

Exkursionsbericht zur Geotechnik - Vertieferekskursion 2016 nach Kopenhagen und Oslo



Bild 1: Exkursionsteilnehmer

Teilnehmer:

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Roberto Cudmani			
Assistenten: Sven Manthey, Eren Matthews			
Studenten:			
Tom	Bagehorn	Markus	Kurz
Laura	Balducci	Lukas	Mayerle
Johann	Bauer	Franz	Miedel
Veronika	Bauer	Martin	Oberhauser
Charlotte	Beissel	Maximilian	Pobitzer
Korbinian	Bender	Nicole	Poloczek
Philipp	Ganal	Philipp	Schmidbauer
Johannes	Gruss	Patrick	Swolana
Johannes	Jessen	Jakob	Urban
Thomas	Kobler	Christoph	Wild
Csaba	Krümmer	Theodor	Zeller

Die Exkursion erfolgte dank der Unterstützung durch:



Jernbaneverket



Statens vegvesen

Montag, 10.10.2016: Metro in Kopenhagen

Berichterstatter: V. Bauer, Gruss, Jessen, Oberhauser, Poloczec, Wild

Nach einer kleinen Stärkung im „Sleep in Heaven“ - Hostel (das seinem Namen durch liebevolle Einrichtung und hohe Decken alle Ehre machte) ging unser erster Ausflug zur Projektpräsentation Cityringen. Auf dem Weg dorthin fiel uns der dichte Radverkehr in Kopenhagen trotz regnerischen Wetters auf.



Bild 2: Metronetz Kopenhagen

Im Projekt Cityringen geht es um das Metrovorhaben „Metroselskabet“ und die Hauptstadtbahn „Hovedstadens Letbane“. In einem Vortrag stellt Herr Andreas Köster die Entwicklung und die Ausbauplanung der Kopenhagener Metro vor. Aktuell besteht das Kopenhagener Metrosystem aus zwei vollautomatisch fahrenden Linien M1 und M2, die momentan ein Fahrgastaufkommen von 60 Millionen/Jahr aufweist. Wegen der steigenden Einwohnerzahl und dem Wachsen von Kopenhagen und der umliegenden Gemeinden, ist ein Ausbau der Metro notwendig. Die Metrofallstudie beschäftigt sich derzeit mit dem Bau der Linien M3 und M4, der Ringlinie und der Anschlüsse des Süd- und Nordhafens. Ziel ist es, in Kopenhagen eine Gehweite von maximal 600 m bis zur nächsten Metrostation zu erreichen. Betreiber der Metro sind die Stadt Kopenhagen, der Regierungsbezirk Kopenhagen und die Stadt Frederiksberg. Aktuell in Diskussion ist der Bau einer University Line, die DTU im Norden Kopenhagens bis nach Malmö verbindet. Eine große Herausforderung für den Bau der U-Bahn stellen die geologischen und hydrogeologischen Randbedingungen dar. In dem zweiten Teil des Vormittagsvortrags stellt Herr Enrico Paulato den Umgang mit den Risiken sowie das geotechnische Untersuchungsprogramm vor. Der Kopenhagener Untergrund besteht aus 3 Schichten. Im oberflächennahen Bereich liegt eine inhomogene, bis 3 m mächtige Auffüllung vor. Weiter von der Oberfläche in die Tiefe gehend liegen 2 bis 7 m mächtige quartäre, überkonsolidierte Schmelzwasserablagerungen (till) über dem sogenannten Kopenhagener Kalkstein (siehe Bild 3). In den quartären Ablagerungen variieren die geologischen Bedingungen sehr stark. Es sind Sand und Kieslinsen, sowie bis zu 3,5 m große Blöcke aus Norwegischen Granit oder bis zu 0,3 m mächtige Flintlagen anzutreffen.

Der Kopenhagener Kalk ist nicht verkarstet und besitzt nur horizontal Risse, die zu einer Durchlässigkeitserhöhung um den Faktor 10 führen im Vergleich zur vertikalen Durchlässigkeit. Das Grundwasser steht oberflächennah an. Ab 7 m im Süden und 15 m Tiefe im Norden steht der „byozoon“ Kalkstein an.

