

13. bis 14. November 2018

Exkursionsbericht zur Geotechnik – Kennenlernexkursion 2018 nach Karlsruhe und Stuttgart



Teilnehmer:

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Roberto Cudmani, Dr.-Ing. Daniel Rebstock			
Assistenten: Wei Yan, Alexander Wiendl			
Studenten:			
Billian	Karla	Ostermaier	Benjamin
Eder	Hannah	Philliper	Christoph
Ge	Xiang ming	Popa	Daniel
Grosch	Raphael	Schlenger	Jonas
Habermann	Sophia	Seeber	Franziska
Kaltenbach	Jakob	Segeth	Denise
Lienhard	Birgit	Sha	Shiwei
Mayer	Paul	Stamnitz	Julia
Metzel	Daniel	Stöhr	Patricia
Mittermeier	Susanne	Szalai	Viktor
Morandi	Ruth	Von Laack	Carolin
Nguyen	Thu		

13. bis 14. November 2018

Tag 1: Dienstag, 13.11.2018

Karlsruhe Kombilösung – Tunnel Kriegsstraße

Der erste Tag der Geotechnik Kennenlernexkursion begann mit dem Großbauprojekt Kombilösung (Kriegsstraße) in der wunderschönen Fächerstadt Karlsruhe. Herr Böckelmann von der Ed. Züblin AG, welche zusammen mit der Firma Schleith die ausführende Baufirma des Projekts ist, begrüßte uns mit einem einführenden Vortrag. Seit 1967 gab es in der Stadt Karlsruhe in der Infrastruktur keine großen Veränderungen mehr, wodurch das bestehende Verkehrssystem stark überbelastet ist. Die Baumaßnahme ist also dringend notwendig. Sie besteht aus zwei Bauabschnitten, einem Stadtbahntunnel (Kaiserstraße) und einem Straßentunnel (Kriegsstraße). Der Tunnel in der Kaiserstraße wurde mit einer TVM aufgefahren und befindet sich bereits in der Endphase. Der Fokus der Exkursion lag auf dem 1,6 km langen Straßentunnel, welcher derzeit in offener Bauweise hergestellt wird. Da die Baustelle mitten im Verkehrszentrum von Karlsruhe liegt, ist eine effiziente und korrekte Terminplanung unerlässlich. Eine weitere Schwierigkeit besteht in der Geologie des Baugrundes: stark durchlässiger Kies Grundwasserstand in nur 3 Metern unter der Geländeoberkante. Aus diesem Grund mussten aufwendige abdichtende Maßnahmen ergriffen werden, da eine Absenkung des Grundwassers (wirtschaftlich) nicht möglich ist.

Gearbeitet wird mit einer Kombination aus Bohrpfahlwänden, Dichtwänden, abdichtende Hochdruckinjektionen und Weichgelsohlen. Die Bohrpfahlwände bestehen aus überschrittenen Bohrpfählen mit einem Durchmesser von 120 cm, welche zusätzlich rückverankert werden. Gebohrt werden diese mit einer Wasserauflast, um die Gefahr eines Grundbruchs auszuschließen. Der Großteil des wasserdichten Baugrubenverbau wird mit 1-Phasen-Schlitzwänden realisiert. Die Schlitzwände werden mit einem Schlitzwandgreifer ausgehoben und mit einer permanenten Stützflüssigkeit gefüllt wird. In diese wird eine Spundwand als Bewehrung eingestellt. Nach der ersten Aushubebene von ca. 3,0 m wird die verfestigte Stützflüssigkeit abgekratzt und anschließend die Spundwände rückverankert. Auf der gesamten Baustelle werden insgesamt ca. 90 km Anker gesetzt. Im Vergleich zur Bohrpfahlwand ist die Dichtwand deutlich schneller herzustellen und

