



Technische Universität München

Lehrstuhl für Massivbau

HAMBURG - KOPENHAGEN

Exkursion 25.-30. September 2023



VORWORT

Die Vertieferexkursion 2023 sollte die Studierende nach langer Pause wieder einmal in ein anderes Land führen, um andere Bau- und Denkweisen, Großprojekte und deren Besonderheiten kennenzulernen. Mit dem größten Absenktunnel der Welt zwischen Deutschland und Dänemark und einem wunderschönen Zwischenziel in Hamburg hieß es Koffer packen und ab in den Norden.

26 Studierende der Technischen Universität München erhielten dabei die Gelegenheit, im Zeitraum vom 25. bis 30. September 2023 einen einzigartigen und umfangreichen Einblick in den Ablauf und die Abwicklung nationaler und internationaler Großprojekte zu erhalten. Außerdem konnten die kulturellen Gegebenheiten in Dänemark und die hanseatische Leichtigkeit entdeckt werden.

Die vom Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München organisierte Exkursion führte die Studierenden des Studiengangs Bauingenieurwesen zu zahlreichen interessanten Baustellen des Hoch-, Tief- und Ingenieurbaus. Sie ermöglichte tiefe Einblicke in die Bau- und Denkweise von Länderübergreifenden Großprojekten und die damit verbundene Zusammenarbeit großer Firmenkonsortien.

Derartige Studienreisen bewirken, die im bisherigen Studium erlangten theoretischen und fachlichen Kenntnisse durch Erkundungen von Baustellen sowie Diskussionen mit Bau- und Projektbeteiligten vor Ort in praktischem Zusammenhang zu sehen. Die Studierenden konnten sich untereinander und direkt mit den Projektbeteiligten fachlich austauschen und erhielten nicht nur fachliche Informationen über das Projekt, sondern auch über das berufliche und gesellschaftliche Leben und Arbeiten im Ausland, explizit in einem großen Ingenieurconsultant.

Erst die großzügige Unterstützung der TUM School of Engineering and Design und des Fördervereins Massivbau der TU München e.V. ermöglichte uns diese erlebnisreiche Exkursion zu realisieren. Aus diesem Grund möchten wir uns an dieser Stelle nochmals herzlichst bei allen bedanken. Mit diesem Exkursionsbericht sollen die zahlreichen und intensiven Eindrücke und Erfahrungen der Exkursionsteilnehmerinnen und –teilnehmer in Wort und Bild zusammengefasst werden und einen kleinen Einblick in all die gewonnenen Erlebnisse dieser unvergesslichen Reise ermöglichen.

München, im Oktober 2023

Technische Universität München

Lehrstuhl für Massivbau

Univ.-Prov. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer

Oktober 2023

Organisation: F. Rauch, S. Lamatsch

Bearbeiter Exkursionsbericht: S. Lamatsch

Berichte: Exkursionsteilnehmerinnen und -teilnehmer

Die Verfassung der Berichte dieses Exkursionsberichts erfolgte durch die Studierenden.

Nicht anders gekennzeichnete Abbildungen stammen von den Exkursionsteilnehmerinnen und –teilnehmern, die auf deren Zustimmung verwendet werden durften.



TEILNEHMER

LEHRSTUHL FÜR MASSIVBAU

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Oliver Fischer

Sebastian Lamatsch, M.Sc.

Fabian Rauch, M.Sc.

Mohammad Olabi, M.Sc.