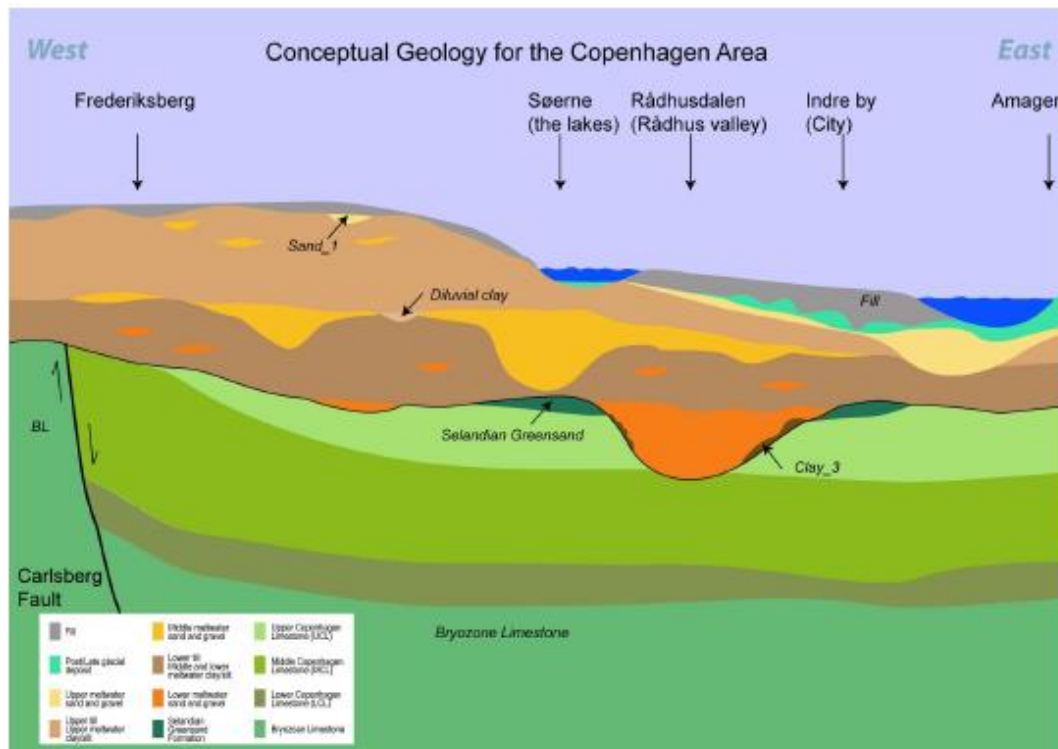


Bild 3: Geologie in Kopenhagen

Zur Erkundung der Untergrundbedingungen wurde ein geotechnisches Untersuchungsprogramm entwickelt. Entlang der zukünftigen Metrotrassen wurde in einer Bohrkampagne alle 40 m eine Bohrung durchgeführt. Des Weiteren wurde der Untergrund anhand von Siebanalysen (grain size distribution), Ödometerversuchen und Triaxialversuchen charakterisiert. Hydrogeologische Parameter wurden mit dem „flow logging“ und Pumpentests („pump tests“) ermittelt. Während des Baus und auch nach Erstellung der Tunnel und Metrostationen werden die Randbedingungen durch ein dicht ausgebautes Monitoring Netz überwacht. Insgesamt lagen die Kosten für das geotechnische Untersuchungsprogramm bei 2,5 % der gesamten Konstruktionskosten.

Aus diesem Grund mussten bereits existierende Tunnel angepasst/ modifiziert werden anstatt nur neue Tunnel zu bauen. Eine Berücksichtigung der Erweiterung des U-Bahnnetzes im früheren Status hätte solche Anpassungen bestehender Tunnel und somit auch Kosten erspart.

Die Konstruktion der Stationen erfolgte nach dem Top-Down-Prinzip in Deckelbauweise. Die tiefste Haltestelle lag dabei bei 46 m unter GOK.

Ein großes Problem war beim Bau der Stationen der hohe Grundwasserspiegel. Im Stadttinneren sind die meisten alten Gebäuden auf hölzernen Pfählen gegründet. Bereits minimale Absenkungen des Grundwasserspiegels können bei längerem Kontakt der Pfähle mit Sauerstoff zum Verrotten der Pfähle führen. Eine Besonderheit des Projekts ist deswegen das innovative Grundwassermanagement. Bei der Wasserhaltung für die U-Bahn-Baustellen kamen je nach Tiefe der Baugrube 6-8 Pumpen zum Einsatz, die bis zu 120 m³/h abpumpten.

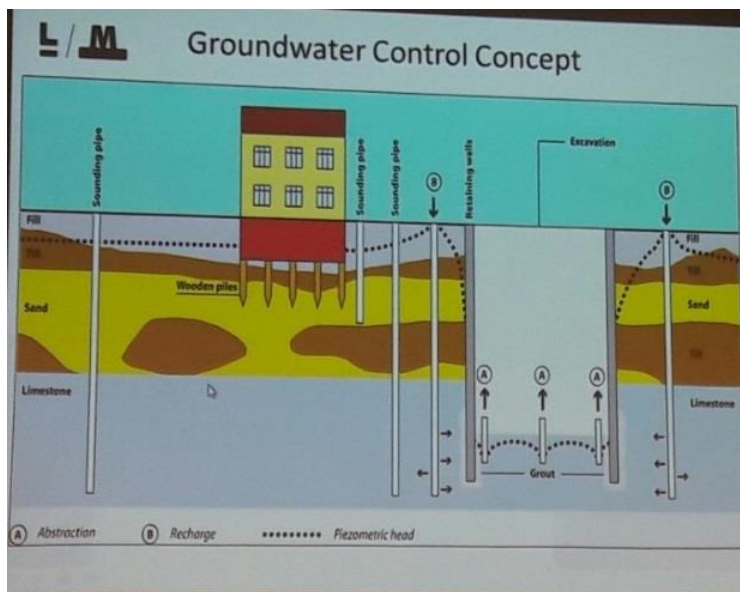


Bild 4: Grundwassermanagement

Um den Grundwasserspiegel stabil zu halten (zur Setzungsvermeidung) und Umweltauflagen für das Grundwasser zu erfüllen (v.a. Vermeidung der Mobilisierung von Schadstoffen aus industriellen Altlasten) wurden 90 % des abgepumpten Wassers dem Untergrund über ein Netz aus Brunnen in Haltestellennähe wieder zugeführt. Die Entnahme und Rückführung erfolgten dabei über den Kalkstein.

Da der Tunnel hauptsächlich im Kalkstein aufgeföhren wurde machten nur die vereinzelt Sandlinsen, einige wenige „Löcher“ im Boden und im Sand liegende Stationsbereiche hierbei Probleme.

