

**HÖRLEIN Norbert** PORR Bau GmbH

**RAUCH Christian** PORR Bau GmbH

## TS26 - NATM in Polen - mit Überraschungen

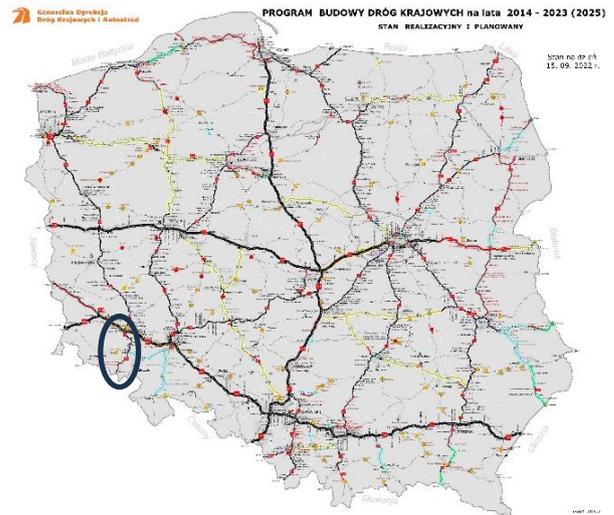
### Allgemeine Projektvorstellung

Die Schnellstraße S3 durchquert das komplette polnische Staatsgebiet von der Ostsee (Swinemünde) bis an die tschechische Staatsgrenze in Nord-Süd Richtung. Sie stellt einen Teil des internationalen Korridors E65 dar und verläuft im Wesentlichen parallel zur deutsch/polnischen Staatsgrenze in einem Abstand von rund 100 Kilometern.

Im Jahre 2018 beauftragte die polnische Straßenverwaltungsbehörde GDDKiA „Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad“ die Firma PORR mit der Errichtung des Bauloses von Bolkow nach Kamienna Gora. Dabei handelt es sich um einen 16,1 km langen Abschnitt, dessen Kernstück 2 Tunnels darstellen. Insgesamt wurden am Baulos rund 350.000 Kubikmeter Beton verbaut und 2,5 Millionen Kubikmeter Aushub bewegt, beziehungsweise auch 2,3 Millionen Kubikmeter Schüttmaterial eingebaut.

Das Projektgebiet liegt in Schlesien, nahe der tschechischen Staatsgrenze mit der bekannten Schneekoppe. Die Nachbarstadt Waldenburg war bis Anfang der 1990er Jahre das Zentrum des niederschlesischen Steinkohlereviers. Der Bergbau prägte die Region nachhaltig für ca. 470 Jahre von rund 1526 bis zum Jahre 1996, als das Steinkohlebergwerk Julia stillgelegt wurde.

Diese, früher böhmische und später vor allem preußische Bergbautradition, wurde im Jahre 2020 durch PORR wieder zum Leben erweckt, als mit dem Tunnel TS-26 der erste Straßentunnel – gebaut nach den Grundzügen der NÖT „neuen österreichischen Tunnelbaumethode“ – angeschlagen wurde.



**Abb. 1** Übergeordnetes Straßennetz Polen

Zum Projektumfang gehörten, neben der Errichtung der beiden bergmännischen Röhren des Tunnels TS-26 mit jeweils rund 2.200 m Länge, auch mehrere Brücken und Durchlässe, der Tunnel TS-32 mit 300 m wurde in offener Bauweise hergestellt.

### Tunnel TS-26 – Wahl des Bauverfahrens

Der Tunnel TS-26 ist das Kernstück des Projektes und verbindet die beiden Ortschaften Sady Gorne und Stare Bogaczowice.

Da es sich beim gegenständlichen Bauvertrag um einen “Fidic Yellow book” Vertrag handelt – welcher auch als “Design and Build” bezeichnet wird, stand es frei, welche Baumethode zur Herstellung des Tunnels verwendet wird.

