



PORR TUNNELBAU GMBH



Abteilung Brückenbau

City Tunnel Waidhofen an der Ybbs Vortrieb in der Klippenzone unter schwieriger Geologie

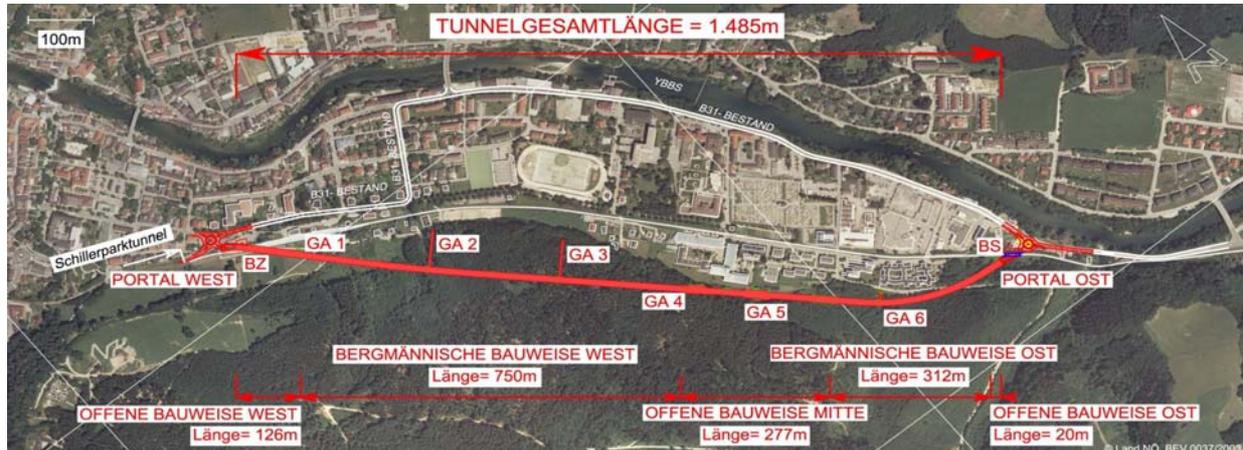


Bild 1. Übersichtslageplan

Projekt

Der Citytunnel liegt an der B31 in Waidhofen an der Ybbs (Niederösterreich) und entlastet das dicht besiedelte Wohngebiet. Die projektierte Tunneltrasse liegt im Süden der Stadt Waidhofen an der Ybbs im Bereich des Buchenbergs. Die Gesamtlänge des einröhrigen Straßentunnels, der im Gegenverkehr betrieben werden soll, beträgt ca. 1,5 km und ist damit der längste Straßentunnel in Niederösterreich.

Bauweisen

Der oberflächennahe Tunnel (max. Überlagerung 50 m) wurde herstellungstechnisch in fünf Abschnitte unterteilt. Drei Abschnitte wurden in Offener Bauweise und zwei Abschnitten in Bergmännischer Bauweise hergestellt. Zusätzlich wurden zwei Kreisverkehre, eine Bahnbrücke, zwei Gewässerschutzanlagen, ein Löschwasserbehälter und zwei Betriebsgebäude errichtet. Aus sicherheitstechnischen Gründen war die Anordnung von Notrufrischen und begehbaren Verbindungen ins Freie alle 250 m und von Feuerlöschnischen alle 125 m erforderlich. (Bild 1)

Die offene Bauweise wird zusätzlich unterschieden in Bereiche, die als Deckelbauweise (Rechteckquerschnitt und Gewölbequerschnitt) und die in offener Bauweise mit Rechteckquerschnitt hergestellt wurden. (Bild 2)

Die bergmännische Bauweise passt sich den geologischen Bedingungen an und wechselte von Sprengvortrieb in den Waidhofner Schichten über Mixed-Face Vortrieb und Bagger-vortrieb in der tektonischen Melange. Allgemein war eine starke Variabilität der Lösemethode erforderlich.