STUDIERENDE

Veronika Bauer

Jannik Ziegltrum

Ariane Focke

Markus Öschay

Manuel Bauer

Antonia Bader

David Scheidt

Annika Weweck

Leonhard Rieder

Selina Stocker

Lukas Hirschvogel

Jakob Kellnberger

Alexander Borgwardt

Paula Lory

Maximilian Wolf

Luisa Feig

Katharina Tischner

Michael Durisic

Sarah Rauch

Hanna Rehm

Maximilian Hendricks

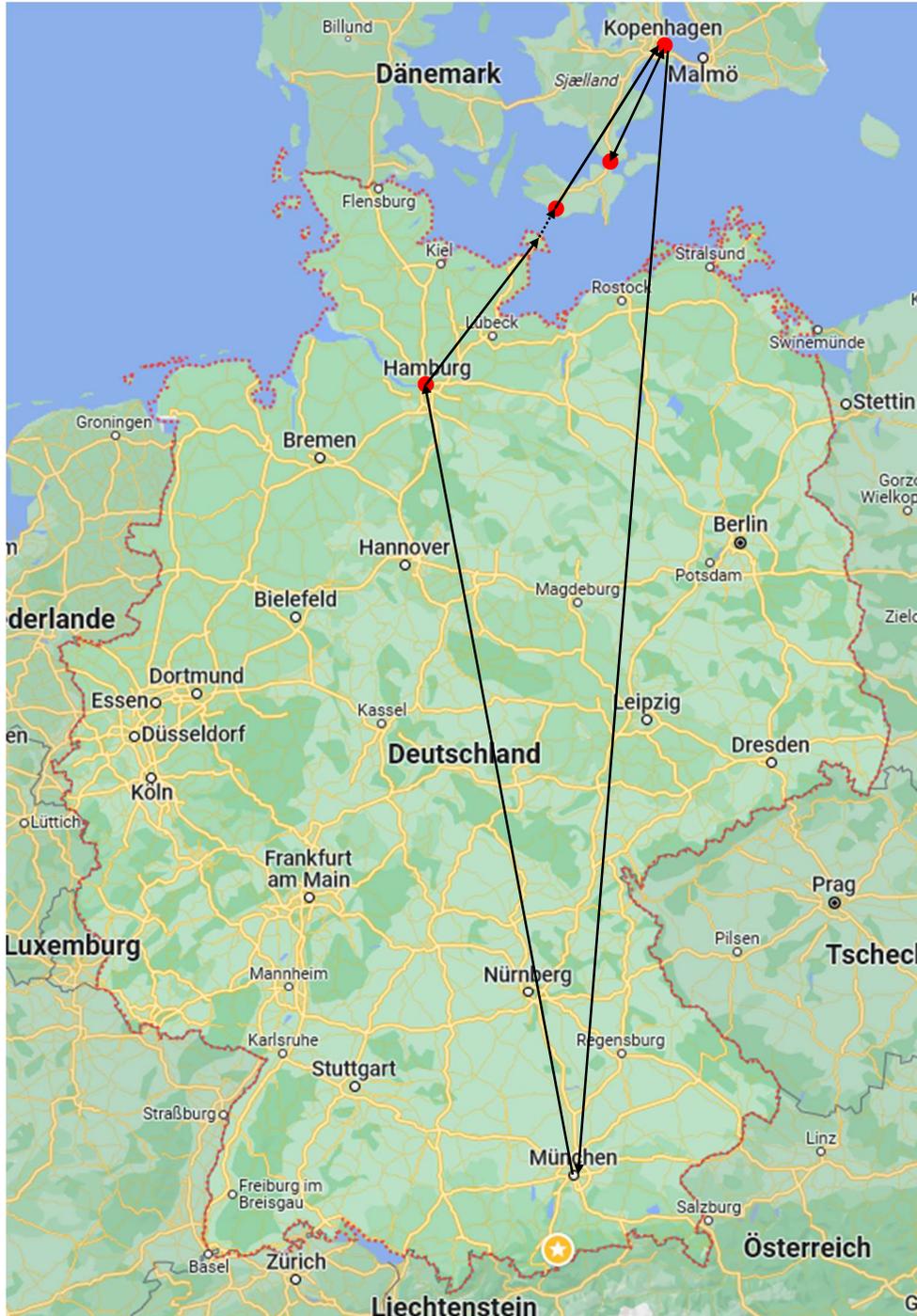
Franziska Pilstl

Michael Zieglmeier

Philipp Landmann

Stephan Dreier

Fabien Schanet



PROGRAMM

Montag, 25. September 2023

- 14.15 Uhr Treffpunkt am Hauptbahnhof München
- 14.21 Uhr Zugfahrt nach Hamburg
- 21.30 Uhr Ankunft in Hamburg
- 22:00 Uhr Ankunft im Hostel

Dienstag, 26. September 2023

- 08.30 Uhr Besichtigung „U5 Los 1“ in Bramfeld
- 12.30 Uhr Fahrt nach „Bubendey Ufer“
- 14.00 Uhr Besichtigung Fernwärmetunnel
- 18.30 Uhr Abend zur freien Verfügung

Mittwoch, 27. September 2023

- Bis 12 Uhr zur freien Verfügung
- 12.15 Uhr Abfahrt nach „Landungsbrücken“
- 13.00 Uhr Besuch WTM Engineers GmbH
- 14.30 Uhr Besichtigung Überseequartier
- 19.30 Uhr Gemeinsames Abendessen

Donnerstag, 28. September 2023

- 06.20 Uhr Abfahrt Richtung Puttgarden
- 10.45 Uhr Fähre von Puttgarden nach Rødby
- 11.30 Uhr Besichtigung Tunnelementfabrik und Portalbereich Fehmarnbeltquerung
- 16.30 Uhr Weiterfahrt nach Kopenhagen
- 19.00 Uhr Ankunft im Hostel

Freitag, 29. September 2023

- 7.30 Uhr Abfahrt zur Storstrømbrücke
- 9.30 Uhr Besichtigung Elementfabrik Storstrømbrücke
- 11.30 Uhr Abfahrt zum Rambøll Headquarter Kopenhagen
- 14.00 Uhr Vorträge und Austausch
Firmenphilosophie und Überblick Rambøll
Überblick Forschung Massivbaulehrstuhl TUM
Vortrag zum Fehmarnbelttunnel
Vortrag zur Storstrømbrücke
- 19.00 Uhr Gemeinsamer Ausklang der Exkursion

Samstag, 30. September 2023

- 9.30 Uhr Check-out
- 12.00 Uhr Rück-/Weiterreise

Am Dienstag sind wir mit der Fährlinie 62 zum Bubendey Ufer geschippert und haben nach kurzem Fußmarsch die Baustelle der Implenia erreicht. Dort soll unterhalb der Elbe das Projekt FWS, ein Fernwärmemetunnel im maschinellen Vortrieb erfolgen. Der Energiepark am Hafen soll das Kohlekraftwerk Wedel ersetzen. Die Abluft der Industrieanlagen erwärmt dabei das Wasser, welches als Transportmedium fungiert. Dadurch soll die Energieautonomie des Bundeslandes Hamburg sichergestellt werden. Bauherr sind die Hamburger Energiewerke. Beteiligt am Projekt sind neben der Implenia unter anderem Strabag und Vorwerk.