Die vom Auftraggeber im Zuge der Ausschreibungsplanung durchgeführten Baugrunduntersuchungen zeigten, dass die anstehende Geologie im Wesentlichen aus Schiefen und Konglomeraten besteht. Gemäß den Unterlagen traten Grundwasserzutritte nur sehr vereinzelt und lokal auf.

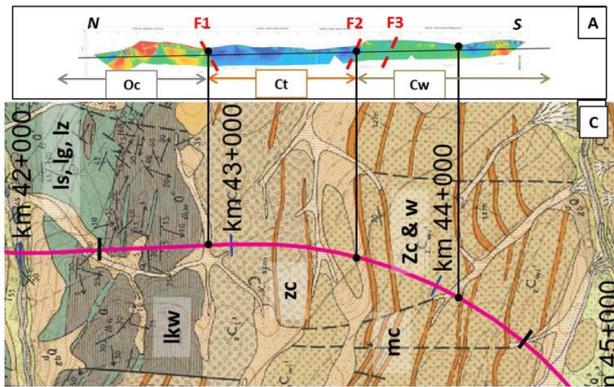


Abb. 2 Geologische Übersicht

Auf Grund der vorhandenen Expertise wurde von Seiten PORR die Herstellung des Tunnels nach den Grundzügen der NÖT vorgesehen. Dies konnte schlussendlich den Auftraggeber technisch und wirtschaftlich überzeugen, sodass im Oktober 2018 der Bauvertrag unterzeichnet wurde.

### Tunnel TS-26 – Planung

Die S3 wird als zweispurige Schnellstraße mit einer Entwurfsgeschwindigkeit von 130 km/h ausgeführt. Für die Tunnelanlagen entschied der Auftraggeber, diese mit vollwertigen Pannestreifen auszuführen. Somit waren, bei Vergleich mit Bauwerken aus dem DACH-Raum, dreispurige Autobahntunnel herzustellen.

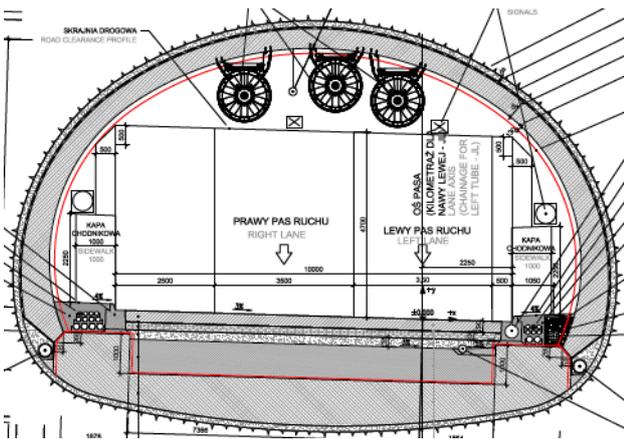


Abb. 3 Regelquerschnitt mit Sohlengewölbe

Selbstverständlich sollten diese mit der modernsten Leit-, Signal- und Sicherheitstechnik ausgerüstet werden.

Da es in Polen kein nationales Regelwerk zur Errichtung von Tunnels gibt, wurde in sehr konstruktiver Abstimmung mit dem Bauherrn und

seinen Beratern festgelegt, die Planung unter Zuhilfenahme der österreichischen RVS-Vorschriften durchzuführen.

Sowohl mit der Planung während der Angebotsphase als auch mit jener der Ausführung wurden die Spezialisten der iC Gruppe aus Wien beauftragt.

Gemeinsam wurde festgelegt, eine zusätzliche Bohrkampagne zur Verdichtung der Planungsparameter auszuführen.

Hierzu wurden insgesamt 643 Laufmeter verrohrte Bohrungen niedergebracht und die gewonnen Kerne bei Versuchsanstalten in Österreich untersucht.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurden die zweidimensionalen Daten der Ausschreibung adaptiert und in ein dreidimensionales geologisches Modell übergeführt.

