

Der Bosrucktunnel, das Nadelöhr der A9 Pyhrn Autobahn

Von der Machbarkeitsstudie 2005 bis zu den vorgezogenen Sanierungsmaßnahmen

Von Robert Schnabl, Reinhold Czizsek und Thomas Neumayr

Die betriebliche, bauliche und elektromaschinelle Erhaltung des hochrangigen Straßennetzes im Süden Österreichs obliegt seit Mai 2006 der ASFINAG Autobahn Service GmbH Süd (ASFINAG SGS). Mit der Übernahme der ehemals von seitens der Landesregierungen Steiermark und Kärnten betreuten Autobahnen und Schnellstraßen werden zuzüglich der ehemaligen ÖSAG-Strecke zur Zeit 709,5 km dieses für die österreichische Wirtschaft bedeutendsten Verkehrswegenetzes betreut (Bild 1). Nicht unerheblich ist der seitens der ASFINAG SGS zu betreuende Anteil an Tunneln in offener und bergmännischer Bauweise (Tabelle 1).

Bild 1 Erhaltungsbereiche der vier ASFINAG Servicegesellschaften.

Fig. 1 Maintenance regions of the four ASFINAG service companies.

Die Pyhrn Autobahn

Die A9 Pyhrn Autobahn stellt im innerösterreichischen Verkehrsnetz die Verbindung der Industriezentren Linz und Graz dar. Dieser Straßenzug hat darüber hinausgehende internationale

Bedeutung im europäischen Verkehrsnetz. Als E57 ist die A9 Teil einer Nordwest-Südost-Achse über den niedrigsten Ostalpenübergang und verbindet überregional Nürnberg mit Zagreb. Die Transitroute über den Pyhrn zählt zu den neun wichtigsten Alpentransitroutes (Tabelle 2).

Der Bosrucktunnel

Geschichte des Tunnelbaus am Bosruck

Die erste große Tunnelbaumaßnahme am Bosruck war die Errichtung des 4 766 m langen Bosruck-Eisenbahntunnels. Die Arbeiten wurden im Jahr 1901 begonnen und dauerten bis ins Jahr 1906. Neben den schwierigen Gebirgsverhältnissen bereiteten vor allem die gewaltigen Wassereinträge von bis zu 1 000 l/s enorme Probleme bei der Errichtung des Tunnels.

Das nächste große Tunnelbauvorhaben am Bosruck war die Errichtung der Erkundungsstollen (später als Lüftungs- und Entwässerungsstollen genutzt) und der Oströhre des Autobahntunnels. Dieser verläuft über etwa die halbe Tunnellänge parallel zum Eisenbahntunnel mit einem Achsabstand von rund 100 m. Die Tun-

Tabelle 1 Anzahl der Tunnelröhren und Gesamttunnelmeter.

Table 1 Number of tunnels and total length of tunnels in meters.

Region	Anzahl Tunnelröhren	Tunnelmeter gesamt
Region Kärnten	45	47 191
Region Steiermark Nord	60	72 895
Region Steiermark Süd	12	31 408
Summen	117	151 494



The Bosruck Tunnel, Bottleneck of the A9 Pyhrn Motorway – From the Feasibility Study of 2005 to the Anticipated Measures of Reconstruction

The Bosruck tunnel which is managed by the ASFINAG Service GmbH Süd is an essential structure on the A9 Pyhrn motorway. The tunnelling of the Bosruck Mountains has raised the international importance of the A9 Pyhrn motorway. Because of the difficult geological situation in the tunnel, which was opened in 1983, measures of reconstruction are needed constantly to keep up road safety and serviceability. The feasibility study has been designed to bring together all data and to find variants of operation.

Der von der Asfinag Autobahn Service GmbH Süd (ASFINAG SGS) betriebene Bosrucktunnel ist ein wesentliches Bauwerk auf der A9 Pyhrn Autobahn. Mit der Durchörterung des Bosruck-Massivs wurde die internationale Bedeutung der A9 Pyhrn Autobahn weiter angehoben. Bedingt durch die geologisch schwierige Situation sind im 1983 eröffneten Bosrucktunnel laufend Sanierungsmaßnahmen durchzuführen, um die Verkehrssicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Tunnels aufrechterhalten zu können. Die durchgeführte Machbarkeitsstudie sollte sämtliche vorhandene Untergrunddaten zusammenführen und Varianten für den weiteren Betrieb des Bosrucktunnels erarbeiten.

nelbauarbeiten begannen mit der Errichtung der Erkundungsstollen im November 1978 und endeten nach einer fünfjährigen Bauzeit mit der Verkehrsfreigabe der Oströhre am 23. Oktober 1983. Probleme beim Vortrieb bereiteten vor allem die lang anhaltenden Verformungen im Bereich des Haselgebirges sowie der starke Wasserandrang von bis zu 300 l/s.

Probleme des Bosrucktunnels

Geologie

Entlang der Trasse des Bosrucktunnels werden beginnend am Nordportal nachfolgende Gebirgsbereiche angetroffen:

- ⇨ Eine Lockergesteinsstrecke mit einer maximalen Überlagerung von bis zu 32 m,
- ⇨ Haselgebirge (Nordteil der basalen Schuppenzone),
- ⇨ Bosruck Karbonatstock aus Wetterstein beziehungsweise Disovec-Kalk und -Dolomit, Plattenkalk, Steinalmkalk und -Dolomit, Kalke und Dolomite der Gutensteiner Schichten sowie bankige bis dünnplattige Gutensteiner Schichten; der Übergang zum Südteil der basalen Schuppenzone wird aus einem tektonisch stark beanspruchten und teilweise grusig zerlegtem Gebirge aus Mergelkalken, Rauhackeln und dolomitischen Kalken der Reichenhaller Schichten gebildet,
- ⇨ Südteil der basalen Schuppenzone, bestehend aus Werfener Schichten, Haselgebirge, Mer-

Tabelle 2 Die neun wichtigsten Alpentransitrouen.

Table 2 The nine most important transite routes through the alps.