Insgesamt werden für das Projekt 7,5 km Fernwärmeleitungen gebaut und in Lose geteilt. Implenia konnte das Los T1 gewinnen, das sich mit 1.165 m größtenteils unter der Elbe erstreckt. Besondere Schwierigkeiten in diesem Bauabschnitt sind die geringe Überdeckung im Bereich der Ölverladebrücke und die Einhaltung der Fahrrinne der Elbe. Das Projekt soll innerhalb von drei Jahren realisiert werden.

Nach einem Empfang durch die Bauleitung haben wir einen informativen Vortrag über das Projekt erhalten, in dem wir viel über den Vortrieb erfahren haben: Der Tunnel wird durch eine EPB-Tunnelbohrmaschine vorgetrieben. Der Innendurchmesser des Tunnels beträgt 3,7 Meter. Eine Stahlkonstruktion innerhalb des Tunnels ermöglicht das Führen zweier Fernwärmeleitungen mit einem Durchmesser von je 80 cm, sowie die Realisierung eines Wartungsbereiches. Der Tunnel wird einschalig in Tübbingbauweise ausgebaut. Die Tübbinge sind WU-Betonfertigteile, die durch Dichtbänder wasserdicht ausgeführt werden und besitzen dabei eine Stärke von 30 cm. Durch das größere Schneidrad mit 4,57 m entsteht ein Ringspalt um den Tunnel. Dieser Abstand ermöglicht es die TBM lenken zu können. Dieser Spalt wird nachträglich mit 2-Komponentenmörtel verpresst, um nach dem Erhärten eine gleichmäßige Bettung des Tunnels sicherzustellen.



FERNWÄRMETUNNEL

26.09.2023

Zur Vorbereitung des Vortriebs wurden zunächst zwei Schächte, der Start- und der Zielschacht, gebaut. Die wurden durch Schlitzwände und eine tiefliegende Dichtsohle realisiert. Zur Auftriebssicherung wurden 28 Meter lange GeWi-Anker in einem Raster von ca. 2,5 Meter eingebracht.

Der gesamte Aushub und die Herstellung erfolgte unter Wasser, um einen Grundbruch zu vermeiden. Nach Betonage der Bodenplatte wurden die GeWi-Enden von Tauchern gereinigt und Ankerplatten angebracht. Vor dem Startschachten wurde zudem ein Betonquader erstellt, um bei Vortriebsbeginn die Dichtigkeit zwischen Schacht und Vortriebsmaschine sicherzustellen. Dieser wird als erstes durchbohrt und ist zum Schacht hin mit mehreren Dichtebenen ausgestattet.

Vom Startschacht drückt sich die TBM dann durch Hydraulikpressen an den bereits gesetzten Tübbing nach vorne ab. Jeder Tunnelring besteht aus 6 identischen Tübbing, die im Nachläufer der Tunnelbohrmaschine durch den Errektor positioniert werden. Der anstehende Boden wird unter Erddruckstützung mithilfe des Schneirades abgetragen. Aufgrund der stark unterschiedlichen Geologie unter der Elbe, ist es nötig den Boden durch