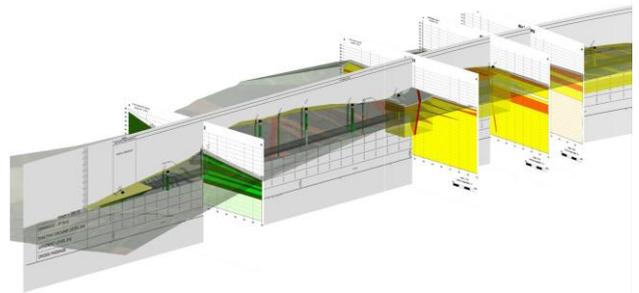


Abb. 4 Geologisches 3D Modell

Auf Basis dieses neu entwickelten 3D Modells konnten nun alle weiteren Planungsschritte erfolgen.

Unter Einbeziehung der Orientierung, Schichtung, Wassereinflüsse und vorherrschenden (primären) Spannungsverhältnissen wurde ein Baugrundmodell erstellt.

Ebenso wurde der zu errichtende Hohlraum im 3D Modell numerisch definiert und unter Zuhilfenahme der Finite-Elemente Methode (FEM) sämtliche Schritte zur Herstellung der Tunnel simuliert.

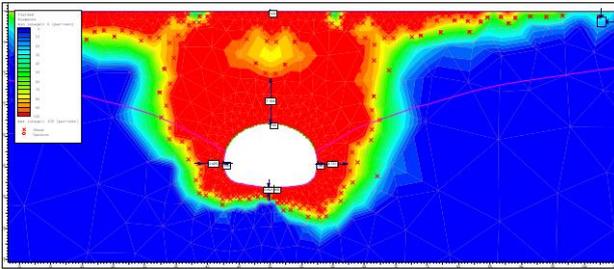


Abb. 5 Exemplarische Spannungsverteilung – aus FEM Simulation

Das Ergebnis dieser Computerberechnungen war die Beschreibung des Systemverhaltens des kompletten Bauwerks in den unterschiedlichen Gebirgszonen.

Als Ausführungsplanung spiegelte sich dies in insgesamt 4 Vortriebsklassen A, B, C und D wider, welche wiederum in 4 Unterklassen detailliert wurden.

Im Wesentlichen wurden für die Bereiche in den Schiefen ein Regelquerschnitt mit Sohlgewölbe und Ausbruchsflächen von bis zu 147 m<sup>2</sup> gewählt.

Die anstehen Konglomerate sollten mit offener Sohle und einer Ausbruchsfläche von rund 106 m<sup>2</sup> aufgefahren werden.

Im Zuge der Ausführungsplanung wurde neben den klassischen Stützmitteln wie Selbstbohr- oder Stabanker und 3-Gurt Gitterbögen eine Bewehrung des Spritzbetons mit Mattenstahl vorgesehen. Da die Bodenuntersuchungen jedoch das Vorhandensein von sehr kompakten Konglomerat-Bereichen erwarten ließen, wurde hier bereits an den Einsatz von Stahlfaser-Spritzbeton in diesen geologisch günstigen Zonen gedacht.

Der Beginn der Bauarbeiten wurde durch die vorherrschenden Auswirkungen der COVID-19-Pandemie etwas verzögert und fand am 01.09.2020 statt. Nach der Errichtung des Einschnitts für das Tunnelportal Süd – ca. 40.000 m<sup>3</sup> Erdbewegung und umfangreichen Hangsicherungsarbeiten mit Spritzbeton und Selbstbohranker, konnte der erste Tunnel am 04.12.2020 – dem Feiertag der heiligen Barbara als Schutzpatronin der Bergleute - feierlich angeschlagen werden.



Abb. 6 Tunnelanschlag

Als Tunnelpatinnen konnten wir Frau Elżbieta Witek, die damalige polnische Parlamentspräsidentin und die Direktorin unseres Auftraggebers, Frau Lidia Markowska, gewinnen.

### Tunnel TS-26 – Ausführung Vortrieb

Der Tunnelvortrieb wurde wegen vertraglicher Vorgaben von beiden Portalen und gleichzeitig in beiden Röhren ausgeführt. Auf Grund der angetroffenen Geologie und unter Berücksichtigung der Grundzüge der NÖT kamen sowohl der klassische Sprengvortrieb als auch Tunnelbagger mit Reißlöffel und Anbaufräse im mechanischen Vortrieb zum Einsatz.