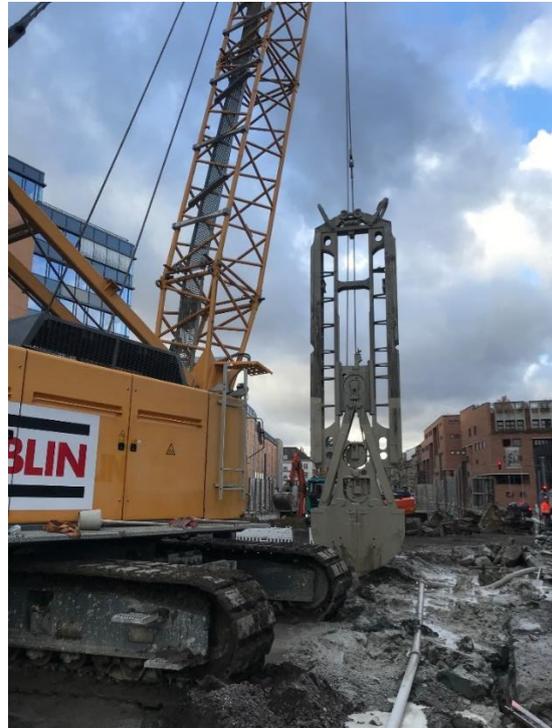


Bild 1: Schlitzwandgreifer der Firma Züblin



Bild 2: Verfestigtes Verpressmaterial

13. bis 14. November 2018

kommt bei diesem Projekt vor allem dort zum Einsatz, wo nicht mit Hindernissen im Baugrund gerechnet wird. Die Abdichtung in vertikale Richtung über die komplette Baugrubensohle wird durch eine tiefliegende Weichgelsohle erreicht. Um diese Abdichtung sicherzustellen, werden drei Lanzen in den Boden eingerammt/ingebohrt und das Weichgel injiziert. Es besteht aus zwei Komponenten: einem Gel und einem Härter, welche immer frisch in frisch eingebracht werden müssen. Das Verpressen wird durch die Parameter Menge und Druck gesteuert.

Nach Abschluss der Spezialtiefbauarbeiten wird ein zweizelliger Stahlbetonrechteckrahmen, in dem später jeweils zwei Richtungsfahrbahnen verlaufen sollen, hergestellt. Der Bauablauf des Regelquerschnitts ist folgendermaßen: zuerst wird die Bodenplatte betoniert, anschließend die Wände aufgezogen und mit dem Deckel abgeschlossen. Zur Abdichtung der Tunneldecke wurde in Karlsruhe eine innovative, nicht normkonforme Lösung gewählt. Anstelle eines 2-Komponenten-Materials wird mittels Bentonitmatten abgedichtet. Der Einbau dieser Matten ist deutlich weniger witterungsabhängig und daher schneller bei gleichwertiger Qualität. Um im Brandfall Abplatzungen zu verzögern, werden dem Beton PP-Faser beige-mengt.

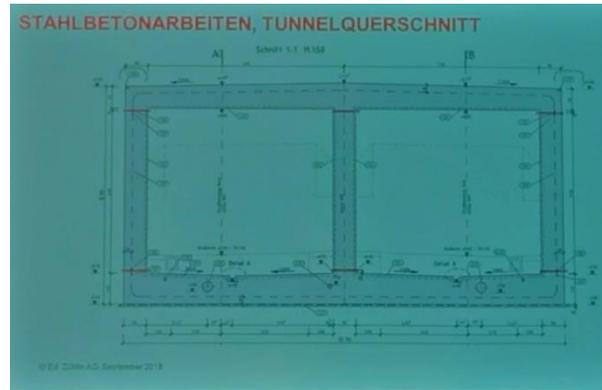


Bild 3: Stahlbetonrechteckquerschnitt des Tunnels

Nach Abschluss einer marschintensiven und lehrreichen Baustellenbesichtigung gab es für die hungrigen Studenten eine Stärkung. Von der Firma Züblin wurden uns freundlicherweise belegte Semmeln mit einer fragwürdigen Wurst/Käse-Quote zur Verfügung gestellt.



Bild 4: Rückverankerte Spundwand am Ende eines Bauabschnitts



Bild 5: Gebohrte Lanzen für anschließende Weichgel-Injektionen

Abendprogramm

Nachdem sich alle auf ihren Zimmern frisch gemacht hatten, haben wir uns gemeinsam auf den Weg ins Badische Brauhaus in Karlsruhe gemacht.

