

Tangenvika Brücke Norwegens längste Eisenbahnbrücke

D. Gächter¹⁾

¹⁾ Keller Geoteknikk AS, Norwegen

DOI: <https://doi.org/10.3217/yhj8z-y2c29>

1 Einleitung

Erhöhte Anforderungen an den Schienenverkehr nördlich von Oslo haben die norwegische Eisenbahnbehörde dazu bewogen den zweigleisigen Ausbau mit einer Betriebsgeschwindigkeit von 250 km/h voranzutreiben. Ein Teil dieser Entwicklung ist die Tangenvika Brücke, welche am größten Trinkwasserreservoir in Norwegen (Mjøsa) gebaut wird. Nach ihrer Fertigstellung wird sie die längste Eisenbahnbrücke in Norwegen sein, mit einer Länge von 1.022m. Der Projektabschnitt „KS-2 Tangenvika Brücke“ ist Teil des Intercity Entwicklungsplans mit dem Namen Kleverud – Sørli – Åkersvika, welcher in Abb. 1 ersichtlich ist.



Abb. 1: Übersicht über die verschiedenen Verträge des Abschnittes Kleverud – Sørli – Åkersvika

1.1 Lage der Brücke

Die Brücke liegt im Süden Norwegens, ca. 100 Kilometer nördlich von Oslo (siehe Abb. 2) und verbindet in weiterer Folge die Ortschaften Espa und Tangen. Die Brücke überquert den größten See Norwegens mit einer Fläche von 369 km². Der See erstreckt sich von Minnesund im Süden über 173 km bis nach Lillehammer im Norden. Gleichzeitig ist der Mjøsa See mit einer Tiefe von bis zu 332 Meter auch der viert tiefste See Europas was zu erheblichen Herausforderungen während der Fundierungsarbeiten geführt hat.

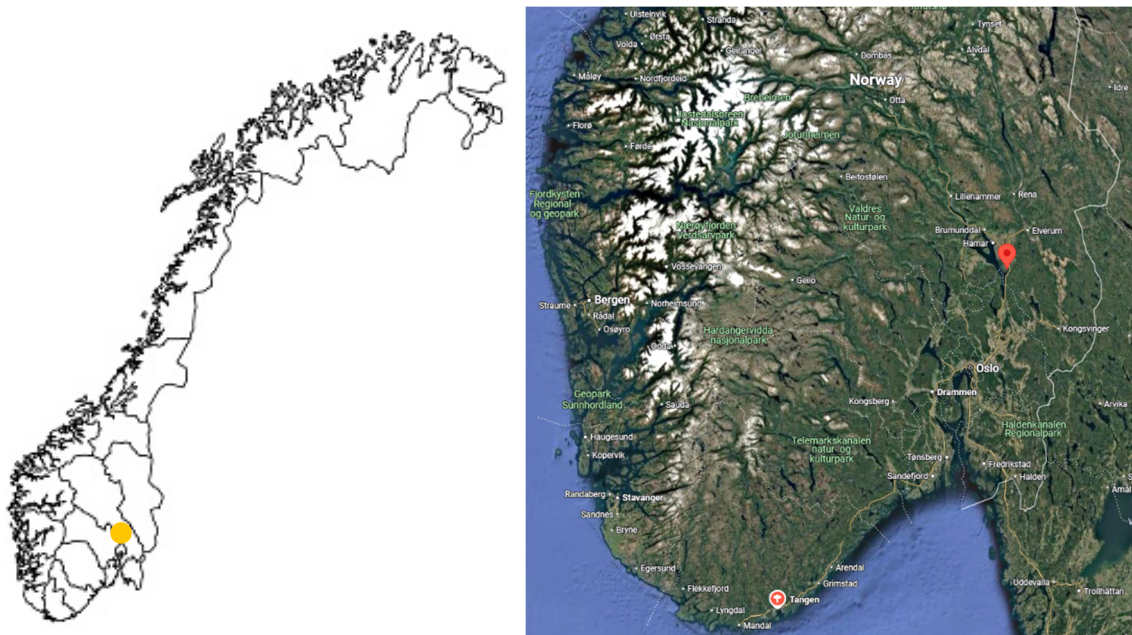


Abb. 2: links: Übersichtskarte von Norwegen- gelb das Projektsgebiet, rechts: Lage der Brücke, ca. 100 Kilometer nördlich von Oslo

Der See dient auch als größter Trinkwasserspeicher für die umliegenden Gemeinden und Städte weshalb ein besonderes Augenmerk auf die Einhaltung des Umweltschutzes, bereits in der Ausschreibung, gelegt wurde. Zur Verbesserung des unterwasserseitigen Hochwasserschutzes wurden im Süden des Sees Dämme errichtet, wodurch ein kontrolliertes Ablassen der Wassermengen speziell im Frühjahr gewährleistet werden soll. Diese Maßnahme führt zu einer Wasserspiegel Differenz von ca. 4 Meter zwischen Höchst- und Niedrigst- Wasserstand (siehe Abb. 3).

Die Lage dieser Brücke, ohne jeglichen Zugang zu einem Hafen, erforderte bereits während der Planung alles auf die stark begrenzten Transportabmessungen für den Landweg abzustimmen.

Diese Randbedingung war sowohl für die einzusetzenden Geräte, Schiffe, Pfähle als auch für die Arbeitsplattformen von Beginn an der limitierende Faktor. Dies endete darin, dass keine Transporte von mehr als 25 m Gesamtlänge oder 85t Gesamtgewicht zur Baustelle zufahren konnten. Daher mussten alle Arbeitsplattformen aus modularen Containersystemen zusammengesetzt werden, welche jedoch wesentlich geringere Kapazitäten in Bezug auf Traglasten aufweisen als für dieses Projekt erforderlich sind. Dies führte zu einem erheblichen Designaufwand um die Arbeitsplattformen sicher auf dem See bewegen und verankern zu können und in weiterer Folge die Pfähle für die Fundierung herstellen zu können. Abb. 4 zeigt die Kranplattform, welche aus 44 Einzelementen zusammengebaut werden musste, um die nötigen Stabilitätskriterien für das Arbeiten mit einem 400 to Kran zu gewährleisten.