Hierfür wurden größtenteils die modernsten und neuesten am Markt verfügbaren Maschinen eingesetzt.



Abb. 7 Tunnelvortrieb-Jumbo © Thomas Exel

Ebenso wurde darauf Augenmerk gelegt, die Vortriebe mit erfahrener Stammpersonal zu besetzen. Während und vor allem am Beginn der Vortriebsarbeiten musste die COVID-19-Pandemie berücksichtigt werden. Diese stellte die Projektbeteiligten vor besondere Heraus-

forderungen, speziell bei der Reisetätigkeit und Unterbringung der Arbeitskräfte.

Die Vortriebsarbeiten verliefen im Wesentlichen reibungslos. Jedoch mussten bereichsweise Abweichungen der angetroffenen Geologie im Vergleich zu der Prognose in den Ausschreibungsunterlagen in Kauf genommen werden.



Abb. 8 Tunnelvortrieb-Anbaufräse © Thomas Exel

### **Tunnel TS-26 – Ausführung Spritzbeton/Einsatz von Stahlfasern – Untersuchung PP Fasern**

Wie bereits erwähnt, wurde im Zuge der Ausführungsplanung der Einsatz von Stahlfasern im Spritzbeton angedacht. Nicht zuletzt auch als Sicherheitselement, da in den Sprengvortriebsbereichen der ungesicherte Abschlag nicht von den Mitarbeitern betreten werden musste.

Nach den ersten 200 m Tunnelvortrieb hatte man sich hinsichtlich einer Effizienzsteigerung, der drohenden Ressourcenknappheit im Jahr 2020, vor allem aber auch hinsichtlich einer künftigen Ressourcenschonung und der ohnehin guten Erfahrungen der Porr Bau GmbH mit Stahlfaserspritzbeton bei Tunnelbaustellen in Norwegen dazu entschlossen, die Erstsicherung komplett auf eine Ausführung mit Stahlfaserspritzbeton umzustellen.

Die erforderlichen Betonqualitäten für den Spritzbeton waren zum einen ein C20/25/XC3 und zum anderen ein C25/30/XC3/Z/20. Produziert wurde das Nassmischgut an beiden Portalen von unterschiedlichen Betonherstellern.



Abb. 9 Mischanlage im Portalbereich

Die Erfahrungswerte der polnischen Betonhersteller mit Spritzbeton waren gering und so musste das Verständnis geweckt werden, dass nicht nur Betonkennwerte des Nassmischguts erreicht werden müssen, sondern generell das System Spritzbeton, sprich die Wechselwirkung von Beschleuniger und Zement, funktionieren muss.

Nach den ersten negativen Spritzversuchen hieß es zurück an den Start und es war kurz vor Vortriebsbeginn erforderlich, in der Umgebung (bis ins benachbarte Deutschland) Zemente zu finden, die für Spritzbeton geeignet sind. Anhand eines umfangreichen labortechnischen Versuchsprogramms wurde sowohl eine Auswahl an Zementen als auch Beschleunigern getroffen, sodass mit diesen neuen Bestandteilen, in weiterer Folge dann neuerlich Spritzversuche durchgeführt werden konnten.

Im Zuge der neu zu erstellenden Eignungsprüfungen mussten in weiterer Folge auch noch das polnische Laborpersonal für die notwendigen Prüfungen am Spritzbeton geschult werden.



