Pfingstexkursion 2010

25.05. – 28.05.2010

für Studierende des Geotechnischen Ingenieurwesens
(Diplomstudiengang Bauingenieurwesen)

am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik
KIT – Karlsruher Institut für Technologie

Exkursionsbericht

Teilnehmer

Dr. Peter Kudella (Betreuer)

Angela Busselmaier	Michael Müller
Jeanne Ewers	Stefan Puchstein
Frank Fickenscher	Ramona Rether
Stephan Geßner	Anna Schmierer
Sonja Jaric	Viola Sielisch
Manuel Kaltenbach	Henrik Täfler
Julian Machinek	Jakob Vogelsang
Christoph Maier	Konrad Westermann

Programm

Di., 25.05.2010

7:45	Abfahrt mit 2 Kleinbussen
12:00	Düsseldorf - U-Bahn Wehrhahnlinie Los 1
15:00	Weiterfahrt Richtung Jugendherberge Sandhatten, Übernachtung

Mi., 26.05.2010

9:00	B212 Ortsumfahrung Berne
10:30	Weserfähre, Projektpräsentation im Fährhaus Farge
12:00	Weiterfahrt nach Hamburg-Schenefeld
14:00	DESY/XFEL Beschleunigertunnel Los 1+2
18:30	Weiterfahrt Richtung Kastanien-Hotel

Do., 27.05.2010

10:00	Hamburg-Bahrendorf, DESY/XFEL Baugruben Los 3
13:00	Weiterfahrt Richtung Hamburg –Hafencity
14:00	U4 Hafencity Ingenieurbau Los 1
17:00	Hamburg-Hafencity – Elbphilharmonie
19:30	Rückfahrt Richtung Kastanien-Hotel

Fr., 28.05.2010

9:00	Hamburg – U4 Hafencity Tunnelbau Los 2
12:00	Rückfahrt nach Karlsruhe

Düsseldorf - U-Bahn Wehrhahnlinie Los 1 (Bilfinger Berger)

Pünktlich nach Zeitplan kamen wir am Dienstag 25.05.2010 um 12 Uhr am Projektbüro von Bilfinger Berger in Düsseldorf an. Dort wurden wir im Präsentationsraum von Herrn Dr. Werkhäuser und Herrn Dipl.-Ing. Korzilius in Empfang genommen.

Die Besichtigung gliederte sich in zwei Teile. Zuerst bekamen wir von Dr. Werkhäuser mittels einer Powerpoint Präsentation das Gesamtbauvorhaben vorgestellt. Anschließend, mit genügend Hintergrundinformationen, besichtigten wir mit Dipl.-Ing. Korzilius mehrere Bauabschnitte.

Allgemeine Informationen

Der Bau der Wehrhahnline beinhaltet 2 Lose mit 19 Teilabschnitten, einer Tunnelröhre, sechs unterirdischen Bahnhöfen und zwei oberirdischen Haltestellen. Die Tunnelröhre hat einen Innendurchmesser von 8,3m und bietet somit Platz für zwei Richtungsgleise.

Bilfinger Berger wurde mit Los 1 beauftragt, welches 2,3 km Schildfahrt, fünf Bahnhöfe, zwei Rampenbauwerke mit Haltestelle und einen Gesamtumsatz von 300 Mio. € beinhaltet. Unterteilt wird dieses Los in einen Südabschnitt mit 1,3 km Schildfahrt und drei Bahnhöfen, und einen Ostabschnitt mit 1 km Schildfahrt und zwei Bahnhöfen. Dazwischen befindet sich das Los 1, welches den Anschluss und Ausbau des bestehenden Bahnhofs „Heinrich-Heine-Allee“ beinhaltet. Diese Arbeiten werden jedoch von einer anderen Baufirma durchgeführt.

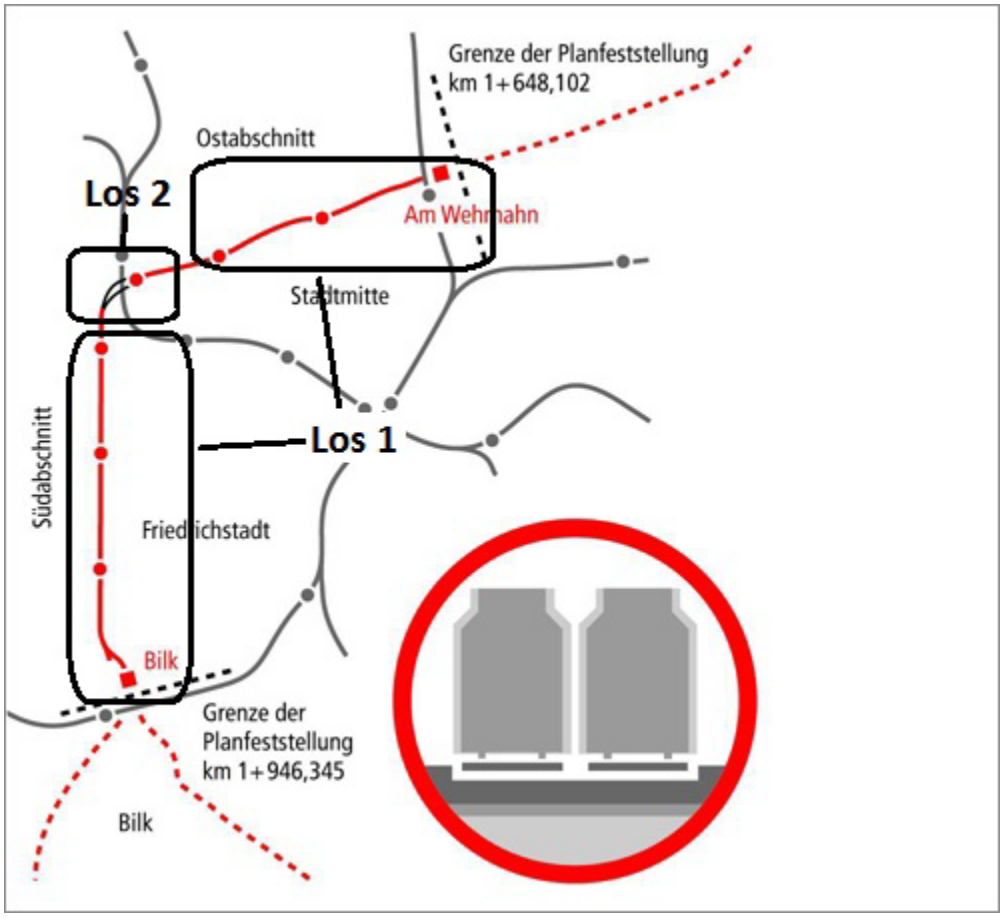

Bild 1: Übersicht Los 1 Wehrhahnlinie

Allgemeiner Bauablauf

Der Schildvortrieb der Tunnelröhre wird mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) der Firma Herrenknecht durchgeführt. Sie fährt eine Tunnelröhre auf, welche aus 2 m breiten, aneinander gereihten Tübbingringen besteht. Diese Ringe werden jeweils aus 8 Tübbingen zusammengesetzt, welche eine Stärke von 45 cm haben.

Bevor jedoch die TBM ihren Weg durch den Kies und Sand der quartären Bodenschichten bahnt, müssen an entsprechenden Stellen die Bahnhöfe in Deckelbauweise vorbereitet sein. Dies beinhaltet, dass die Schlitzwände erstellt sind und ebenfalls die Deckel auf den Schlitzwänden angeschlossen sind. Dann kann die TBM durch den noch mit Boden gefüllten Bahnhof durchfahren. Anschließend wird der gesamte Boden unterhalb des Deckels ausgehoben und die Röhre innerhalb des späteren Bahnhofs zurückgebaut. Erst dann kann mit dem eigentlichen Bahnhofsbauwerk begonnen werden.

Schlitzwandarbeiten beim Bau der unterirdischen Bahnhöfe

Wir konnten mehrere Greiferstiche des Schlitzwandgreifers beobachten. Wichtig bei Schlitzwandarbeiten ist, dass der Bentonitspiegel im Schlitz immer auf konstantem Niveau knapp unter Geländeoberkante gehalten wird, um einem Einsturz des offenen Schlitzes vorzubeugen. Dazu muss vor Ort eine Bentonitaufbereitungsanlage zur Verfügung stehen. Wenn der Greifer eine volle Ladung nach oben aus dem Schlitz herauszieht, wartet er, bis das Bentonit aus dem Greifer gelaufen ist, bevor er die Ladung auf den LKW gibt.

