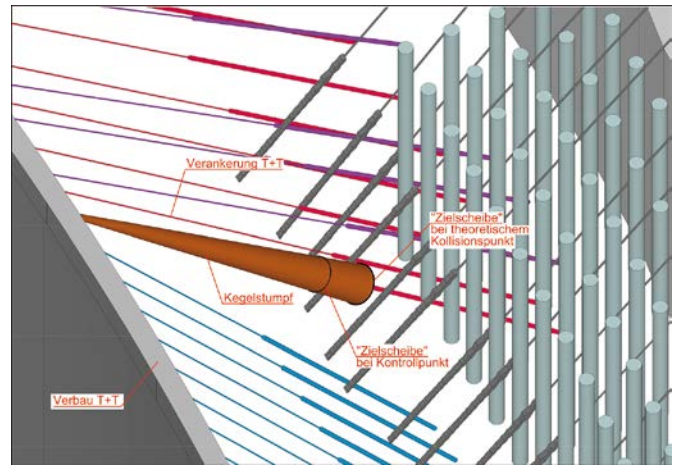


Bild 7 „Zielscheibe“ „Target“



Bild 8 Einrichten der Bohrlafette Drilling-setup

satz- und Orientierungshilfen zur Verfügung. Um dem zu begegnen, wird vorab eine Bohrschablone hergestellt, sodass die Koordinaten der Ansatzpunkte gemäß den Vorgaben der Ausführungsplanung exakt eingemessen und markiert werden können. Die Herstellung der Mikroverpresspfähle erfolgt anschließend gemäß folgender Verfahrensbeschreibung:

1. Einrichten der Bohrlafette:

An der Bohrlafette werden drei Prismen mit Magneten befestigt. Ein digitales selbstregistrierendes Präzisionsnivellier steuert die Prismen an und ermöglicht somit das Einrichten der Bohrlafette und Einstellen der Bohrrichtung, -neigung und -verschwenkung (Bild 8).

2. Bohrbeginn:

Nach dem Einrichten der Bohrrichtung wird die Bohrlafette in ihrer Lage fixiert. Nach dem Auflegen des zweiten und dritten Bohrrohrgestänges mit einer Einzellänge von 2,0 m erfolgt das Nachrichten der Bohrlafette wie unter Punkt 1. beschrieben (Bild 9).

3. Abteufen der Bohrung:

Das Abteufen der Bohrung erfolgt bei den Pfählen mit erhöhtem Kollisionsrisiko mit einer erheblich reduzierten Vorschubgeschwindigkeit und einer möglichst hohen Drehzahl auf beiden Bohrrohrsträngen.

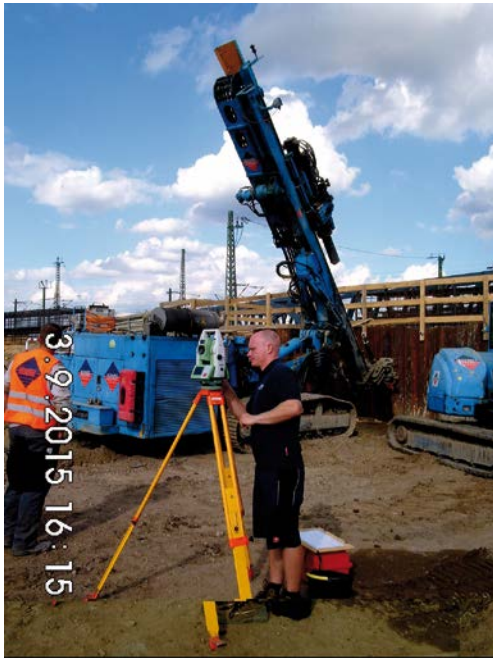


Bild 9 Einrichten der Bohrlafette
Drilling-setup

4. Bohrlochverlaufsvermessung:

Das Ziel der Messung besteht darin, durch die Erfassung der Messachsen X und Y je Messschritt über die Bohrlänge die Abweichung aus der Vertikalen und Horizontalen im Bohrlochtiefsten zu erfassen. Die Vermessung wird bei allen 44 Pfählen des Schlitzwandbereichs und fünf Pfählen des Spundwandbereichs nach dem Erreichen der Endteufe der Bohrung ausgeführt (Bild 10). Bei den Mikropfählen mit einer erhöhten Kollisionsgefahr erfolgen bereits eine zusätzliche Vermessung sowie eine sofortige Auswertung bzw. Analyse der Messergebnisse. Die jeweiligen Messergebnisse sind dann Grundlage für die weitere Vorgehensweise (Korrektur/Aufgabe/Neuansatz der Bohrung).

Die Messung erfolgt innerhalb des inneren Bohrrohrstrangs mit einer Neigungsmesssonde NMGD 30/2, System GLÖTZL (Bild 11). Um eine quasizentrische Führung der Sonde in der Bohrung zu erreichen, werden auf die Messsonde hinsichtlich des Innenmaßes der Verrohrung entsprechende Adapter montiert. Die Messung erfolgt in Messschritten von 1,0 m Messlänge. Die Messgenauigkeit je Messschritt beträgt $\pm 1,0$ mm. Die Richtungsführung der Sonde erfolgt mittels dem verdrehungsfreien Schubgestänge GVS 0/2. Die Messwerte werden über eine Schnittstelle übermittelt und unter Verwendung der GLÖTZL-Software GLNP ausgewertet und als Bohrlochverlauf dargestellt. Die Auswertung erfolgt in Zusammenarbeit mit einem 1-Mann-Vermessungstrupp und einem Messtechniker.