Nr.	Routenbezeichnung	Staaten entlang der Transitroute
1	Fréjus-Route	Frankreich / Italien
2	Montblanc-Route	Frankreich / Italien
3	Große St. Bernhard-Route	Frankreich / Schweiz / Italien
4	Simplon-Route	Frankreich / Schweiz / Italien
5	Gotthard-Route	Deutschland / Schweiz / Italien
6	St. Bernardino-Route	Deutschland / Schweiz / Italien
7	Brenner-Route (A 13)	Deutschland / Österreich / Italien
8	Tauern-Route (A 10)	Deutschland / Österreich / Slowenien
9	Pyhrn-Route (A 9)	Deutschland / Österreich / Slowenien

gel und Dolomit-Anhydrit sowie einer rund 240 m langen Strecke in tektonisch stark beanspruchtem und teilweise chemisch zersetztem Gebirge (lösungsbedingte Hohlräume von > 100 m³ möglich),

- ⇨ Werfener Schichten aus Quarziten und plattigen bis dünnplattigen Quarzitschiefern, Tonschiefern in unterschiedlichen Farbschattierungen, Siltsteine und lokal Quarzknauer sowie Anhydritlagen beziehungsweise Gipseinschlüssen mit unterschiedlicher tektonischer Beanspruchung (Methangaszutritte möglich).

Auftretende Probleme in der fertiggestellten Tunnelröhre

Bereits 1994 wurden im Bereich TM 600 (ausgehend vom Nordportal) erste sichtbare Defor-

**INGENIEURBÜRO
LAABMAYR
& PARTNER ZT GmbH**

- PLANUNG, STATIK
- AUSSCHREIBUNG
- BAUÜBERWACHUNG
- TUNNELPRÜFUNG
- GUTACHTEN, BERATUNG

TUNNELBAU

GRUNDBAU

A-5020 Salzburg, Preishartlweg 4, Tel. +43/662/430703-0, Fax -33
E-Mail: office@laabmayr.at Internet: www.laabmayr.at

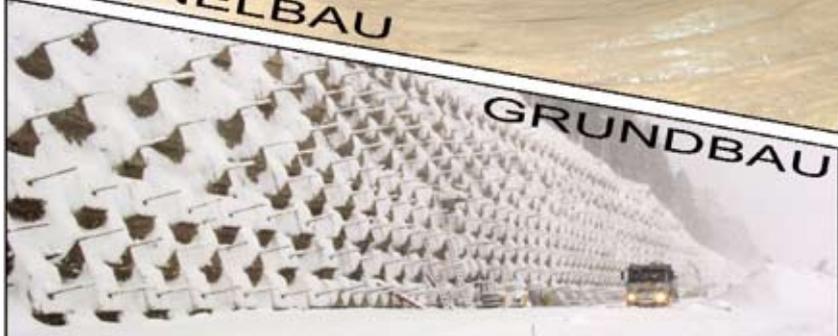



Bild 2 Einbau von Stahlbetonfertigteilen als Ersatz der gebrochenen Zwischendecke.

Fig. 2 Installation of prefabricated segments of reinforced concrete as a replacement for the broken inserted ceiling.

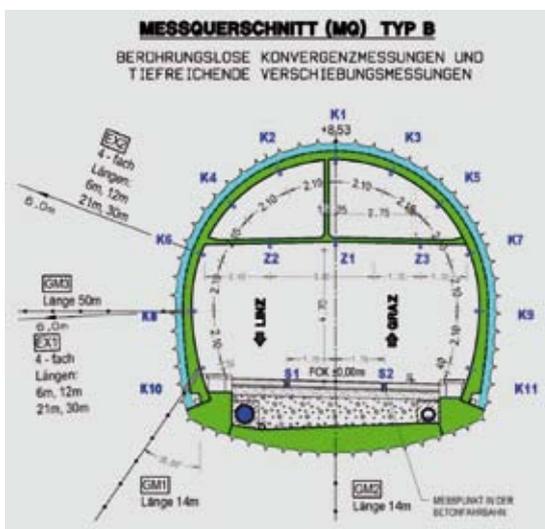


mationen der Innenschale festgestellt. Zur Erhöhung des Ausbauwiderstands im Bereich TM 600 wurden bei vier Innenschalenblöcken im Ulmenbereich 12 m lange SN-Anker eingebaut und die Innenschale messtechnisch überwacht. Trotz dieser ersten Maßnahmen kam es im Jahr 1996 (also 13 Jahre nach der Eröffnung) zum Bruch der Zwischendecke im Block 425 (TM 600), zwei Jahre später zum Bruch der Zwischendecke im Block 424, und im Jahr 2002 brach schließlich auch noch die Zwischendecke im Block 426. Die zerstörte Zwischendecke (im Bereich des Abluftkanals) wurde durch Fertigteile aus Stahlbeton ersetzt (Bild 2).

Aufgrund der laufenden Verschlechterung der Situation wurden Messquerschnitte mit Gleitmikrometern, Extensometern und zusätzlichen Messquerschnitte für die berührungslose Überwachung der Hohlraumverformung installiert (Bild 3). Die Gleitmikrometer weisen eine Länge von 14 m, die Vierfachextensometer eine Länge von 6, 12, 24 und 30 m auf. Um die Gebirgsbewegungen auch in tieferen Bereichen abschätzen zu können, wurden 2003 drei 50 m lange horizontale Gleitmikrometer eingebaut. Die Messgeräte werden zweimal jährlich gemessen und interpretiert. 2004 erfolgte eine durchgehende Vermessung des Fahrraums mittels eines Laserscanners der Firma Dibit-Messtechnik. Mit diesen Aufnahmen konnten erstmals über die gesamte Tunnellänge die Abweichungen gegenüber einem Sollprofil dargestellt werden und bil-

Bild 3 Messquerschnitt.

Fig. 3 Measurement section.



den eine wesentliche Grundlage für die geotechnische Interpretation der Verformungen.

Die erweiterte Machbarkeitsstudie 2005

Da die Gebirgsverformungen vor allem im Bereich TM 600 einen kontinuierlichen Zuwachs zeigen und der laufende Sanierungsaufwand für die ASFINAG SGS steigt, wurde im Jahre 2005 beschlossen, eine „erweiterte Machbarkeitsstudie“ für vorgezogene Sanierungsmaßnahmen zu erstellen.

Ziele der Machbarkeitsstudie

Die ASFINAG SGS formulierte nachfolgende Zielsetzungen:

- ◇ Aufrechterhaltung der Standsicherheit,
- ◇ Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit,
- ◇ Aufrechterhaltung der Gebrauchstauglichkeit bis zur Generalsanierung (Beginn der Baumaßnahmen der Weströhre laut Generalverkehrsplan im Jahr 2021),
- ◇ Reduktion des laufenden Sanierungsaufwands.

Das Team der Machbarkeitsstudie

Von der ASFINAG SGS wurde ein Projektteam zusammengestellt, das alle Fachbereiche abdeckt, um so eine möglichst umfassende Studie erarbeiten zu können. Die Vergabe dieser Dienstleistungen erfolgte seitens der ASFINAG SGS unter Einhaltung der rechtlichen Grundlage (BVerG 2002).