Bild 2: Schlitz mit Bentonit gefüllt + Bentonitzufluss

Bild 3: Schlitzwandbagger mit Schlitz zwischen den Ketten

Bild 4: Schlitzwandgreifer beim Beladen des LKW

Der Bau der Bahnhöfe bedarf großer logistischer Anstrengungen. Da der oberirdische Verkehr in Form von Fußgängern, Radfahrern, Autos, Bussen und Straßenbahn mit geringsten Beeinträchtigungen weiter fließen soll, musste der Schlitzwand- und Deckelbau am „Graf-Adolf-Platz“ in sechs Bauphasen und vier Hauptverkehrsphasen unterteilt werden. Dabei wurde mehrmals die Lage des Verkehrs verlegt. Vereinfacht gesagt wurde erst der komplette Verkehr auf die linke Seite verlegt, um auf der rechten Seite Kabel- und Versorgungsleitungsumlegungen, rechte

Schlitzwand und halben Deckel herzustellen. Anschließend wurde der Verkehr auf die frisch hergerichtete rechte Seite gelegt, um dieselben Arbeiten links machen zu können.

Zudem wurde mit einem Doppelten Deckel gearbeitet, sodass erst ein oberer Deckel unmittelbar unter der GOK gebaut wurde (damit oberirdisch der Verkehr weiterfließen kann) und anschließend die darunterliegende eigentliche Decke des Bahnhofsbauwerks.

Auf dem folgenden Bild ist die Baugrube des Graf-Adolf-Platzes zu sehen. Dieser Bahnhof hat eine Ausdehnung von 100 m x 30 m und liegt 20 m tief unter der GOK.

Bild 5: Trägerbohlwand (mitte/links); unterhalb der TBW: Oberer Deckel (Balkenartiges Bauteil); Schlitzwand mit Anker(rechts/unten)

Die umliegende Bebauung oberhalb der Tunnelröhre wurde an kritischen Stellen durch verschiedene Bodenverbesserungsmaßnahmen gegen Setzungen gesichert. So wurden beispielsweise Fundamentsicherungen und unterirdische Abschirmwände mit dem Düsenstrahlverfahren (DSV) und Bodenverdichtungen mit dem Feststoffeinpressverfahren (FEP) durchgeführt.

Berne - Neubau der B212 (Fa. Möbius)

Am 2. Tag führte unsere Exkursion zum Neubau der B212 in der Nähe von Bremen. Dort soll nördlich von Harmenhausen die Ortsdurchfahrt Berne, sowie das untergeordnete Straßennetz entlastet und eine leistungsfähige Anbindung der linksseitigen Weserhäfen und Wesermarsch an das Fernstraßennetz ermöglicht werden.

Dabei tritt das Regierungspräsidium Oldenburg als Bauherr auf. Die ausführenden Firmen sind Möbius/Bunte, denen die Fa. Huesker im Fachgebiet Geotextilien zur Seite steht.

Im Bereich des ersten Bauabschnittes stehen holozäne, wenig tragfähige Weichschichten aus organischem Klei und Torf (bis 8 m Tiefe) über pleistozänen Sanden an. Das Gebiet befindet sich im Urstromtal der Weser/Hunte und stellt in der Regel hohe Anforderungen an eine Gründung.

In diesem Fall entschied man sich für geokunststoffummantelte Sandsäulen. Ein Bodenaustausch kam aus ökologischen und ökonomischen Gründen nicht in Frage. In einem weiteren Teil des Bauabschnitts setzte man für eine geeignete Bodenverbesserung Vertikaldrains ein und entwässert mit Hilfe einer 3-4 m hohen Sandschüttung die Weichschicht.

Vertikaldränagen

Durch die Anordnung vertikaler Drains in einem Raster (ca. 80*80 cm) wird die Entwässerung in der weichen Torf- und Kleischicht stark beschleunigt. Das Wasser kann nun horizontal auf kürzestem Weg zu den Drains fließen, um von dort nach oben geleitet zu werden. Eine Sandschüttung über der Kleischicht erzeugt den Porenwasserüberdruck und den Abfluss des Wassers durch den aufgebrachten Gradienten über die Drains nach oben. Die Aufschüttung besteht aus Sand und ermöglicht den Wasserabfluss aus dem Straßendamm oberhalb des organischen Bodens zu Entwässerungsmulden an den Seiten des Dammes.

Bild 6: Bauabschnitt mit Vertikaldränagen

Es wurden Porenwasserdruckmessgeber eingebaut, um den Porenwasserdruckverlauf erfassen zu können, damit der Zustand der Entwässerung beurteilt werden kann. Die Auswertung der Daten funktioniert jedoch nur bedingt, da der Porenwasserdruck innerhalb des Torfes horizontal stark schwankt. Die Drains sind 3-7m tief. Die Drainage wird bis etwa 1 m über den tragfähigen Sand eingebaut, um eine hydraulische Verbindung zum Grundwasserleiter zu vermeiden, d.h. die Drains entwässern nur zur Oberfläche. Der Einbau erfolgt mit einer am Mäkler eines Trägerfahrzeugs geführten absenkbaren Stange, die den vliesummantelten Drainschlauch in den Boden drückt. Eine Ankerplatte hält den Drain am Fußpunkt in Position. Nach dem Einfahren der Stange verbleibt der Drain im Boden, wird oben abgeschnitten und der Vorgang beginnt von neuem. In der Stunde können bis zu 100 Dräns eingebaut werden.

Bild 7: Einbau der Drainage

Bild 8: Einstichgerät

Bild 9: Ankerplatte

Das GEC-System (Geotextile Encased Columns)

Als nächstes zeigten uns Herr Küster vom Technischen Büro und der zuständige Bauleiter Herr Sub die Herstellung der geokunststoffummantelten Säulen. Der Kunststoff besteht aus rundgewebten und sehr belastbaren, jedoch dehnbaren synthetischen Polyester-Fasern mit einer Kurzzeitzugfestigkeit von längs 100 kN/m und radial 400 kN/m. Das Geotextil wird in Rollen auf die Baustelle geliefert und dort auf die passende Länge geschnitten und vernäht. Der Einbau einer solchen Säule erfolgt mit einem Stahlrohr, welches in den Baugrund eingerüttelt wird. Die Positionierung erfolgt durch ein GPS-System im Fahrzeug. Die Spitze des Rohres ist mit einer Klappe versehen, die beim Eindringen in den Boden verschlossen bleibt, wodurch der Boden seitlich verdrängt wird.

Bild 10: Vor dem Einrütteln des Rohres

Das Tragverhalten einer geotextilummantelten Sandsäule besteht in der Wechselwirkung des inneren Sandsäulendruckes, des Ringzuges aus dem Geotextil, sowie des Erddruckes. Die statische Wirksamkeit dieses Systems wird erst seit den 1990er Jahren erforscht. Davor wurde es nur zu Filterzwecken genutzt. Vorteil dieser Gründung ist die Anpassung der Säule an den Erddruck und der sich anpassenden Säulenlänge bzw. des Durchmessers an die Randbedingungen. Werden die Säulen normal belastet steigt der innere Druck, die Säule dehnt sich, verdrängt Boden und erhöht somit den Erddruck. Setzungen der Weichschicht durch Konsolidierung wirken somit auch nicht belastend, sondern sind erwünscht, da sich dadurch der Boden verspannt und insgesamt verfestigt.

Bild 11: Füllen des Geotextilsacks

Bild 12: Gefüllte Säule

Bild 13: Ziehen des Rohres

An dieser Stelle sei noch die Zusammenarbeit der Fa. Möbius und der TU Clausthal erwähnt. Zur besseren Baugrunderkundung und der Abschätzung, ob die Säulen in die tragfähige Schicht einbinden, wurden an den Rohren Messeinrichtungen angebracht, die über Frequenzmessungen Aufschlüsse über das Material geben sollen. Diese Idee basiert auf der Grundlage, dass die Reibung von unterschiedlichen Stoffen verschiedene Töne hervorbringen.

Nach Besichtigung der Baustelle wurde unsere Exkursionsgruppe an der nahe gelegenen Weserfähre in ein Restaurant in einem alten Leuchtturm eingeladen. Dort erhielten wir eine kleine Stärkung und viele weitere interessante Informationen über die Anwendungen von Geotextilien, speziell die statische Berechnung des GEC-Systems. Die Erläuterungen erfolgten am Beispiel des Airbus-Geländes in Hamburg, wo ein Umfassungsdeich zur Landgewinnung auf 60.000 GEC-Säulen gegründet wurde.