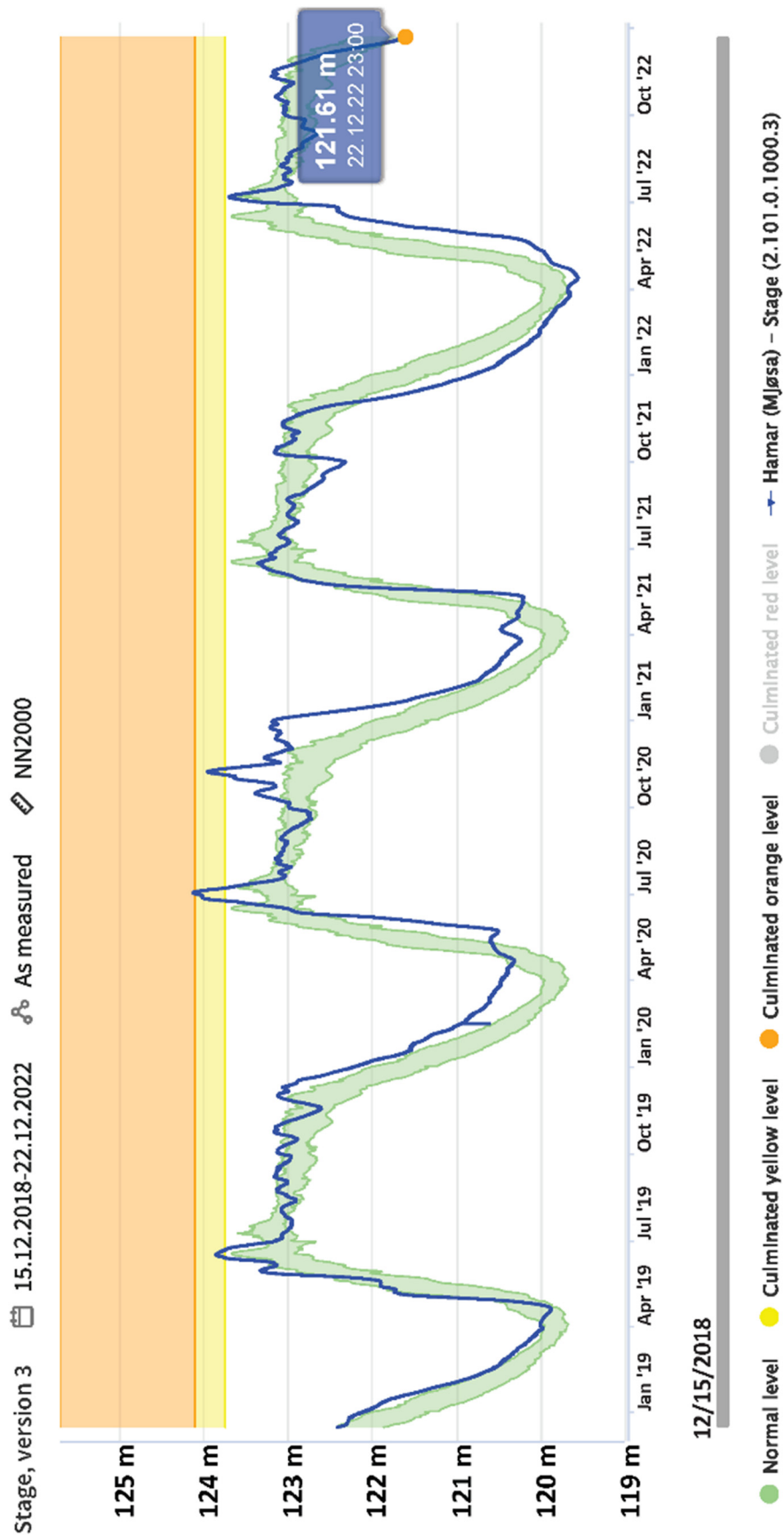


Abb. 3: Wasserstandsganglinie über 4 Jahre, ca. 4 Meter Schwankungshöhe, zwischen einer Absolut Höhe von 119 m und 123 m

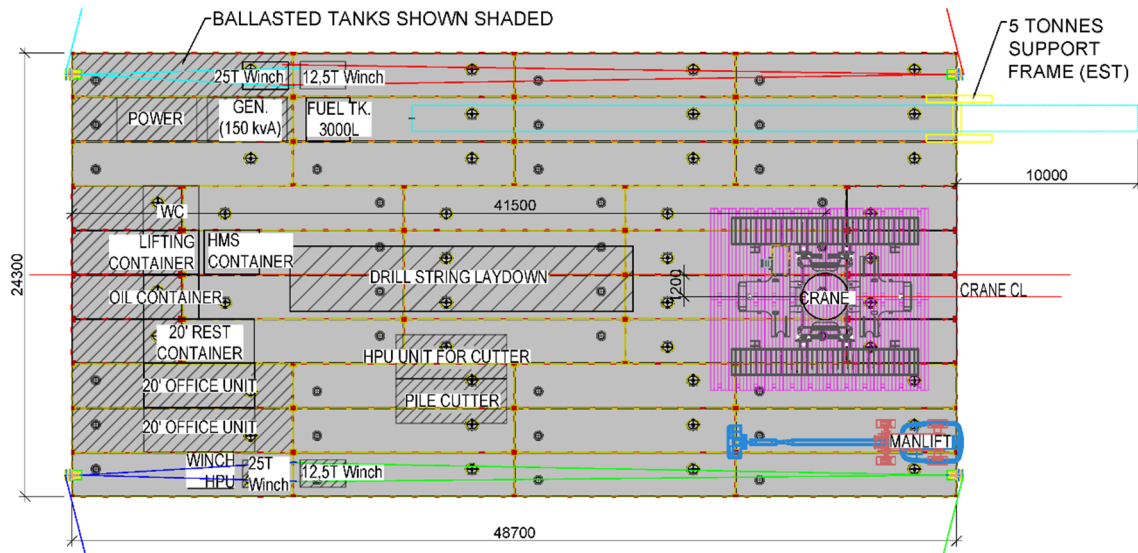


Abb. 4: Darstellung der Kranplattform, unterteilt in 44 Einzelelemente lt. möglichen Transportdimensionen

Neben der Zugänglichkeit der Baustelle sind vor allem die Wassertiefe von bis zu 60 m an der projektierten Brückenquerung die große Herausforderung bei diesem Projekt. Aufgrund dieser Tiefen sind ausschließlich schwimmende Arbeitsplattformen einsetzbar, wodurch der Verankerung am Seeboden besonderes Augenmerk geschenkt werden muss, damit die Pfähle sicher hergestellt werden können. Um dies sicherzustellen wurde ein Ankerkonzept entwickelt, welches auf bis zu 6 Anker je Arbeitsplattform zurückgreifen musste. Stahlanker mussten mit Stahlketten kombiniert werden um bei der vorherrschenden Geologie die erforderlichen Kräfte aus Wind, Wellen und Herstellungsprozess sicher in den Baugrund ableiten zu können. Für die Herstellung der Pfähle waren 2 Arbeitsplattformen sowie ein Schleppboot erforderlich, um ein sicheres Arbeiten bei 60 m Wassertiefe zu gewährleisten.

2 Geologie

Die Querung des Mjøsa Sees ist hauptsächlich durch Seesedimente charakterisiert. Diese Sedimente bestehen aus Wechsellagen von unterschiedlich mächtigen Tonen, Schluffen sowie nichtbindigen Bodenschichten. An den tiefsten Stellen der Querung wurde eine mehrere Meter starke Moräne angetroffen bevor der Fels in Form eines Granits aufgeschlossen wurde. In Abb. 5 ist die Schichtung der Ablagerungen dargestellt. Weiters waren Herausforderungen mit Wassertiefen von bis zu 60 m in Brückenmitte für die Aufschlussbohrungen und in weiterer Folge auch für die Herstellung der Pfähle maßgebend.

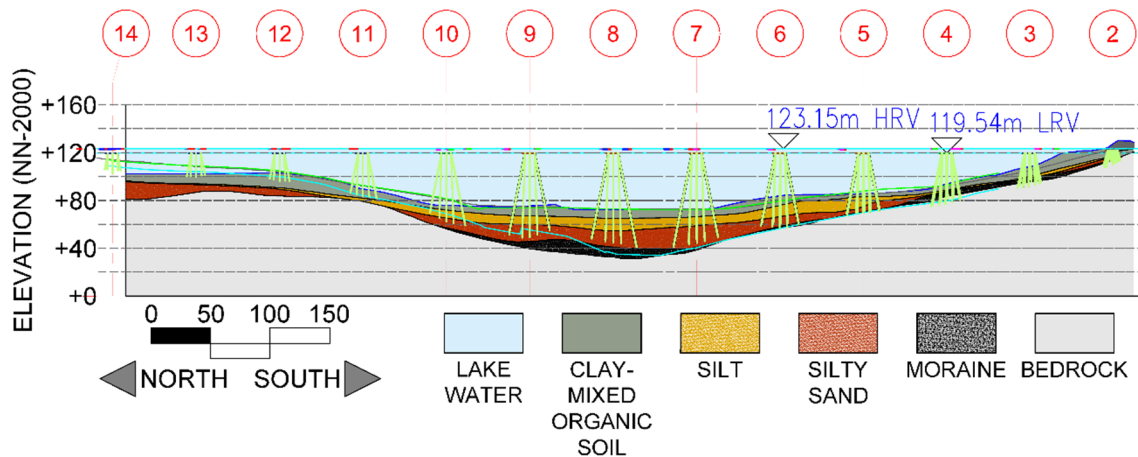


Abb. 5: Geologischer Querschnitt entlang der Brückenachse, blau - Wasser, grau – Tone mit organischen Bestandteilen, orange – Schluffe, braun – schluffige Sande, schwarz - Moräne, hellgrau - Fels

Speziell an beiden Landseiten der Brücke wurden sensitive Tone in den Ablagerungen angetroffen, wodurch das Risiko einer Unterwasser Rutschung in Folge der Pfahlherstellung als sehr hoch ausgewiesen wurde. Zusätzlich dazu war eine steil abfallende Felsoberfläche in Brückenquerrichtung mit geringer Mächtigkeit an Überlagerungsschichten vorherrschend. Dieser Umstand führte in weiterer Folge dazu, dass zwei unterschiedliche Gründungsarten zur Ausführung gekommen sind um negative Einflüsse zu minimieren.