BAUWEISEN	SCHEMA-SKIZZE	BEREICHE
OFFENE BAUWEISE		OST L=20m
OFFENE BAUWEISE		WEST L=26m MITTE L=190m
DECKEL BAUWEISE		WEST L=100m MITTE L=25m
DECKEL BAUWEISE		MITTE L=62m
BERGM. BAUWEISE		WEST L=275m
BERGM. BAUWEISE		WEST L=475m OST L=312m
GESAMTLÄNGE		L= 1485m

Bild 2. Regelquerschnitte der verschiedenen Bauweisen

Bauablauf

Im November 2007 erfolgte der Spatenstich für den City Tunnel, somit konnte mit den Rodungsarbeiten und mit der Baufeldfreimachung begonnen werden. Die für die Unterfahrung der Ybbstalbahn erforderliche offene Bauweise West (126 m) und die offene Bauweise Mitte (277 m) starteten gleichzeitig im August 2008. Erst nach Fertigstellung der offenen Bauweise West, also nach einem Jahr, konnte aus dieser mit den Westvortrieb (750 m) begonnen werden. Gleichzeitig wurden die Bauarbeiten an der Bahnbrücke und der offenen Bauweise Ost gestartet. Nach dem Tunneldurchschlag des Westvortriebs startete von Osten aus der 312 m lange, ebenfalls steigende Ostvortrieb. Gleichzeitig arbeiteten alle an der Ausführung beteiligten, unter massiven gegenseitigen Einfluss, an der Fertigstellung des Rohbaus, damit planmäßig im April 2011 mit der elektromaschinellen Ausrüstung des Tunnels begonnen werden konnte. Eine Verkehrsfreigabe Ende 2011 wurde somit ermöglicht.

Geologische Verhältnisse

Geologischer und tektonischer Rahmen

Die gesamte Trasse des Citytunnels liegt in der Grestener Klippenzone, die mehrfach tektonisch beansprucht wurde. Das anstehende Gebirge war überwiegend bergfeucht bis feucht mit lokalen Tropfwasserzutritten. Durch das stark veränderlich feste Gestein hatte das Wasser einen maßgeblichen Einfluss auf das gesamte Baugeschehen.

Die Gebirgsart 00 wird aus den oberflächennahen verwitterten Gesteinen der Waidhofener Schichten aufgebaut und ist gekennzeichnet durch einen höheren Durchtrennungsgrad und höherer Zerlegung als GA 01. Die Waidhofener Schichten sind als relativ starrer Block innerhalb der Gesteine des Vortriebs West anzusehen. Generell waren diese graue bis schwarze, plattige bis bankige und oftmals bituminös riechende Mergel, Kalkmergel und Tonmergel in unterschiedlicher Verwitterung (unverwittert bis angewittert), tektonischer Beanspruchung und zeigten schluffig/tonige (letztige) Kluffüllungen. Bereichsweise lösten sich Großblöcke durch ihr Eigengewicht aus dem Verband und erschwerten dadurch erheblich die Vortriebsarbeiten.

Die Gesteine der Tektonischen Melange (Gebirgsart 02 und 03) setzten sich aus großteils sehr stark zerlegten und zerscherten (z6-z8) Kalkmergeln, Sandsteinen und Tonmergeln zusammen. Diese sind teilweise von Spiegelharnischflächen durchzogen und enthalten wechselnde Anteile von Linsen bis Großblöcke aus Kalk und Dolomit (Block in Matrix-Struktur). Der prozentuelle Anteil der härteren Komponenten in der Grundmatrix war sehr wechselhaft, daher musste häufig zwischen Bagger- und Sprengvortrieb gewechselt werden. Beobachtet wurde ebenfalls, dass geringmächtige Einschaltungen von Buntmergeln immer zu einem Anstieg der Verformungen führten.

Die Massenbewegung im Bereich des Kriechhangs wurde als Gebirgsart 04 angesprochen und setzte sich aus einer feinkörnigen Matrix bestehend aus Schluff/Ton-Gemischen mit kiesigen, steinigen und blockigen Komponenten zusammen. Während des Tunnelvortriebs wurden keine Hinweise auf aktive Massenbewegungen bzw. Gleithorizonte gefunden. Es waren auch keine Trennflächen feststellbar.

Tunnelherstellung im Kriechhang

Projektierungsphase

Bereits in der Projektierungsphase (2005) wurden Hangbewegungen im Bereich der HTL, mit einer Bewegungsrate von ca. 14 mm pro Jahr, gemessen. Weitere Hinweise auf Instabilitäten des Hanges ergaben sich aus den Bodenproben festgestellten geringen Restscherwinkel, die quellfähigen Tonminerale und die vergleichsweise hohen Wassergehalte.