13. bis 14. November 2018



Bild 6: Speisekarte des Badisch Brauhaus

Dort haben wir alle zusammen an einer langen Tafel das hauseigene Bier getrunken und regionale Spezialitäten genossen. Zur Freude aller Studenten gab es eine Runde „Hopfenfeuer“ auf Kosten eines edlen Spenders mit den Worten: „Das ist Pflicht“. Danach haben wir den Abend gemütlich ausklingen lassen.

Tag 2: Mittwoch, 14.11.2018

Stuttgart 21 – Turmforum

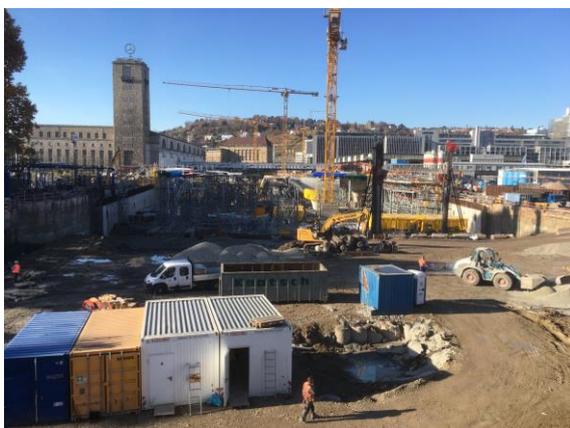


Bild 7: Turm des Bonatzbaus im Hintergrund der Baustelle

Der zweite Tag der Exkursion begann nach dem morgendlichen Frühstück mit der Busfahrt von Karlsruhe nach Stuttgart, wo wir zuerst im Turmforum, einen Überblick über das Projekt Stuttgart 21 erhielten. Das Turmforum ist ein kleines interaktives Museum, welches über das gesamte Neubauprojekt Stuttgart-Ulm informiert. Es befindet sich im Turm des Bonatzbaus (errichtet 1917-27), welcher den Eingangsbereich des Stuttgarter Hauptbahnhofs bildet und auch zukünftig in den neuen unterirdischen Bahnhof integriert ist. In den Geschossen des Turms befinden sich Ausstellungsräume, die sich mit den verschiedenen Schwerpunkten des Projekts auseinandersetzen.

13. bis 14. November 2018

Im fünften Stock zeigt der Fußboden ein großes Luftbild der Stadt Stuttgart, auf welchem das Teilprojekt Stuttgart 21 (S21) mit insgesamt vier neuen Bahnhöfen und den 57 km Neubaustrecke, davon 33 km in Tunneln, dargestellt ist. Zusammen mit dem zweiten Teilprojekt „Neubaustrecke Wendlingen-Ulm“ bildet S21 das Großprojekt Stuttgart-Ulm. Frau Leicht, die unsere Führung im Auftrag der Deutschen Bahn betreute, berichtete zuerst von den Anfängen des Stuttgarter Bahnhofs als eigens für den württembergischen König konstruierter Bahnhof. Dann erläuterte sie die Entstehung der Idee des Projektes Stuttgart 21 in den 80er Jahren, welche parallel zu anderen 21er Projekten, wie Frankfurt 21 oder München 21 vorbereitet wurde. Im Gegensatz zu den anderen beiden Projekten befindet es sich aber als einziges derzeit bereits in der Realisierung. Nach dem Beginn der Planungen in den 1980er Jahren, kam es durch die deutsche Einheit zu Verzögerungen, da vorhandene Gelder vor allem in den neuen Bundesländern eingesetzt wurden (z. B. VDE 8). Auch aufgrund gestiegener Anforderungen an Planung und Ausführung kam es zu weiteren Verzögerungen, sodass erst im Jahr 1997 mit der Ausschreibung des Architekturwettbewerbs begonnen werden konnte.