2.1 Aufschlussarbeiten

Zur Sicherstellung der Designparameter und vor allem auch der zu erwartenden Pfahllängen wurde ein detailliertes Programm an Aufschlussbohrungen durchgeführt. Hierfür wurde mit einem Sonic Bohrgerät sowohl Boden- als auch Felsproben entnommen und für die Analyse der Rammbarkeit der Pfähle auch CPT-Versuche durchgeführt. Diese mussten jedoch aufgrund der dichten Lagerung der schluffigen Sande immer wieder mit einem überbohren der Sonde durch die Schutzverrohrung kombiniert werden, da ansonsten kein Einpressen der CPT Sonde möglich war. Diese Schutzverrohrung war aufgrund der großen Wassertiefen von bis zu 60 m erforderlich, um aussagekräftige Werte aus den Versuchen zu erhalten und ein Knicken der Gestänge zu vermeiden. In Abb. 6 sind die schwimmende Arbeitsplattform mit dem Bohrgerät sowie die daraus erhaltenen Aufschlüsse dargestellt.

Die Wassertiefen in Kombination mit dem vergleichsweise kleinen Durchmesser der Bohrröhre und Versuchsausrüstung stellten erhebliche Anforderungen an die Verankerung der Arbeitsplattform, um ein Abreißen und Knicken der Gestänge zu vermeiden. Zusätzlich waren Wind und Wetterbedingungen während der Aufschlussarbeiten maßgebend dafür, dass für die Fundierungsarbeiten der Brücke, sowohl das Ankersystem als auch die Größe der Arbeitsplattformen überarbeitet wurde.

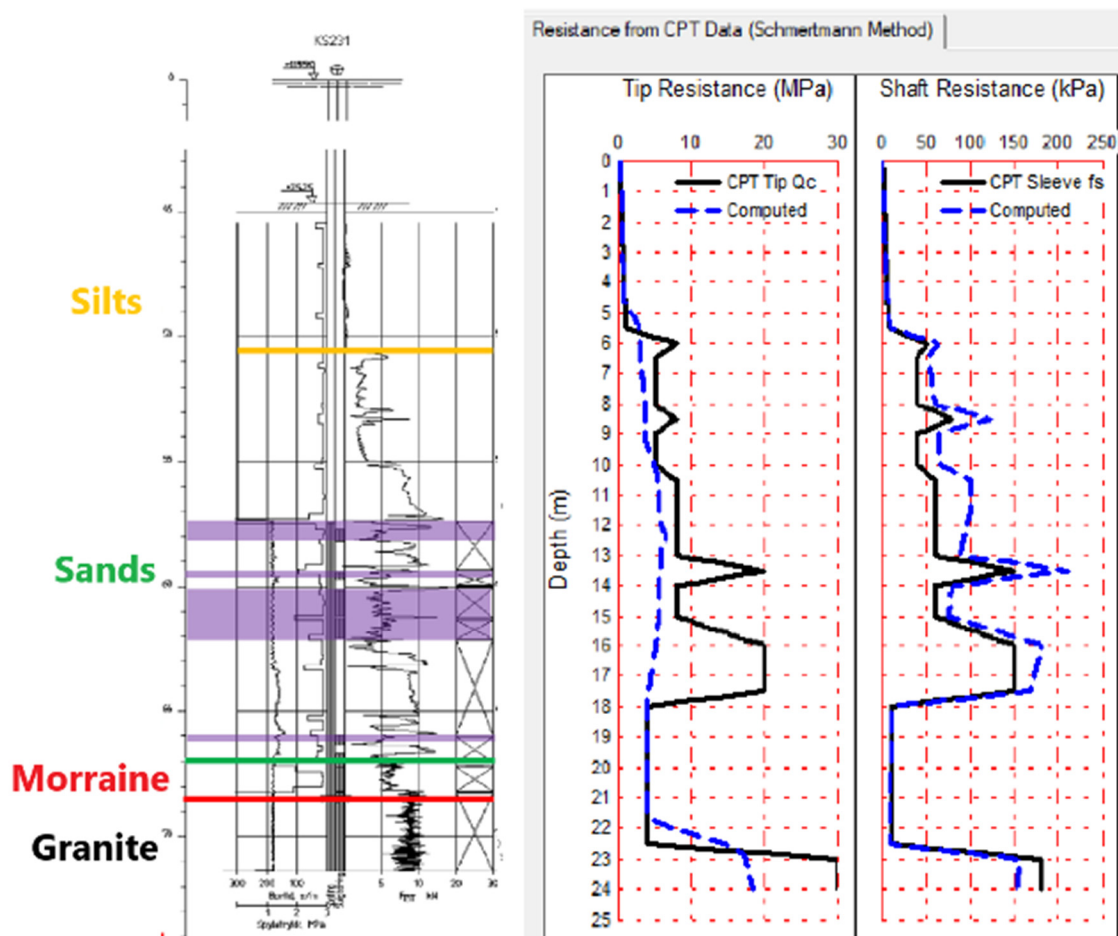


Abb. 6: oben: Arbeitsplattform mit Sonic Bohrgerät, unten links: Bodenaufschluss, unten rechts: erwartete Pfahltragfähigkeit anhand der CPT Ergebnisse

3 Brücke und Fundierung

3.1 Generell

Die Brücke wurde als vorgespannte Beton- Hohlkastenbrücke konzipiert, welche durch 16 Achsen, in Abschnitte von 35 m bis 75 m Einzelfeldlängen unterteilt werden. Abb. 7 zeigt den Längsschnitt der Brücke mit ihren 16 Achsen.

