BEITRAGSREIHE
PRAXIS UND TECHNIK

Tunnelbau im Himalaya - Besondere Herausforderungen und Erfahrungen

J. Holzhäuser (2018)

Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt,
Heft Nr. 104, 2018, 73-81
Vorträge zum 25. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium am 08. März 2018

Tunnelbau im Himalaya - Besondere Herausforderungen und Erfahrungen

Dr.-Ing. Jörg Holzhäuser
HIC · Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH, Ettlingen

1 Einführung

An den Tunnelbau im Himalaya sind aufgrund der dort vorgegebenen geographischen, tektonischen und geotechnischen Randbedingungen besondere Anforderungen gestellt. Im vorliegenden Beitrag werden am Beispiel eines Großprojektes in Nepal die besonderen Herausforderungen und Erfahrungen erläutert, die aktuell bei der Realisierung des Projektes ‘Melamchi Water Supply‘ nördlich der Hauptstadt Kathmandu auftreten.

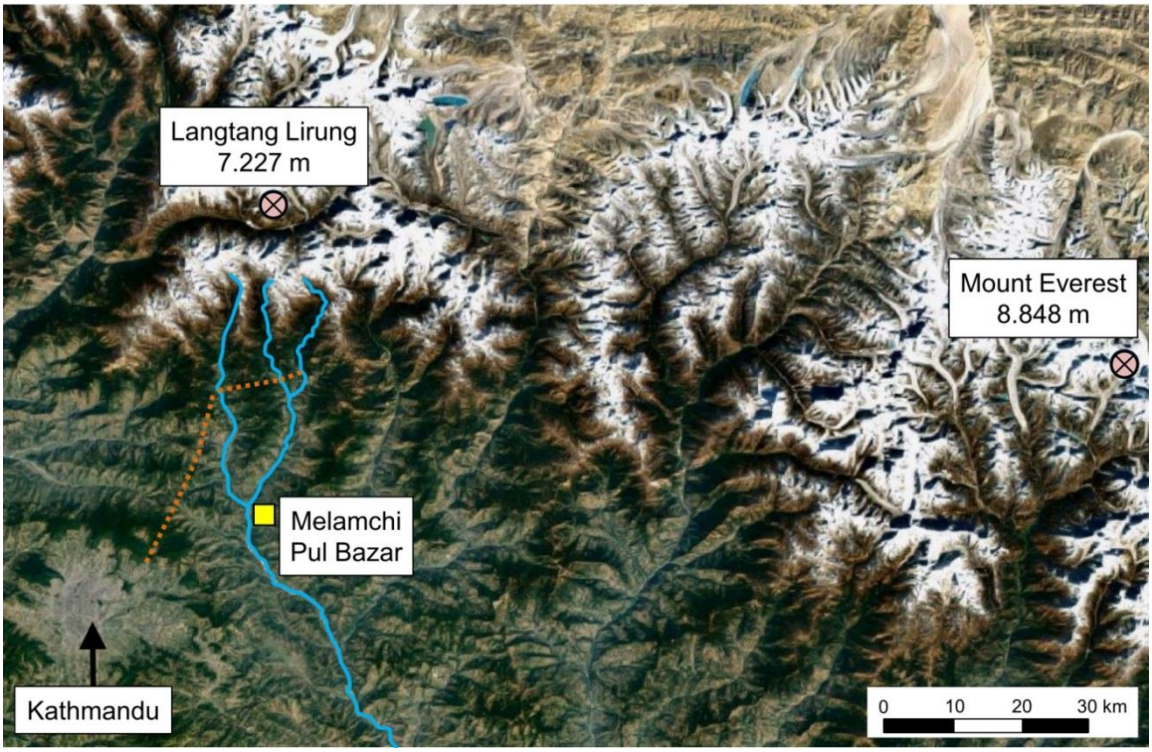

Bild 1 Luftbildausschnitt Himalaya + Projektgebiet (Quelle: google maps)