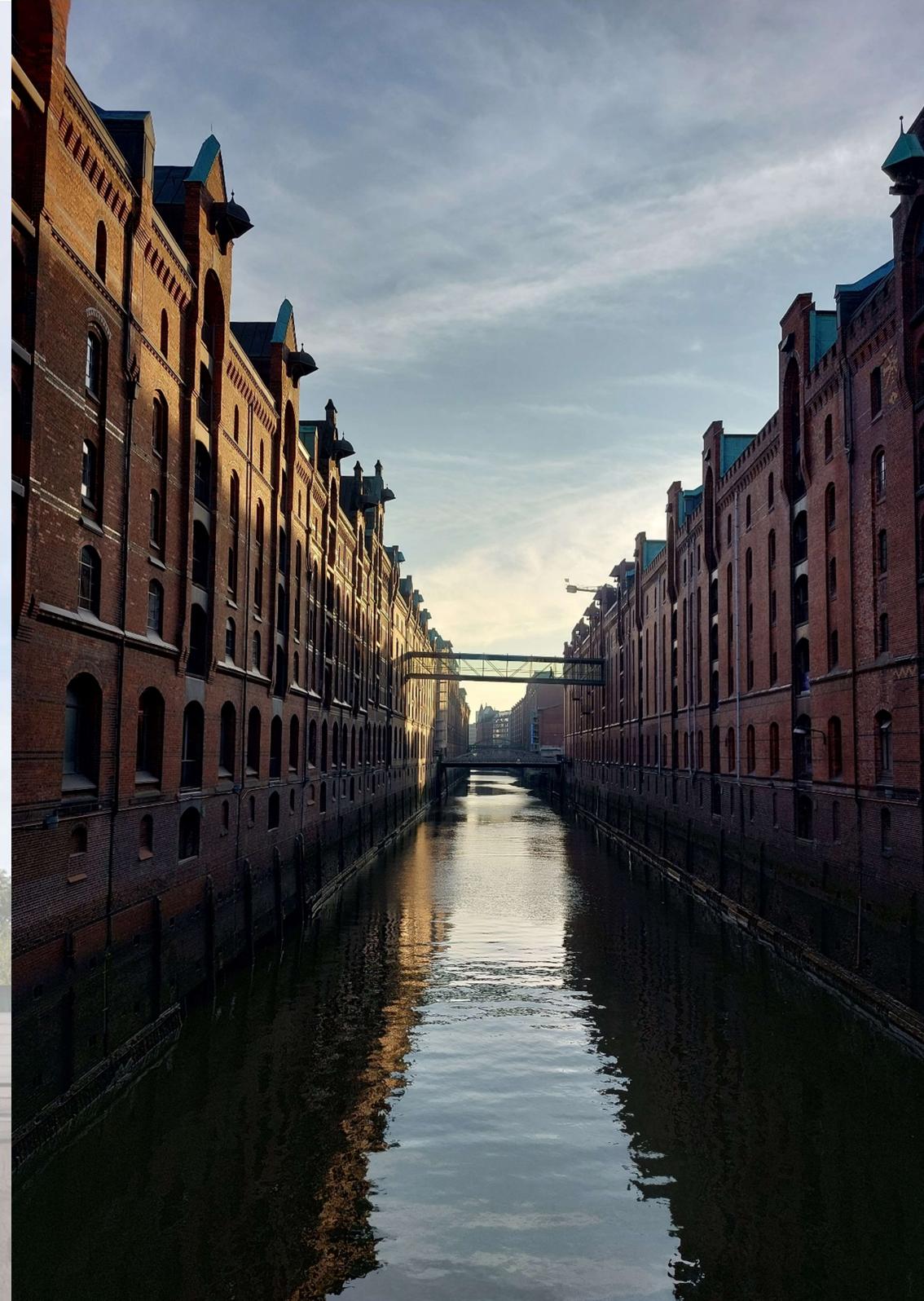
Zugabe von Feinanteilen teilweise in seiner Sieblinie zu verschieben und verschiedene Schäume zuzugeben. Dadurch wird unter anderem sichergestellt, dass die Ortsbrust standsicher bleibt.

Nach der Präsentation und einer Stärkung konnten wir dann die Baustelle in drei Gruppen besichtigen.

Auf der BE-Fläche waren Materiallager, sowie das Schneirad und erste Nachläufer zu sehen. Die vorhandenen Silos wurden zur Herstellung der Schlitzwände verwendet und werden auch im späteren Vortrieb genutzt.

Zum Zeitpunkt unserer Besichtigung wurden die wichtigsten Nachläufer in den Startschacht gehoben, wo bereits das Schild der TBM ist. Wir hatten die Möglichkeit in den Schacht zu gehen und uns die ganze Technik aus der Nähe anzuschauen.

Nach der Führung und einer sehr herzlichen Verabschiedung sind wir wieder mit der Fähre nach Hamburg zurückgefahren und konnten dabei den schönen Ausblick auf Hamburg genießen.



ÜBERSEEQUARTIER IN DER HAFENCITY

27.09.2023

Am nächsten Tag wurden wir mittags mit Sandwiches und Getränken auf der Dachterrasse bei WTM Engineers in Empfang genommen. Anschließend präsentierte sich uns das Büro und wir bekamen Einblicke in ihre Historie, Arbeitsweise und Projekte. WTM Engineers ist ein 1936 gegründetes Ingenieurbüro, mit Hauptsitz in Hamburg und zusätzlichen Standorten in Berlin und München. Sie sind international im Industrie-, Wasser-, Ingenieur- und Hochbau tätig. Projekte bei denen WTM maßgebend mitwirkt, beziehungsweise involviert war, sind beispielsweise die U5, die Fehmarnbeltquerung, der A7 Deckel, die Suedlink Querung, die Siegtalbrücke und das Überseequartier in Hamburg. Gut gestärkt sind wir nach der Vorstellungsrunde zu Fuß in die Hafencity gelaufen, um die Baustelle des Überseequartiers zu besichtigen.

Das Überseequartier besteht aus insgesamt 14 Gebäuden, mit eigener U-Bahn Haltestelle. WTM hat dabei die Tragwerkplanung übernommen, wobei mit Hilfe eines interdisziplinären Bim-Modells gearbeitet wurde, aus dem auch Berechnungsmodelle für die Statik abgeleitet werden konnten. Die Baufläche erstreckt sich über 60.000 m². Der neu geschaffene Raum von rund 419.000 m² unterliegt einer Mischnutzung, aus Shopping, Gastronomie, Büros und Wohnungen. Zusätzlich entsteht ein neuer Anlegeplatz für Kreuzfahrtschiffe. Die Kosten liegen schätzungsweise bei rund einer Milliarde Euro. Baubeginn war 2016, planmäßig sollen die Arbeiten bis 2025 abgeschlossen sein.