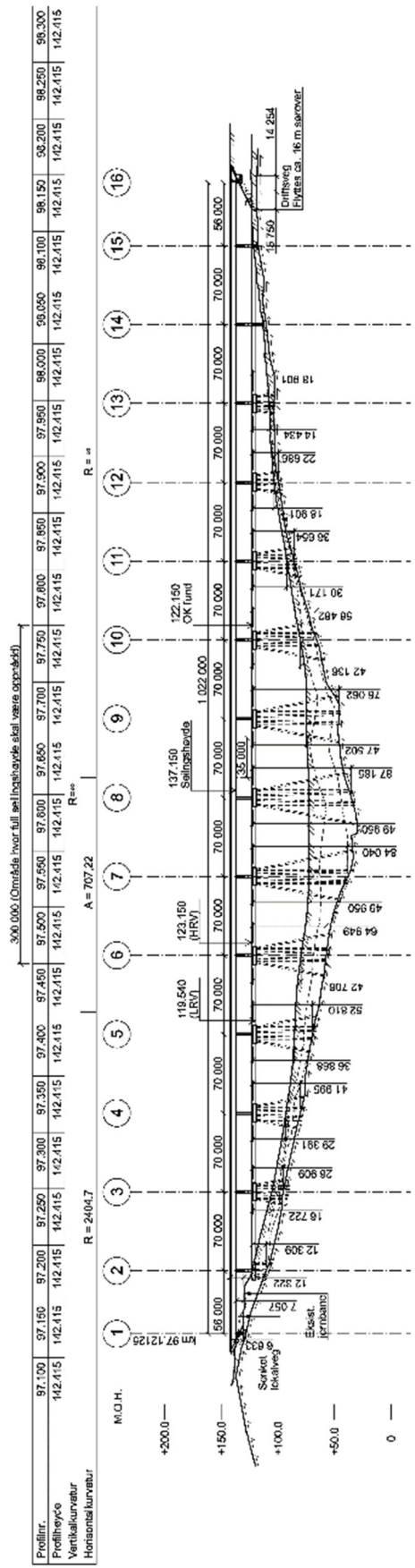


Abb. 7: Längsschnitt der Brücke

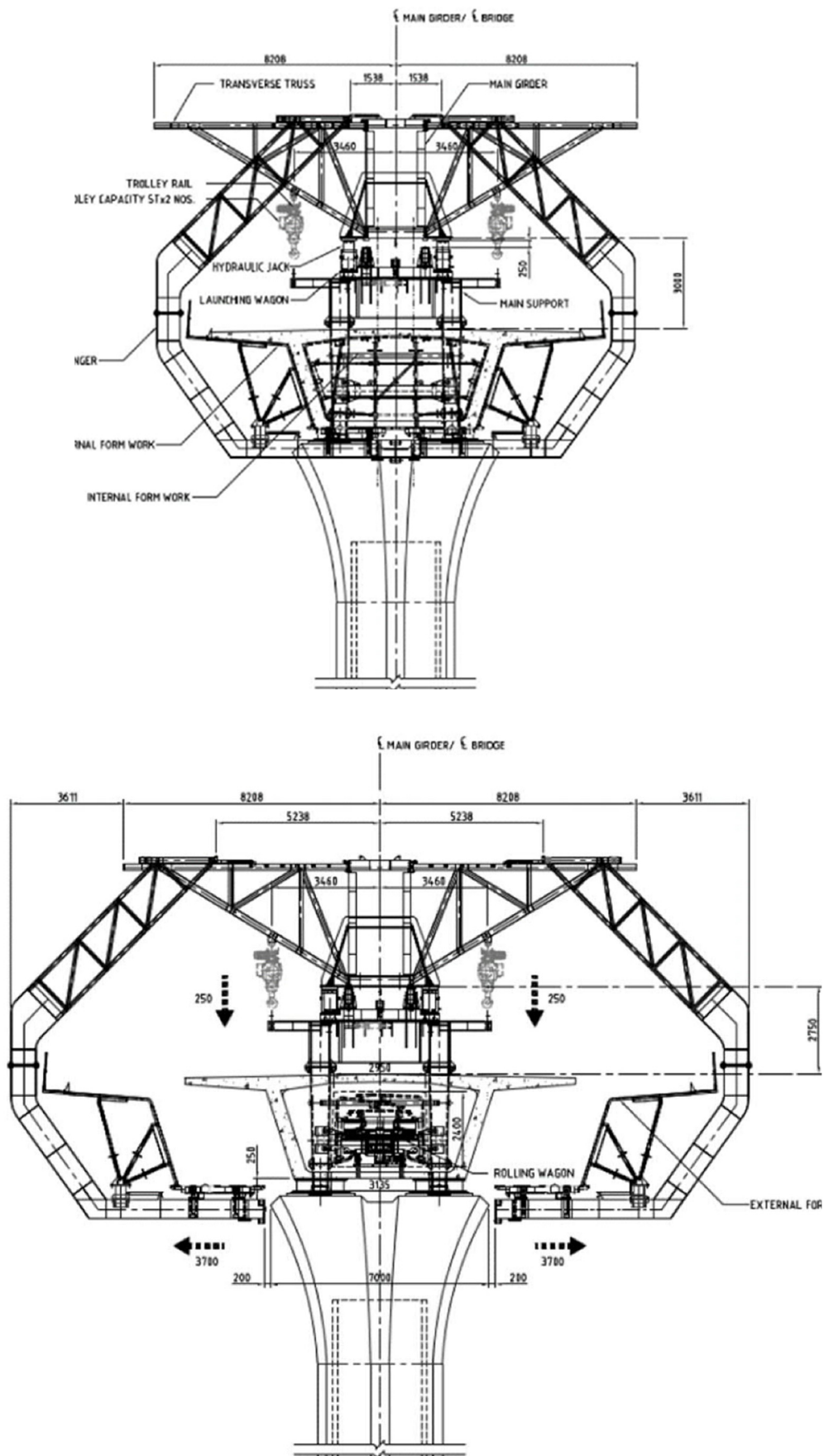


Abb. 8: Darstellung des Schalungswagen, oben: beim Betonieren, unten: beim Verschieben in geöffnetem Zustand

Die Herstellung der Brücke wird vom Widerlager im Norden, Achse 16, mittels eines mobilen Schalungswagens (Abb. 8) Richtung Süden, Abschnitt für Abschnitt hergestellt.

3.2 Fundierung

Beim Konzept für die Fundierung waren die Anforderungen an den Umweltschutz eine maßgebliche Komponente, die die anwendbaren Pfahltypen stark eingrenzte. Aufgrund der vorherrschenden Geologie war eine Kombination von geramten Pfählen in der Brückenmitte sowie gebohrten Pfählen an beiden Landseiten die beste Möglichkeit alle Randbedingungen einzuhalten.

Dem norwegischen Pfahlhandbuch folgend müssen sämtliche Pfahlköpfe auch bei Niedrigwasser mindestens 50 cm unter Wasseroberkannte liegen. Dies führte dazu, dass die Pfahloberkannte, während 9 Monaten im Jahr ca. 4 m unter Wasser zu liegen kommt. Des Weiteren sind aufgrund der anzusetzenden Eislasten auf eine Pfahlgruppe, alle Pfähle mit einer Neigung von 5:1 bzw. 11,5° konzipiert worden. Dies führte zu einer Austeilung von 14 bzw. 12 Pfählen je Fundament (siehe Abb. 9).

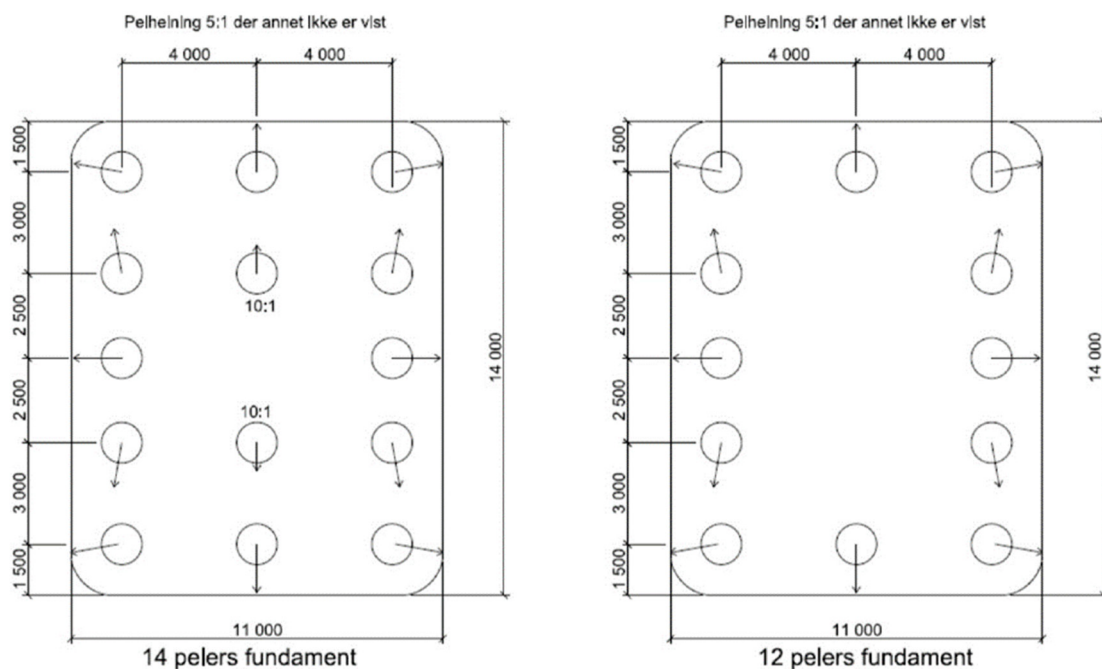


Abb. 9: Austeilung der Pfähle je nach Pfahlanzahl, Pfeile stellen die Orientierung der Pfähle dar

Um den Budgetvorgaben der norwegischen Eisenbahnbehörde gerecht werden zu können wurden die Pfähle erstmals in Norwegen als Stahlverbundsystem geplant. Normalerweise wird die Verrohrung bei derartigen Pfahlsystemen in Norwegen lediglich als verlorene Schalung berücksichtigt. Dies führte unmittelbar dazu, dass die Wandstärken der Pfähle wesentlich dicker ausgeführt werden mussten als üblich, was wiederum zu neuen Herausforderungen für die

Gerätetechnik und die Bohrtechnik führte, da Pfahlgewichte von bis zu 100 to hantiert werden mussten.