2 Projektübersicht

Der Ballungsraum Kathmandu mit derzeit ca. 2,5 Millionen Einwohnern liegt im Zentrum des dicht besiedelten Kathmandu-Tales, einem auf ca. 1300 Meter Höhe liegenden Talkessel mit einem Durchmesser von ca. 30 km. Der nördliche Rand des Talkessels schirmt die aus dem Himalaya kommenden Gebirgsflüsse ab, sodass im Kathmandu-Tal – auch aufgrund des Bevölkerungswachstums in dieser Metropolregion – eine seit längerem bestehende und sich zunehmend verschärfende Wasserknappheit besteht.
Der nepalesische Staat hat daher mit Unterstützung der Asian Development Bank ein Großprojekt gestartet, bei dem insgesamt rund 37 km Tunnel gebaut werden und anschließend bis zu 510 Millionen Liter Wasser pro Tag aus insgesamt 3 Gebirgsflüssen des Himalaya entnommen werden – dies sind von Ost nach West betrachtet der Larke River, der Yangri River und der Melamchi River (Bilder 1 und 2).

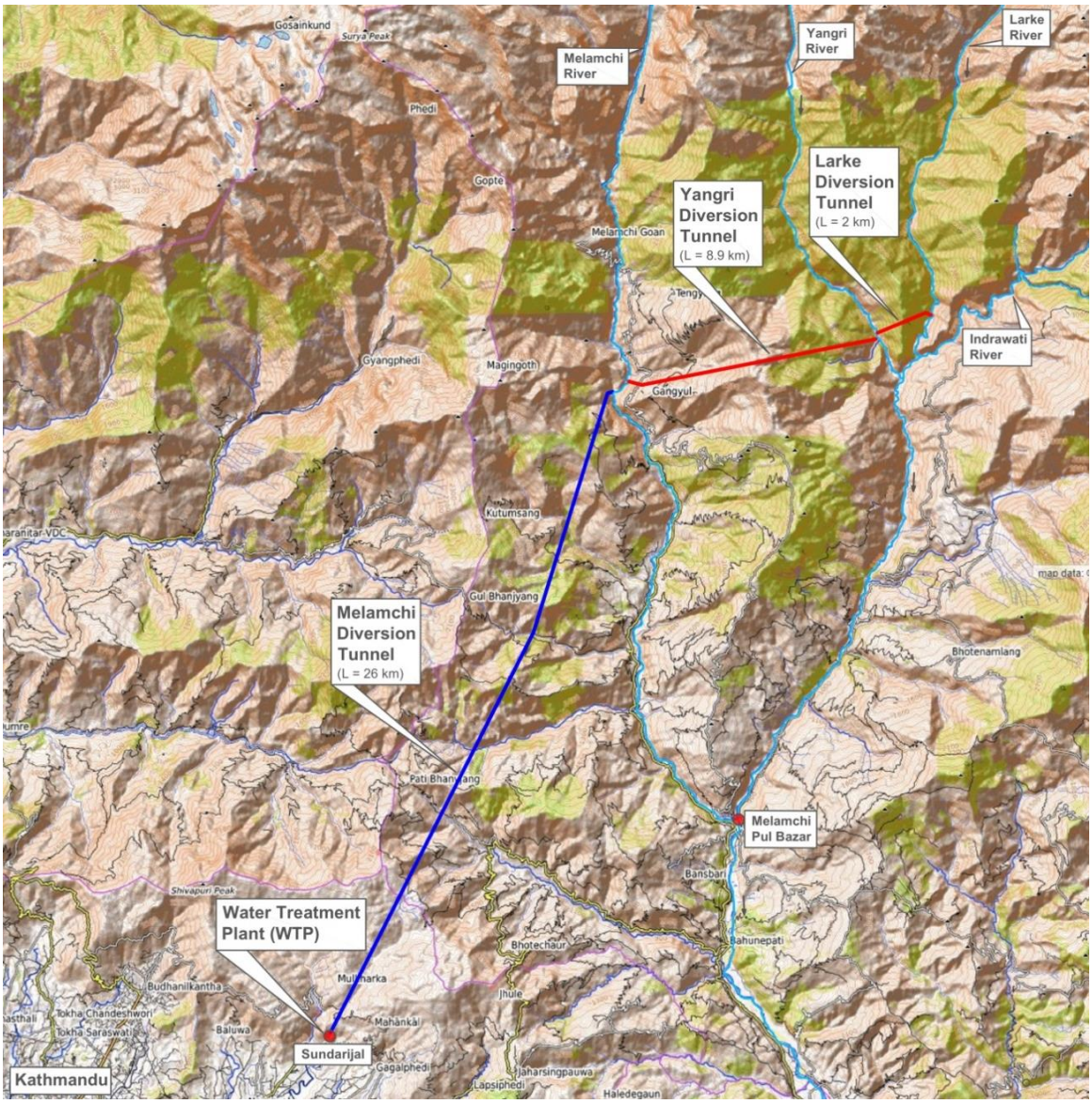

Bild 2 Lageplan Projektübersicht ‘Melamchi Water Supply‘

Bevor das Wasser in das kommunale Leitungsnetz eingespeist wird, durchläuft es eine neue zentrale Aufbereitungsanlage (WTP), die derzeit am nordöstlichen Rand des Kathmandu-Tales errichtet wird.

Das Projektgebiet grenzt an den südlichen Rand der Pufferzone des Langtang-Nationalparks. Hieraus ergaben sich umweltbezogene Anforderungen an das Projekt.