Der 1916 errichtete Hochbehälter wies keine Schäden auf, obwohl dieser mittig im Kriechhang situiert ist und die zwei 3,30 m tiefen Trinkwasserbecken nur mittels Holzpfähle gegründet sind. Das zweite im Kriechhang befindliche Bauwerk ist die unverankerte Bohrpfahlwand des HTL – Zubaus, an der ebenfalls keine auffällige Verformung zu erkennen waren.

Aus allen erhobenen Erkenntnissen über das Verhalten des Kriechhangs, wurde als probates Mittel eine frühzeitige Hangentwässerung mittels 40 m langer Kiesbohrpfahlwand vorgesehen.

Sowohl der Tunnelrahmen der offenen Bauweise, als auch die Tunnelinnenschale der bergmännischen Bauweise wurden auf Kriechdruck E_{cr} bemessen.

Die geologischen Aufschlüsse ergaben, dass die Lockergesteine der quartären Massenbewegung des Buchenberges bis maximal in eine Tiefe von 12 m reichen und somit auf kurze Strecke im Firstbereich angetroffen werden.

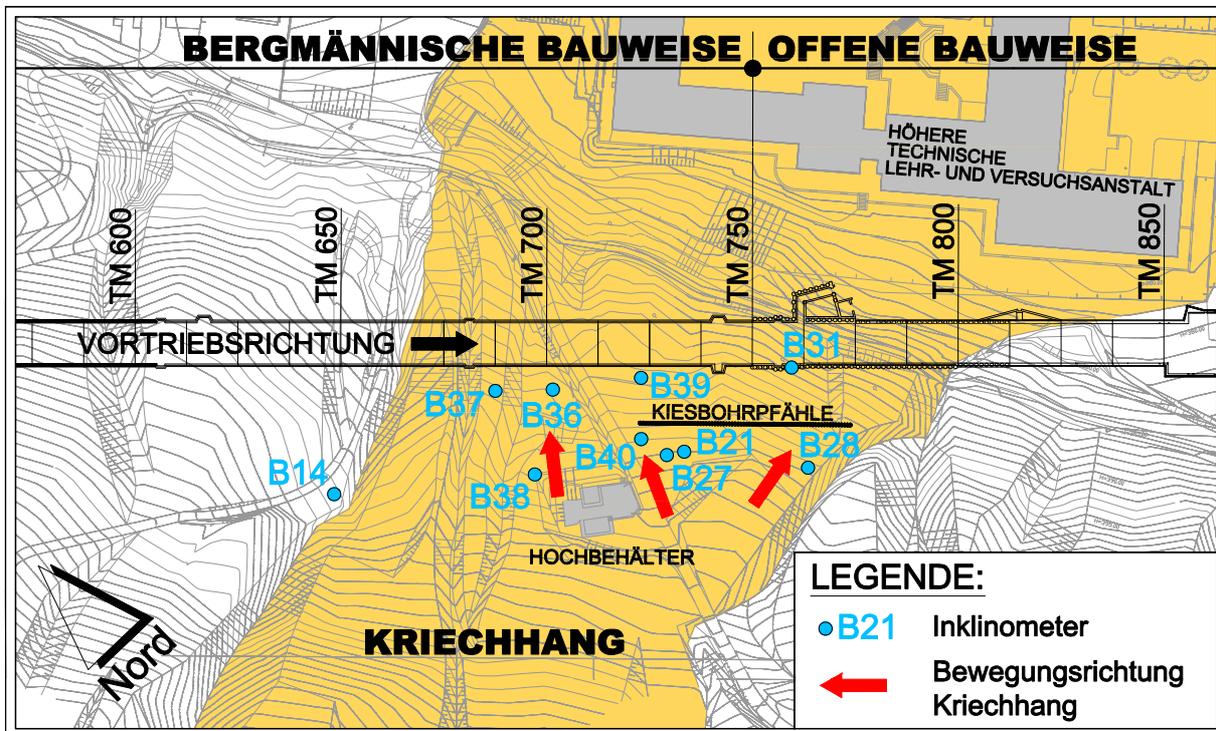


Bild 3. Lageplan vom Kriechhangbereich

Bauphase offene Bauweise

Entgegen der Prognose nahm die Hangbewegung bei der Herstellung der Kiesbohrpfähle (August 2008) deutlich zu und Geländeansrisse im Bereich des bergseitig gelegenen Wasserbehälters wurden sichtbar. Anhand des unmittelbar oberhalb gelegenen Inclinometers B21 konnte ein Gleithorizont in einer Tiefe von ca. 10 m identifiziert werden.