3.3 Pfahlherstellung und Pfahltransport

Die Produktionsanlage für die Pfahlherstellung vor Ort hatte die Aufgabe 78 Pfähle für die gebohrten und 54 Pfähle für die geramnten Pfähle als Einzelelemente zu produzieren. Hierfür wurden 1016 mm mit 28 mm und 40 mm Wandstärke für die gebohrten und 1430 mm mit 34 mm Wandstärke für die geramnten Pfähle eingesetzt. Die geramnten Pfähle hatten einen geschlossenen Rammschuh mit einer Länge von 1,8 m und einem Gewicht von 3,6 to. Die Entscheidung alle Pfähle in einem Stück herzustellen und dann auch abzubohren bzw. einzurammen, kam aus den Anforderungen an die Schweißqualität und den Herstellungstoleranzen. Diese Anforderungen hätten auf dem Wasser während aller Jahreszeiten nur unter erheblichem Mehraufwand sichergestellt werden können.

Aufgrund der erstmaligen Verwendung von Stahlverbundpfählen in Norwegen wurde der Herstellung der Stahlpfähle und deren Qualität höchstes Augenmerk geschenkt. Sämtliche Elemente wurden in 20 m Einzellängen auf die Baustelle transportiert, zwischengelagert, um dann in weiterer Folge zu den geplanten Pfahllängen, in einer eigens dafür errichteten Produktionsstätte zusammengeschweißt zu werden. Die Ausführungsklasse EXC 3 erforderte, dass 100% der Schweißnähte mittels Magnetpulver sowie Ultraschall Untersuchung auf Fehlstellen geprüft werden mussten. Durch die Verwendung eines automatisierten Schweißprozesses konnten alle Qualitätsanforderungen eingehalten werden. Abb. 10 zeigt das Rohrlager sowie die Pfahlproduktion vor dem eigens für das Projekt hergestellten Kai.



Abb. 10: links: Rohrlager, rechts: Schweißstraße mit Kai

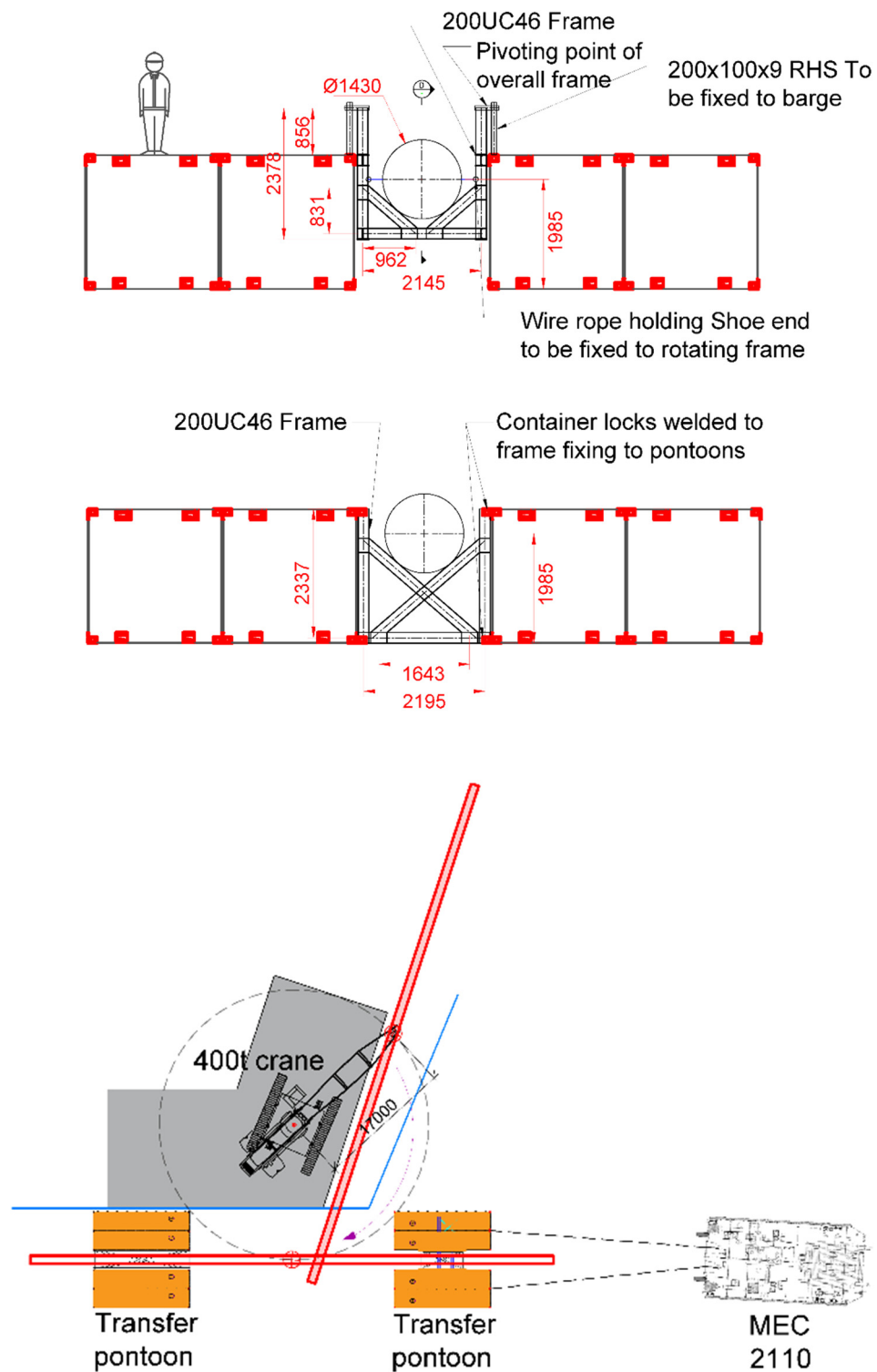


Abb. 11: oben: Transportplattformen zum Pfahltransport, unten: 400 to Kran am Kai zum Beladen der Transportplattformen unter Zuhilfenahme des Schleppbootes

Dem Pfahltransport von der Schweißstraße zum Einbauort kam bei diesem Projekt eine besondere Bedeutung zu, nicht nur wegen den Einzellängen von bis zu 92 m. Bei den Pfählen musste zwischen den nicht schwimmenden gebohrten Pfählen mit einem Durchmesser von 1016 mm und den schwimmenden

geramnten Pfählen mit 1430 mm Durchmesser unterschieden werden. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse, am eigens für dieses Projekt errichteten Kai, wurden die gebohrten Pfähle just in time von der Schweißstraße produziert. Für den Transport vom Kai zur Einbaustelle wurde eine Transportplattform entwickelt welche mittels dem Schleppboot gesteuert und während dem Aufziehen des Pfahls, kontrolliert werden konnte. Abb. 11 zeigt oben die Transportplattformen und unten das Beladen durch den Kran sowie das Schleppboot zur Kontrolle deren Position. Für die geramnten Pfähle, welche mit einem geschlossenen Rammschuh ausgestattet sind, wurde entschieden diese direkt im See zwischen zu lagern und auch direkt aus dem Wasser and der Einbaustelle aufzuziehen ohne diese auf die Transportplattformen zu laden.