Wir möchten Herrn Küster und Herrn Sub für die tolle, sehr informative Führung über die Baustelle ganz herzlich danken. Neben der Fa. Möbius danken wir Herrn Kortboyer von der Fa. Huesker, der uns diese Einblicke in das Bauen mit Geokunststoffen ermöglicht und mit umfangreichem Anschauungsmaterial augestattet hat.

DESY/XFEL Beschleunigertunnel Los 1+2 (Bilfinger|Berger / Hochtief)

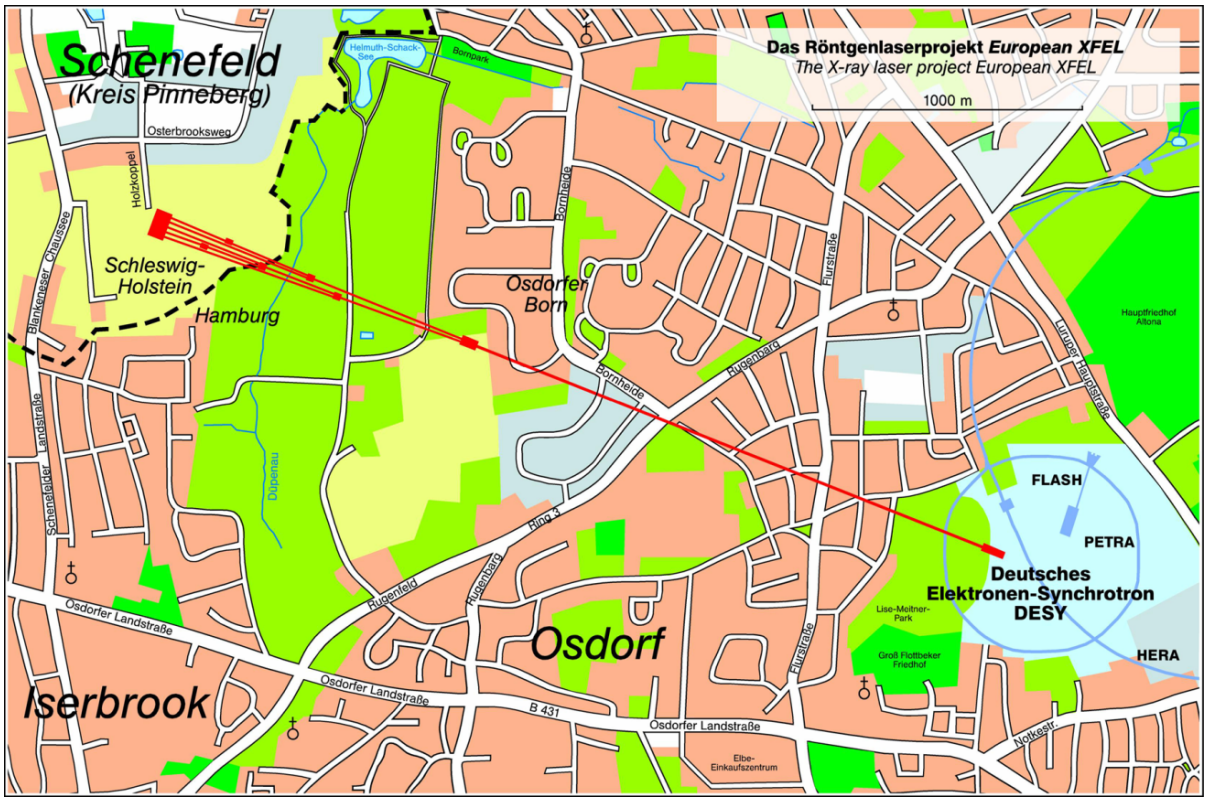

Bild 14: Unterirdischer Verlauf des Beschleunigertunnels

Einführung

Dass wir (endlich) in der Metropolregion Hamburg waren, als wir Mittwochmittag auf der Baustelle des X-Ray Free-Electron Laser (XFEL) ankamen, wurde uns ganz schnell bewusst beim Anblick des 165.000m² großen Baugeländes. Hier entsteht eine Forschungsanlage der Superlative: Der European XFEL erzeugt ultrakurze Laserlichtblitze im Röntgenbereich – 27 000-mal in der Sekunde und mit einer Leuchtstärke, die milliardenfach höher ist als die der besten Röntgenstrahlungsquellen herkömmlicher Art. Die Anlage hat weltweit einzigartige Eigenschaften und eröffnet völlig neue Forschungsmöglichkeiten für Naturwissenschaftler und industrielle Anwender. Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Bauausführung und –planung eine große Herausforderung an die bautechnische Umsetzung dar, welche von der ARGE Tunnel XFEL, einer Kooperation von Bilfinger|Berger und Hochtief umgesetzt wird.

Zahlen und Fakten, die beeindrucken

- Länge Planfeststellungsverfahren: 1,5Jahre
- Angebotskosten: 2 Mio. €
- Geplante Bauzeit: 1100 Tage / 8. Januar 2009 bis 2014
- Baufläche: 165.000 m²
- Gesamtlänge Tunnel(s): 5,8 km
- Durchmesser TBM (2Stück): 4,60m und 5,30m
- Erdaushub (Tunnel): 160.000m³
- Toleranz Tunnelausbau: 1mm
- Erdaushub (Baugruben): 180.000m³
- Einmal Auf- und Abbau der TBM: 4-8Wochen
- Bausumme: 206 Mio. €
- Maximale LKW-Fahrten/Stunde: 8 (max. 64 pro Tag)

Auf der Baustelle

Im Konferenzraum mit Kaffee und Kuchen erst einmal herzlich empfangen und gestärkt für die fast fünf Stunden dauernde Führung, bekamen wir auch gleich eine kurze Einführung von Frau Petra Folkerts, Vertreterin auf Arbeitgeberseite (European XFEL GmbH), welche einen Überblick über das Projekt und dessen Bedeutung für Forschung und Entwicklung verschaffte. Im Anschluss klärte uns Herr Tholen, Oberbauleiter von der ARGE Tunnel XFEL, über die baulichen Besonderheiten, sowie Schwierigkeiten dieser Baustelle auf:

Die Arbeiten erfolgen parallel auf drei Baustellen. Sie umfassen insgesamt acht unterirdische Bauwerke unterschiedlicher Größe, 5,8 Kilometer Tunnel und acht oberirdische Gebäude und Hallen. Sämtliche Baugruben wurden im Schlitzwandverfahren hergestellt, ohne Grundwasserabsenkung. Da schon bei 5m Tiefe Grundwasser ansteht, welches im Winter bis knapp unter GOK steigt, mussten alle Baugruben mit Steifen gesichert werden, welche das Arbeiten von schwerem Gerät auf der Baugrubensohle so gut wie unmöglich machen.

Bild 15: Tiefe Baugrube mit Aussteifungen

So mussten z.B. alle Sohlanker von Behelfsbrücken (z.B. Janson Bridging) aus in die Sohle abgeteuft werden. Den Boden der Experimentierhallen-Baugrube, welche mit Abmessungen von H x B x T von 90 x 50 x 17 bis 20 Metern die größte Baugrube bildet, besteht aus einer unter Wasser hergestellten 1,50 m dicken Betonsohle, welche zusätzlich zur Auftriebssicherung mit ca. 1200 GEWI-Ankern gesichert ist. Für deren Einbringung und zur Abdichtung der Schlitzwandfugen mussten Taucher aus ganz Europa angemietet werden, die unter widrigsten Bedingungen in den gefluteten Baugruben arbeiten. In die wasserdichten Baugruben werden die unterirdischen Hallen und Schächte eingebaut.

Bild 16: Auftauchen nach Verschrauben der GEWI-Stäbe

Die Tunnelröhren werden abschnittsweise mit zwei parallel arbeitenden Schildvortriebsmaschinen der Firma Herrenknecht hergestellt. Eine dieser TBM, die kurz zuvor auf den Namen „Hiltrud“ getauft wurde, konnten wir dann direkt beim Zusammenbau in der Baugrube beobachten. Diese größere TBM, die einen Tunneldurchmesser von 5,30 m auffährt, beeindruckte schon allein durch ihre Ausmaße.