Aus diesem Grund musste ein umfangreiches Mess- und Beobachtungsprogramm (2 Inclinometer und 36 geodätische Messpunkte) eingerichtet und das Konzept der Baugrubensicherung angepasst werden.

Vom Büro Geotechnik Adam ZT GmbH wurde der Grenzwert definiert, ab den Maßnahmen zur wirkungsvollen Bremsung des Kriechhangs gesetzt werden müssen. Der Einsatz von Bodennägeln aus dickwandigen Injektionsstahlrohren (120 mm) wurde aus vier möglichen Hangsicherungskonzepten ausgewählt, da die Errichtung mit leichtem Gerät bewerkstelligt werden kann und die bauliche Umsetzung innerhalb von zwei Wochen garantiert war.

Die Hangverformung, die durch die Herstellung der offenen Bauweise (August 2008 bis April 2009) ausgelöst wurde, konnte somit mit Hilfe der rückverankerten Bohrpfähle auf 55 mm begrenzt werden.

Ankerabhebeversuche zeigten, dass sich die Anker durch die Hangverformungen bis zu 25% über die maximale rechnerische Gebrauchslast aufspannten. Nach Abschluss der Rohbauarbeiten konnte kein weiterer Zuwachs der Ankerkräfte beobachtet werden.

Bauphase bergmännische Bauweise

Vor Beginn der Vortriebsarbeiten im Bereich des Kriechhangs wurde eine nochmalige detaillierte Untersuchung der Auswirkungen der Tiefenlage des Gleithorizonts auf die Tunnelschale durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass auch bei der für die Tunnelschale ungünstigsten Laststellung die Bauwerksstabilität gewährleistet ist. Jedoch war es erforderlich, die bewehrte Außenschale in einer Mindeststärke von 35 cm und die 30 cm starke Innenschale bewehrt auszuführen, um die auftretenden Verformungen auf ein vertretbares Maß zu beschränken.

Auf Grund der geringen Überdeckung von teilweise nur 3 m war der Einsatz eines Rohrschirms als Firstsicherung auch schon bei der Annäherung an den Kriechhang unumgänglich. Ab Beginn der Rohrschirmstrecke (TM 648,30) wurde vorsorglich auf den geplanten steiferen Ausbau umgestellt und das Übermaß auf 15 cm angehoben. Die gemessenen Radialverschiebungen betragen im MQ 650 nur 16 mm, wodurch sich beim Projektteam Zweifel über die Notwendigkeit des massiven Ausbaus einstellten.

Wie so oft hielt sich jedoch die angetroffene Geologie nicht an die Prognose und die Lockergesteine der Massenbewegung des Buchenberges (GA 04) strichen schon bei ca. TM 675 an der Tunnelfirste in den Ausbruchquerschnitt ein und tauchten bei ca. TM 710 unter die Tunnelsohle ab. Sensibilisiert durch die geänderten geologischen Randbedingungen waren alle Beteiligten froh beim gewählten Ausbau geblieben zu sein. Beim MQ 688 wurden in der Firste und im Kämpfer horizontale, talseits gerichtete Verschiebungen von 56 mm festgestellt, wobei der Anteil der Querverschiebung 12 mm betrug. Mit immer tieferem Eindringen in die Kriechmasse vergrößerte sich auch zunehmend die Horizontalverformung und betrug beim MQ 716 schon 95 mm und die Gesamtverformung wies den Wert von 116 mm auf. Ab TM 698 wurde deshalb mittels 15 m langer bergseitiger Nachankerung versucht ein weiteres Ansteigen der Horizontalverschiebung zu verhindern. Gleichzeitig wurden zwei 18 m lange, mit 200 kN aufgespannte, Versuchsanker IBO 32N zur Ankerkraftüberwachung hergestellt.

Nicht nur, dass sich bei den Versuchsankern die Vorspannkräfte wieder abbauten, die 15 m lange Rückverankerung wurde sogar einige Millimeter in den Tunnelraum geschoben. Dies zeigte, dass diese Maßnahme nicht, wie bei der offenen Bauweise, den gewünschte Erfolg brachte.