Mit der Projektsteuerung wurde das ZT-Büro iC Consulanten beauftragt, für die elektromaschinellen und lüftungstechnischen Aspekte war das Ingenieurbüro PEL zuständig. Die Projektierung der Löschwasseranlagen erfolgte durch das ZT-Büro INGENOS, die geologische Beratung durch das ZT-Büro Forstinger & Stadlmann. Zur Planung des Bauablaufs und der Verkehrsführung während der Sanierungsphase wurde das ZT-Büro Amberg Engineering beigezogen. Mit der Tunnelplanung wurde die IL – Ingenieurbüro Laabmayr & Partner ZT GesmbH beauftragt. Die betrieblichen Aspekte wurden von der ASFINAG SGS in die Studie eingebracht.

Schadensbereiche

In der ersten Phase der Studie wurden die vorhandenen Daten zusammengetragen und ausgewertet. Vom Büro Forstinger & Stadlmann wurden die vorhandenen geologischen Grundlagen in einem Längenschnitt und einem Lageplan auf Tunnelniveau zusammengefasst. Anschließend wurden in Zusammenarbeit mit dem Tunnelplaner und auf Basis der bereits erwähnten Scanaufnahmen die wesentlichen Problembereiche für die vertiefte Bearbeitung festgelegt:

- ◇ Bereich TM 400 bis TM 800,
- ◇ Bereich TM 2400 bis TM 2 500,
- ◇ Bereich TM 2900 bis TM 3 100.

Den am besten erkundeten Abschnitt stellt der Bereich TM 600 dar. Im Übergangsbereich zwischen dem isotropen Haselgebirge und der beginnenden Einregelung des Haselgebirges verläuft bei TM 600 eine Störzzone. Zusätzlich sind in diesem Bereich eingeschuppte Anhydrit beziehungsweise Dolomit-Anhydritkörper ange-
 getroffen worden.

Wie Bild 4 (Überlagerung der geologischen Auswertung mit den Scanaufnahmen) zeigt, liegen die maximalen Deformationen im Zentrum der vermuteten Störungen. Die Abbildung zeigt zum einen die Deformation im ostseitigen Ulmenbereich sowie die Fahrbahnhebungen.

Für den Schadensbereich 2 zeigt diese Überlagerung an der Stelle der maximalen Deformationen den Übergang von einer Haselgebirgsschuppe zu einem Abschnitt mit vorwiegend Tonschiefern der Werfener Schichten (Bild 5). Im Schadensbereich 3 treten die maximalen Deformationen am Beginn eines mächtigen Dolomit-Anhydrit Abschnitts auf (Bild 6).

Um die Schadensbereiche 2 und 3 besser beurteilen zu können, wurden im Zuge der Machbarkeitsstudie Kernbohrungen durch den Fahrbahnaufbau bis zum anstehenden Gebirge abgeteufelt und Probenmaterial für labortechnische Untersuchungen entnommen. Neben Proben aus dem Untergrund wurde auch Material aus dem Fahrbahnaufbau untersucht. Hier zeigte sich, dass im Unterbau Haselgebirge, Dolomit, und Dolomit-Anhydrit, sprich Ausbruchmaterial, eingebaut wurden.

Problemursachen

Auf Basis der vorhandenen geologischen Unterlagen wurden die möglichen Problemursachen diskutiert und herausgearbeitet. Betrachtet man die drei hauptsächlichen Schadensbereiche, so werden dort immer wieder die gleichen Gesteinsarten angetroffen. Dabei handelt es sich um Haselgebirge und Anhydrit beziehungsweise Dolomit-Anhydrit. Haselgebirge und Dolomit sind bezüglich Wasserzutritt als empfindlich einzustufen. Haselgebirge neigt bei Wasserzutritt in Abhängigkeit des Salzgehalts zu mehr oder weniger raschem Auslaugen und einem damit verbundenen Verlust der Festigkeit. Weiters weist Haselgebirge ein hohes plastisches Potenzial auf. Anhydrit wandelt sich bei Wasserzutritt (oftmals reicht die Änderung der Luftfeuchtigkeit nach dem Ausbruch) zu Gips um (Volumenvergrößerung und Festigkeitsverlust).

Einen wesentlichen Motor für die problematischen Eigenschaften stellt somit das Wasser dar. Im Übergangsbereich zwischen Haselgebirge und Karbonat stehen im Bereich der Oströhre derzeit zwischen 30 und 170 l/s Bergwasser an. Diese werden über die Ulmendränagen (DN 200) und Querausleitungen zum Bergwasserhauptsammler abgeführt. Durch den sich aufbauenden Gebirgsdruck im Bereich TM 600 kam es zu einer Schädigung der Ulmendränagen und

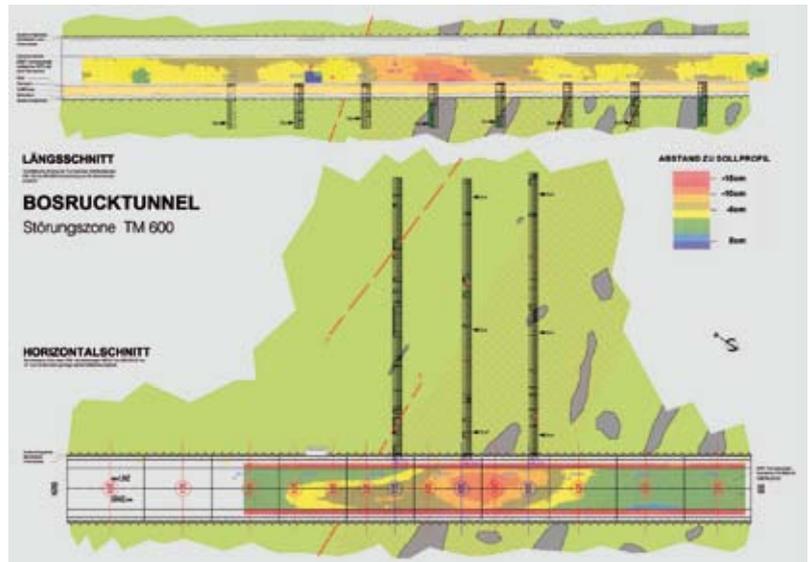


Bild 4 Schadensbereich 1: TM 400 bis 600.

Fig. 4 Area of damage 1; tunnelling metre 400 to 600.