Bild 17: TBM „Hiltrud“ beim Zusammenbau

Auf der Baustelle Schenefeld starten die beiden Tunnelbohrmaschinen, die zwischen Juli 2010 und Mai 2012 die verschiedenen Tunnelabschnitte unterirdisch herstellen werden. Dies hat den Vorteil, dass die spezielle Baustelleneinrichtung, die für den Tunnelbau notwendig ist, für alle Tunnel zentral genutzt werden kann. Ebenso für die Baustellenlogistik, wie den Materiallieferverkehr oder den Bodenabtransport, bietet die zentrale Anordnung wesentliche Vorteile. Da sich die einzelnen Baustellen in direkter Nähe zu Wohnbebauung befinden, gibt es strenge Auflagen, wie viel Baustellenverkehr zu welchen Tageszeiten die Baustellen verlassen und beliefern dürfen. Um

diese eingeschränkten Kapazitäten voll ausnutzen zu können, sowie um Schwarzarbeit bei Nachunternehmern zu verhindern, wurden die Baustellenausfahrten mit Pförtnern versehen. Damit konnte eine exakte Überwachung gewährleistet werden.

Bild 18: TBM in der Startbaugrube

Eine weitere Auflage war, dass das Abwasser der zentralen Baustelleneinrichtung in Schenefeld einer extrem gründlichen Aufbereitung zu unterliegen hatte. Daher wurde eine große Aufbereitungsanlage installiert, sowie große Rückhaltebecken angelegt, die einerseits als Sedimentationsbecken dienen und andererseits auch einen großen Puffer darstellen.

Bild 19: Wasseraufbereitungsanlage

Bild 20: Sedimentations- und Pufferbecken

DESY- Los 3 (Züblin AG und August Prien)

Nachdem wir am Vortag schon die Lose 1 und 2 des DESY-XFEL-Tunnels besichtigt hatten, waren wir am Donnerstag auf der Baustelle des Los 3. Dabei handelt es sich um eine 35 m tiefe Baugrube für den Injektorkomplex, die von einer ARGE der Züblin AG und der Firma August Prien geplant und ausgefüht wird.

Betreut wurden wir auf der Baustelle von Dipl.-Ing. Jens Grothe von der Züblin AG. Er präsentierte uns zunächst das Projekt im Besprechungsraum und erklärte die Bauweisen mit denen auf die besonderen Anforderungen der Baugrube reagiert wurde. Herr Grothe konnte sich dabei natürlich ganz auf seine Baustelle konzentrieren, da wir ja am Vortag schon eine Einführung in das Thema DESY-XFEL bekommen hatten. Nach der Präsentation machten wir dann einen Rundgang über die Baustelle, die im Bau schon sehr weit fortgeschritten war. Zum Zeitpunkt unserer Besichtigung wurde die endgültige Sohle hergestellt.

Die Baugrube hat einen unregelmäßigen Grundriss und ist etwa 100 m lang, 25 m breit und 35 m tief. Damit stellt sie schon aufgrund ihrer enormen Tiefe eine sehr anspruchsvolle Spezialtiefbauaufgabe dar. Außerdem erschwerten große Heliumtanks neben der Baustelle und eine mitten über die Baugrube verlaufende Hochspannungsleitung den Bauablauf. Wie bei allen XFEL-Baustellen sind auch die Verformungsanforderungen sehr streng. Für die Leitungstrasse musste eigens eine Brücke gebaut werden, die zusätzlich Lasten in den Verbau abträgt.

Bild 21: Blick auf die Heliumtanks unmittelbar neben der Baustelle, Grund für eine rigorose Setzungsbegrenzung.

Seitens des Auftraggebers war eine gestaffelte Baugrubenumschließung geplant, mit einer fünf Meter hohen Vorböschung, gefolgt von einer 3-fach verankerten Trägerbohlwand und schließlich einer, ebenfalls 3-fach verankerten Schlitzwand. Als Aussteifung sollte eine aufgelöste DSV-Sohle dienen und zusätzlich eine tiefliegende Injektionssohle die Dichtigkeit gewährleisten. Besonders kompliziert war die Situation im Bereich einer Leitungstrasse, die auf keinen Fall umgelegt werden

durfte. Dies erforderte noch einige Sonderlösungen, auf die später eingegangen wird. Aus verschiedenen Gründen wurde von Züblin eine andere Anordnung gewählt. Die beiden Sohlen wurden gegen eine Sohle aus Unterwasserbeton ausgetauscht, vor allem weil man Bedenken hatte, in dem dichten Sand eine undurchlässige DSV-Sohle herzustellen. Die neue Sohlkonstruktion wurde mit 25 m langen GEWI-Ankern gegen Auftrieb gesichert.

Außerdem wurde in Teilen der Baugrube die Schlitzwand direkt vom Voraushub hergestellt, damit Lasten aus Baggern und Kränen abgetragen und die Verformungen reduziert werden konnten. Aus diesem Grund wurde ihre Dicke von 1,2 auf 1,5 m erhöht und so eine höhere Steifigkeit erzielt. Man konnte sich daher auch auf fünf Ankerlagen beschränken, wobei man die vier unteren jeweils zu zwei Lagen Doppelankern zusammenfasste (natürlich mit unterschiedlichen Neigungen aufgefächert gebohrt). Dadurch konnten alle Anker über dem Grundwasserspiegel hergestellt werden, was natürlich die Herstellung sehr vereinfachte.

Bild 22: Blick in die Baugrube. Gut zu erkennen der gestaffelte Verbau im Bereich der Brücke, die Brücke selbst und die 5 Ankerlagen in der Schlitzwand.

Gerade im Bereich der Leitungsbrücke musste aber der Trägerbohlverbau beibehalten werden, da kein Platz für die Herstellung von Schlitzwänden war. Die Herstellung der Schlitzwände unter der Leitungsbrücke war eine der größten Schwierigkeiten bei der Herstellung der Baugrube. Es war einfach nicht genügend Platz für einen normalen Seilbagger und Schlitzwandgreifer. Dieses Problem wurde mit einem Bagger mit verkürztem Ausleger und Greifer behoben. Noch problematischer war aber das Einfädeln der Bewehrungskörbe. Dies wurde so gelöst, dass planmäßig bestimmte Lücken in der Leitungsbrücke freigehalten wurden, durch die die Körbe eingeführt wurden. Sobald sie einmal im Schlitz versenkt waren, wurden sie dann von einem Seilbagger an die richtige Stelle verschoben. Auf der Baustelle konnte man sich ein gutes Bild von dieser Präzisionsarbeit machen, da beim Einfädeln wirklich nur wenige Zentimeter Spiel vorhanden waren.

Bild 23: Blick auf die Wand durch die TBM fahren wird, mit der Steife zum Abtragen der Lasten bei der Durchfahrt der TBM.

Durch die Stirnseite der Baustelle wird später die Tunnelbohrmaschine fahren. Dieser Bereich ist mit Glasfaserbewehrung ausgestattet. Die Stahlbetonsteife, die auf dem Bild gut zu erkennen ist, ist wichtig zum Abtragen der Lasten beim Durchfahren der Wand.

Alles in allem handelte es sich um ein sehr interessantes Projekt mit vielen unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Aufgabenstellungen. Auch wenn der Spezialtiefbau im Grunde abgeschlossen war, konnte man sich ein sehr gutes Bild von den Bauweisen und Problemlösungen machen.

An dieser Stelle möchten wir uns noch mal herzlich bei Herrn Grothe für die kompetente und interessante Führung bedanken!

U4 Anbindung Hafen City (Züblin AG)

Bei der Baumaßnahme U4 Anschluss Hafen City wird die neu zu errichtende U-Bahn-Linie U4 an der bereits bestehenden Haltestelle Jungfernstieg in das Hamburger U-Bahn-Netz angeschlossen. Hierdurch soll eine schnelle, umsteigefreie Anbindung der HafenCity an die Innenstadt und den Hauptbahnhof hergestellt werden.

Der Bahnhof Jungfernstieg wurde bereits in den 70er Jahren unter der Binnenalster hergestellt. Hierbei wurden vorausschauend zwei weitere Bahnsteige für den Anschluss einer zukünftigen U-Bahn-Linie integriert. An diese sollen die beiden neuen U-Bahn-Tunnel anschließen.

Ausführende Firma für das Los 1 ist Ed. Züblin AG. Die Planung wurde durch die Zentrale Technik Berlin, Abteilung TBT (Technisches Büro Tiefbau) durchgeführt. Den einführenden Vortrag über das Projekt und die Planung hielt Herr Dipl.-Ing. Jens Grothe von der Zentrale Technik, bei der Baustellenbegehung wurden wir zudem von Bauleiter Herrn Dipl.-Ing. Michael Kersting begleitet.

Los 1 beinhaltet das Erstellen von zwei Zielschächten, die Anschlusskonstruktion der Zielschächte an die bestehende Station mittels Vereisungstechnik und den Bau eines Notausstiegs.