Das Projekt umfasst zwei große Teilbereiche: die Neugestaltung des Stuttgarter Bahnhofes als Durchgangsbahnhof und seiner Anbindung an den Schienenverkehr sowie die Neubaustrecke (NBS) Wendlingen-Ulm. Beide Projekte sollen gemeinsam das derzeit nicht ausgebaute Stück der Aus- und Neubaustrecke der europäischen Ost-West-Achse TEN 17 von Paris nach Budapest schließen. Die Streckenführung der Neubaustrecke ist außerhalb von Stuttgart weitestgehend mit der Trasse der Autobahn A8 gebündelt. Außerdem wird durch die neue Trassierung mit fester Fahrbahn eine höhere Reisegeschwindigkeit von mindestens 250 km/h auf der gesamten Strecke erreicht. Bisher war eine so hohe Geschwindigkeit bedingt durch die topografischen Verhältnisse des Mittelgebirges Schwäbische Alb und den daraus resultierenden engen Radien nur in sehr wenigen und kurzen Streckenabschnitten möglich, was zu geringen Reisegeschwindigkeiten, vor allem an der Albüberquerung Geislinger Steige, führt.

Gleichzeitig bedeutet dies aber, dass die Züge auf der Neubaustrecke, die sich über ca. 60 km Länge erstreckt, ungefähr zur Hälfte in Tunneln verkehren. Dies führt zu hohen Kosten in der Ausführung und zu einer hohen Planungskomplexität. Dennoch waren Stand November 2018 bereits 90 % der Tunnelbauwerke der NBS fertiggestellt, sodass die Inbetriebnahme für 2022 vorgesehen ist. Der andere Teilbereich, das eigentliche Projekt Stuttgart 21, umfasst den Bau der vier neuen Bahnhöfe Flughafen/Messe, S-Bahn Mittnachtstraße, Abstellbahnhof Untertürkheim sowie des neuen, unterirdischen Hauptbahnhofs. Der neue Hauptbahnhof, der vom Architekturbüro Ingenhoven entworfen und vom Ingenieurbüro Werner Sobek hinsichtlich der Tragwerksplanung begleitet wird, wird im Vergleich zu dem derzeitigen Kopfbahnhof um 90° gedreht ausgeführt. Aufgrund von Verzögerungen ist mit der Inbetriebnahme dieses Teilprojekts nach derzeitiger Prognose jedoch erst im Jahr 2025 zu rechnen.

Der Bahnhof bietet nicht nur aus verkehrsplanerischer Sicht Vorteile, sondern trägt durch die Freisetzung von Flächen zur Stadtentwicklung bei. So entstand auf dem Gelände des ehemaligen Güterbahnhofs das neue Stuttgarter Europaviertel, während auf dem Gebiet der bisherigen Zubringertrasse des Hauptbahnhofs Wohnungen für bis zu 60.000 Einwohner entstehen sollen.

Nach einer allgemeinen Projekteinführung, folgte ein Vortrag von Hr. Gabriel Lomo, geotechnischer Verantwortlicher der Deutsche Bahn, in das Projekt und seine geotechnischen Besonderheiten ein. Er skizzierte die wesentlichen geotechnischen Herausforderungen des Planfeststellungsabschnitts 1.1. Dieser gliedert sich in die ca. 450 Meter lange Bahnhofshalle und die beiden daran anschließenden jeweils gut 200 Meter langen Verbindungsbauwerke Nord- und Südkopf. Der PFA 1.1 ist nochmals in eigene Bauabschnitte unterteilt. Der erste Abschnitt ist der Nordkopf, der eine Länge von 227 m besitzt und dessen Breite zwischen 45 m und 73 m

13. bis 14. November 2018

variiert. In diesem Bereich sind die kreuzenden Röhren der bestehenden U-Bahn und ein Fernwärmehöhle als besondere Hindernisse zu nennen.