Nach ordnungsgemäßer Herstellung des Bohrlochs erfolgt der Einbau des Stahltragglieds GEWI $\varnothing 63,5$ mm. Der Einbau des Stahltragglieds erfolgt in einer zweifach gekoppelten Länge von bis zu ca. 38,0 m und wird nach dem kompletten Rückbau des inneren Bohrrohrstrangs in



Bild 10 Bohrlochvermessung
Drill hole measurement

einem Stück in den äußeren Bohrrohrstrang eingehoben. Der äußere Bohrrohrstrang wird vorab durch den inneren Strang hindurch vom Bohrlochtiefsten aus im Kontraktorverfahren mit Zementsuspension aufgefüllt. Vor dem Aufbringen eines maschinellen Verpressdrucks von mindestens 5 bar wird der äußere Bohrrohrstrang um ca. 1,0–2,0 m gezogen. Die Durchführung der Primärverpressung erfolgt unter Aufbringen eines maschinellen Verpressdrucks von ≥ 5 bar bei gleichzeitigem Ziehen des äußeren Bohrrohrstrangs in 2,0-m-Abschnitten.

5 Stand der Baumaßnahme

Der Auftrag wurde an die Firma Max Bögl Stiftung und Co. KG vergeben. Der Baubeginn erfolgte im April 2014. Derzeit erfolgt die zeitgleiche Errichtung der Tunnel- und Trogblöcke.

Die Herstellung der Rückverankerungen im Bereich der Abschirmwand ist bereits abgeschlossen. Mithilfe der umfassenden Planungen im Vorfeld und der durchgeführten Überwachungs- und Qualitätssicherungsmaßnahmen im Rahmen der Herstellung konnten alle Kollisionen erfolgreich vermieden werden.

Die Gesamtbauzeit des Abschnitts Tunnel und Trog beträgt ca. drei Jahre. Ferner soll die Fertigstellung des Rohbaus der Haltestelle „Elbbrücken“ bis ca. Herbst 2017



Bild 11 Messsonde NMGD 30/2
Measuring sensor NMGD 30/2

erfolgen. Die Inbetriebnahme der Linie U4 bis zu den Elbbrücken ist für Ende 2018 vorgesehen.

Beteiligte:

Bauherr:
Hamburger Hochbahn AG

Ausführendes Unternehmen:
Max Bögl Stiftung und Co. KG, Neumarkt
Neidhardt Grundbau GmbH, Hamburg (Nachunternehmer Verankerungsarbeiten)

Ausführungsplanung:
grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co.KG, Hannover

Prüfingenieur
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer – Geschäftsbereich Konstruktive Ingenieurbauwerke, Hamburg

6 Fazit

Die Umsetzung der Rückverankerung der Verbauwände der Maßnahme T+T im Einflussbereich der vorhandenen Abschirmwand stellt eine besondere Herausforderung an

die Planung und Ausführung dar. Die Risiken möglicher Kollisionen und dadurch eventueller Beschädigungen von Bauteilen gilt es durch die Planung und Bauausführung mit allen Mitteln auf ein Minimum zu reduzieren. Ein hierfür zur Anwendung gebrachtes 3-D-Ankermodell stellt bei einer vielschichtigen Aufgabe wie im vorliegenden Fall ein unabdingbares Planungsinstrument dar, welches dabei hilft, komplexe Zusammenhänge zu erfassen, Fehler zu vermeiden und Risiken zu minimieren.

Ein besonderes Augenmerk bei der Umsetzung ist dabei auf die Ausführungsqualität zu richten. Im vorliegenden Fall konnten die Anforderungen durch die technisch hochwertigen Vermessungsleistungen und vor allem durch die hohe Genauigkeit und Qualität der Bohrarbeiten sowie aufgrund der umfangreichen Erfahrungen der beteiligten Baufirmen (insbesondere des NU zur Ankerherstellung) in vollem Umfang erfüllt werden.

Die Maßnahme stellt dadurch ein ausgezeichnetes Beispiel dafür dar, theoretische Betrachtungen unter Einbeziehung aller Beteiligten erfolgreich in die Praxis überführen zu können und somit die erfolgreiche Umsetzung des Planungsziels sicherzustellen.

„Die Realität ist 3-D, also sollten wir sie (planerisch) auch so betrachten.“

Autoren
Dipl.-Ing. Björn Helfers, M.Sc.
grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG
Expo Plaza 10
30539 Hannover
b.helfers@grbv.de
www.grbv.de

Dipl.-Ing. Anika Krawczyk
grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG
Expo Plaza 10
30539 Hannover
a.krawczyk@grbv.de
www.grbv.de



INGENIEURE IM BAUWESEN

Hauptsitz Hannover
Expo Plaza 10
30539 Hannover
Telefon +49 511 98494-0
Telefax +49 511 98494-20
info@grbv.de
www.grbv.de

Niederlassung Berlin
Chausseestraße 88
10115 Berlin
Telefon +49 30 3001316-0
Telefax +49 30 3001316-20
berlin@grbv.de

Wasserbau

Hochbau

Ingenieurbau

Industriebau

Windenergie