Die Baustelle ist aktuell in unterschiedlichen Bauphasen, wobei ein Großteil der Rohbauarbeiten abgeschlossen ist. Alle 14 Hochbauten sind über mehrere Stockwerke unterirdisch miteinander verbunden. Aufgrund von Sand und Lehmvorkommen im Baugrund konnten alle Bauten flach gegründet werden, mit Ausnahme der U-Bahn Haltestelle, die mit Zugverankerungen gegen Aufschwimmen geschützt werden musste. Man vor dem Deich gebaut hat, musste man eine Lösung finden, um sich vor den Fluten der Elbe und zusätzlichem Hochwasser zu schützen. Zum einen sind Eingänge und Fußgängerbrücken auf einem Plateau geplant worden, zum anderen gibt es Flutschutzstore.



Besondere technische Herausforderungen waren unter anderem auch ein großes Schwimmbecken im Obergeschoss eines Hotels, infolgedessen ein zwei Stockwerke hohes, 62 m langes Fachwerk geplant wurde, um die Lasten abzutragen. Außerdem ragte die Rückverankerung der Kaimauer zu Beginn der Bauarbeiten so tief in die Baustelle, dass es mit den Bohrpfehlen des Hochhauses C kollidierte, weshalb die Kaimauer saniert werden musste.



FEHMARNBELT TUNNEL ZWISCHEN DEUTSCHLAND UND DÄNEMARK

28.09.2023



Am Donnerstag ging es für uns in der Früh von Hamburg nach Rødby. Wir haben hier sowohl Zug, Bus und Fähre genommen. Letzteres wird in Zukunft nicht mehr nötig sein, wenn der 18 km lange Absenktunnel, der eine direkte Verbindung zwischen Hamburg und Kopenhagen darstellen wird, fertig ist. Mit dem Auto wird die Fahrt durch den Fehmarnbelt Tunnel 10 Minuten dauern, mit dem Zug 7 Minuten. Ab 2029 halbiert sich dann die Reisezeit mit dem Zug von Hamburg nach Kopenhagen auf 2.5 Stunden.

Im Zuge unserer Exkursion konnten wir die Baustelle auf dänischer Seite besuchen. Vor Ort wurde hier eine riesige Produktionsstätte und Hafenanlage erbaut. In dieser werden die 217 Meter langen Elemente, die aus jeweils 9 Segmenten bestehen, gefertigt und zusammengesetzt. Diese Elemente werden anschließend an die Anschlussbauwerke, welche sowohl auf deutscher als auch auf dänischer Seite errichtet werden, sukzessive angeschlossen.

Um in einer Baugrube das Anschlussbauwerk in Ortbetonbauweise zu fertigen, wurde der Damm in Richtung Meer verschoben. Die Deichlinie wird nach Fertigstellung der Tunnelportale, welche Straße und Schiene über Rampen an den Tunnel anbinden, wieder auf die ursprüngliche Lage zurückversetzt. An der Stelle des ursprünglichen als auch im Endzustand wieder vorhandenen Deichs hat der Tunnel drei Dichtungsebenen, die zusammen mit dem Deich eine durchgehende Wasserrückhaltelinie darstellen.