Vorarbeiten

Im Vorfeld des Projekts wurde die vorhandene Station saniert, die Bahnsteige erhöht und mit neuen Belegen versehen wie auch ein neuer Rauchabzug eingebaut. Desweiteren musste der vorhandene Schiffsanleger verlegt werden, um für die Baustelle Platz zu schaffen. Hierfür wurde eigens ein 120 m langer Ponton-Anleger errichtet, der in die Binnenalster hineinragt. Nach Abschluss des Projektes soll dieser wieder abgebaut und die erst 2006 renovierte Alsterpromenade wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückgesetzt werden.

Bild 24: Notausstieg und Fangedamm in der BInnenalster

Dem Bau ging eine aufwendige Vorerkundung voraus. Hierbei stieß man im Bereich zwischen den Zielschächten und dem Stationsbauwerk auf alte Spundwände, Anker, Stahlbetongurte, Injektionsschleier und Magerbetonverfüllungen, die von der alten Baustelle im Untergrund hinterlassen wurden. Diese Hindernisse stellen eine Erschwernis für die folgenden Berechnungen und Arbeiten dar.

Notausstieg

Neben dem Anschluss der neuen Tunnel muss ein neuer Notausstieg für die bestehende U-Bahn-Station Jungfernstieg gebaut werden. Für diesen wurde ein Fangedamm in der Binnenalster errichtet. Die Spundwände mit einer Länge von 12 m wurden von Pontons aus bis auf 10 cm an das vorhandene Stationsbauwerk einvibriert. Die verbleibenden 10 cm wurden mit dem DSV-Verfahren abgedichtet, um die Bitumenabdichtung zu schützen und die Dichtigkeit zu gewährleisten. Mit 1,5 l/(s*1000m²) galt des Fangedamm als dicht. Die inneren Spundwände wurden mit Ankern in den Damm rückverankert und ausgesteift. Die Aussteifungslagen haben die Baustelle aus baubetrieblicher Sicht jedoch eingeschränkt.

Im Schutz des Fangedamms wurde der Fluchttunnel als Weiße-Wanne-Konstruktion hergestellt. Besonderes Augenmerk galt dem Anschluss des WU-Beton-Tunnels an die bestehende Station, welche als schwarze-Wanne ausgeführt war. Der dichte Anschluss wurde an die Bitumen-Abdichtung mittels eines Fugenbands, welches Dehnungen aufnehmen kann, und Verpressschläuchen sicher gestellt.

Zielschächte

Für den Anschluss der U-Bahn-Linie wurden zwei Zielschächte benötigt. Sie dienen als Endpunkt für den TBM-Vortrieb und Ausgangspunkt für den sicheren, wasserundurchlässigen Anschluss an den bestehenden Bahnhof.

Die beiden Zielschächte wurden in ca. 3 m Abstand zur U-Bahn-Station mit überschnittenen Bohrpfahlwänden hergestellt. Die Bohrpfahldurchmesser betragen 1,20 – 1,50 m und sind mit einer Tiefe von 35 m in einen Stauer aus Geschiebemergel eingebunden. Die Aushubtiefe beträgt 25 m. Durch die in die wasserundurchlässige Schicht eingebundenen Bohrpfähle konnte die Bodenplatte (1 m stark) ohne Rückverankerung und Abdichtung ausgeführt werden. Ausgesteift wurden die Schächte aufgrund der bis zu 21 m großen Wassersäule mit drei Steifenlagen aus 1000er Profilen.

Bild 25: Zielschacht 1 mit ausgesteifter überschnittener Bohrpfahlwand

Einer der beiden neuen Tunnel ist bereits fertiggestellt und mit dem Zielschacht verbunden, der zweite Tunnel befindet sich im Bau.

Zum Zeitpunkt des Durchbruches der TBM in den Zielschacht musste dieser zum Gegendruck für die Hydroschildmaschine mit Sand und Wasser verfüllt werden. Die vorderen Komponenten wurden im Zielschacht demontiert und für den Bau des zweiten Schachts in die Hafencity zurück transportiert. Der Schildschwanz konnte wieder im vorhandenen Tübbing-Tunnel zurückgezogen werden.

Im Bereich des TBM-Durchbruchs wurden die Bohrpfähle mit GFK-Bewehrung (spröde) versehen um eine Schädigung des Schneidrads zu vermeiden. Zudem wurden die über dem Durchbruch befindlichen Bohrpfähle auf einen Stahlbetonbalken rückverankert. Im Vorfeld der zu durchfahrenden Bohrpfahlwand wurde ein Dichtblock hergestellt und eine Räumungsbohrung durchgeführt, um Schädigungen am Schneidrad durch Hindernisse zu minimieren.

Verbindung Zielschächte-Stationsgebäude

Die große Schwierigkeit der Baumaßnahme stellt die Verbindung der Zielschächte zum vorhandenen Stationsbauwerk dar. Hindernisse im Baubereich und eine Mudde-Schicht ließen als Bauverfahren nur eine Bodenvereisung in Form eines umlaufenden Rings zu. Ein DSV-Block wurde aufgrund der zahlreichen Hindernisse und der hierdurch entstehenden Sprühschatten, möglichen Beschädigungen der Schwarzabdichtung des Stationsbauwerks und der schwer sicherzustellenden Wasserdichtigkeit verworfen. Eine Verbesserung der Mudde-Schicht durch eine Stickstoffvereisung konnte wegen der Gefahr des Einfrierens der Sole in den naheliegenden Gefrierlanzen nicht durchgeführt werden.

Für das Vereisen wurden im oberen und unteren Bereich des Tunnelrings die Vereisungslanzen horizontal vom Zielschacht bis auf 20 cm an das Stationsbauwerk eingebracht, in den seitlichen Bereichen aufgrund der geringen Breite der Zielschächte vertikal von der Oberfläche. Zum Gefrieren hat man eine Solevereisung mit einer Vorlauftemperatur von -35°C gewählt. Die Gefrieranlage ist mit einer Leistung von 4 MW für den Normalbetrieb überdimensioniert, muss aber für einen Havariefall in dieser Größe vorgehalten werden. Nachdem der Boden bis auf die benötigte Temperatur von -10°C gekühlt ist, werden in der 1. Bauphase die Bohrpfähle und das Bodenmaterial bis zur vorhandenen Spundwand mit Fräsen entfernt. Im Anschluss erfolgt die Sicherung mit Spritzbeton. Im der 2. Bauphase wird die Spundwand abgebrannt, das Material bis zur Wand des Stationsbauwerk ausgefräst und mit Spritzbeton gesichert. In der 3. Bauphase erfolgt der wasserdichte Anschluss an das als Schwarze-Wanne ausgeführte Stationsbauwerk. Hierfür wird an einen bereits beim Bau der Station installierten Stahlring ein Fugenband angeschlossen. Zuletzt wird ein neun Tonnen schwerer, auf der Baustelle vorgefertigter Bewehrungsring eingebaut und die Tunnelwand (WU-Beton) betoniert.

Bild 26 + Bild 27: Verbindung zwischen Zielschacht und Stationsbauwerk mit dem Gefrierverfahren

Erschwert wurde der Anschluss durch das enge Zeitfenster von nur 21 Tagen für den Ausbruch des Materials und die Sicherung mit Spritzbeton. Grund hierfür ist das starke Kriechen des Eises und der Mudde-Schicht welches mit einer FE-Berechnung simuliert wurde.

Bild 28: Vorgefertigte Ringbewehrung

Planung und Überwachung

Die Ausführungsplanung stellte sich insgesamt als sehr kompliziert heraus und dauerte 1,5 Jahre. Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit musste in einem Spannungsfeld aus Zeit, Bauablauf, gefrorener Schwarzabdichtung, Kriechen des Eiskörpers und den bodenmechanische Eigenschaften der gefrorenen Mudde-Schicht geführt werden.

Bei der Berechnung mit dem FE-Programm PLAXIS mussten die Steifigkeiten wie auch die Wirkrichtungen der Hindernisse erfasst werden um die Verformungsprognose von 12 mm auf einen noch geringeren Betrag senken zu können und so die Konstruktion zu ermöglichen.

Der Gefriervorgang wurde durch ein aufwendiges Messverfahren, begleitet von der TU Braunschweig, ständig überwacht. Dies ermöglicht die Kontrolle der für die Berechnung angesetzten Kenngrößen wie auch eine Echtzeit-Überwachung des Gefriervorgangs.