Die erste Projektphase begann im Jahre 2009 und umfasst den Bau des rund 26 km Melamchi Diversion Tunnels. Seit 2014 führt die italienische Baufirma CMC die Tunnelvortriebsarbeiten mit insgesamt 6 Teilvortrieben bei einer Tunnelüberdeckung von bis zu 700 m aus. Der Tunneldurchschlag wird noch im Frühjahr 2018 erwartet.

Die zweite Projektphase umfasst zunächst die Planung von zwei weiteren Tunneln, dem 8,9 km langen Yangri Diversion Tunnel und dem 2 km langen Larke Diversion Tunnel, die im Folgenden näher vorgestellt werden. Der Beginn der Bauausführung der Phase 2 ist für 2019 vorgesehen.

Die besonderen Herausforderungen lagen hierbei insbesondere in der Unzugänglichkeit des Geländes, da im Projektgebiet so gut wie keine Infrastruktur wie Straßen, Brücken und Versorgungsleitungen vorhanden sind. Diese Infrastruktur ist im Zuge der Baumaßnahme weitestgehend erst noch zu erstellen.

3 Anstehende Geologie und Baugrunderkundung

Das Projektgebiet liegt im Bereich des sogenannten ‘Higher Himalaya‘. Die hier anstehenden kristallinen Felsarten sind vorwiegend Gneise und Quartzite. Sie sind von zahlreichen Störungszonen durchzogen.

Aufgrund der großräumigen Plattentektonik (Bild 3), bei der sich die indische Platte unter die eurasische Platte schiebt, treten immer wieder Erdbeben auf. Das letzte große Erdbeben in Nepal vom Frühjahr 2015 hatte eine Stärke von 7,8. Insgesamt 7900 Todesopfer und große Zerstörungen an Häusern, Straßen und sonstiger Infrastruktur waren zu beklagen.