FEHMARNBELT TUNNEL

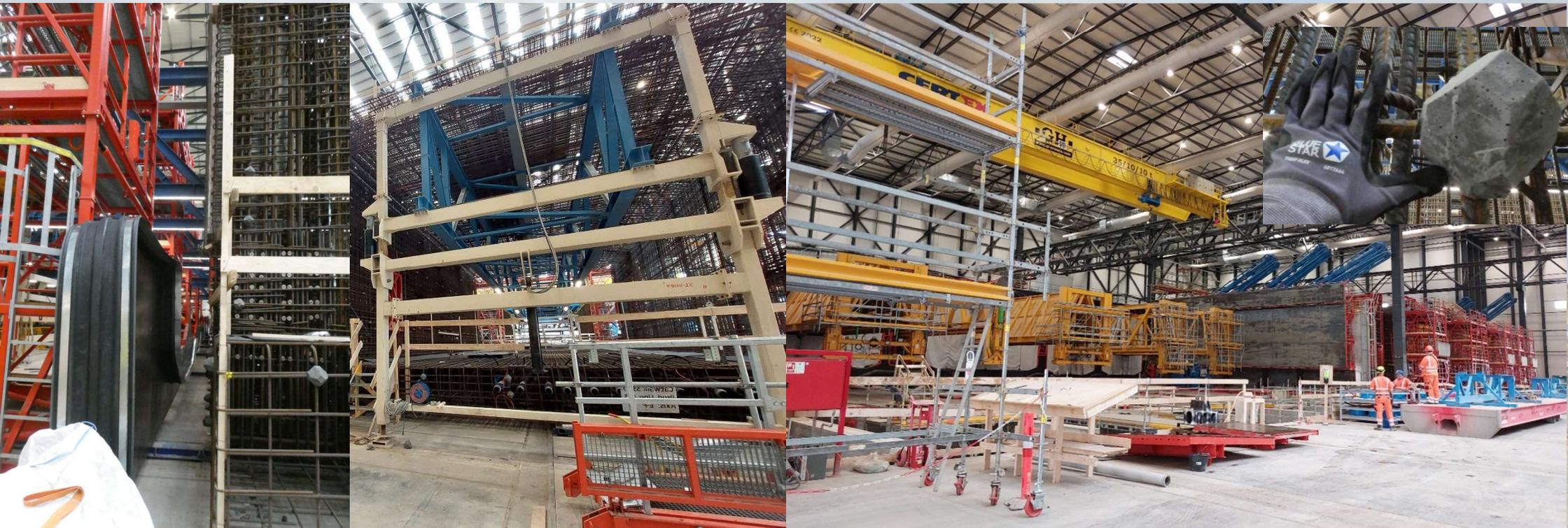


FEHMARNBELT TUNNEL ZWISCHEN DEUTSCHLAND UND DÄNEMARK

28.09.2023

Auch die Produktionsstätte der einzelnen Tunnelemente mit sechs Produktionslinien durften wir besichtigen. Die Produktion eines Elements dauert 9 Wochen. Ein Segment wird am Stück betoniert, kann 20 Stunden nach Betonage ausgeschalt werden und wiegt am Ende 76000 Tonnen. Nach der Aushärtezeit wird das Bauteil vor der Halle auf den Schwimmvorgang vorbereitet. Für den Transport werden die Segmente eines Elements mit Hilfe von Vorspannung fixiert. Daraufhin werden die Elemente über einem Schleusensystem ins offene Meer transportiert.

Mit Pontos werden die einzelnen Elemente an die entsprechenden Positionen gebracht und anschließend abgesenkt. Die luftgefüllten Elemente werden mit Unterdruck wasserdicht zusammengefügt. Aufgelagert werden die Tunnelemente am Meeresboden auf einem Kiesbett. Das letzte Tunnelement soll abschließend eingefügt werden, indem über Pressen der Platz zwischen den bereits eingesetzten Anschlusselementen so weit vergrößert wird, dass dieses eingesetzt werden kann.



VORTRAG UND BAUSTELLENBESICHTIGUNG STORSTRØM BRÜCKE

29.09.2023

Am letzten Tag der Exkursion ging es für uns zur Baustelle der neuen Storstrøm Brücke. Aufgeteilt in zwei Gruppen durften wir die Baustelle und Produktion der Fertigteile kennenlernen. Danach ging es zum Sitz der Firma Rambøll. Dort haben wir Vorträge zu den Projekten der neuen Storstrøm Brücke und des Fehmarnbelt Tunnels gehört.

Rambøll

Das Unternehmen Rambøll wurde 1945 in Dänemark von Børge Johannes Rambøll und Johan Georg Hannemann gegründet. Die Firma ist in 35 Ländern und somit weltweit vertreten. Heutzutage hat das Unternehmen 18000 Mitarbeiter. Insbesondere die Nachhaltigkeit spielt eine bedeutende Rolle. Zudem liegt der Fokus auf Innovation und das Soziale, wie die persönliche Entwicklung der Mitarbeiter, hat eine große Bedeutung. Je ein Viertel des Profits wird in Dänemark und in den USA erwirtschaftet. Der Rest verteilt sich auf die anderen 33 Länder. Zu den Tätigkeitsbereichen zählen Brücken, Schleusen sowie Ersatzbauten oder Verstärkung bereits bestehender Bauwerke.

Storstrøm Brücke

Die Storstrøm Brücke soll zusammen mit dem Fehmarnbelt Tunnel dazu beitragen die Reisezeit zwischen Hamburg und Kopenhagen zu verringern. Die bestehende Brücke (1937) ist in einem schlechten Zustand und nicht für den Bahnverkehr geeignet und soll deswegen ersetzt werden. Das Projekt startete 2013, für den Straßenverkehr ist die Eröffnung für 2025 und für den Bahnverkehr für 2027 terminiert. Die geplanten Baukosten betragen in etwa 280 Millionen Euro. Außerdem ist die Baustelle mit Hallenfertigung die zweitgrößte Dänemarks nach dem Fehmarnbelt Tunnel, wie wir erst vor Ort erfahren haben.

Länge	3830 m
Breite	24 m (zwei Fahrstreifen für KfZ, ein Fußgängerweg, zwei Gleise für Bahnverkehr)
Spannweite	80 m (44 Felder) und 160 m (2 Felder)
Stützhöhe	18 – 36 m



Pylon

In Brückenmitte ist aus ästhetischen Gründen eine harfenförmige Schrägseilbrücke vorgesehen. Das Fundament dieses Pylons liegt etwa 19 m unter dem Meeresspiegel und der Pylon ragt 100 m in die Höhe. Im Gegensatz dazu beträgt die Höhe der Fahrbahn über dem Meeresspiegel 30 m.