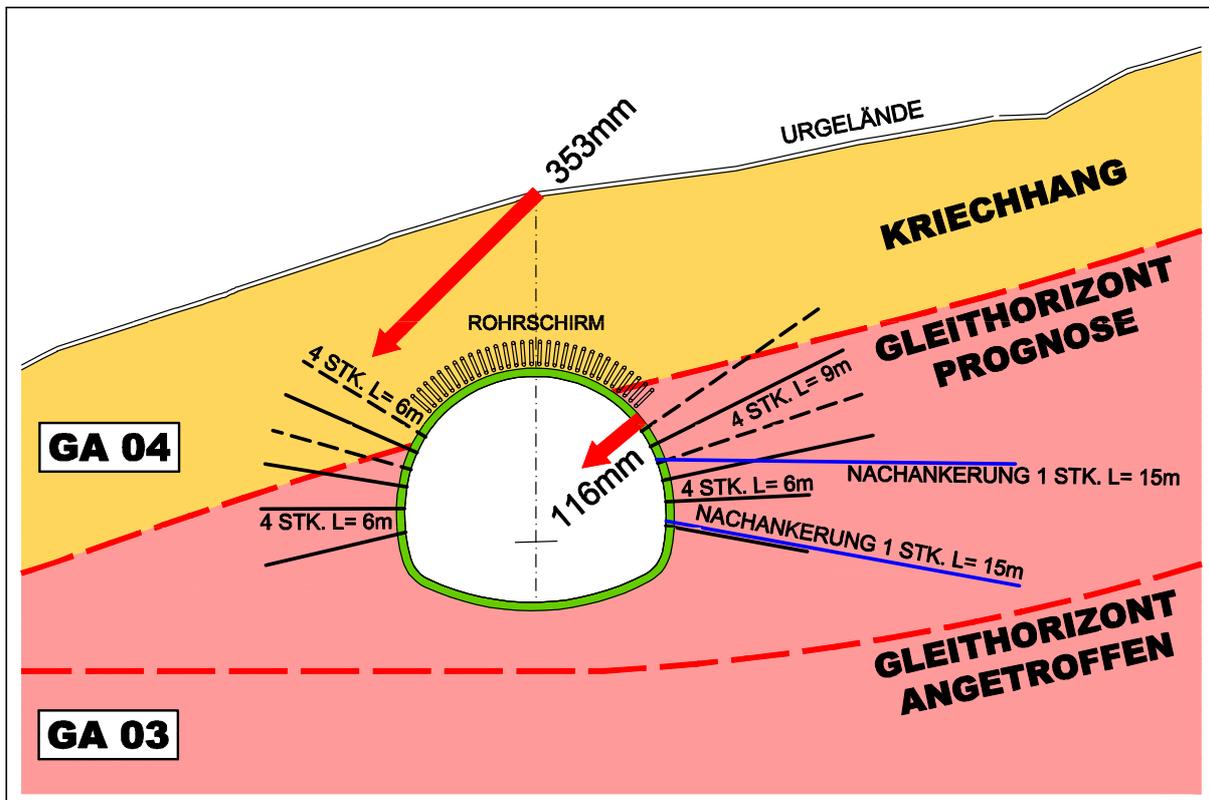


Bild 4. Querprofil vom Kriechhangbereich

Eine steife Schale, die durch ausreichende Verschiebung talseits den erforderlichen passiven Erdwiderstand aktiviert, wurde durch die Auswertung aller bisher gewonnenen neuen Fakten als zielführend gesehen. Deshalb kam eine dreilagig bewehrte, 40 cm starke Spritzbetonaußenschale ab TM 725,30 zur Anwendung, wobei auf die Rückverankerung vollständig verzichtet wurde. Die gesetzten Maßnahmen, sowie das Ansteigen der stark aufgearbeiteten Gesteine der Tektonischen Melange bis zum Strossenbereich ab TM 738 führten zur erhofften Reduktion der Verformungen.

Trotz der im Kriechhangbereich angetroffenen instabilen Ortsbrustverhältnisse konnte der anspruchsvolle Vortrieb, durch konsequente Anwendung des raschen Ringschusses von maximal 6 m, bis zum Einfahren in die offene Bauweise erfolgreich und ohne Zwischenfälle abgeschlossen werden.

Die untertägigen Verformungen zeigten, dass sich im Hang schon nach einer Woche ein stabiler Gleichgewichtszustand eingestellt hatte. Dies war auch an den Oberflächenmesspunkten und den Inklinometern zu beobachten. Die Hangverformungen, die durch die Herstellung der bergmännischen Bauweise ausgelöst wurden, konnten mit Hilfe des Inklinometers B 27 festgestellt werden und betragen 104 mm.