Abb. 10 Schulung der polnischen Laboranten in unbekanntes Regelwerk

Sample number	Cement	Admixture	Setting time beginning [s]	Setting time end [s]	Temp. Beginning [°C]	Temp. end [°C]
XVI	CEM I 42,5R Górażdże	Master Builders SA 184	100	520	40,1	44,4
XVII	CEM II/A-S 52,5R Karsdorf	Master Builders SA 184	50	210	40,0	48,3
XVIII	CEM II/A-M (S-LL) 52,5N Górażdże	Master Builders SA 184	80	480	39,1	41,0

Sample number	Cement	Admixture	Flexural strength after 6h [MPa]	Compressive strength after 6h [MPa]	Flexural strength after 24h [MPa]	Compressive strength after 24h [MPa]
XVI	CEM I 42,5R Górażdże	Master Builders SA 184	0,7	2,9	1,3	6,0
XVII	CEM II/A-S 52,5R Karsdorf	Master Builders SA 184	1,8	6,1	3,9	21,4
XVIII	CEM II/A-M (S-LL) 52,5N Górażdże	Master Builders SA 184	0,6	2,2	1,4	5,2

Abb. 11 exemplarische Ergebnisse des Laborprogramms

Stahlfaserbeton ist in Polen bekannt, jedoch zeigte sich bald, dass die von den Betonherstellern geplante händische Stahlfaserzugabe von 20 kg/m<sup>3</sup> für die Produktion von ca. 50.000 m<sup>3</sup> Faserspritzbeton sich als nicht zielführend darstellte und so wurden auch Versuche mit leichter händel- und dosierbaren 4,0 kg/m<sup>3</sup> PP-Makrofaser durchgeföhrt.



Abb. 12 Spritzversuche

Die Beimengung der Fasern erfolgte in die Fahr-mischer und schon bei der Betonherstellung zeigten sich Probleme des gleichmäßigen Einmischens der PP-Faser. Des Weiteren neigten diese Betone, im Gegensatz zu jenen mit den Stahlfasern, zum Entmischen.

Ein weiterer Vorteil beim Einsatz der PP-Faser wäre der Verzicht auf den weiteren Einbau eines Abdichtungsträgers gewesen.

Für den erforderlichen Nachweis der Biegezugfestigkeit wurden Prismen mit den Abmessungen 150x150x600 mm hergestellt und an einem Prüfinstitut in Warschau die Biegezugfestigkeit ermittelt.

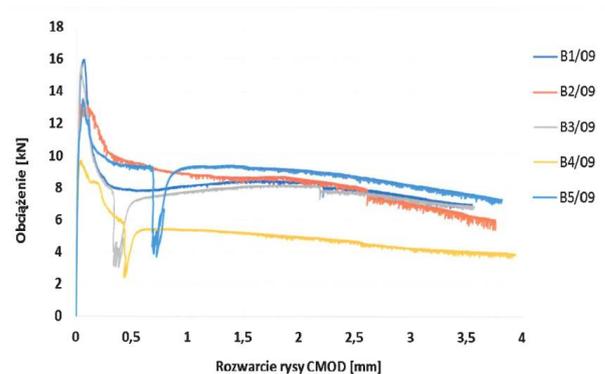


Abb. 13 Biegezugfestigkeiten

Nebst den Problemen bei der Herstellung des Nassmischguts mit 4,0 kg/m<sup>3</sup> PP-Fasern wurden schlussendlich auch noch die erforderlichen Biegezugfestigkeiten nicht erreicht und so hat man sich dazu entschlossen, die ca. 50.000 m<sup>3</sup> Faserspritzbeton mit Stahlfasern auszuführen. Aufgrund stark schwankender Sieblinien der verwendeten Sande, wechselnder Zementqualitäten, Ausfall von Zementwerken, usw. war der Aufbau eines ordentlichen Baustellen-QM-Systems notwendig, wodurch Qualitätskriterien bei der Annahme von Anlieferung Betonbestandteilen festgelegt wurden und ein strenger Prüfplan durch das Baustellenlabor beim verbauten Faserspritzbeton einzuhalten war. Durch diese Maßnahmen war es möglich, die Vorteile des Faserspritzbetons hinsichtlich Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung voll auszunutzen. Gerne hätten wir zur weiteren Ressourcenschonung die PP-Fasern eingesetzt.