Der vorhandene Baugrund sorgt zusätzlich für eine hohe Komplexität in Planung und Ausführung. Er besteht von oben nach unten zuerst aus Auffüllungen, anschließend aus Fließerde beziehungsweise Hanglehm und als unterste Schicht schließt Gipskeuper an. Im Bereich des Nordkopfes treten zudem größere Hohlräume auf, die mit Bohrungen erkundet und anschließend mit Beton verfüllt wurden. Weiter erschwert werden die Planung und Ausführung durch teilweise auftretende Wanderschuttkegel, Talablagerungen sowie Bleiglanzschichten. Die Anhydrit-Schichten stellen dabei eine besondere Herausforderung dar, da Anhydrit unter Zugabe von Wasser mit einer Volumenzunahme um bis zu 50 % aufquillt. Welche technischen Lösungen hierzu angewendet werden, wurde bei der Tunnelbesichtigung nachmittags erörtert.

Die Ausführung des Schienenoberbaus als feste Fahrbahn, die nur sehr geringe Setzungen zulässt, sowie die Tatsache, dass der im Gipskeuper auftretende Grundgips durch sehr restriktive Auflagen geschützt ist, sorgen für ein sehr anspruchsvolles Gründungskonzept. So werden im Bereich des Nordkopfes die vorgesehenen Flachgründungen vereinzelt durch Bohrpfähle unterstützt, während im Südkopf Ortbetonrammpfähle verwendet werden. Im Bereich der Bahnhofshalle erfolgt der Lastabtrag über eine Mischgründung aus Bodenplatte und Franki-Ortbetonrammpfählen. Unerwartet aufgetretene Herausforderungen bei der Herstellung der Pfahlgründung waren Grundgipsschichten, die höher als angenommen lagen und aus diesem Grund eine Mantelverpressung einiger Rammpfähle erforderten. Außerdem stellte das Rammen der Pfähle neben der Bestandsbebauung, insbesondere neben der bestehenden S-Bahn sowie einem Technikraum, der für die Steuerung des gesamten Schienennetzes in Stuttgart zuständig ist, Einschränkungen dar.



Bild 8: Eingeschalte Kelchstütze

Zudem war zum Erhalt der denkmalgeschützten Bahndirektion eine Sonderkonstruktion notwendig, auf die später noch genauer eingegangen wird. Die eigentliche Bahnhofshalle, die mit ihren großen Lichtaugen auf den charakteristischen Kelchstützen den zweiten Bauabschnitt darstellt, beherbergt auf ihren 447 m Länge und 81 m Breite bei einer Höhe zwischen 9,5 m um 12,3 m acht Gleise. Um diese enorm komplexe Struktur nachweisen zu können, wurde die gesamte Decke, welche im Endzustand begehrbar sein wird, als ein großes 3D-Tragwerk modelliert. Um den Südkopf realisieren zu können, wird der bestehende

S-Bahnhof mit den durch die Baugrube führenden Zulaufstrecken von der derzeitigen unterirdischen Ebene nach oben verlegt und der darüber fließende Nesenbach umgeleitet. In Verbindung mit weiteren verschiedenen Querungen (U-Bahn, Dükerbauwerke, Medientunnel) stellt sich der Lastabtrag des Bahnhofs dabei als äußerst herausfordernd dar.

Im Anschluss an den Vortrag von Herrn Lomo stellte Dr.-Ing. Daniel Rebstock vom Zentrum Geotechnik der TUM seine Arbeiten über die zu erwartenden Setzungen der festen Fahrbahn vor. Er präsentierte seine Untersuchungen zur Erstellung einer Gesamtsetzungsprognose mithilfe einer FE-Modellierung und unter Berücksichtigung der Bauzustände während und nach dem Bau des Bahnhofs. Insgesamt hatten wir so einen Überblick über das Projekt gewonnen und einen Einblick in die geotechnischen Herausforderungen bekommen.

13. bis 14. November 2018

Stuttgart 21 –Baustellenbesichtigung PFA 1.1 Neuer Hauptbahnhof



Bild 9: Abfangungskonstruktion unter der ehemaligen Bahndirektion

Die Baustellenbesichtigung wurde von Herrn Lomo im Anschluss an die Präsentationen durchgeführt. Zu Beginn startete die Führung im Bereich des Nordkopfes. Direkt unter dem Nordkopf queren die zwei Tunnelröhren der U12 den Bahnhof, diese konnte man gut in der Baugrube erkennen. Damit das Bahnhofsbauwerk die bestehenden Tunnelröhren nicht zu stark belastet, wurde eine Blähtonschicht eingebaut. Eine weitere Herausforderung im Bereich des Nordkopfes stellt das Gebäude der alten Bahndirektion dar. Es steht zu zwei Dritteln im Bereich des neuen Bahnhofs.