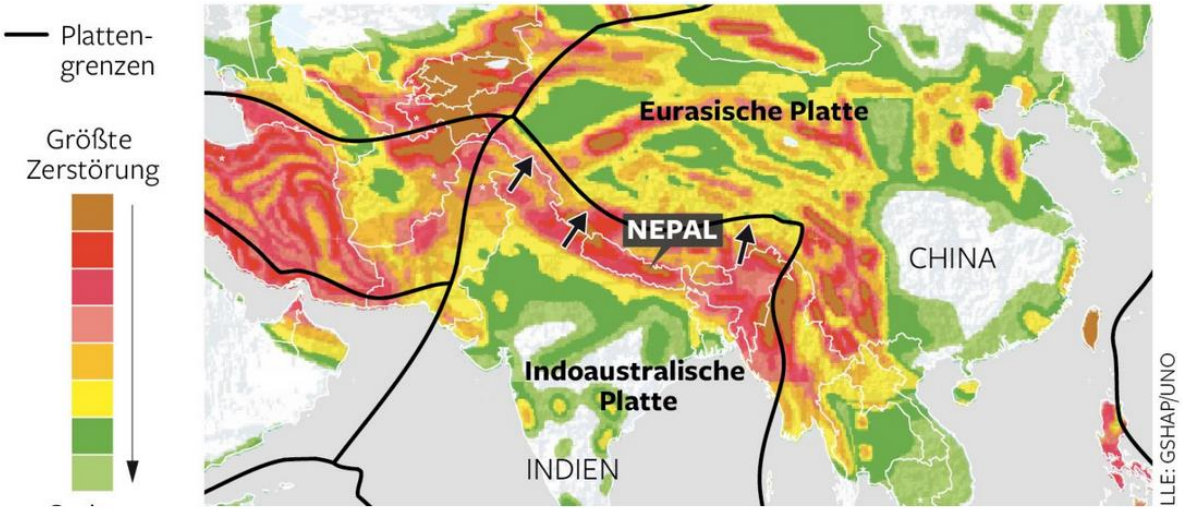

Bild 3 Tektonische Karte des Großraums Himalaya (Quelle: Internet)

Im vorliegenden Projekt war die Baugrunderkundung in der Tunneltrasse aufgrund des sehr steilen Geländes, fehlender Straßen im unzugänglichen Projektgebiet und der großen Überlagerung von bis zu 1700 Metern nur sehr eingeschränkt möglich. Heftige Niederschläge in der Monsunzeit ließen die Gebirgsflüsse in kürzester Zeit zu reißenden Wasserfluten anschwellen und führten zu zahlreichen Erdrutschen.

Es wurde zunächst eine umfangreiche Kartierung von Felsaufschlüssen im gesamten Projektgebiet durchgeführt (Bild 4) sowie geophysikalische Untersuchungen (Geoelektrik) in einzelnen Schnitten. Vertikale und horizontale Kernbohrungen wurden in den Portalbereichen ausgeführt. Die Bohrgeräte mussten hierzu von der Bohrmannschaft in Einzelteile zerlegt, dann zu den Bohrpunkten getragen und dort wieder zusammengesetzt werden (Bild 5). Bei jedem Umsetzvorgang zu einem neuen Bohrpunkt wiederholte sich dieser Vorgang. Die Bohrtiefen betrugen bis zu 80 m (vertikal) bzw. 40 m (horizontal). Aufgrund des ungewöhnlich früh einsetzenden Monsunregens wurden hölzerne Hilfsbrücken weggeschwemmt und die Bohrarbeiten mussten im Sommer 2017 für mehrere Monate unterbrochen werden.