Bei der Herstellung der Bohrpfahlwände für die Baugruben war vor allem wichtig zu wissen wo sich im Untergrund Flintsteinschichten befinden, da diese beim Bohren schwer zu durchdringen sind. Hierbei musste darauf geachtet werden, ob das entnommene Material aus tieferen Schichten kommt oder der Bohrkopf den Flintstein nicht durchbrechen kann und das entnommene Bodenmaterial aus der Umgebung kommt. Wenn der Bohrkopf zu lange auf dem Flintstein bohrt ohne diesen zu durchdringen, steigt die Abrasivität der Bohrköpfe stark an.

Am Nachmittag stand ein Besuch auf der U-Bahn Baustelle im Bereich des Anschlusses des Nordhavns an den Cityringen an. Diesen Teil bauen als Arbeitsgemeinschaft die beiden deutschen Bauunternehmen HOCHTIEF AG und Ed. Züblin AG.



Bild 5: Metro Baustelle Nordhavn

Jede Tunnelröhre mit einem Durchmesser von 5,78 m wird/wurde in fliegender Anfahrt angefahren, wobei bereits bei einer Tunnelröhre der Durchbruch erfolgte. Vorgetrieben wird jeweils mit einer TBM mit Erddruckschild, da sich diese aufgrund der geologischen Verhältnisse am besten eignen. Um eine optimale Vortriebsleistung generieren zu können muss der „Erdbrei“ die richtige Konsistenz aufweisen, deshalb sind auch die ersten 0,5 m vor dem Schneidrad entscheidend, welche Anpressdruck und damit welche Vortriebsgeschwindigkeit gefahren werden kann. Die Schächte mit einer mittlern Abmessung von 65m x 20m und einer Tiefe bis zu 46 m werden für die Metrostationen mit überschnittenen Bohrpfehlwänden oder Schlitzwänden hergestellt.

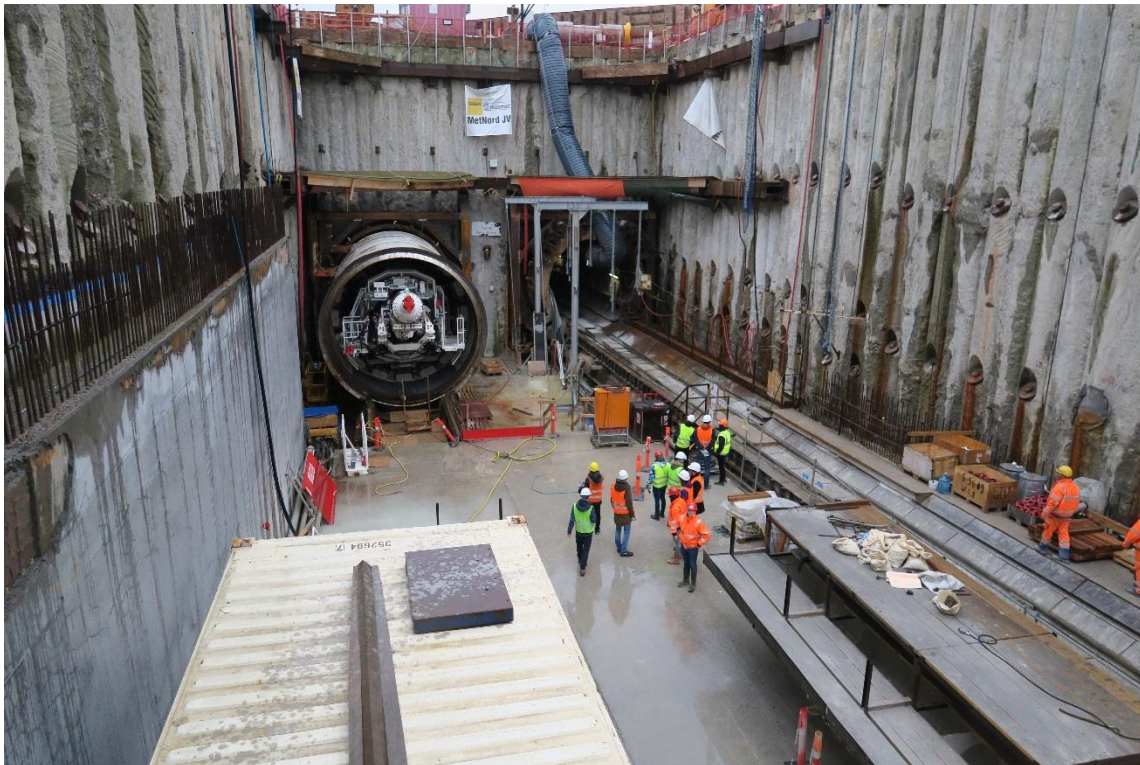


Bild 6: Startbaugrube der TBM



Bild 7: Vorderer Teil der Erddruck-TBM



Bild 8: Tunnelname

Dienstag, 11.10.2016: Besuch beim NGI (Norwegian Geotechnical Institute)

Berichterstatter: Krümmer, Mayerle, Bender, Zeller, Pobitzer, J. Bauer

Nach dem Frühstück früh in der Jugendherberge sind wir zum NGI (Norwegian Geotechnical Institute) aufgebrochen. Das NGI wurde in 1953 unter den Namen „The Research Council of Norway“ gegründet und sie wurde 1956 in eine private Stiftung umgestaltet. Die NGI hat ihren Sitz in Oslo und sie ist heute der größte Dienstleister für Forschung und Ingenieurdienstleistungen in den Geschäftsfeldern offshore Energie, Bauen und Transport, Naturkatastrophen und Naturgefahren und Umweltingenieurwesen in Norwegen. Sie ist zugleich die größte geologische Gemeinschaft in Norwegen mit über 200 Mitarbeitern aus 35 Ländern.