Bevor der Pylon vollständig ausgeführt ist, werden die Felder zunächst mittels Hilfsstützen aus Stahl abgestützt. Durch die Abstützung verringert sich die Stützweite temporär auf 80 m, wodurch auf in diesen beiden Feldern die Regelfertigteile verwendet werden. Nach Abschluss der Bauarbeiten, werden die Hilfsstützen entfernt, wodurch sich die endgültige Feldlänge von 160 m ergibt.

Querschnitt

Die Brücke wird als einzelliger Hohlkastenquerschnitt mit innenliegenden diagonalen Verstärkungen ausgeführt. Dieser wurde aufgrund der unterschiedlichen Belastung aus Kraftfahrzeugverkehr und Schienenverkehr gewählt, da daraus eine asymmetrische Belastung resultiert. Ziel der Verstärkungen ist es, die Kräfte aus der Deckenplatte in die Bodenplatte des Hohlkastens kontrolliert einzuleiten. Um den Querschnitt so schlank wie möglich zu gestalten, wurden in den Stegen, in der Fahrbahnplatte und in der Bodenplatte Spannglieder vorgesehen. Während die in der Bodenplatte liegenden Spannglieder bereits onshore vorgespannt werden, erfolgt das Vorspannen für das Stützmoment (Stege + Fahrbahnplatte) offshore nach dem Einschwimmen, Heben mit Litzenhebern und Ausbetonieren der Lücken zwischen Pfeilerkopfquerschnitt und Fertigteil.



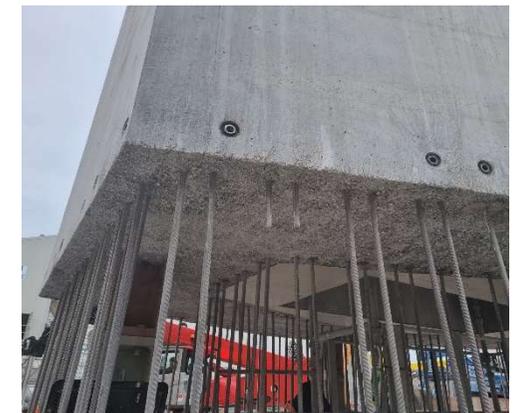
Herstellung der Brückenfertigteile

Die Spannweite eines fertigen Segments beträgt 73 m und das Gewicht liegt bei etwa 4000 Tonnen. Für die Gewährleistung einer möglichst hohen Produktivität werden die Bauteile vor Ort in verschiedenen Produktionshallen hergestellt. Dabei durchlaufen die Fertigteile in jeder Halle verschiedene Stationen für Bewehrung, Schalung und Betonage. Die Elemente liegen dafür auf fahrbaren Untersätzen auf, sodass sie nach Fertigstellung des jeweiligen Produktionsschritts durch Hubwagen zur nächsten Station gezogen werden können. Der Beton wird ebenfalls vor Ort hergestellt und über Pumpen in die Produktionshallen transportiert. Nach der Fertigstellung werden die Fertigteile per Ponton zur endgültigen Stelle der Brücke gebracht und mithilfe von Litzenhebern positioniert.



Herstellung und Montage der Stützen

Die Stützen sind flachgegründet, bestehen aus drei Teilen und wiegen im fertigen Zustand 140000 t. Dabei wird das Fundament mit dem untersten Teil der Stütze zuerst gefertigt und auf das Meer transportiert. Die Fundamente liegen auf einer Höhe von 8-16 m unter dem Meeresspiegel. Das Element wird an der jeweiligen Position abgelassen, bis es noch einen Meter über den Meeresspiegel herausragt. Danach werden die vorgefertigten Teile daraufgesetzt und mittels Vergusses kraftschlüssig verbunden. Zuletzt wird der Stützenkopf angeordnet, dieser ist aufgrund der hohen Querkraftbelastung vorgespannt. Wenn die Stütze vollständig ausgehärtet ist, werden die Fertigteile des Überbaus mithilfe von Litzenhebern an das bereits auf der Stütze sitzende Querschnittsegment gehoben und mittels Vergusses mit der Stütze verbunden. Der Prozess von Beginn der Herstellung bis zur vollständigen Montage einer Stütze nimmt etwa 3 Monate in Anspruch.



Fehmarnbelt Tunnel

Der Fehmarnbelt Tunnel trägt dazu bei, die Reisezeit zwischen Hamburg und Kopenhagen bzw. Stockholm zu reduzieren. Die Verbindung wird zwischen den Inseln Lolland und Fehmarn gebaut. Der Fehmarnbelt Fixed Link Tunnel ist insgesamt 18,1 km lang und ist damit der längste seiner Art. Davon werden 17,6 km unter Wasser abgesenkt. Die Tiefe liegt bei 40 m. Der Tunnel wird voraussichtlich 2029 eröffnet und die Kosten von 7,5 Billionen sollen in 30 Jahren amortisiert werden. Die geplante Lebensdauer des Tunnels beträgt 120 Jahre.