In ersten Untersuchungen an Felsproben wurde die einaxiale Druckfestigkeit des Gesteins mit Werten von überwiegend größer als 20 MPa und im Maximum bis zu 125 MPa ermittelt. Die Kluftabstände lagen meist in einer Bandbreite von <60 mm bis 1,5 m. Auf Basis der Felsklassifizierung nach dem Q-System (NGI 2015) wurden

Bild 4 Quartzite mit dünnen Gneiss-Bändern

Bild 5 Bohrgerät für Erkundungsbohrung im unwegsamen Gelände

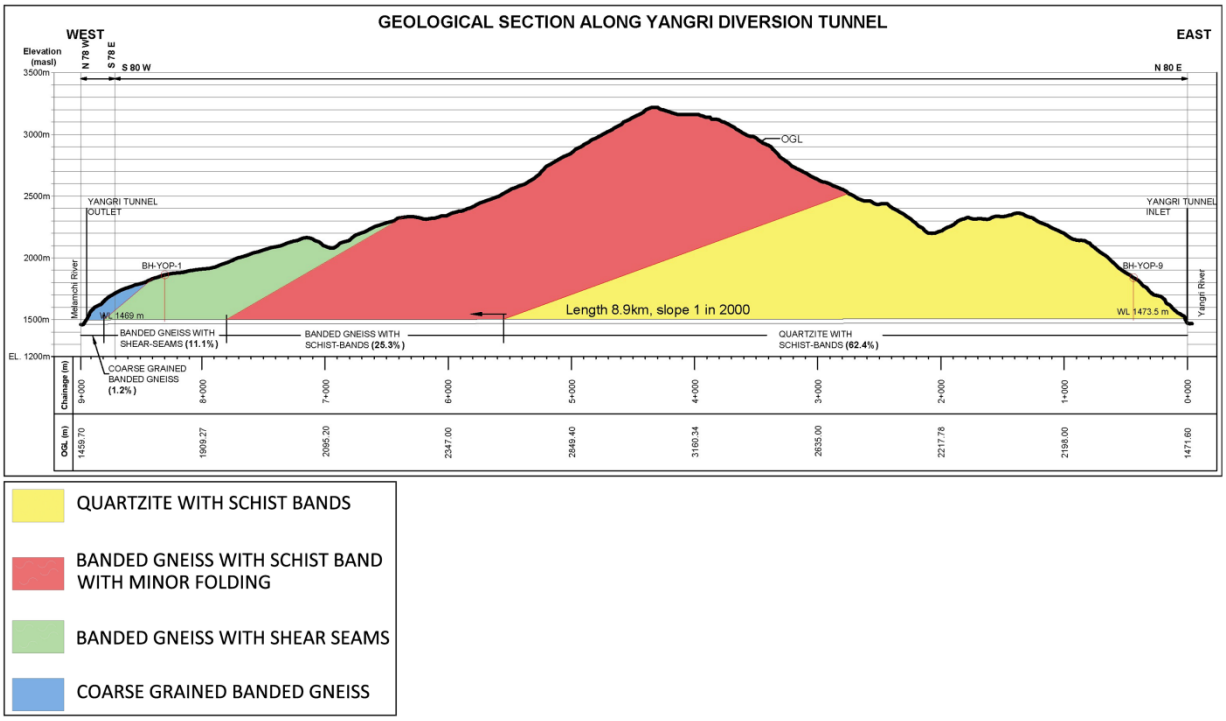

Bild 6 Geologischer Längsschnitt Yangri Diversion Tunnel

Q-Werte zwischen 0,5 und 8,9 ermittelt, die den Felsklassen ‘very poor rock‘ bzw. ‘fair rock‘ zugeordnet werden können.

Die Felsklassifizierung nach dem Rock Mass Rating (RMR) System (Hoek 2007) ergab RMR-Werte von 28 (‘poor‘, class IV) und 61 (‘good‘, class II).

Die Baugrunduntersuchungen unter erschwerten Bedingungen dauern derzeit noch an. Aufgrund der sehr großen Überlagerung war es mit den zur Verfügung stehenden technischen und finanziellen Mitteln nicht möglich, Erkundungsbohrungen im zentralen Tunnelabschnitt bis zur Tunnelachse auszuführen (Bild 6).

4 Planung

Geplant ist, dass alle drei Tunnel als Freispiegelleitung verwendet werden (Bild 7).