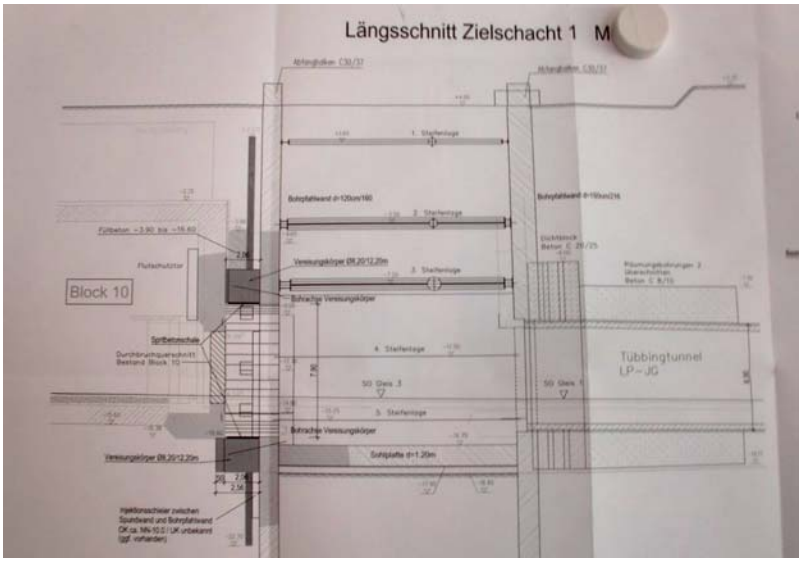

Bild 29: Längsschnitt Anschlussstelle

Elbphilharmonie Hamburg

Am späten Donnerstagnachmittag trafen wir am Informationspavillon in der Hafencity ein, um einen Überblick über das gesamte Projekt „Elbphilharmonie“ zu gewinnen.
Zunächst präsentierte uns Frau Sörensen den geschichtlichen Hintergrund der Hafencity und insbesondere des alter Speicherbaus, der nun zum modernen Konzerthaus umfunktioniert werden soll.
Im Jahre 1877 wurde der Kaiserspeicher am heutigen Standort der Elbphilharmonie erbaut und setzte somit den Grundstein für die Speicherstadt, die von 1881 bis 1888 im Zuge des durch den Ausbau des Binnenhafens zunehmend benötigten Lagerbedarfs errichtet wurde. Der Vorteil des Standortes war die seeschifftiefe Wasseranbindung von drei Seiten.

Bild 30: Speicherstadt, Wasserwege

Bild 31: Holzpfahlgründung

Gegründet wurde das gesamte Stadtviertel auf Eichenpfählen.

Der Aufbau der einzelnen Gebäude ähnelte sich darin, dass sich im Erdgeschoss der Verkaufsraum befand, darüber die Büroflächen, welche an den Wohnraum anschlossen und durch den darüber liegenden Speicherraum begrenzt war. Hierdurch sollte der Diebstahl der Lagergüter erschwert werden.

Durch Seilwinden wurden diese Güter dann auf die anliegenden Schiffe in den direkt angrenzenden Schiffstraßen herabgelassen.

Durch die immer fortschreitende Umstrukturierung wurden die Wasserhauptwege durch Straßen ersetzt. Das hatte zur Folge, dass auch ein Wandel im Nutzen der Speicherstadt zu verzeichnen war.
Im zweiten Weltkrieg wurde der Kaiserspeicher sowie große Teile der Speicherstadt zerstört und erst wieder ab dem Jahr 1963 als „Kaispeicher“ aufgebaut.

Dies war der erste industriell nutzbare Speicher, er wurde auf 1111 Betonpfähle gegründet und in ihm konnten bis zu 3800 kg/m² gelagert werden, vorwiegend Kakao und Kaffee.

Aufgrund der immer größer werdenden Frachtschiffe musste man den Hafen elbabwärts in tieferes Gewässer verlagern. Als Eigentümer des Hafens wollte die Stadt dem stetig wachsenden Bedarf an Wohn- und Arbeitsfläche nachgehen und beschloss den Umbau des Quartiers zur „Hafencity“.

Nun stellte sich die Frage, wie der Kaispeicher weiter benutzt werden sollte.

Aus Sicht der selbsternannten Medienhauptstadt Hamburg sollte am Eingang der Hafencity ein Prestigebau für die Medienwelt entstehen. Diese Idee wurde nach der Medienkrise 2001 jedoch wieder verworfen. Nun sollte auf die musikalische Ausprägung Hamburgs gesetzt werde: der Architekt und Projektentwickler Alexander Gérard entwickelte das Konzept der Elbphilharmonie als Alternative zusammen mit dem schweizer Architekturduo Herzog & de Meuron.

Nach den ersten Ideen im Jahr 2002 folgte der Baubeginn im April 2007. Erstschätzungen von 70 Mio.€ vervielfachten sich bis heute auf tatsächliche 323 Mio.€, was größtenteils auf den „falschen“ Ablauf der Planung zurückzuführen sein soll: man machte den Fehler, zuerst das Gebäude zu entwerfen und danach den Akustiker ausmessen zu lassen, was wiederum Neuplanungen zur Folge hatte.

Bild 32: Elbphilharmonie im Bau

Der Generalunternehmer der Baustelle ist die Hochtief AG.

Im Mai 2012 soll die Eröffnung stattfinden, welche sich allerdings durch den Bau des großen Konzertsaals nochmals verzögern wird.

Zu Baubeginn wurde zunächst der Kaispeicher entfernt und mit weiteren 600 Ortbetonpfählen nachgegründet. Durch den 60 m langen Durchbruch im Eingangsbereich in der 80 m langen Fassade muss der Kern des Gebäudes das Gewicht tragen. Aufgrund des Sturmflutschutzes muss der Vorplatz 8,50 m hoch liegen. Im Keller des Gebäudes sollen ein Parkhaus, ein musikpädagogischer Bereich sowie ein kleiner Saal mit 170 Plätzen entstehen.

Ab dem 6. Obergeschoss schließen Wellnessbereiche und Büroräumlichkeiten an. Das komplette 2. Untergeschoss soll als Versorgungsebene genutzt werden. Im 8. Obergeschoss entsteht der für jeden zugängliche Eingangs- und Aussichtsbereich, der ringsum von einem Balkon umschlossen wird, das

„Plaza“. Hierüber befindet sich der bernsteinfarbene große Konzertsaal, der Platz für 2150 Personen bietet und im Weinbergformat (Orchester in der Mitte des Saales) gebaut wird.

Aufgrund der besonderen akustischen Ansprüche wurde ein Holzmodell im Maßstab 1:10 gebaut, worin der Akustiker Yasuhisa Toyota seine Messungen mit Hilfe von Dummies durchführen konnte. Dieses Modell kann man heute im Informationspavillon besichtigen. Als Ergebnis entwickelte er einen Reflektor als akustisches Element, der verhindern soll, den Schall in der Zwiebelspitze des Saales zu verlieren und diesen gleichmäßig beschallt.