Mögliche Ausführungen der Verbindung

Für eine schnellere Verbindung zwischen Dänemark und Deutschland gab es verschiedene Optionen. Dazu zählte eine Hängebrücke, eine Schrägseilbrücke, ein Absenktunnel oder ein gebohrter Tunnel. Letztendlich gab es einen Wettbewerb zwischen der Schrägseilbrücke und dem Absenktunnel. Der Tunnel gewann den Wettbewerb aufgrund seiner Wetterunabhängigkeit und größeren Sicherheit durch bessere Entfluchtungsmöglichkeiten. Zudem sind bei einem Tunnel die Wartungsmaßnahmen durch eine zusätzliche Röhre, ohne den Verkehrsfluss zu stören, möglich. Im Gegensatz dazu hätte die Brücke möglicherweise bei schlechtem Wetter gesperrt werden müssen.

Finanzierung und Verantwortliche

Die dänische Regierung hat sich für die Errichtung einer Verbindung nach Deutschland verpflichtet. Beauftragt für die Planung und den Bau des Tunnels wurde die Projektgesellschaft Femern A/S, die Bestandteil des staatlichen dänischen Unternehmens Sund & Baelte Holding A/S ist. Außerdem wurde aufgrund der Größe und Komplexität des Projekts eine Arbeitsgemeinschaft namens RAT zwischen Ramboll, Arup und TEC Joint Venture gegründet. Zudem gibt es vier unterschiedliche Verträge für die verschiedenen Bestandteile der Baustelle, die insbesondere daraus resultieren, dass sowohl Deutschland als auch Dänemark beteiligt sind und dadurch nach deutscher und dänischer Norm gebaut wird. Die EU finanziert 15% der Kosten.

VORTRAG: FEHMARNBELT TUNNEL

29.09.2023



Querschnitt

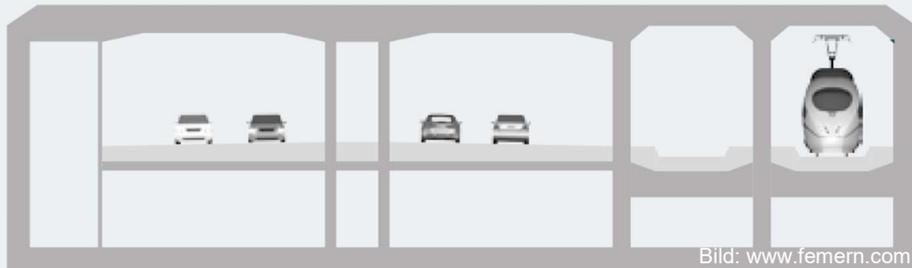
Der Tunnel wird in 24,0 m dicken, geraden Segmenten hergestellt. Neun der Segmente werden durch Spannglieder zu Elementen zusammengefügt und abgesenkt. Insgesamt besteht der Tunnel aus 79 Standardelementen und 10 Spezialelementen. Die Regelemente haben eine Breite von 40,5 m, während die Spezialelemente höher sind und eine Breite von 45,0 m aufweisen. Damit bieten die Spezialelemente Raum für die benötigte Technik.

Der Tunnel besteht aus fünf Röhren, zwei für Eisenbahn, zwei für den Straßenverkehr sowie eine für die Erhaltungsmaßnahmen, die ohne Unterbrechung des Verkehrs möglich sind.

Standardelement



Spezialelement



Herstellung und Einschwimmen der Elemente

Die Betonage erfolgt in sechs Hallen, die für ein kontrollierteres und konstanteres Klima sorgen. Fünf davon sind für die Produktion der Standartelemente, die sechste für die Spezialelemente. Danach werden die Elemente in ein höher gelegenes und trockenes Becken geschoben. Dieses

wird durch ein Tor verschlossen, während das daran anschließende und tiefere wassergefüllte Becken mit einem schwimmenden Tor verschlossen wird. Danach wird das höher gelegene Becken ebenfalls geflutet, sodass die Elemente ins tiefere Becken geschwommen werden können und das Wasser wieder auf seinen ursprünglichen Stand abgesenkt werden kann. Die Elemente werden dann offshore an ihre Position gebracht und durch das Auffüllen von Kammern mit Wasser abgesenkt. Danach werden sie auf dem vorher vorbereiteten Kiesbett positioniert. Zwei Abdichtungsebenen (GINA-Dichtung + Omega-Dichtung) sorgen für einen dichten Tunnel. Nach dem Abdichten wird das Wasser zwischen den Elementen abgelassen. Der Unterschied zwischen Luft- und Wasserdruck sorgt dafür, dass die Elemente zusammengezogen werden. Abschließend werden an den Seiten sowie oberhalb des Tunnels Auffüllungen eingebracht. An Land wird die Baustelle nach Abschluss der Bauarbeiten renaturiert und es wird ein neuer Strand angelegt.

Sicherheitskonzept

Das Sicherheitskonzept besteht aus drei Ebenen: Prävention, Selbstrettung und Rettung. Zur Prävention gehört die Trennung der Fahrrichtungen, die jeweils einem eigenen Tunnel zugewiesen sind, sowie Installationen. Ventilation, kurze Fluchtwege in andere Röhren sowie Alarmsysteme ermöglichen die zweite Stufe, d.h. die Selbstrettung. Außerdem ist die Rettung beispielsweise durch das Schließen des Tunnels möglich.