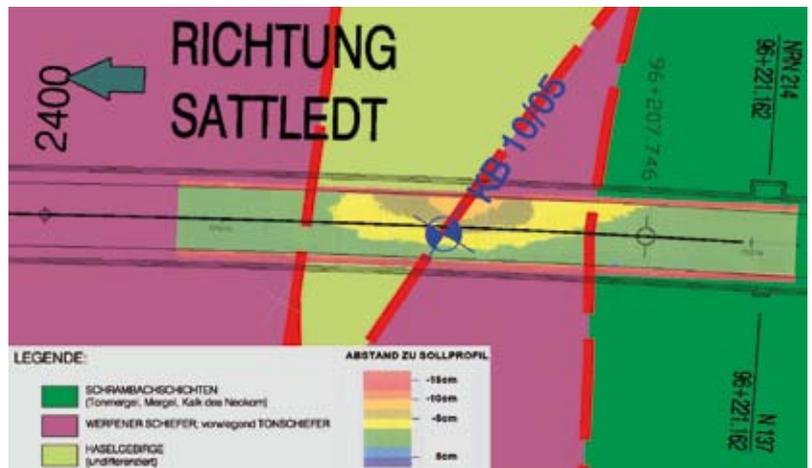


Bild 5 Schadensbereich 2: TM 2 400 bis 2 500.

Fig. 5 Area of damage 2; tunnelling metre 2 400 to 2 500.

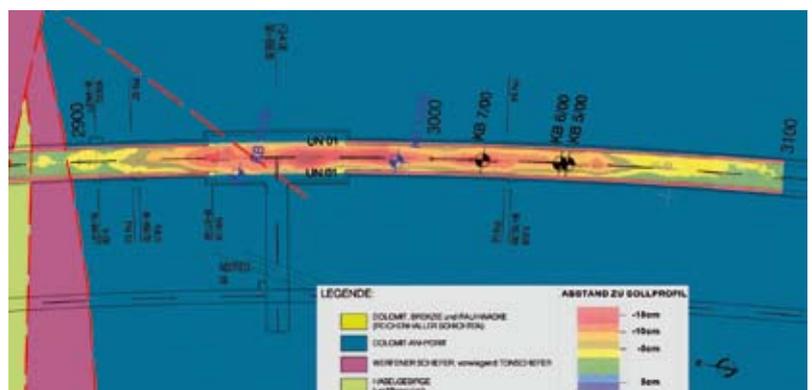


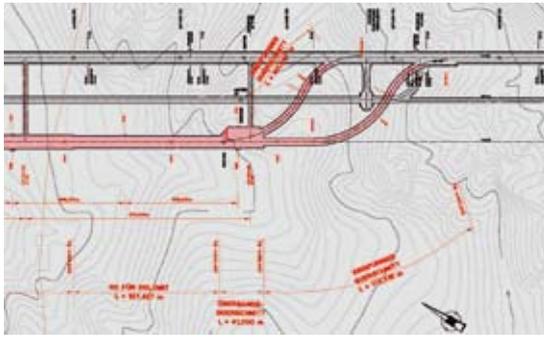
Bild 6 Schadensbereich 3: TM 2 900 bis 3 100.

Fig. 6 Area of damage 3; tunnelling metre 2 900 to 3 100.

des Bergwasserhauptsammlers. Dies führte zu einer verstärkten Vernässung des Sohlbereichs. Das Schadensbild im Bereich TM 600 legt eine Kombination aus Gebirgsdruck und Quell- beziehungsweise Schwellerscheinungen nahe.

Bild 7 Variante 2
– Überleitung von der
Weströhre zur
Oströhre.

Fig. 7 Variant 2
– connection between
western and
eastern tube.



Im Scheitelpunkt ist aus derzeitiger Sicht hauptsächlich von Schwellerscheinungen im Sohlbereich auszugehen. Allerdings wurden in diesem Abschnitt erst im Zuge der Machbarkeitsstudie die ersten Messquerschnitte eingebaut, daher liegen für diesen Abschnitt noch keine längeren Messreihen vor.

Untersuchte Varianten

Nach eingehender Diskussion und Bewertung erster Variantenvorschläge wurden für die weitere Planung vier Varianten festgelegt.

Variante 1

Die Variante 1 sah einen sofortigen Vollausbau des Bosrucktunnels einschließlich der erforderlichen Brückenbauwerke P129 im Norden und B2 (Hangbrücke Ardning) im Süden vor. Nach Fertigstellung der neuen Weströhre sollte der Verkehr in diese umgelegt werden, um eine Generalsanierung der Oströhre durchführen zu können.

Variante 2

Die Variante 2 sah einen teilweisen Neubau der Weströhre im Nordabschnitt bis etwa TM 1 100, die Herstellung einer Überleitung in die Oströhre und die anschließende Generalsanierung in der Oströhre im Nordabschnitt vor. Die Längsfestlegung für den teilweise vorgezogenen Neu-

bau ergab sich aus der geologischen Situation. Etwa bei TM 1 000 erfolgt der Übergang vom Haselgebirge in den Karbonatstock, der auf den ersten 100 m noch eine sehr starke Zerlegung und vor allem Wasserführung aufweist. Ausgehend von einer Aufweitung sollte mit zwei einspurigen Querschnitten die Überleitung von der neuen Weströhre zur Oströhre hergestellt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Höhenlagen der Achsen musste die Überleitung über den Lüftungs- und Entwässerungsstollen trassiert werden (Bild 7).

Variante 3

Die Variante 3 sah für den Bereich TM 600 eine Überführung des bestehenden Querschnitts durch einen annähernd kreisrunden, auf die druckhaften Verhältnisse ausgelegten Querschnitt vor. Die Arbeiten sollten unter Aufrechterhaltung des Verkehrs durchgeführt werden. Das Bild 8 zeigt eine sowohl in technischer Hinsicht als auch in Bezug auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer nur unter extremem Aufwand zu realisierende Variante.

Variante 4

Die Variante 4 gliedert sich in die Untervarianten 4A und 4B. Beide Varianten sollten unter Aufrechterhaltung des Verkehrs ausgeführt werden.