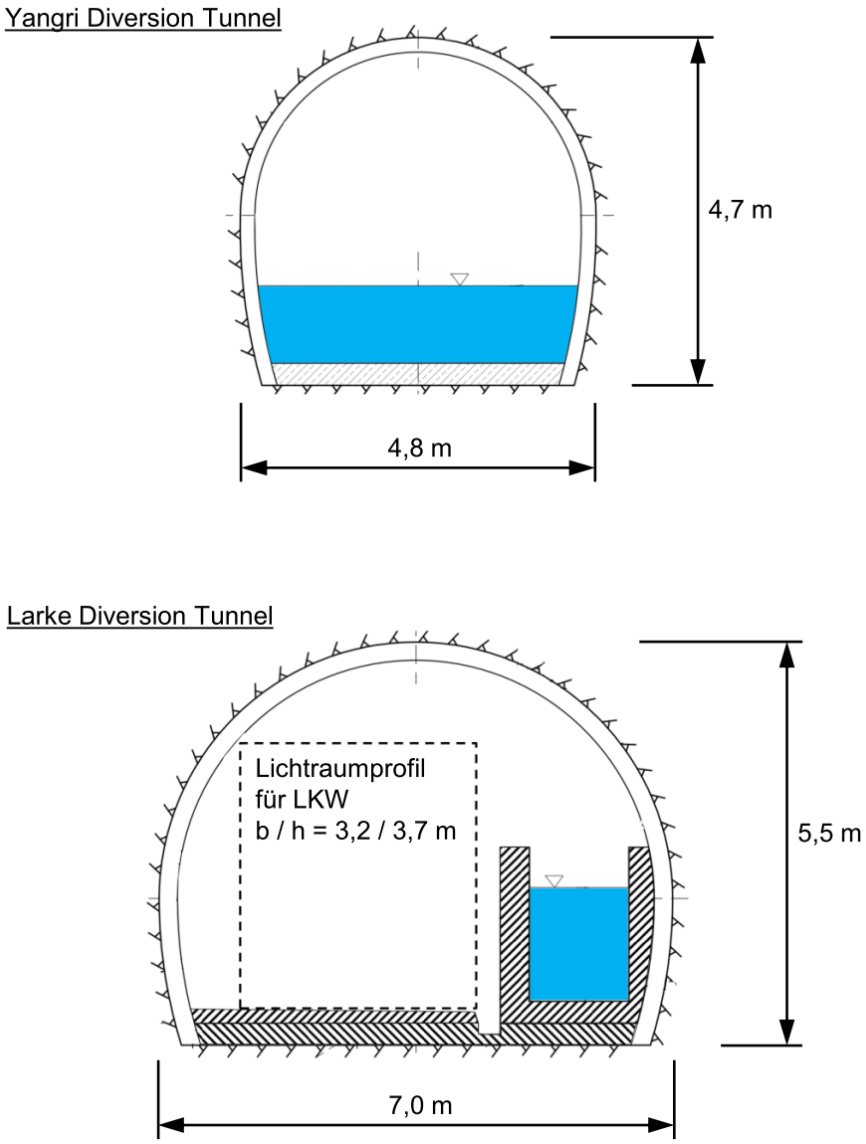

Bild 7 Tunnelquerschnitte für Yangri- bzw. Larke Diversion Tunnel

Der 8,9 km lange Yangri Diversion Tunnel ist als Hufeisenprofil mit einer Ausbruchsbreite von ca. 4,80 m und einer Höhe von ca. 4,70 m vorgesehen. In der Betriebsphase wird er das Wasser aus dem Larke River und aus dem Yangri River abführen. Der Tunnel wird hierbei teilgefüllt sein. In gering durchlässigen Fels-Abschnitten soll eine Stahlbetonsohle zur Anwendung kommen (Bild 7). In durchlässigeren Abschnitten werden zusätzlich Seitenwände betoniert, sodass ein Beton-Kanal entsteht und damit Wasserverluste ins Gebirge minimiert werden.