Im gesamten Kriechhangbereich wurden die erwarteten Radialverschiebungen massiv unterschritten, so konnte die bewehrte Innenschale von TM 662,50 bis 750,00 mit einer Mindeststärke von 40 cm ausgeführt werden, wodurch sich die Sicherheit im Endzustand beträchtlich an hob. Aus der Tunnelscannauswertung ergibt sich eine mittlere Stärke des Betoninnengewölbes im Rohrschirmbereich von 73 cm.

Bauwerksüberwachung

Neben den Maßnahmen, die während des Baus getroffen wurden, ist eine weitere Langzeitbeobachtung des Kriechhanges für eine sichere Nutzung des Tunnels unumgänglich. Unmittelbar nach Abschluss der Vortriebsarbeiten wurden noch fünf weitere Inklinometer errichtet, so stehen nun für eine flächendeckende Überwachung des Kriechhanges an insgesamt neun Messorten Inklinometer zur Verfügung.

Nach Fertigstellung der Tunnelausrüstung werden in den Blockfugen 64 bis 71 je zwei geodätische Messpunkte installiert um einerseits in den Blockfugen die auftretende gegenseitige Verschiebung und andererseits die Gesamtverschiebung der Blöcke messen zu können. Zur Erfassung der Langzeitverformung der Betoninnenschale werden drei Messquerschnitte mit jeweils fünf Messpunkten hergestellt.

Die geodätischen Vermessungen der Innenschale werden jährlich durchgeführt, zeigen sich dabei außergewöhnliche Verformungen, können diese mittels abermaligen Scannen der Tunnelinnenschale flächendeckend ermittelt werden. Die Verschiebungen des Hochbehälters werden vorerst ebenfalls noch halbjährlich geodätisch erfasst.

Die Ergebnisse der wöchentlich durchgeführten Inklinometermessungen ergaben, dass die Bewegungen im Kriechhang überraschend schnell abgeklungen sind und somit das Beobachtungsintervall ab März 2011 auf monatlich ausgedehnt werden konnte. Die derzeitige mittlere Verformungsgeschwindigkeit liegt derzeit bei 8 mm pro Jahr und liegt damit deutlich unter der, die vor Baubeginn festgestellt wurde.

Zusammenfassung

Rückblickend kann festgestellt werden, dass der kurze Ringschluss die Verformungen maßgeblich reduziert hat. Die Sensibilität des Kriechhangs auf äußere Einflüsse war weit größer, als angenommen. Unmittelbar nach der Fertigstellung der Deckel der offenen Bauweise beruhigte sich der Kriechhang bis zum Zeitpunkt des Einfahrens des Vortriebs in die Massenbewegung. Beim Vortrieb musste man auf eine Beruhigung des Kriechhangs etwas länger warten, da sich erst der Hang auf den Tunnel „Aufschieben“ bzw. sich der passive Erddruck aufbauen musste. Erst eine Woche nach dem Einfahren in die offene Bauweise Mitte, stellte sich ein stabiler Gleichgewichtszustand ein. Trotz Einsatz von Rohrschirmen und massiver Ortsbrustsicherung kam es an der Oberfläche zu Setzungen von bis zu 23 cm. Der vom Büro Adam festgelegte Grenzwert von 150 mm Horizontalverschiebung wurde zwar geringfügig überschritten, hatte jedoch auf die Gesamtstabilität des Hangs keine negativen Auswirkungen.

Neben den geotechnischen Herausforderungen wurde auf weiten Teilen mit Methangasaustritten gerechnet, die jedoch durch eine kontinuierliche Messung und einer verstärkten Lüftung gut bewältigt wurden.

Die tektonische Melange besitzt ein erhebliches Quellpotential, daher war die Ausführung eines bewehrten tiefen Sohlgewölbes, zur Ableitung der Lasten, unumgänglich.

Mit allen Schwierigkeiten einer innerstädtischen Baustelle erwies sich die Baustelle Citytunnel Waidhofen als interessante und anspruchsvolle Aufgabe.

Dank der engen und vertrauensvollen Zusammenarbeit aller Beteiligten war es möglich, die nicht alltäglichen Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen.

Auch wenn bei Rutsch- und Kriechhängen alle Indizien auf ein gutmütiges Verhalten schließen lassen, sollten bei der Projektierung, wenn möglich, diese Bereiche vermieden werden.

Verfasser:

Dipl. Ing. Markus Brunner, Amt der NÖ Landesregierung - Brückenbau
Ing. Ernst Enengl, Porr Tunnelbau GmbH