Variante 4A

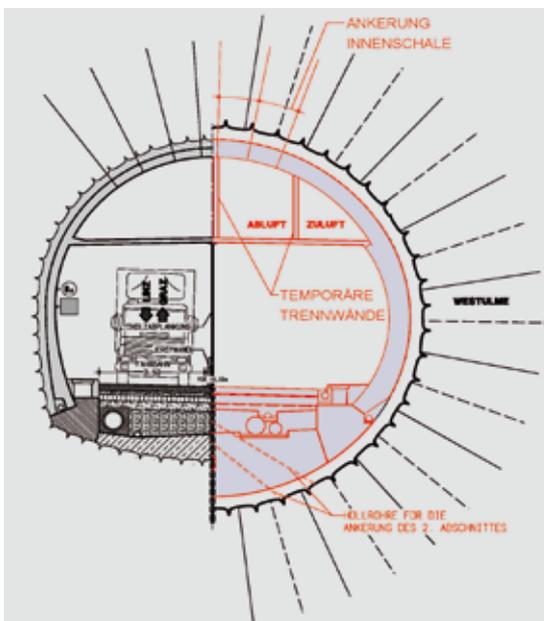
Die Variante 4A sah die Erneuerung des gesamten Fahrbahnaufbaus, der Entwässerungsleitungen sowie den Abbruch und die Erneuerung des Sohlgewölbes vor.

Variante 4B

Im Gegensatz zur Variante 4A würde bei der Variante 4B eine statische Ertüchtigung des Querschnitts im Sohlbereich durchgeführt werden. Zu diesem Zweck müssten auch das Widerlager und die untersten Bereiche der Innenschale abgebrochen werden, um eine Eintiefung des Sohlgewölbes zu ermöglichen.

Bild 8 Variante 3
– Überfahren des
bestehenden
Querschnitts.

Fig. 8 Variant 3
– Reconstruction of
the existing segment.



Empfehlung der Planungsgruppe an die ASFINAG

Nach eingehender Diskussion, Kostenschätzung und Risikobewertung der einzelnen Varianten wurde von der Planungsgruppe der ASFINAG empfohlen, die Variante 1 zur Ausführung zu bringen.

Die Empfehlung wurde damit begründet, dass der Bosrucktunnel im Straßenzug der A9 einen wirklichen Flaschenhals darstellt. Die Pyhrnpass-Straße ist aufgrund ihrer Anlageverhältnisse für Schwerfahrzeuge vor allem in den Herbst- und Wintermonaten kaum zu befahren und führt auf der steirischen Seite direkt in das Ortsgebiet von Liezen. Bei einem Schwerverkehrsanteil von über 20 % (JDTV \approx 13 000 KFZ/24h, \approx 2 600 LKW/24h) würde dies zu einer unzumutbaren Belastung führen. Zudem führen

Bild 10 Asphaltierungsarbeiten im Bereich einer Pannenbucht.

Fig. 10 Construction of the asphalt surface in the area of a niche.



den Schäden an der elektromaschinellen Ausrüstung an der Untersicht der Zwischendecke verursacht. Die Folge waren spontane, unangekündigte Tunnelsperren, in denen die Schäden provisorisch repariert und erst in einer weiteren Nachtsperre endgültig beseitigt werden konnten. Zur Behebung dieser Fahrbahnschäden wurde, wie oben beschrieben, die bestehende Betonfahrbahndecke in den drei Sanierungsbereichen abgebrochen und durch eine Asphaltfahrbahn ersetzt. Insgesamt wurden rund 720 m Fahrbahn saniert.

Abbruch der bestehenden Betondecke

Der Aufbruch der Betondecke erfolgte mit einem Löffelbagger Case 9013 mit Meißel. Die aufgebrochene, bis zu 25 cm starke Betondecke wurde anfänglich von einem Löffelbagger Takeuchi TB 175 auf dreiachsige Lastkraftwagen verladen. Ein Aufladen war aber durch das notwendige Schwenken des Baggerarms auf den für den Verkehr freigegebenen Fahrstreifen nur in den verkehrsfreien Räumzeiten möglich. Dadurch konnten keine zufriedenstellenden Abbauleistungen erzielt werden. In der Folge wurde die Verladung des Abbruchmaterials mit einem Radlader Liebherr 514 durchgeführt. Dies verbesserte die Schichtleistung wesentlich. Zur Verladung des Materials wurden die Lastkraftwagen in den Räumzeiten schräg auf den für den Verkehr freigegebenen Fahrstreifen gestellt. Der durch Sicherungsposten abgesicherte Fahrstreifen im unmittelbaren Baustellenbereich musste auf Anweisung des Sicherungspersonals bei anrollendem Verkehr sofort geräumt werden.

Beim Abbruch der Betondecke wurde die unter der Betondecke liegende Asphaltdecke zum Teil mit abgetragen. Dies geschah zum Teil aufgrund des schlechten Zustands derselben und zum Teil aufgrund der besonders guten Haftung der Betondecke auf dem Asphalt. Dadurch gestalteten sich die Beräumung und die Reinigung als sehr schwierig, da die Oberfläche sehr uneben war. Eine maschinelle Reinigung mit einem Kehrwagen war nur selten möglich. Die Reinigung musste händisch ausgeführt werden.

Asphaltierungsarbeiten

Nach der Reinigung wurde mit einem Vorspritzgerät eine polymermodifizierte Bitumenemulsion aufgebracht. Die Einbringung des Asphalts erfolgte mit dem Asphaltfertiger Vögele Super

1603 (Bild 10). Die Zulieferung des Materials erfolgte von der Mischanlage Strechau.

In der ersten Nachtschicht wurden ausschreibungsgemäß zwei Schichten bituminöse Tragschichten BT22 HS LK S und eine Verschleißschicht LM SMA 11 LK S mit einer Stärke von 4 cm eingebaut. Nach einer Auskühlungszeit von maximal drei Stunden für das gesamte, 25 cm starke Asphaltpaket betrug die Oberflächentemperatur der Fahrbahn bei Verkehrsfreigabe etwa 50 °C. Im Tagesverlauf verursachte der Verkehr Verdrückungen bis zu mehreren Zentimetern.

Daher wurde die Herstellung des geplanten und in der Ausschreibung geforderten Deckenaufbaus geändert. Anstatt des sofortigen Einbaus der Verschleißschicht wurden zwei um insgesamt 4 cm stärkere bituminöse Tragschichten eingebaut. Damit war der Einbau des Asphalts insgesamt in einer kürzeren Zeit durchführbar, und es konnten damit die Auskühlzeiten verlängert werden. Zusätzlich wurde die Oberfläche mit Wasser gekühlt. Die Verkehrsfreigabe erfolgte auf der provisorischen Fahrfläche der bituminösen Tragschichten. Die Verformungen konnten damit auf ein erträgliches und für die Verkehrssicherheit ausreichendes Maß verringert werden. Die Oberflächentemperatur der provisorischen Fahrbahn betrug bei Verkehrsfreigabe nur noch, die in den RVS geforderten, 35 °C.