Außer Oslo hat die NGI Niederlassungen in Trondheim, in Houston (USA) und in Perth (Australien) und sie wird in den internationalen Fachkreisen als einer der führenden geotechnischen Institute anerkannt. In der ersten Präsentation wurde uns die NGI detailliert vorgestellt.

Im Bereich Offshore Energie wird mit der Öl- und Gasindustrie eng zusammenarbeitet und viel Forschung betrieben. Die Bedeutung der offshore Windenergie hat in den letzten Jahren auch bei der NGI deutlich zugenommen. Sie beschäftigen sich hierbei hauptsächlich mit der Gründungsplanung und mit der Bodenerkundung der Windkraftanlagen.

Der Bau- und Transportsektor gibt mit 37% etwas über einem Drittel der Aufträge der NGI. Zu diesem Geschäftsfeld gehören die Bodenuntersuchungen und Gutachten für Großprojekte und die Planung als Ingenieurdienstleistung. In Norwegen ist der sogenannte quick clay (Lehm) verbreitet, der eine sehr geringe Tragfähigkeit hat (ca. 10 MPa??). Die (quick) clay Schicht kann bis zu 90-120 m dick werden und darunter befindet sich der tragfähige Fels. Bauwerke die setzungsempfindlich sind werden im Regelfall auf Pfähle gegründet, die bis zur tragfähigen Fels eingerammt werden. Quick clay entsteht indem die Salze vom Lehm durch das Bodenwasser ausgewaschen werden.

Das dritte Bereich der NGI sind die Naturkatastrophen. Es werden in kritischen Bereichen, zum Beispiel im Gebirge Messgeräte installiert womit die Gefahrvorhersage ermöglicht wird. Die Bewegungen werden regelmäßig ausgewertet, wovon man Rückschlüsse ziehen kann und bei Bedarfsfall mit Gegenmaßnahmen rechtzeitig beginnen. Diese Messsysteme werden auch bei neuen Straßen und Bahnbauprojekten eingesetzt, die im brüchigen Gebirge gebaut werden.

Im Geschäftsfeld Umweltingenieurwesen werden in den Bereichen Bauen und Transport die Umweltaspekte behandelt, Verunreinigungen im Boden und im Wasser werden aufgehoben und Monitoring Maßnahmen definiert und ausgeführt.

Nach der Vorstellung des NGI wurden uns in verschiedenen Vorträgen die geotechnischen Besonderheiten auf die man in Norwegen trifft etwas näher erläutert.

In Oslo ist tragfähiger Fels erst unter der schlecht tragfähigen Schicht aus Quick-Clay anzutreffen. Baugruben werden daher meist aus Spundwänden, welche bis in den Fels reichen, hergestellt. Diese werden mit Ankern rückverankert. Eine Besonderheit ist dabei, dass die Anker aufgrund der schlechten Tragfähigkeit des Quick-Clays ebenfalls bis in den harten Fels reichen müssen.

Diese Bauweise bringt jedoch erhebliche Nachteile mit sich. Einerseits reichen die Anker in den umliegenden Baugrund. Andererseits kommt es bei undichten Ankeranschlüssen an die Baugrube zu einer Reduktion der Porendrücke und Wasser tritt in die Baugrube. Zusammen mit den Vibrationen die bei der Bohrung der Anker auftreten, kommt es bei dieser Bauweise folglich zu erheblichen Setzungen im Umfeld.

Das NGI forscht deshalb an alternativen Baumethoden. Nach Meinung des NGI sind Baustellenaussteifungen die bessere Bauvariante. Allerdings ist diese bei Bauunternehmen sehr unbeliebt, da sie den Baubetrieb erheblich beeinflusst und teurer ist.

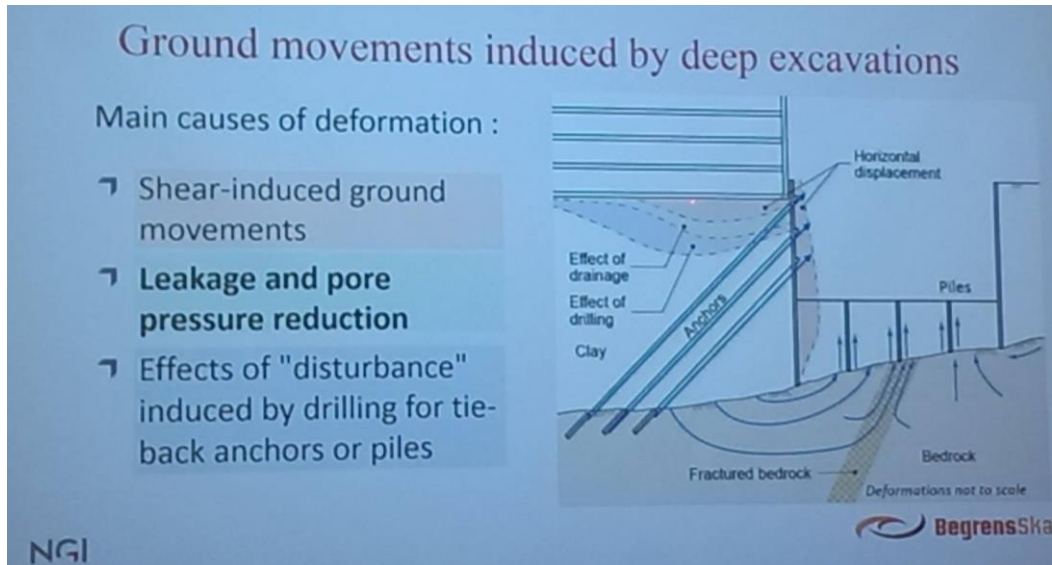


Bild 9: Setzungsursachen bei der klassischen „Spundwand & Bohrpfahl“-Bauweise
In einem Zweiten Vortrag wurde uns das Phänomen Quick-Clay besser erläutert.
Als Quick - Clay werden marine, feinsandige, stark wasserhaltige Tone bezeichnet. In Europa findet man sie überwiegend in skandinavischen Küstengebieten. Es handelt sich dabei um Tone die während der der Eiszeit in küstennahem Meerwasser mit hoher Elektrolytkonzentration abgelagert abgelagert wurden. In diesem Umfeld bindet die Positive Ladung der Kationen (Na des NaCl (Meeressalz)) die Tonpartikel mit negativer Oberflächenladung. Nach der Eiszeit, als eine massive Landhebung stattfand, wurden diese Tone über den Meeresspiegel gehoben.