3.4 Verankerung der Arbeitsplattformen

Die bereits beschriebenen Wassertiefen entlang der geplanten Brücke erforderten den Einsatz von schwimmenden Plattformen, welche durch ein Ankersystem in Position gehalten werden müssen. Die Neigung der Pfähle von $11,5^\circ$ in alle Himmelsrichtungen in Kombination mit den hohen Pfahlgewichten führte dazu, dass bis zu 6 Anker je Arbeitsplattform erforderlich waren. Zusätzlich wurden die Plattformen untereinander verzurt um ein redundantes Sicherheitssystem, im Falle eines Ankerversagens gewährleisten zu können. Maßgebend für die Bemessung waren die geramnten Pfähle, bei welchen das Eigengewicht der Pfähle zusammen mit dem der freireitenden Hydraulikhämmer (50to), zu einer horizontalen Belastung von 40 to auf das Ankersystem führten.

Die Verankerung wurde nach mehreren gescheiterten Versuchen auf Delta-Flipper Stahlanker in Kombination mit Ankerketten (Abb. 12) umgestellt, welche ein sicheres Positionieren der Plattformen unter den gegebenen Lasteinwirkungen aus Wind, Wellen und Pfahlgewichten zugelassen haben. Entscheidend für die Funktion dieses Ankersystems war, dass eine genügend lange Ankerkette eingesetzt wurde, wodurch es notwendig war, dass die Anker bis zu 300m von der Arbeitsplattform entfernt positioniert werden mussten. Die daraus resultierenden langen Windenseile führten dann wiederum zu erheblichen Verschiebungen durch die Dehnung der Seile unter Belastung. Nichtsdestotrotz konnte hier im Laufe der Ausführung ein Prozess entwickelt werden der ein Zentimeter genaues positionieren der Pfähle ermöglichte. In Abbildung 12 ist der Setzvorgang der beschriebenen Anker mit Hilfe des Schleppbootes ersichtlich. Um ein rasches verbinden der Plattformen mit den Ankern zu gewährleisten wurden die Ankerketten über Schwerlastbojen an die Wasseroberfläche geführt.

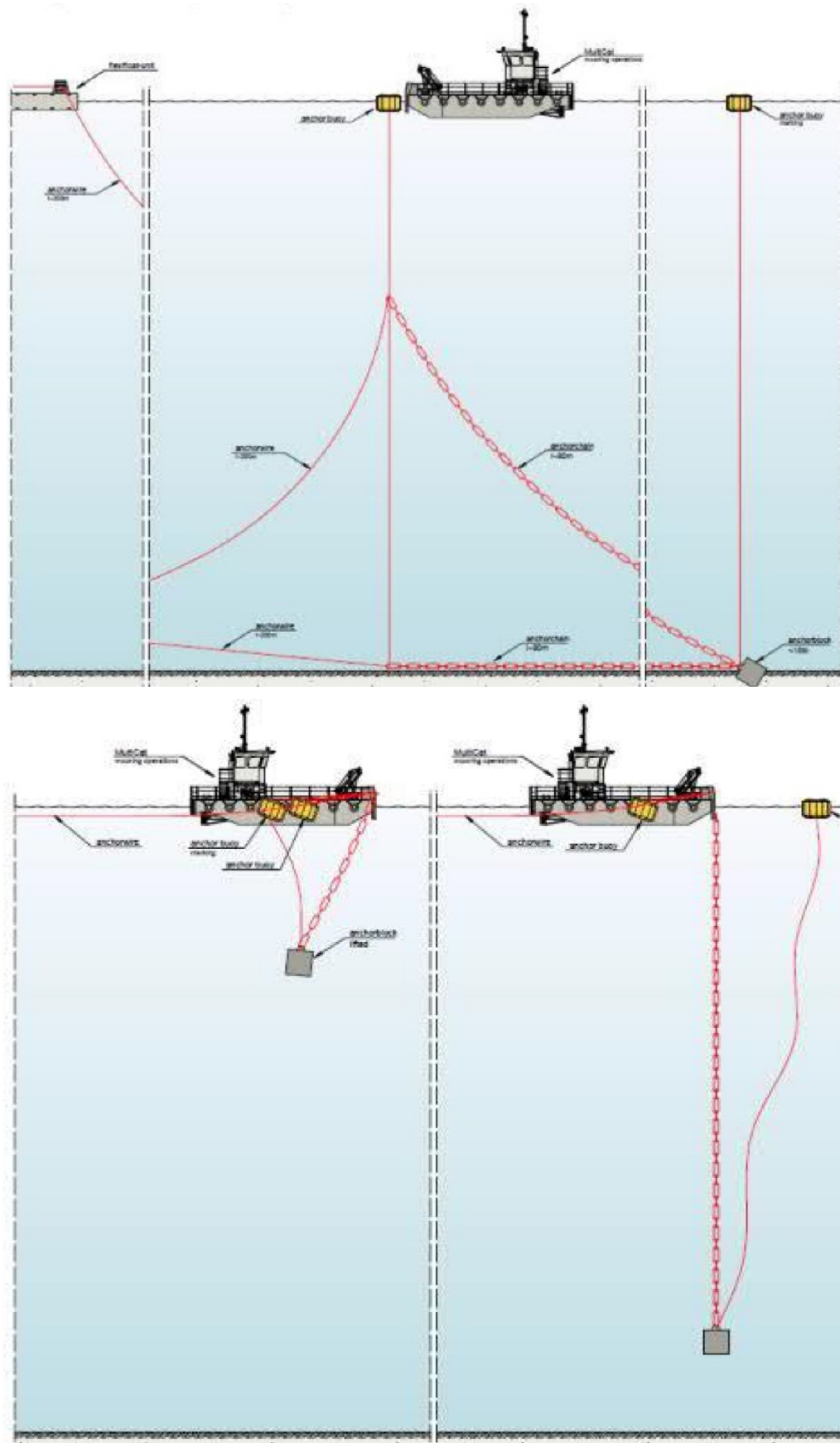


Abb. 12: Ankersystem bestehend aus Stahlanker und Ankerkette

3.5 Gebohrte Pfähle

Für die gebohrten Pfähle wurde auf das Reverse Circulation Bohrsystem zurückgegriffen, um die sensiblen Bodenschichten möglichst wenig zu stören und Unterwasser Rutschungen zu vermeiden. Gesamt wurden 78 Pfähle auf 7 Achsen mit gebohrten Pfählen hergestellt, welche 2 m in den Felsen eingebohrt wurden, um die geforderte Spitzendruckübertragung zu gewährleisten. Diese Pfähle hatten Einzellängen von bis zu 65 m und ein Bohrstranggewicht von bis zu 102 to. Diese Gewichte waren für die zu Verfügung stehenden Arbeitsplattformen sowie Bohrgeräte nur durch die Kombination mehrerer Gerätschaften bewältigbar. So musste ein Prozess entwickelt werden, bei welchem der Pfahl durch den Hilfskran gehoben wurde und gleichzeitig mit dem Bohrgerät abgebohrt werden konnte. Dies alles wurde von unabhängig voneinander verankerten, schwimmenden, Plattformen hergestellt, weshalb die Kommunikation aller Beteiligten untereinander eine der wichtigsten Rollen einnahm. Gebohrt wurden die Pfähle mittels einem eigens dafür entwickelten Ringbit Systems, welches auf die hohen Gewichte der Pfähle und die großen Wandstärken abgestimmt werden musste. Abb. 13 zeigt den Aufbau der Bohrkronen und des Reverse Circulation Bohrstrangs, sowie den Überstand von 20 m über Wasseroberfläche zu Bohrbeginn. Damit alle Pfähle als Einzelelement abgebohrt werden konnten wurde ein Trägergerät mit 28 m Masthöhe eingesetzt welches neben der genauen Positionierung auch den Drehkopf für den Imlochhammer steuerte.

Die Umweltschutzaufgaben für den Trinkwassersee Mjøsa an welchem die Brücke hergestellt wird, erforderten, dass sämtliches Bohrgut und auch Wasser welches während dem Bohrprozess zu Tage gefördert wird über eine, sich am Festland befindliche Aufbereitungsanlage geschickt werden muss, bevor das neutralisierte Wasser wieder in den See eingeleitet werden kann. Hierfür musste ein Konzept gefunden werden, welches den Transport des Bohrgutes über schwimmende Leitungen, bis zu 1 km weit, unabhängig der Jahreszeit, pumpen konnte.