In einem eigenen Arbeitsschritt wurde dann nach einem auf die Situation abgestimmten Deckenbuch eine ebene Fräsfläche hergestellt. Dabei wurden bis zu 7 cm bituminöse Tragschicht mit zwei Asphaltfräsen Bitelli SF 200L und Wirtgen W500 abgefräst. Danach wurde mit dem Asphaltfertiger Vögele Super 1603 die 4 cm starke Verschleißschicht LM SMA 11 LK S aufgebracht und verdichtet. Die Ebenflächigkeit konnte hier aufgrund der geringen Schichtstärke und der dadurch ausreichenden Auskühlzeit gewährleistet werden.

Sanierung der Entwässerungsanlagen in der Oströhre

Aufgrund des Alters der Entwässerungsanlagen und der aufgetretenen Verformungen des Tunnels wurden diese zum Teil undicht und damit das den Tunnel umgebende Gebirge bewässert. Um eine Verschlechterung der bereits beschriebenen Gebirgssituation durch eine Bewässerung des Haselgebirges zu vermeiden oder doch zumindest zu verringern, wurden die bestehenden Entwässerungsrohre aus Beton mit einem Inliner ausgekleidet. Auf Grundlage von Kamerabefahrungen wurden die zu sanierenden Bereiche festgelegt. Im Wesentlichen beschränkte sich der Einsatz auf die genannten drei Sanierungsbereiche. Insgesamt wurden rund 2 080 m Fahrbahntwässerung DN 400 und 1 060 m Tunnelhauptentwässerung DN 600 saniert.

Im Zuge der Sperre der jeweiligen Richtungsfahrbahn wurden, auf die Sanierung der Beton-

fahrbahn räumlich abgestimmt, die Inliner mit maximalen Längen von 212 m eingebaut. Vor dem Einbau wurden am jeweiligen Vortag eine Reinigung der Entwässerungsstränge und eine anschließende Abnahme durch eine Kamerabefahrung durchgeführt. Teilweise vorhandene Hindernisse in den Entwässerungssträngen wurden mittels Roboter entfernt. Gleichzeitig wurde der Schlauch aus Polyestergewebe in Epoxidharz getränkt und für den Einbau vorbereitet. Der Schlauch wurde mit Druck in das bestehende, mit Gleitmittel versehene Betonrohr eingeblasen. Das Epoxidharz wurde mit einem Druck von etwa 0,5 bar und einer Heiztemperatur von rund 100 °C im Inneren des Schlauchs über eine Zeit von etwa fünf Stunden ausgehärtet. Das Epoxidharz stellt dadurch eine feste Verklebung mit dem bestehenden Rohr her. Die Aushärtezeit ist abhängig von der Einbaulänge und der Außentemperatur. Bei Längen von über 200 m konnte die Räumung der Baustelle nur knapp vor der Verkehrsfreigabe um 06:00 Uhr erfolgen. Nach Fertigstellung aller Sanierungen wurden die fertigen Inliner einer Dichtheitsprobe unterzogen und nochmals eine Kamerabefahrung durchgeführt.

Überleitung der Bergwässer von der Oströhre in den Lüftungstunnel Nord

Wie schon beschrieben, fallen die großen Bergwassermengen hauptsächlich kurz nach dem Übergang vom Haselgebirge in das Karbonat an. Die Ableitung erfolgte bisher nur über den teilweise unterdimensionierten Bergwasserhauptsammler. Dadurch wurde das Wasser in der Zeit der Schneeschmelze zum Teil in den Schächten und Rohren zurück gestaut beziehungsweise wurden über die Zeit doch beträchtliche Wassermengen durch undichte Rohre in das wasserempfindliche Haselgebirge eingeleitet. Daher wurde im Sanierungskonzept eine Überleitung der Bergwässer vom Bergwasserhauptsammler in den Lüftungstunnel vorgesehen. Im Lüftungstunnel ist eine schadlose Ableitung der Wässer über den adaptierten Entwässerungskanal problemlos möglich. Die Überleitung wurde bei Tunnelmeter 1007 noch im Haselgebirge kurz vor dem Übergang in das Karbonat hergestellt. Die Gesamtlänge der Zielbohrung betrug rund 39,5 m.

Vorbereitung der Vortriebsarbeiten

Als erste Maßnahme wurde im Lüftungstunnel bei Tunnelmeter 1 007 ein Startschacht mit einer lichten Weite von 3,1 m x 3,1 m hergestellt. Der durch den Startschacht führende Entwässerungskanal wurde über PVC-Rohre umgeleitet.

Das System wurde in der Folge im Startschacht installiert und die dazugehörige Einrichtung aufgestellt. Im selben Zeitraum wurde in der Oströhre in einer Nacht-Tag-Nachtsperre des Tunnels der Zielschacht mit einer lichten Weite von 2 m x 2,2 m hergestellt. Der Aushub

im Sohlgewölbe und im darunter liegenden Haselgebirge unmittelbar neben der für den Verkehr freigegebenen Richtungsfahrbahn gestaltete sich aufgrund der beengten Platzverhältnisse, der Tiefe des Schachts und der hohen Festigkeit des Betons und des Gebirges als sehr schwierig. Zudem mussten die großen Wassermengen durch die Baugrube geleitet werden und vorher nicht bekannte Abschlachungen im Sohlauflauf des Tunnels zusätzlich abgeleitet werden. Schließlich gelang die Herstellung des Schachts mit einer geringen Überschreitung der von der ASFINAG zugestandenen Sperrzeit.

Die Vortriebsmaschine

Die Vortriebsarbeiten wurden von der Ludwig Pfeiffer Hoch- und Tiefbau GmbH & Co KG durchgeführt. Dabei kam eine Vollschnittmaschine des Typs AVN 700 der Herrenknecht AG zum Einsatz. Der Rohrvortrieb wurde aus einem Steuercontainer ferngesteuert. Die Förderung des Materials erfolgte hydraulisch in die Absetzbecken. Von dort wurde das Material aus dem Lüftungsstollen transportiert. Für den Abbau des Materials wurde ein Felsbohrkopf mit Schneidrollen verwendet. Der Außendurchmesser des Vortriebs betrug, bedingt durch die Vortriebsmaschine, 875 mm und konnte bis auf 975 mm aufgeweitet werden. Die Vortriebsmaschine mit Standardwerkzeug war 2 070 mm lang, hatte ein Drehmoment (links und rechts) von 41 000 Nm bei einer Drehzahl von 0 bis 11 min⁻¹ und ein Gewicht von 3,5 t. Die Vortriebsrohre waren aus Stahlbeton und wurden gleichzeitig als Produktrohre eingesetzt. Der Hauptpressdruck von maximal 140 t im Pressrahmen richtete sich nach der maximal zulässigen Belastung der eingesetzten Rohre.