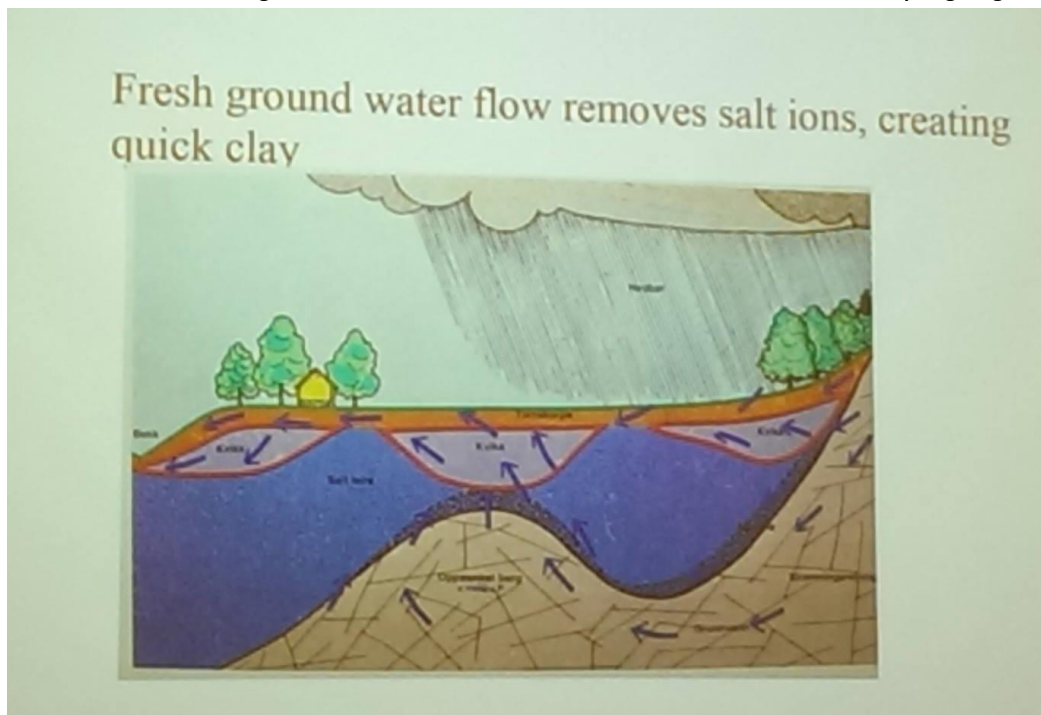


Bild 10: Entstehung von Quick-Clay

Über die Zeit wurden die Elektrolyten durch das Grund- und Regenwassers ausgewaschen. Übrig blieb eine instabile Struktur der einzelnen Ton-Blättchen, vergleichbar mit der Struktur eines Kartenhauses.

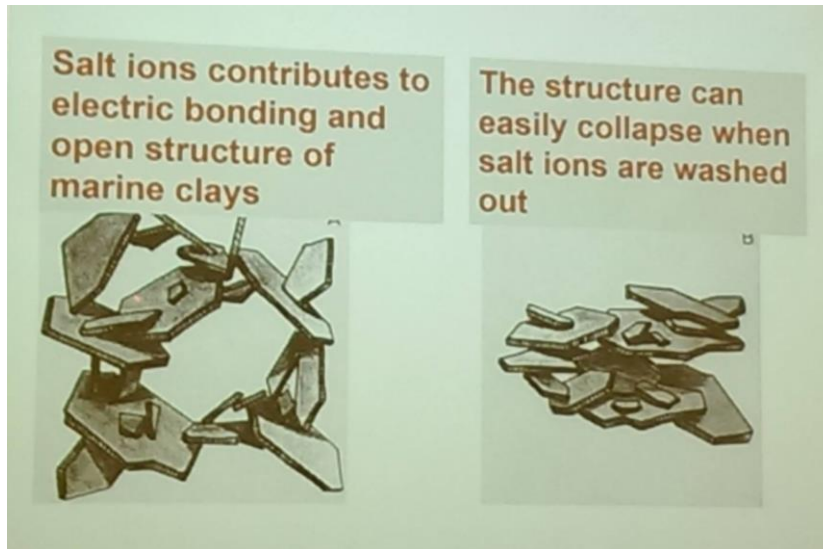


Bild 11: Strukturänderung von Quick-Clay

Bereits geringe Bodenerschütterungen genügen, sie auch bei geringer Hangneigung zum Abrutschen zu bringen. Und dies passiert auch immer wieder mit teils verheerenden Folgen, da es sich meist um eine Kettenreaktion handelt. Wurde die Struktur erstmalig gestört, scheint es als ob sich der zuvor feste Ton einfach verflüssigen würde.

Durch die erneute Zugabe von einfachen Kochsalz jedoch kann die Ausgangsstruktur wieder erreicht werden.