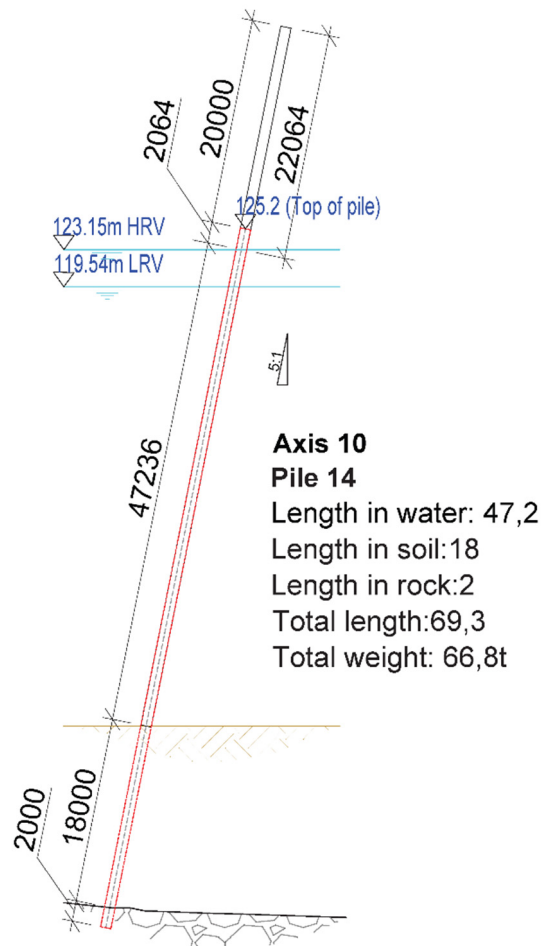
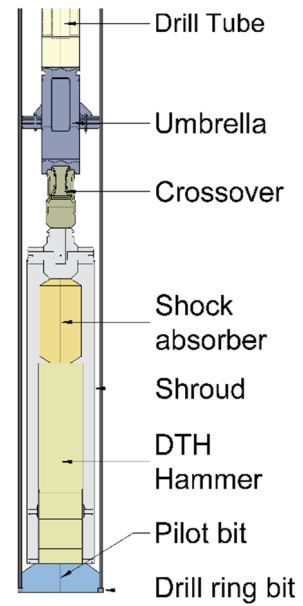


Abb. 13: oben links: Bohrkronen für das Reverse Circulation Bohren, oben rechts: Aufbau des Bohrstrangs, unten: Pfahlüberstand zu Bohrbeginn und nach Fertigstellung

3.6 Gerammte Pfähle

Die gerammten Pfähle wurden in 5 Achsen mit Längen von bis zu 92 m und 105 to hergestellt. Aufgrund der durchgeführten Bodenaufschlussarbeiten wurde die Rammbarkeit der geschlossenen Pfähle und der sich daraus resultierende Hydraulikhammer festgelegt. Die Wahl fiel auf einen 350 kJ Hydraulikhammer, der ein Arbeitsgewicht von 50 to aufweist. Sämtliche Pfähle ragten zu Rammbeginn ca. ein Drittel ihrer Gesamtlänge aus dem Wasser, was einer Länge von 31 m entspricht. Um die Pfähle möglichst genau platzieren zu können und lagegenau herzustellen wurde auf einen 150 kJ Hammer (25 to) für den Rammbeginn zurückgegriffen. Sobald der Pfahl in seiner Lage gesichert war und der Rammfortschritt mit dem 150 kJ Hammer sich verlangsamte, wurde auf den 350 kJ Hammer gewechselt und der Pfahl nach dem vorgegebenen Rammprozess fertiggestellt. Für die geplante Pfahlausteilung, in Kombination mit dem sich ändernden Wasserstand, wurde ein Führungsmasten entwickelt, der das Herstellen aller Pfähle einer halben Achse ohne Bewegung der Arbeitsplattform zugelassen hat. Hierfür musste die Arbeitsplattform in eine Katamaran Form (Abb. 14 rechts) umgebaut werden, damit die Pfähle durch ihre spezielle Orientierung überhaupt hergestellt werden konnten. Abb. 14 zeigt den Herstellungsprozess eines gerammten Pfahls mit dem eigens dafür entwickelten Führungsmasten auf der Katamaran Plattform sowie das Schleppboot und die Kranplattform gegenüber.

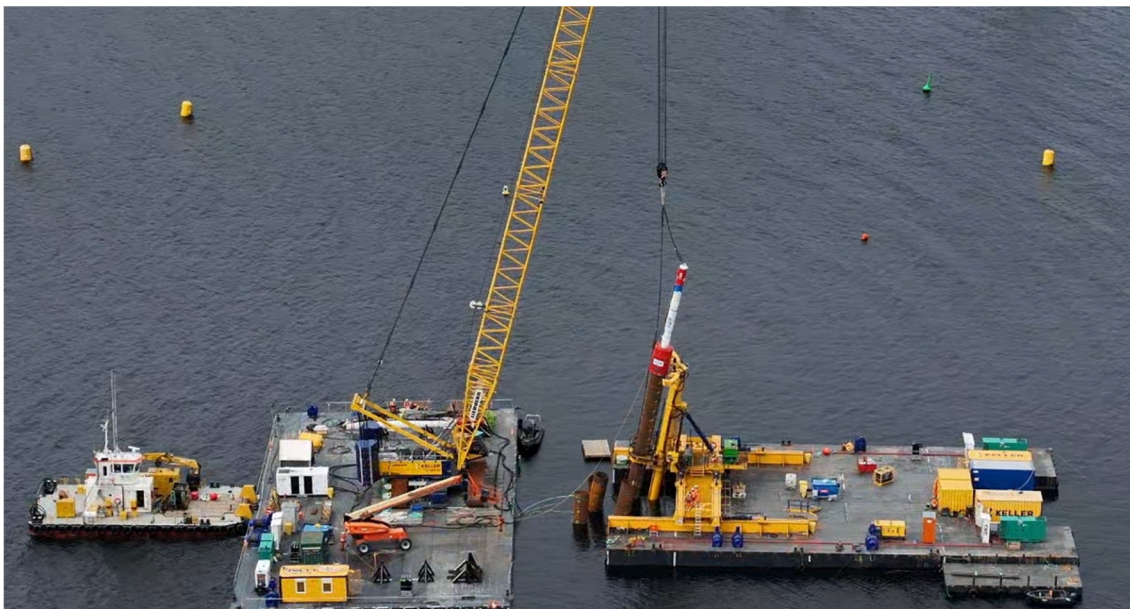


Abb. 14: rechts: Führungsmast mit Hydraulikhammer auf Katamaran Plattform, links: Schleppboot mit Kranplattform