Weil der Vorschlag des ausführenden Bauunternehmens, das Gebäude rückzubauen und nach Fertigstellung des Bahnhofs wiederaufzubauen, abgelehnt wurde, musste es aufwändig abgefangen werden. Die Abfangarbeiten sind mittlerweile fertiggestellt und so konnten wir unter das Gebäude gehen. Es steht jetzt auf einer vorgespannten Abfangplatte mit 1,5 m Dicke, welche auf acht Pfahlgruppen sowie einer HDI-Wand lagert. Um die in diesem Bereich kreuzenden U-Bahnrohre nicht durch Setzungen des Nordkopfes zu beschädigen, werden auf die Firste der U-Bahntunnel Blähtonschichten aufgelegt, die leicht kompressibel sind. In der Baugrube wurde dort gerade die Bewehrung der Bodenplatte hergestellt.



Bild 10: Bodenplatte und Abdeckung der U-Bahn-Tunnelröhre

Auf dem Weg vom Nord- zum Südkopf konnten wir den Bereich der Bahnhofshalle besichtigen. Insgesamt gliedert sich das Baufeld in 25 Bauabschnitte, die alle einen unterschiedlichen Baufortschritt aufweisen. Weil die Grundwasserabsenkung immer nur in einzelnen Felder durchgeführt werden darf, konnten wir beobachten, dass in einem Bereich bereits die obere sogenannte Hutze einer Kelchstütze bereits bewehrt wurde, während im Nachbarfeld der Boden noch nicht ausgehoben war. An einem Teilabschnitt eines Kelches, welcher im Vorfeld zu Versuchs- und Bemusterungszwecken hergestellt worden ist, konnten wir uns einen Eindruck von der besonderen Form und Oberfläche der Kelchstützen verschaffen.



Bild 11: Herstellung eines Ort-betonrammpfahls mit Franki-Pfahlramme

13. bis 14. November 2018

Im südlichen Bereich des zukünftigen Bahnhofs konnten wir Gründungsarbeiten beobachten. Es waren zwei Rammen zu sehen, welche Franki-Ortbetonrammpfähle herstellten. Im Bereich der Kelchstützen tragen Pfahlgruppen die konzentrierte Last in den Untergrund ab. Im südlichen Bereich des Bahnhofs überfährt die S-Bahn den Bahnhof. Dort wird die neue Haltestelle Staatsgalerie gebaut. Die Haltestelle ist im gleichen Stil wie auch der Bahnhof von „ingenhoven architects“ entworfen. Bei einem Blick in die Baugrube des Südkopfes war besonders der Aus-
hub mittels eines Teleskopbaggers interessant. Bei der Besichtigung der gesamten Baustelle hatte man neben den vielen Details, die von Herrn Lomo erklärt wurden, auch ein Eindruck von der logistischen Herausforderung, die ein solches Projekt mitten in einer Stadt mit sich bringt.

Stuttgart 21 – Baustellenbesichtigung PFA 1.5 Verzweigungsbauwerk Kriegsberg

Am Nachmittag des zweiten Exkursionstags trafen wir Herrn Fischer von der Deutschen Bahn AG, der für das Verzweigungsbauwerk Kriegsberg im Bauabschnitt 1 zuständig ist.

Acht vom Bahnhof kommende Gleise werden im Nordkopf auf vier reduziert und führen in die zwei zweigleisigen Tunnelröhren des Verzweigungsbauwerks. Nach etwa 200 Metern teilen sich die Tunnelröhren in jeweils zwei eingleisige Tunnelröhren, die nach Feuerbach oder Bad Cannstatt führen.