Anschließend haben wir im Labor der NGI eine Führung bekommen und konnten selber auf kleinen Bodenproben die Änderung der Eigenschaften vom Quick Clay infolge von mechanischen Einflüssen beobachten. Als Salz zur Probe dazugegeben wurde hat sich die Festigkeit der nahezu flüssigen Probe schnell erhöht.



Bild 12: Labor des NGI



Bild 13: Quick-Clay Demonstration

Der weitere Nachmittag stand zu unserer freien Verfügung.

Einige Studenten haben sich die Ski-Sprungschanze von Oslo angeschaut.



Bild 14: Ski-Sprungschanze in Oslo

Abends fand außerdem das EM-Qualifikationsspiel Norwegen gegen San Marino statt.

Dabei hat San Marino das erste Tor seit 15 Jahren geschossen. Leider gewann Norwegen dennoch mit 4:1



Bild 15: Em-Qualifikationsspiel Norwegen – San Marino (4:1)

Abends wurde im Hostel noch gemeinsam gekocht und ein paar Bierchen getrunken.

Mittwoch, 12.10.2016:

Berichterstatter: Bagehorn, Balducci, Beissel, Kobler, Miedel, Ganai

Nach einem nahrhaften Frühstück fuhren wir um 07.30 Uhr auf die erste Baustelle, die sich südöstlich von Oslo S (Hauptbahnhof) befindet. Zu Beginn erhielten wir mittels einer kurzen Präsentation einen ersten Einblick in das Projekt. Dabei handelt es sich um den Ausbau der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Oslo und Ski. Die neue Strecke ermöglicht in Zukunft die Verbindung von Ski nach Oslo in nur elf Minuten, wodurch sich eine Zeitersparnis von 50 % sowie die Verdopplung der Kapazität ergeben. Es ist mit einem Umfang von 3 Mrd. Euro derzeit Norwegens größtes Infrastrukturprojekt. Aus Sicherheitsgründen und um eine getrennte Schließung zu ermöglichen sind zwei separate Röhren geplant. Vier Tunnelbohrmaschinen realisieren die 20 km Tunnellänge. Die beim Vortrieb anfallenden 11 Mio. Tonnen Aushubmaterial werden sofort auf dem Baustellengelände recycelt und zur Betonherstellung wiederverwendet. Das Follo Line Project wurde in vier Unterprojekte eingeteilt, da dessen Umfang und die Anforderungen an die Bauabschnitte nicht mittels eines Auftrags realisierbar gewesen wäre. Die Abschnitte gliedern sich wie folgt: 1.) Oslo S – sentral stasjon, 2.) 1,5 km Innenstadt-stadtauswärts, 3.) 18,5 km ländlich, 4.) Ski Stasjon (Open Section). Der Bahnhof Ski stasjon (sechs Gleise mit drei Bahnsteigen) wird ebenfalls neu entworfen. Zurzeit existiert lediglich der Kabelkanal mit 4*4 m und einer Länge von 420 m. Die vier eingesetzten TBMs sind 150m lang, 2400t schwer und besitzen 71 Cutter. Sie leisten außerdem 12 – 15 m Vortrieb pro Tag. Die Fertigstellung des Projekts ist für Dezember 2021 geplant.



Bild 16: Baugrube



Bild 17: Spundwand

Nach einer ausführlichen Einweisung durch einen Sicherheitsbeauftragten und dem Anziehen der signalfarbenen Arbeitshosen (es fand sich tatsächlich für jeden Studenten eine passende Größe) ging es endlich auf die Baustelle. Zur Sicherung des Baugrubenverbau und Abdichtung gegen das Grundwasser werden die Spundwände bis zum Erreichen des Fels in den Boden gerüttelt, der im Bereich Oslo S (Oslo bedrock) in 10-60 m Tiefe zu erwarten ist. Zusätzlich kommt das Düsenstrahlverfahren zum Einsatz, da der vorhandene Quick Clay die Verwendung von Ankern verhindert. Dabei werden Zement-Betongemisch-Körper mittels einer Suspension und dem natürlich vorhandenen Boden im Erdreich erstellt. Der Quick Clay weist in Oslo und Umgebung Dicken von bis zu acht Metern auf. An einigen Stellen befinden sich direkt über dem Fels Moränen. Alle notwendigen Daten und Baugrundgutachten stammen vom NGI. Die größten Herausforderungen stellen vor allem die inhomogene Tiefe des Fels, häufig vorkommende archäologische Funde sowie die umgebene und dichte Bebauung dar. In den oberen Bodenschichten findet man zusätzlich häufig Reste alter Gebäude, wie Steine, Hölzer oder sogar

Gleise. Trotz höchster Sicherheitsausrüstung durften wir die HDI-Arbeiten nur von Weiten betrachten und auch den Einbau der Spundwand konnten wir nur erahnen. Man sollte nicht viel erwarten von einer Nation, in der zur Anbringung eines Absperrbands sechs Männer benötigt werden.

Anschließend bekamen wir jedoch einen Snack in Form von belegten Sandwiches, der uns frische Energie für die verbleibenden Baustellen lieferte.



Bild 18: Spundwandverbau mit Steifen

Die zweite Baustelle des Tages erreichten wir in wenigen Gehminuten zu Fuß (netterweise durften wir die geliehenen Signalhosen anbehalten, weshalb wir uns fühlten und aussahen wie Grundschulkinder, die zum Spielen im Matsch verabredet waren). Es handelt sich um ein Joint-Venture für den Neubau eines Bürogebäudes an dem das NGI beteiligt ist. Die Baugrube befindet sich zwischen zwei Gebäuden, einer Straße und einer großen Fußgängerbrücke. Wie zuvor werden hier Spundwände zur Sicherstellung des Baugrubenverbaus eingebaut, die jedoch mit Steifen ausgesteift wurden. Die weiße Beschichtung auf der Oberseite der Steifen verhindert bzw. begrenzt bei Sonneneinstrahlung deren Längenänderung.