3.7 Toleranzen und Pfahlkopfausbildung

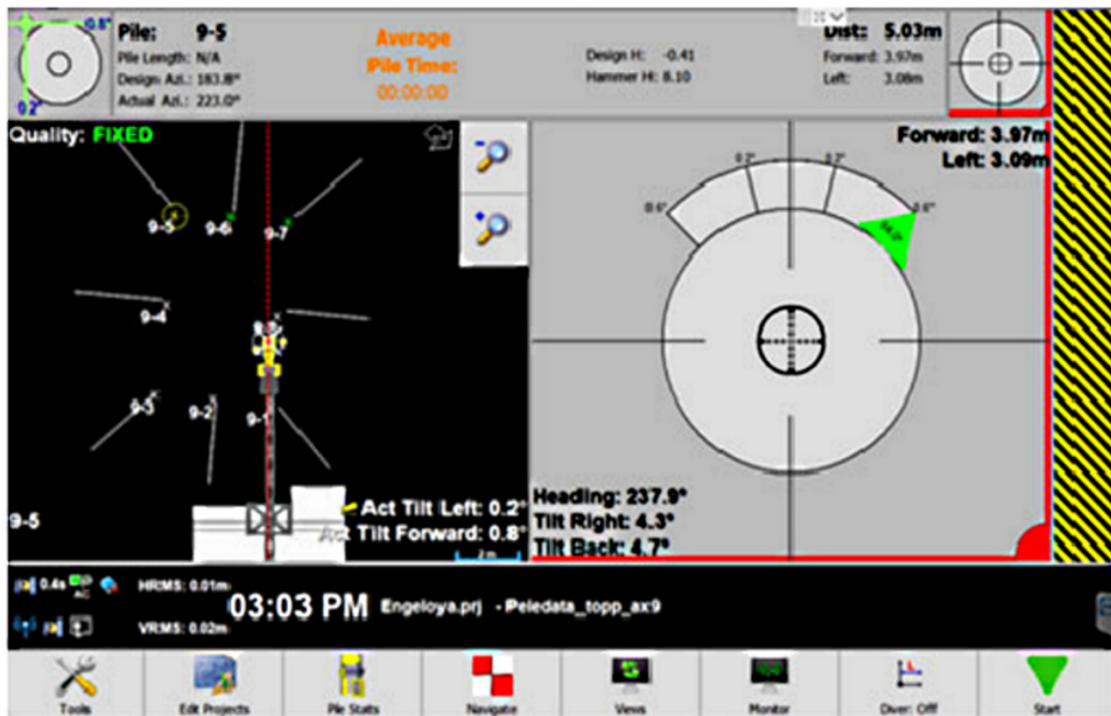


Abb. 15: oben: Pfahlpositionierungssoftware, unten: Krümmungsmessung der Pfähle nach ihrer Aussteifung mittels Gyroskop

Für die Gewährleistung der globalen Standsicherheit dieser Brücke waren bislang in Norwegen noch nie geforderte Toleranzen einzuhalten. Alle Pfähle mussten auf eine Lagegenauigkeit von 10 cm, Orientierungs- und Neigungsabweichung von 1,5% und einem maximalen Krümmungsradius von 1/600 hergestellt werden. Aufgrund der Tatsache, dass die Pfähle zwei Drittel frei im Wasser und nur ein Drittel im Baugrund eingebettet sind weisen die längsten Pfähle eine Pfahlkopfverschiebung von 80 cm auf, kommend aus der Neigung und des Pfahl Eigengewichts. Um diese Genauigkeiten einhalten zu können wurden die Pfähle während der Herstellung über Wasser ausgesteift, bevor Taucher einen Aussteifungsrahmen unter der Pfahlkopfplatte einbauen konnten. Die Positionierung der Pfähle wurde mit Hilfe eines dafür entwickelten GPS basierenden Systems, sowohl für die gebohrten als auch für die gerammten durchgeführt. Abb. 15 zeigt die Positionierungssoftware wie der Gerätefahrer diese während der Pfahlherstellung wahrnimmt und die Vermessungseinheit zur Bestimmung der Krümmung des hergestellten Pfahls. Für die Krümmungsmessung wurde, nachdem der Kofferdamm eingebaut war, ein Gyroskop verwendet.

In weiterer Folge wurden die Pfähle mit einem abrasiven Hochdruckwasserstrahl bis zu 5 m unter Wasser abgeschnitten bevor der Kofferdamm eingehoben werden konnte. Um den Auftriebskräften gerecht zu werden, wurde die Konstruktion mittels vorgespannten Stabankern in ihrer Lage gesichert. Hierfür wurden je 4 Anker mit Vorspannkräften von 2.200 kN gegen die Stahlkonstruktion des Kofferdamms festgelegt.

Abb. 16 zeigt die Kofferdammkonstruktion welche bei einem Normalwasserstand von +123 m ein Freiboard von 0.5 m aufweist. Die Abmessungen des Kofferdamms betragen 11 m x 14 m x 5 m. Dieser wird in weiterer Folge in zwei Betonier Abschnitten ausbetoniert, bevor die Stütze für den Überbau hergestellt werden kann.

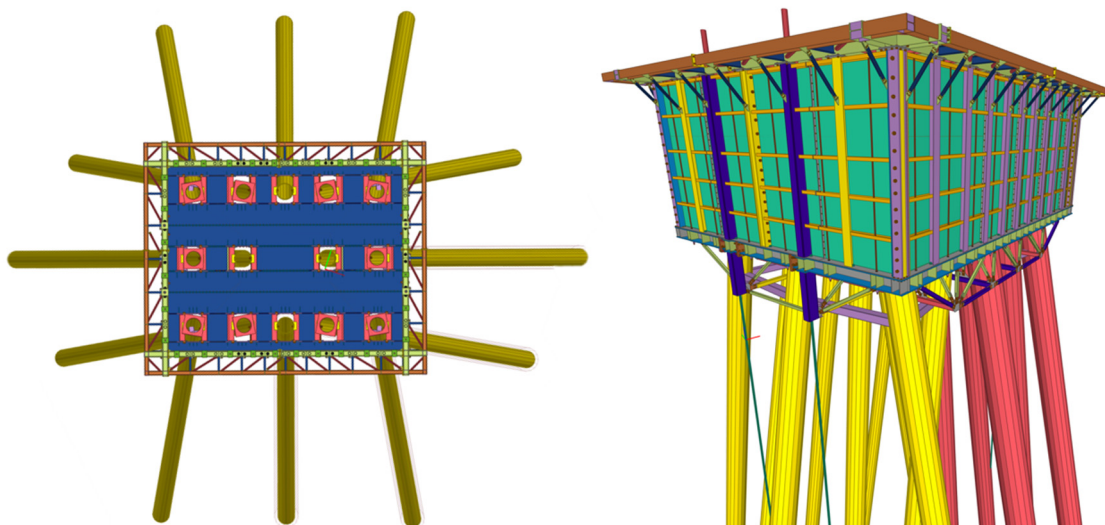


Abb. 16: Kofferdammkonstruktion mit Pfahlausteilung

3.8 Zusammenfassung

Die Fundierungsarbeiten der zurzeit längsten Eisenbahnbrücke in Norwegen hatte bislang noch nie angewandte Dimensionen und Konzepte erfordert. Neben der schwer zugänglichen Lage in Bezug auf mögliche Transportabmessungen waren die Umweltschutzbestimmungen für Arbeiten auf Norwegens größtem Trinkwassersees, Herausforderungen, die schlussendlich in guter Teamarbeit bewältigt werden konnten.

Diese Brücke setzte neben dem für eine Fundierung erstmals in Norwegen eingesetzten Stahlverbundkonzept auch Rekorde in Bezug auf die Pfahldimensionen. Die Kombination aus gebohrten und gerammten Pfählen nahm die geforderte Rücksicht auf die sensitiven Bodenschichten durch das Verwenden des Reverse Circulation Bohrverfahrens.

Wassertiefen von bis zu 60 m waren für die gesamte Konzeptionierung der Fundierungsarbeiten die größte Herausforderung. Modulare Arbeitsplattformen mussten speziell auf die noch nie bewältigten Lasten und Gewichte abgestimmt werden, um ein sicheres Arbeiten vor Ort gewährleisten zu können. Eine eigens errichtete Schweißstraße ermöglichte eine just in time Produktion der Pfähle, um den hohen Qualitätsanforderungen gerecht zu werden.

Zur Einhaltung der strikten Toleranzvorgaben war ein funktionierendes Verankerungssystem der Arbeitsplattformen von größter Bedeutung, welches aus einer Kombination von Stahllankern mit Ankerketten ausgeführt wurde.

4 Literatur

Bane Nor, 2021. *Tangenvika Jernbanebru*. Rev.0 Hrsg. Hamar: s.n.

Geo Vita, 2019. *Utbygging Eidsvoll - Hamar (UEH) - Borplan*. Rev. 01B Hrsg. Hamar: Bane Nor.

Implenja Norge, 2021. *KS-2 Tangenvika Jernbanebru - Bygging*. Rev: 00 Hrsg. Hamar: Implenja.

Keller Geoteknikk AS, 2022. *Keller Geoteknikk AS*. [Online]
Available at: <https://www.keller-geoteknikk.no/>
[Zugriff am 09 August 2023].

Szczepinski, W., 2024. *Drilled and Driven Piles - Tangenvika Bridge in Norway*. DFI49-103 Hrsg. DFI 49'th Annual Conference Colorado: DFI.