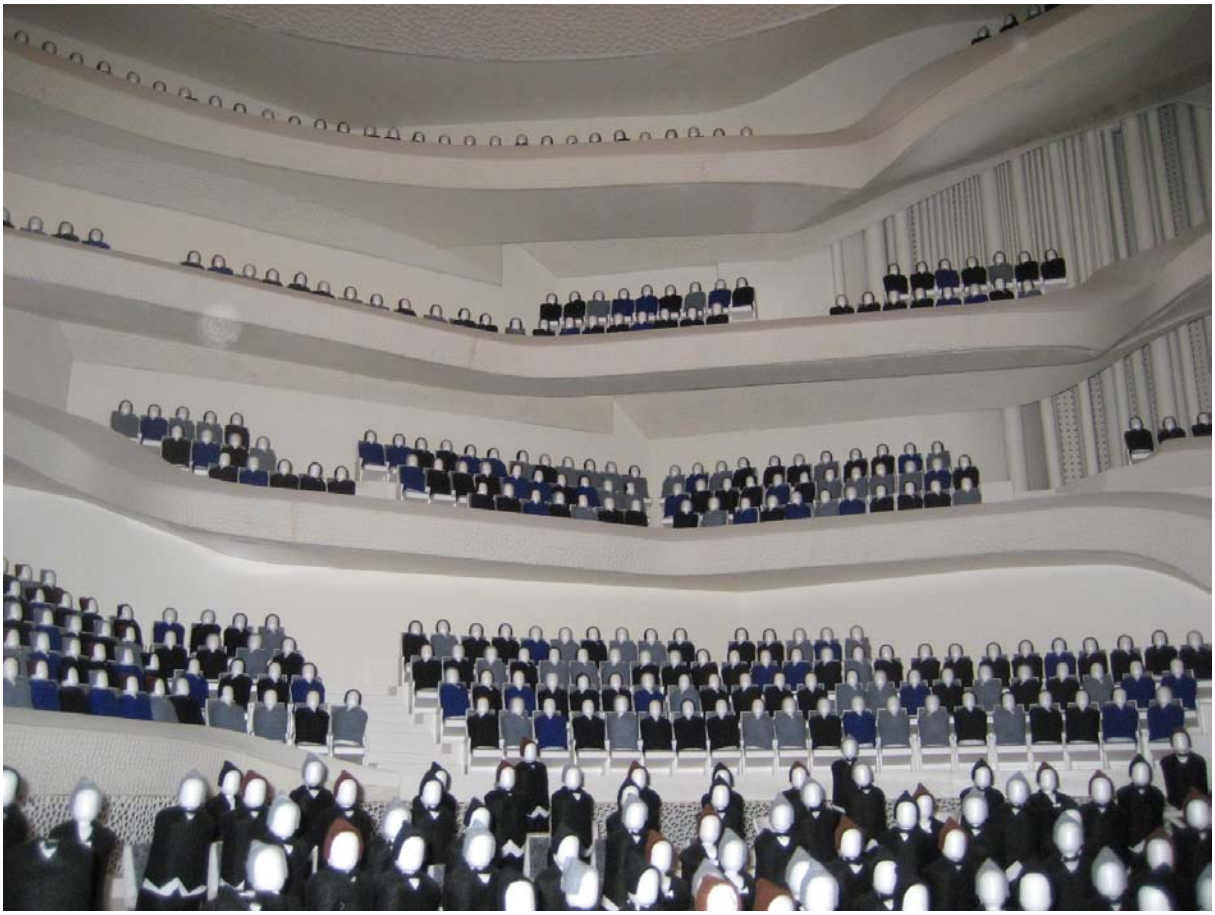

Bild 33: Großer Konzertsaal im Modell

Weiter wurde ein spezielles Gips-Betongemisch als Wandputz verwendet, sowie die Brüstungswinkel so angepasst, dass die Akustik direkt ins Ohr der Zuhörer geleitet wird, denn nur 5 % des Schalls gelangen direkt vom Instrument ins Ohr, der Rest wird über die Umgebung reflektiert.

Ziel der Elbphilharmonie soll es sein, sich unter den 10 besten Konzertsälen weltweit zu etablieren.

Bild 34: Wandputz und Brüstungswinkel

Baustellenbesichtigung U4 HafenCity Los 2

Die ARGE U4 HafenCity, bestehend aus Hochtief AG, Ed. Züblin AG, Aug. Prien und HC Hagemann, baut im neuen Hamburger Stadtteil eine U-Bahn Anbindung an die Innenstadt. Als Vorhabenträger wurde die Hamburger Hochbahn AG mit der Realisierung und Planung dieses Projektes beauftragt. Über die Baustellen führte uns Herr Rainer Schoenke, ein ehemaliger Mitarbeiter der ARGE.

Das Los 2 umfasst zwei Haltestellen, Überseequartier und HafenCity Universität, vier Notausstiege (ABC-Straße, Alter Steinweg, Alsterfleet, Dalmannkai) und 4 km U-Bahn Strecke. Beide Haltestellen und 1,2 km des Tunnels werden in offener Bauweise ausgeführt. Die Verbindungsstrecke Überseequartier - HafenCity Universität wird zweigleisig ausgebaut. Die restlichen 2,8 km Tunnel werden im Schildvortrieb erschlossen.

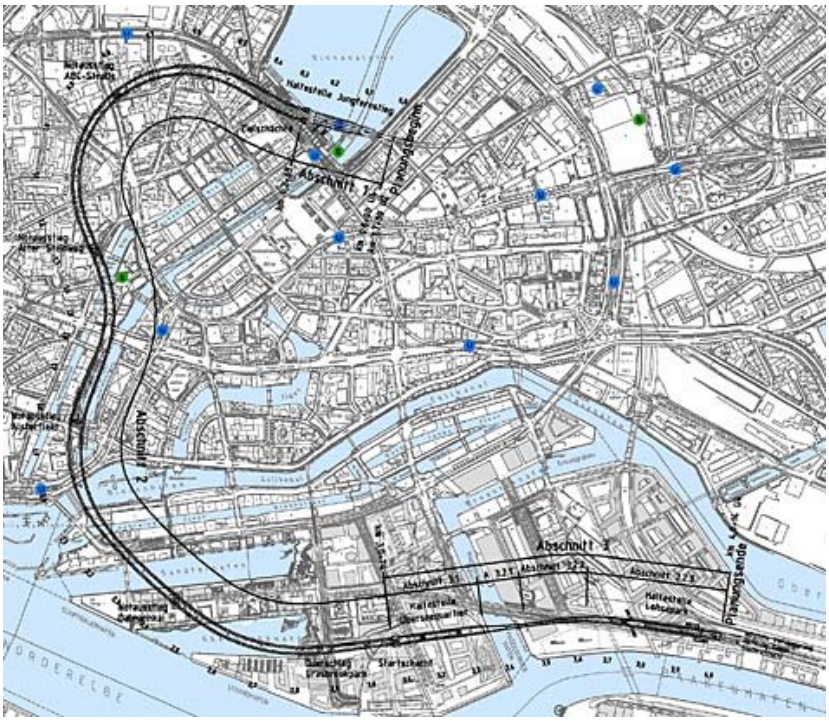

Bild 35: Geplanter Verlauf der U4

In zwei Bohrdurchgängen entstehen zwei eingleisige Röhren mit je 6,57 m Außendurchmesser. Dabei müssen 120 Grundstücke unterfahren werden. Durch die Notausstiege wird ein maximaler Fluchtweg von 300 m im Tunnel gewährleistet.

Die U-Bahn soll in Zukunft den südlichen Teil des entstehenden Stadtteils HafenCity mit ihren 20.000 Wohnungen und 40.000 Arbeitsplätzen an die Innenstadt und den Hauptbahnhof anschließen. Somit ermöglicht sie, dass man den Hauptbahnhof von der Haltestelle Überseequartier in 5 Minuten erreichen kann. Man geht von einer Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h aus.

Täglich werden geschätzte 35.000 Personen die Linie nutzen. Eine Haltestelle an der Elbphilharmonie wird es aus Kostengründen nicht geben. Dadurch konnte man Wirtschaftlichkeit nachweisen und Fördermittel vom Bund in Höhe von 40 % erhalten.

Die Haltestelle HafenCity Universität wird unter dem Thema „Hafen und Container“ stehen, mit blechverkleideten Wänden und containerförmigen LED-Beleuchtungselementen. Die Station Überseequartier wird unter dem Thema „Unterwasserwelten“ gestaltet, mit einem 17,6 m breiten und 8 m hohen säulenlosen Profil.

Der Baugrund ist durch wechselnde Schichten geprägt. Sie bestehen aus Sand, Kies, Torf, Geschiebemergel, Geschiebelehm und Glimmerton. Beim Tunnelvortrieb ergeben sich Verschleißerscheinungen an der TBM, da die Stützflüssigkeit Bentonit den Glimmerton erweichen lässt und die Meißel verklebt.

Unsere Führung begann an einer wassergefüllten Schlitzwandbaugrube, in der ein Ausstieg zu der Haltestelle HafenCity Universität entstehen wird.

Die Baugruben der Haltestellen werden im Schlitzwandverfahren hergestellt und mit Stahl und Beton ausgesteift. Die Schlitzwände für die Endhaltestelle Hafencity Universität, dessen Rohbau im Mai 2010 nach 13 Monaten Bauzeit fertiggestellt wurde, werden bis zu 55 m tief mit dem Schlitzwandgreifer gegraben, um in den Geschiebemergel einzubinden. Die Lamellen sind bis zu sieben Metern lang. Während des Aushubs wird der Schlitz mit Bentonitsuspension gestützt. Die Wandstärke beträgt 1,20 m.

Bild 36: Schlitzwand

Bild 37: Geotextilbewehrte Steilböschung

Die Baugrube für den Tunnel östlich des Magdeburger Hafens werden Stahlbetonschlitzwände bis zu 50 Metern in die Sperrschicht aus Geschiebemergel eingebunden. An anderen Orten ist dies nicht möglich, da die wasserführende Sande und Kiese tiefer als 50 m reichen. Dort werden rückverankerte Unterwasserbetonsohlen erstellt.