Herstellung der Überleitung, Microtunneling

Am 24. Oktober 2005 begannen die Vortriebsarbeiten. Nach anfänglichen Schwierigkeiten mit der Einrichtung konnten die Vortriebsarbeiten am darauffolgenden Tag fortgesetzt werden. Mit einer durchschnittlichen Vortriebsleistung von 5,6 m/d und einer maximalen Abweichung von 7 mm von der Sollachse im Zielschacht konnte am 1. November 2005 durchgedreht werden (Bild 11).



Bild 11 Einfahren der Microtunneling Vortriebseinheit in den Zielschacht.

Fig. 11 The micro-tunneling-machine reaching its aim.

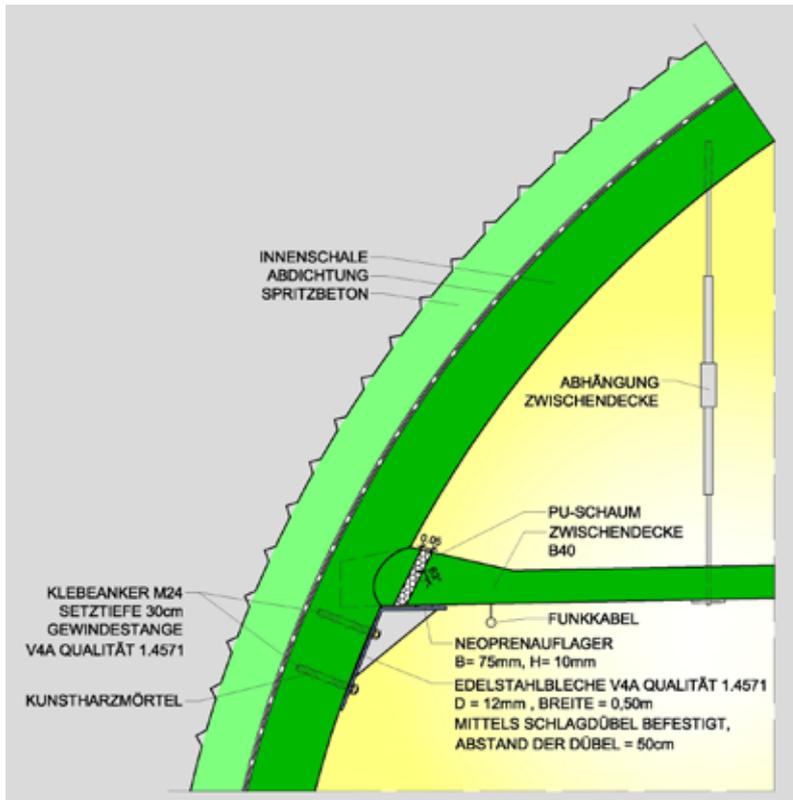


Bild 12 System für die Entspannung der Zwischendecke.

Fig. 12 *Easing the tension of the intermediate ceiling (cross section.)*

Entspannung der Zwischendecke im Bereich Tunnelmeter 600

Wie schon beschrieben, kam es im Bereich Tunnelmeter 600 zum Bruch der Zwischendecke. Um weitere unkontrollierte Brüche zu vermeiden, wurde beschlossen, die benachbarten Zwischendeckenfelder entsprechend den Ergebnissen der laufend durchgeführten geodätischen und geotechnischen Messungen zu entspannen. Aus den Berechnungen ergab sich die erforderliche Breite des Längsschlitzes von 5 cm. Die Maßnahme betraf die Blöcke 427 bis 430 nördlich der bereits sanierten Schadstelle und die Blöcke 423

Bild 13 Anordnung der Sägeblätter zur Entspannung der Zwischendecke.

Fig. 13 *Saw blade cuts ease the tension of the intermediate ceiling.*



Bild 14 Aufgeweiteter Entwässerungskanal.

Fig. 14 *Expanded dewatering channel.*



bis 419 südlich davon. Insgesamt wurden 108 m Zwischendecke entspannt.

Um die Entspannung der Zwischendecke durchführen zu können, musste die bestehende Zwischendecke provisorisch von der Innenschale abgehängt werden. Dies wurde durch den Einsatz von Gewindestangen, die mit Hülseankern in der Innenschale befestigt wurden, bewerkstelligt. Die Gewindestangen wurden durch die Zwischendecke geführt und dieselbe mittels Ankerplatten und Muttern daran befestigt (Bild 12).

Nach diesen Vorbereitungsmaßnahmen konnte mit dem Aufschneiden der Zwischendecke von oben in Längsrichtung begonnen werden. Dabei wurden Kreissägeblätter mit einem Durchmesser von etwa 1 m eingesetzt (Bild 13). Durch den Druck, der sich in der Zwischendecke durch das Gebirge bereits aufgebaut hatte, gestalteten sich die Schneidarbeiten als sehr schwierig. Die Sägeblätter blieben mehrmals stecken und mussten mühsam freigestemmt werden. Aufgrund der Erfahrungen der ersten Schneidversuche wurde das Sägeblatt nicht mehr durch die gesamte Zwischendecke gezogen. Der übrig gebliebene Teil wurde von unten per Hand ausgestemmt. In Abstimmung auf die laufenden Sägearbeiten wurden an der Innenschale Stahlwinkel mit Neoprenaufgabe als verschiebbares Auflager für die Zwischendecken hergestellt.

Durch den Zeitdruck waren bis zu drei Sägen im Einsatz. Nach anfänglichen massiven Schwierigkeiten konnten die Entspannungsarbeiten dann doch zeitgerecht abgewickelt werden.

Aufweitung des Entwässerungskanals im Lüftungstunnel Nord

Damit das Wasser aus der Oströhre, das über die Überleitung in den Lüftungstollen gelangt, und das im Lüftungstollen schon vorhandene Wasser aus dem davor liegenden Entwässerungstollen auch zu Spitzenzeiten (Schneesmelze, Niederschlagsereignisse) bewältigt werden können, musste der bestehende Entwässerungskanal aufgeweitet werden.