Der imposante Querschnitt einer zweigleisigen Röhre misst 250 m². Die Tunnel wurden ausschließlich im bergmännischen Vortrieb mit Baggern hergestellt, da aufgrund mehrerer Querschnittssprünge ein Vortrieb mit einer Tunnelvortriebsmaschine nicht möglich war. Aufgrund der schwierigen geologischen Verhältnisse erfolgte der Vortrieb in Abschlängen von nur maximal einem Meter unter zusätzlicher Sicherung durch einen Rohrschirm, der bis zu 18 Metern vorausseilte. Größere Abschlagslängen waren aufgrund von zu hohen Setzungen nicht möglich. In Bereichen mit unerwartet großen Setzungen wurden zur zusätzlichen Aussteifung Verstärkungsringe mit einer Dicke von 40 cm aus Stahl eingesetzt.



Bild 12: Ansicht auf die Tunnelröhre aus der Baugrube

Der Tunnelvortrieb und die Herstellung der Spritzbetonaußenschale sind bereits abgeschlossen. Nun wird die Innenschale mit einer maximalen Stärke von einem Meter hergestellt. Der dafür benötigte Gewölbeschalwagen ist aufgrund seiner Größe eine Sonderanfertigung für dieses Projekt.

13. bis 14. November 2018

Eine besondere Herausforderung in diesem Projekt stellen bereichsweise vorkommende Anhydritlinsen dar. Diese quellen bei Kontakt mit Wasser um mehr als 50 % auf. Die dadurch entstehenden Drücke würden zu großen Verformungen im Tunnelbauwerk führen und sind daher zu unterbinden. Zum einen werden die Linsen mit Acrylatgelinjektionen von wasserführenden Schichten isoliert. Diese Injektionen erfolgen in einem Raster von 1 x 1 Meter und sind sehr kostenintensiv. Dieses Vorgehen ist in dieser Art bisher auf keiner anderen Baustelle durchgeführt worden. Um Wasserwegigkeit in Tunnellängsrichtung zu vermeiden, wurde der Querschnitt bereichsweise vergrößert und mit sogenannten Dammringen, die die Dicke der Außenschale nach außen erhöhen, verfüllt. Als weitere Maßnahme müssen alle Arbeiten in diesen Bereichen trocken durchgeführt werden. Dies stellt aufgrund der erhöhten Staubbelastung eine zusätzliche Erschwernis für die Bauarbeiter dar.



Bild 13: Teilung der Tunnelröhre

Im Rahmen des Sicherheitskonzepts ist alle 500 Meter eine Fluchtmöglichkeit erforderlich. Der Querschlag im Bereich des Verzweigungsbauwerks wurde noch nicht hergestellt, da die Lastumlagerung noch unklar ist.

Während den Bauarbeiten werden die Setzungen im Bereich des Weinbergs, der den Tunnel überlagert, mithilfe von Satelliten überwacht. Bislang wurden Bewegungen von bis zu 260 Millimetern gemessen.

Aufgrund der besonderen Herausforderungen, die die Baustelle mit sich bringt, ist Stuttgart 21 ein einzigartiges Bauvorhaben.



Bild 15: Gewölbeschalwagen

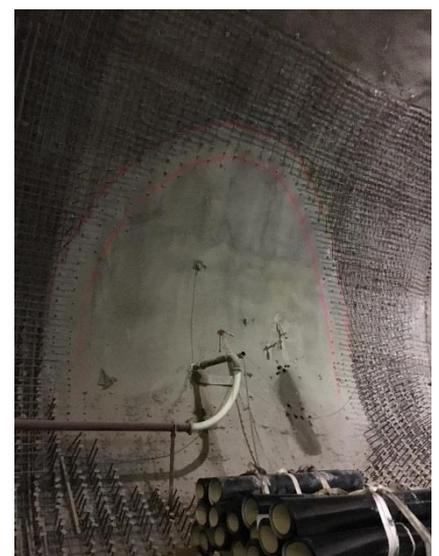


Bild 14: Geplanter Querschlag

13. bis 14. November 2018



Bild 16: Exkursionsgruppe im Tunnel