Zusätzlich werden sie mit Wänden aus I-Stahlprofilen und Beton Fertigteilen vor Sturmfluten geschützt. Die Tunnelstrecke zwischen den beiden neuen Haltestellen wird zu einem späteren Zeitpunkt mit der zur Zeit verschwenkten Versmannstraße überbaut, um Belastungen durch Gebäude zu vermeiden.

Im Bauabschnitt Magdeburger Hafen muss eine Wasserstraße durchkreuzt werden. Hier werden Spundwandprofile mit verankerter Unterwasserbetonsohle von 1,50 m Dicke eingebracht, um die Baugrube zu erstellen. Die Stahlprofile werden durch eng sitzende Schlösser zu einer Kombinationsspundwand verbunden. Sie ist beidseits gegurtet und durch Rohrsteifen gestützt. Weiterhin wird auf die Decke des Tunnels eine Schicht Eisensilikatgestein aufgeschüttet, um sie gegen Beschädigung durch Schiffe zu schützen. Der Hochwasserschutz der westlichen Baugrubenwand wird durch eine geotextilbewehrte Wand gewährleistet.

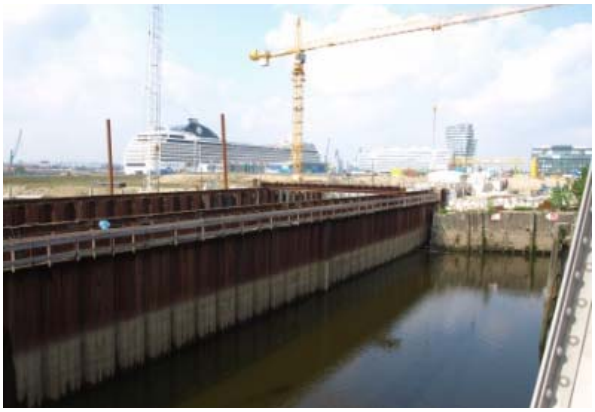

Bild 38: Bauabschnitt Magdeburger Hafen

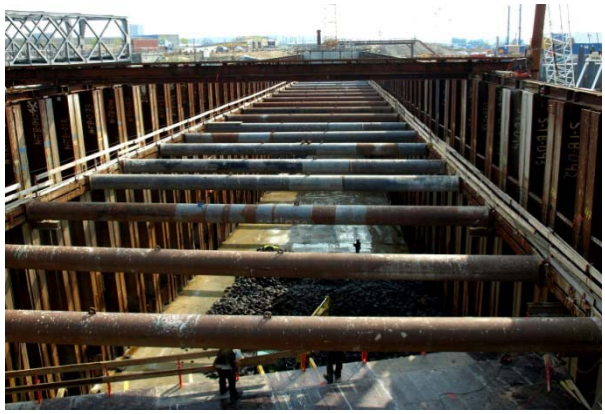

Bild 39: Steifenlagen

Danach besichtigten wir die Baustelle Überseequartier, deren Rohbau fertiggestellt ist. Bei der Baugrubenumschließung der Haltestelle Überseequartier waren Schlitzwände erforderlich, und zusätzlich drei schwere Steifenlagen aus Beton und Stahl. Die Wände wurden ca. 2 m in den Glimmerton eingebunden. Der Rohbau dieser Haltestelle erfolgte von oben nach unten. Zunächst wurde in der Baugrube das Grundwasser abgesenkt. Danach wurde bis auf zwei Aushubhorizonte freigegraben, an denen die obere Steifenlage aus Stahl und die untere Steifenlage aus Beton montiert werden. Der dritte Aushubhorizont ermöglicht die Herstellung der Tunnelsohle aus Stahlbeton. Um den Startschacht vor Hochwasser zu schützen, wurde dort auf den Kopf der Schlitzwände ein wasserdichter Verbau gesetzt und ausgesteift.

Bild 40: Station Überseequartier

Bild 41: Rohbau unterirdische Haltestelle

Die Bewehrungskörper sind hier elektrisch verbunden, um Streuströmen der mit 750 Volt Gleichstrom betriebenen U-Bahn entgegenzuwirken und einen Korrosionsschutz zu garantieren. Verpressschläuche dichten die Fugen der Schalungsabschnitte ab. Damit genug Platz ist, um die Umrüstung auf neue Systeme reibungsfrei zu gewährleisten, sind doppelt so viele Technikräume vorhanden als gebraucht werden. So kann das neue System getestet werden während das alte noch läuft.

Der hinter der Haltestelle Überseequartier liegende Startschacht ist mit einer Schlitzwand abgetrennt und stellt das Ende der offenen Bauweise dar. Die Dimensionen des Startschachts sind so gewählt, dass die Tunnelbohrmaschine darin vollständig aufgebaut werden kann.

Die maßangefertigte Tunnelvortriebsmaschine, die V.E. R. A. getauft wurde, ist 74 m lang und 650 t schwer. Sie hat die Aufgabe, zwei Tunnel von 2,8 km Länge bis zum Zielschacht aufzufahren, der sich am Verkehrsknoten Jungfernstieg befindet. Ihre Taufnamen lauten Inga 1 und 2. Die TBM besteht aus einem 6,57 m großen Schneidrad und anderen Elementen. Sie ist vor allem verantwortlich für die Montage der Tübbinge. Mit Hydraulikpressen schiebt sie sich an den bereits verarbeiteten Tübbingringen vorwärts. Da am Anfang des Tunnels noch keine Möglichkeit besteht, sich in dieser Weise abzustützen, wird die Maschine an einem in der Baugrube verankerten Stahlring in den Boden gezogen. Die Versorgung mit Frischluft und Strom wird durch Rohre zur Baugrube gewährleistet. Des Weiteren gibt es eine Wasserpumpe, die bei Grundwassereintritt die Mannschaft schützen soll. Die Vortriebsgeschwindigkeit beträgt 10 m pro Tag, das bedeutet eine Herstellung von 6 - 10 Tübbingringen pro Tag. Die TBM benötigt neun Monate für eine Tunnelröhre bis zum Jungfernstieg. Den tiefsten Punkt erreicht sie am Alten Steinweg, dort arbeitet sie mehr als 40 Meter unter der Erde.

Bild 42: Startpunkt der TBM (linke Röhre mit Anfahrkonstruktion)

Bild 43: fertiger U-Bahn Tunnel

Die Ortsbrust ist ständigem Druck ausgesetzt. Von oben lasten Boden und Grundwasser auf ihr, und in der Waagerechten drückt der Schildvortrieb. Damit die Erdmassen unter solchem Druck nicht nachgeben und einbrechen, wird die Ortsbrust mit einer Stützflüssigkeit (wie beim Schlitzwandverfahren) stabilisiert. Dazu verwendet man hier wiederum die Bentonit-Suspension. Der abgebaute Boden wird mit einer Bentonit-Suspension zu einem pumpfähigen Gemisch vermengt und durch eine mitgeführte Rohrleitung durch die fertig gestellte Tunnelröhre zurückbefördert. In der HafenCity werden Erdreich und Bentonit wieder getrennt, das Bentonit wird aufbereitet und wiederverwendet und durch ein weiteres Rohr erneut zur Maschine geleitet. Die Tübbinge werden als Fertigteile aus dem Münsterland von der Firma Griecher geliefert. Der Transport der Tübbinge zu der TBM erfolgt durch eine Lorenbahn. Die Betontübbinge werden für das U4-Bauprojekt so genau berechnet und hergestellt, dass der Tunnelring insgesamt nur maximal 10 mm vom festgelegten Maß abweichen darf, damit der Tunnel seine Strecke einhält. Sie sind mit Neopren-Fugenbändern ausgestattet, um die Abdichtung gegen Grundwasser sicherzustellen. Die Tübbinge werden beim Einbau zuerst miteinander fixiert und danach wird die Verbindung zwischen ihnen wieder gelöst, um Setzungen und Bewegungen des Bodens zulassen zu können. Der Hohlraum zwischen den Tübbingen und dem Boden wird mit Mörtel verpresst. Bei Undichtigkeiten wird nachträglich nochmals verpresst. An der Ortsbrust können Temperaturen von 30° bis 35° erreicht werden.

Vielen herzlichen Dank an die ARGE U4 HafenCity und an Herrn Dipl.-Ing. Rainer Schoenke für die lehrreiche und interessante Präsentation und Baustellenführung. Sie haben uns sehr gut gefallen!