Über eine Länge von etwas mehr als einem Kilometer wurde die Betonauffüllung des Lüftungstunnels links und rechts des bestehenden Kanals vertikal ungefähr 45 bis 50 cm tief geschnitten. Bis zur endgültigen Sohle musste der übrige Teil mit einem auf einen Löffelbagger Takeuchi TB 175 montierten Meißel abgetragen werden (Bild 14). Gleichzeitig wurde ein neues Auflager für die neuen Abdeckplatten hergestellt.

Durch die beengten Platzverhältnisse und der zum Teil parallelen Durchführung der Arbeiten mit der Herstellung der Überleitung (Microtunneling) war der Abbruch und Abtransport beziehungsweise die Zwischenlagerung des Abbruchmaterials sehr schwierig. Erschwerend kam hinzu, dass der Bestand zum Teil enorme Abweichungen von den Bestandsplänen aufwies. So gab es Bereiche, in denen der bestehende

Entwässerungskanal um bis zu 40 cm von der Solllage abwich. In diesem Bereich mussten aufwändige Zusatzarbeiten durchgeführt werden. Die Herstellung des Auflagers gestaltete sich aufgrund von bestehenden horizontalen Betonierfugen als sehr schwierig. Es entstand ein großer zusätzlicher Aufwand, um die Auflager in der geplanten Art und Weise herstellen zu können.

Im Bereich des Lüfters am Betriebsgebäude Nord konnte die Ableitung der Wassers nicht wie geplant hergestellt werden. Hier mussten ebenfalls zusätzliche Leistungen erbracht werden und eine 2 m starke Auffüllung aus Beton in der Sohle des Lüftungstunnels aufgebrochen und das aufgeweitete Gerinne hergestellt werden.

Der Antransport der Fertigteile und die Anlieferung des Betons für die Herstellung der Abdeckung des Entwässerungskanals waren unter ähnlich schwierigen Bedingungen zu bewältigen. Es konnten nur kleine Geräte eingesetzt werden. Für den Betoniervorgang wurde sogar ein eigenes Gerät gebaut.

Gefahrenpotenzial

Eine der wesentlichsten Punkte der Betrachtung des Gefahrenpotenzials ist das Verhalten des Individualverkehrs im Bereich der Baustelle. Trotz Absicherungen, Verkehrsbeschränkungen, Ampelanlagen und Sicherungspersonal an den Portalen und am direkten Einsatzort waren die Verkehrsteilnehmer nicht bereit, auf die Bedingungen im Tunnel Rücksicht zu nehmen. Geschwindigkeitsüberschreitungen und Nichtbeachtung der Ampelsignale und Anweisungen des Sicherungspersonals sind nur einige der Verstöße.

Ein weiterer Punkt sind die überaus beengten Platzverhältnisse. Dies ist aber keine Besonderheit für den Tunnel, sondern trifft generell auf Straßenbaustellen zu. In diesem Fall tritt beim Personal ein gewisser Gewöhnungseffekt auf und führt zu einer Unterschätzung des Gefahrenpotenzials.

Die Mitbenutzung der für den Verkehr freigegebenen Richtungsfahrbahn durch Auf- und Abfahren und durch Ladearbeiten in den Räumungsphasen stellt in Erinnerung an den Unfall im Tauerntunnel sicher eine der größten Gefahren dar. Zwar wurde der Verkehr an den Portalen angehalten, jedoch kam es durch die Baustellenabwicklung hin und wieder zu Anhaltungen im Tunnel. Es wurde versucht, solche Situationen zu vermeiden, aber es zeigte sich, dass in bestimmten Fällen Anhaltungen bei diesen Platzverhältnissen unbedingt notwendig waren (Bild 15).

Nicht zuletzt war die Rauch- und Staubfreiheit des Tunnels mittels der Querlüftung eine Herausforderung. Die Staubentwicklung beim Abbruch der Betondecke war trotz Staubniederschlagung mit Wasser enorm. Zum einen konnte aufgrund der Arbeiten im Lüftungstunnel Nord



nicht die erforderliche Luftmenge angesaugt werden, zum anderen ist durch die Arbeiten im Abluftkanal über der Zwischendecke eine volle Absaugung der Schadstoffe und des Staubs nicht immer möglich gewesen.

Bild 15 Schwierige Verladung des Abbruchmaterials.

Fig. 15 Difficult loading of the demolition material.

Arbeitsvorbereitung und Logistik

Die kurze Vorbereitungszeit bis zum Beginn der Arbeiten hatte neben allen anderen Herausforderungen dieses Bauvorhabens einen wesentlichen Einfluss auf den Verlauf der Bauabwicklung. Da gerade im Herbst die Auftragsbücher der Baufirmen eher gut gefüllt sind, gestaltete sich die Planung des Personaleinsatzes als sehr schwierig. Gerade im Asphaltbau sind zu dieser Jahreszeit kaum Ressourcen frei.

Erschwerend kam hinzu, dass der Großteil der Arbeiten in der Nacht ausgeführt werden mussten. Die Lieferung von Asphalt und Beton in den Nachtstunden sowie die Beschäftigung einer Reihe örtlicher Subunternehmer (Transporte, Reinigung), die auch tagsüber Aufträge abwickeln, führte zu kurzfristigen Personalengpässen.

Die Verzögerungen durch den durch die Baustelle führenden Individualverkehr stellten eine weitere Herausforderung an die Logistik dar. Fertige Bauteile und Materialien wurden an den Portalen zwischengelagert. Der Transport von Material und Maschinen in den Tunnel zu den jeweiligen Einsatzorten musste auf die wechselseitige Verkehrsführung abgestimmt werden. Eine nicht unwesentliche Rolle dabei spielte die Länge des Tunnels von 5,5 km.

Nicht zuletzt musste auf die bestehende elektromaschinelle Ausrüstung extrem Rücksicht genommen werden. Ein Ausfall der Anlage durch Beschädigungen hätte nicht nur fatale Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit im Tunnel gehabt, sondern wäre bei Verletzung von überregionalen Versorgungssträngen mit ernstesten Folgen für die gesamte Tunnelkette an der Pyhrnautobahn gewesen.

Autoren

Robert Schnabl, ASFINAG Autobahn Service GmbH Süd, ABM Ardning, Reithal 38, A-8940 Liezen, Österreich, E-Mail robert.schnabl@asfinag.at; Reinhold Czizsek, Thomas Neumayr, IL – Ingenieurbüro Laabmayr & Partner ZT GesmbH, Preishartweg 4, A-5020 Salzburg, Österreich, office@laabmayr.at