Bild 19: Baugrube für ein Einkaufszentrum

Anschließend gingen wir wieder zu Fuß zur letzten Baustelle, der Neubau eines Einkaufszentrums, und ein weiteres Mal kamen Spundwände zum Einsatz. Da auch hier der Einsatz von

Ankern nicht möglich war, wurden schräge Streben auf die Baugrubensohle abgestützt, die die anfallenden Längs- und Querkkräfte in Betonfundamente leiten um Verformungen zu begrenzen. Um die Spundwände vor Kälte und Frost zu schützen, waren sie mit Dämmung abgedeckt. Die direkt angrenzende Straße wurde auf einer Vielzahl von Säulen gegründet. Wiedererwartend lassen sich straßenseitig jedoch nur sehr geringe Verschiebungen der Spundwand feststellen. Im Zuge der Bauarbeiten kommt es ebenfalls häufig zu archäologischen Funden, da sich dort früher der alte Hafen befand.

Der restliche Nachmittag wurde für eigene Aktivitäten freigestellt. Die Besichtigung der neuen Oper sowie eine Schiffrundfahrt zur den vorgelagerten Inseln Oslos standen auf dem Programm. Am Abend trafen sich alle Studenten wieder im Hostel, um gemeinsam zu kochen und den Abend bei ein bis sechs Bier ausklingen zu lassen.

Donnerstag, 13.10.16:

Berichterstatte: Schmidbauer, Kurz, Urban, Swolana

Der Donnerstagvormittag stand den Studenten zur freien Verfügung. Ein Teil der Gruppe erkundete die Innenstadt, unter anderem das Schloss und das Rathaus. Die restlichen Studenten schliefen aus, und wurden um 12 Uhr mittags vom Bus direkt an der Jugendherberge „Haraldsheim“ abgeholt. Nachdem die andere Gruppe wie abgemacht am NGI aufgesammelt worden war, fuhren wir los Richtung Baustelle. Nach ca. 30 min erreichten wir das „Bauleitungszentrum“ der Baustelle „E16 Sandvika-Woyen“. Hier betreibt die „Statens vegvesen“ – die staatliche Straßenbaubehörde Norwegens – die aktuell tiefste Baugrube in Norwegen.

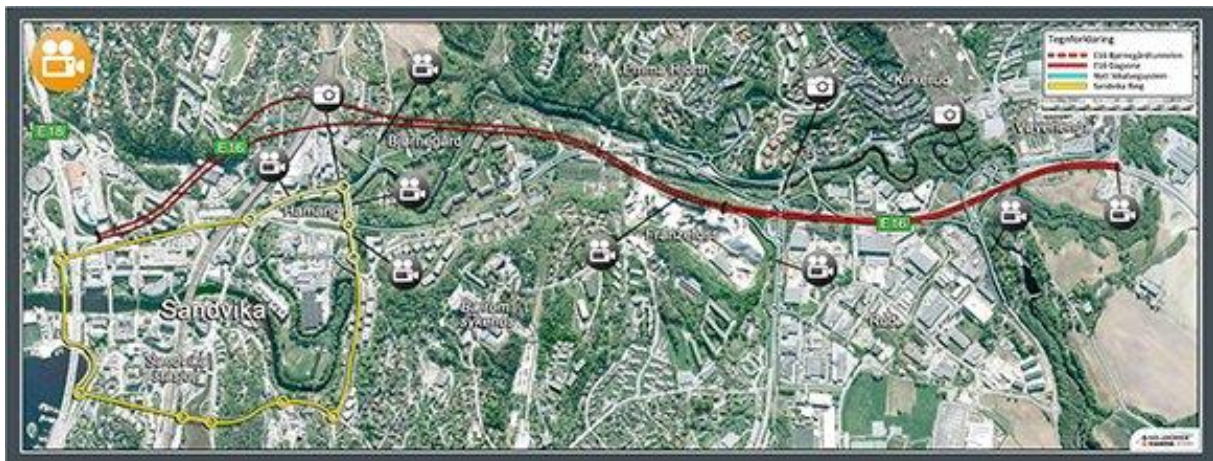


Bild 20: Übersicht des Streckenabschnittes „Sandvika – Woyen“

Die E16 ist die Verbindungsstraße zwischen Oslo und Bergen und ist die meistbefahrenste Straße Norwegens. Im Jahr 2010 betrug der Verkehr rund 35000 Fahrzeuge am Tag. Um dem wachsenden Verkehrsaufkommen gerecht zu werden und die Anwohner zu entlasten wird die Straße auf vier Spuren erweitert und die Straßenführung angepasst und zum Teil unter die Erde verlegt.

In diesem Projektabschnitt werden 2,3 km Tunnel gebaut. Ein großer Teil davon wird in offener Tunnelbauweise hergestellt, ein kleinerer Tunnelabschnitt in Bergmännischer Bauweise. Die Baugrube des Bauabschnitts, den wir besichtigten, stellte die Planer vor besondere Herausforderungen. In unmittelbarer Nähe befindet sich ein großes Umspannwerk. Um die regionale Stromversorgung nicht zu gefährden, werden extrem hohe Anforderungen an die zulässigen

09. bis 14. Oktober 2016

Setzungen gestellt. Auch für die noch bestehende „alte“ E 16 die in der Passage über eine Brücke geführt wird gelten hohe Setzungsanforderungen und es muss ein durchgehender Betrieb gewährleistet sein. Die Abmessungen der Baugrube mit einer Tiefe von bis zu 30m und einer Breite von 47m stellten die Ingenieure zusätzlich vor große Herausforderungen.