Da es aufgrund der Topographie im engen Tal des Larke River mit z.T. senkrechten Felswänden nicht möglich ist, mit vertretbarem Aufwand oberirdisch eine Straße zum Einlaufbereich zu bauen, ist hier vorgesehen, den Larke Diversion Tunnel als kombinierten Verkehrs- und Wassertunnel auszubauen.

Bild 8 Rund 90 m hoher Felseinschnitt für das Einlaufbauwerk des Melamchi Diversion Tunnel (rechts: Melamchi River in der Trockenzeit)

Bild 9 Melamchi Diversion Tunnel

In einem betonierten Kanal soll das Wasser des Larke River abgeführt werden und daneben befindet sich das Lichtraumprofil für einspurigen LKW-Verkehr, sodass Transporte ampelgesteuert im Einbahnverkehr zum Einlaufbereich erfolgen können. Die gesamte Versorgung der Baustelle zur Herstellung des Einlaufbauwerkes – einschließlich Wehr und Absetzbecken – in Bezug auf Baustoffe, Geräte und Personal erfolgt durch den Larke Diversion Tunnel. Während der Betriebsphase des Projektes können über diese Straßenverbindung Fahrzeuge für Wartungs-, Inspektions- bzw. Sanierungsarbeiten zum Einlaufbauwerk gelangen.

Im Rahmen des Gesamtprojektes sind aktuell auch umfangreiche oberirdische Felsbauarbeiten erforderlich. So muss für das Einlaufbauwerk des Melamchi Diversion Tunnel ein ca. 90 m hoher Felseinschnitt (Bild 8) erstellt werden, der von Bermen aus mit bewehrtem Spritzbeton und Felsnägeln gesichert wird

5 Ausblick

Ein wesentliches Element der weiteren Planung wird die Prognose der zu erwartenden Felsklassen und deren Verteilung entlang der Tunneltrasse sein. Besonderer Fokus liegt hierbei in der Identifizierung der Lage möglicher Störungszonen entlang der Tunneltrasse und der Abschätzung der dort zu erwartenden Standzeit des Gebirges und des Gebirgsdruckes sowie des Bergwasserandranges.

Beim Vortrieb des Melamchi Diversion Tunnels war es in druckhaftem Gebirge zu einem Niederbruch gekommen. Dort ist die Spritzbetonschale gerissen und um mehrere Dezimeter ins Tunnelinnere gedrückt worden. Dadurch wurden umfangreiche Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich. Der Vortrieb konnte nach ca. 1 Monat wieder aufgenommen werden (Bild 9).

Beim Auffahren des Yangri Diversion Tunnels wird aufgrund der im Vergleich zum Melamchi Diversion Tunnel größeren Überdeckung und den damit verbundenen größeren Überlagerungsspannungen sowie der ungünstigeren Ausrichtung der Tunnelachse, die im Falle des Yangri Diversion Tunnels nahezu orthogonal zur großräumigen tektonischen Bewegungsrichtung verläuft, ebenfalls mit druckhaftem Gebirge und ähnlichen bzw. noch stärker ausgeprägten Schwierigkeiten bei den Tunnelvortriebsarbeiten gerechnet.

Diese Umstände sin in den kommenden Berechnungen und Analysen noch näher zu untersuchen.

Literatur

NGI (2015)
Using the Q-system - Rock mass classification and support design. Norwegian Geotechnical Institute (NGI), Oslo.

Hoek, E. (2007)
Practical Rock Engineering. Eigenverlag, Toronto.

gu kommunikation

HIC Holzhäuser Ingenieur Consult GmbH
Ludwig-Erhard-Str. 2
76275 Ettlingen
Telefon +49 7243 56170-10
Telefax +49 7243 56170-90

info@hic-engineering.de
www.hic-engineering.de