Bild 21: Übersicht der Baugrube

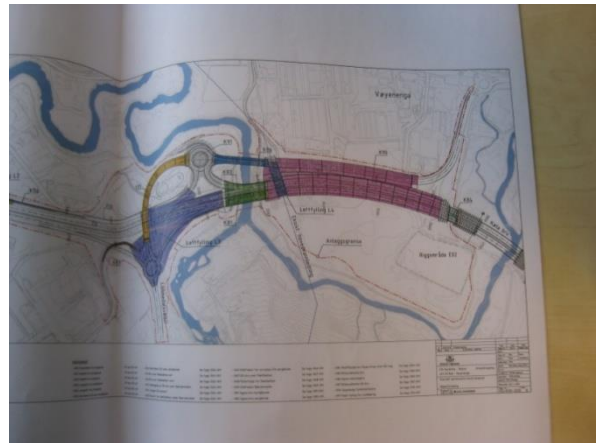


Bild 22: Baugrube (violett markiert)

Die Bodenverhältnisse lassen sich wie folgt beschreiben. Unter einer Kruste befindet sich, typisch für Norwegen, ein sehr weicher Lehm Boden darunter in manchen Bereichen auch der sogenannte „Quick Clay“ (siehe Bericht zum Dienstag). Unterhalb der Lehmschicht, auf einer Tiefe von ca. 5 m bis 35 m, ist das Grundgestein aus Granit zu finden. Der Grundwasserspiegel liegt nur wenige Meter unter Geländeoberkante.

Den interessantesten Teil der von uns besichtigten Baugrube stellt die bis zu 30 Meter hohe überschnittene Bohrpfehlwand auf der Nordseite dar. Hier wurden sieben Ankerlagen, die im Grundgestein verankert sind, sowie eine Einbindung der Pfähle in den Fels geplant.

Zur Sicherstellung der Standsicherheit der Pfähle, die mit einem Durchmesser von 1,2 m ausgeführt wurden und um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, wurde die komplette Wand mittels FEM Simulation nachgestellt und berechnet. Weiter wurde ein Full-Scale-Pumping Test durchgeführt. So konnte der anfallende Wasserdruck besser vorhergesagt werden und damit der Sicherheitsbeiwert für die anstehende Wasserlast von 1,4 auf 1,0 abgesenkt werden.

Nach dem Setzen der Bohrpfähle wurde die Baugrube ausgehoben, dabei wurden die Verformungen und Setzungen ständig aufgezeichnet. Hinter der Bohrpfehlwand wurde für den Fall, dass die Wand die anstehenden Lasten nicht halten kann mehrere Grundwasserbrunnen installiert, so besteht die Möglichkeit das Wasser abzupumpen und somit die Lasten erheblich zu reduzieren.

Auf einer Tiefe von ca. 27 m unter der Geländeoberkante wurde bemerkt, dass die Bohrpfähle von der Spezialtieffbaufirma nicht wie ausgeschrieben in den Fels eingebunden waren. Die Bohrpfehlwand gründet somit in einem Streckenabschnitt von einigen Metern in nicht tragfähigem Grund. Die im vorherigen Abschnitt erwähnte Grundwasserabsenkung wurde somit nötig. Das Grundwasser wurde also hinter der Bohrpfehlwand um ca. 20 m abgesenkt (Kritische Setzungen wurden an den Trafo-Häusern nicht beobachtet). Um das fehlende horizontale Fußlager der Pfähle auszubilden wurden große „Dübel“ vor die Wand in den Boden gerammt, und eine 8. Ankerlage hergestellt. Außerdem wird mittels Hochdruckinjektion die Tragsicherheit in den kritischen Bereichen wieder hergestellt.



Bild 23: Schlecht eingebundener Bohrpfehl mit Not-Dübel



Bild 24: Unterste (ungeplante) Ankerlage

Anschließend wurde die zweite Baugrube dieses Abschnittes besichtigt, wo wir einen Einblick in den laufenden Bergmännischen Tunnelvortrieb erhielten. Bei dem zu sprengenden Tunnelabschnitt wurde um die Erschütterungen der darüber laufenden Straße gering zu halten mit sehr kleinen Sprengladungen operiert. Die im vorherigen Bereich offene Tunnelbauweise wurde, mit einer Spundwand flankiert, diese diente ausschließlich dazu einen nahen Bach vor Kontaminationen zu schützen, welche dort im Bereich des Tunnels lokalisiert wurden.

In Zukunft wird geplant, dass nach dem „Schließen“ des offenen Tunnels, der gewonnene Raum zur Wohnbebauung genutzt wird.



Bild 25: Bergmännischer Tunnelvortrieb



Bild 26: Geplanter Durchbruch auf der gegenüberliegenden Seite

Die Kosten dieses Projektabschnittes belaufen sich auf ca. 4 Milliarden Norwegische Kronen, was ca. 400 Millionen Euro entspricht. Alleine die oben beschriebene Bohrpfehlwand kostet pro laufenden Meter 10000 Euro.

Nachdem wir mit dem Bus wieder in die Jugendherberge gefahren sind, besuchten einige Studenten noch das Studentenviertel von Oslo, abends traf sich der Großteil der Gruppe beim Kochen, essen und trinken in der Herbergs-Küche, bevor es am Folgetag in aller Frühe zurück in die Heimat gehen sollte.