## Tunnel TS-26 – Überraschung – Alter Bergwerksstollen

Obwohl der Vortrieb, wie bereits dargestellt, im Wesentlichen reibungslos von statten ging, kam es auch zu Überraschungen. Just am 1. April 2021 vermeldete die Vortriebsmannschaft des Südvortriebs „Wassereinbruch – wir haben einen Tunnel gefunden“. Die Reaktion der Bauleitung war natürlich entsprechend – man dachte an einen eher weniger lustigen April-Scherz. Als jedoch mehr und mehr Pumpenmaterial an die Ortsbrust verbracht wurde, kam Spannung in die Sache! Tatsächlich wurde ein bis dato unbekannter Stollen, welcher auch noch komplett mit Wasser gefüllt war, angefahren. Glücklicherweise war einer der Bauleiter aktives Mitglied des Landesvereins für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich.



Abb. 14 Erste Erkundung des Bergwerkstollens © Thomas Exel

Somit konnte die bis dahin unbekannte Untertage-Anlage professionell erkundet werden. Es stellte sich heraus, dass es sich wohl um einen Erkundungs- oder Entwässerungsstollen aus Zeiten der preußischen Herrschaft und der Bergbautätigkeit im 19. Jahrhundert handeln musste. Bereits wenige Stunden nach Bekanntwerden des alten Stollens kamen die ersten interessierten Menschen auf die Baustelle, welche den berühmten Gold-Zug von Waldenburg suchten und auch zu finden glaubten. Dies trug noch zusätzlich zur Skurrilität der Sachlage bei. Der Bergwerkstollen mit rund 1,5 m Breite und bis zu 2,5 m Höhe querte die Haupttunnels schleifend genau in Höhe des Übergangs zwischen Kalotte und Strosse. Insgesamt konnten rund 454 m erkundet werden.

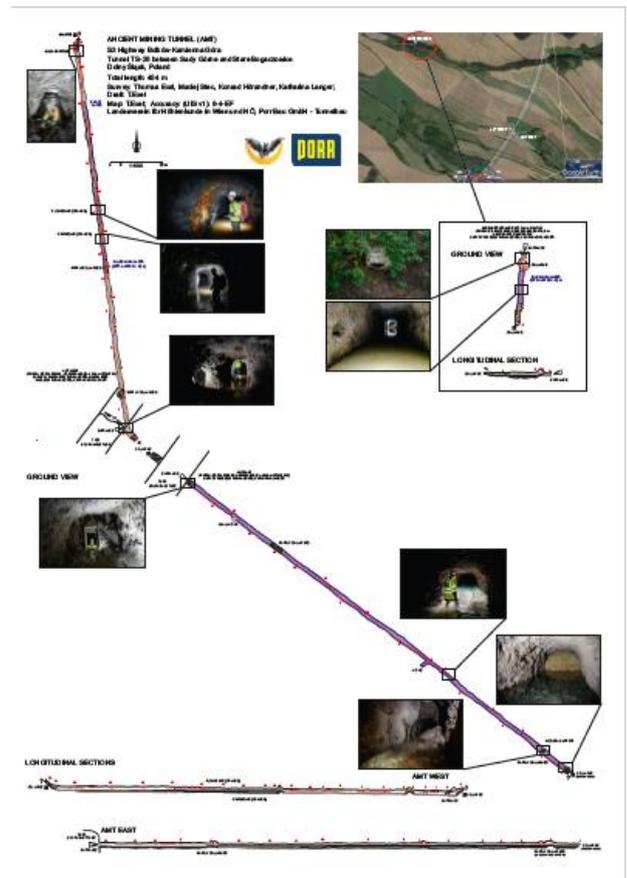


Abb. 15 Vermessungsergebnis des Bergwerkstollens

In Abstimmung mit dem Auftraggeber und seiner Vertreter wurde beschlossen, den Tunnelvortrieb weiterzuführen und die Stelle zu passieren. Innerhalb von gerade einmal 48 Stunden wurde vom Tunnelplaner ein Konzept zur sicheren Passage der Schwachstelle ausgearbeitet, mit allen Prüfinstanzen beziehungsweise dem Auftraggeber abgestimmt und frei gegeben. Nach wenigen Tagen konnte der Bereich des Bergwerkstollens passiert und der Regelvortrieb fortgeführt werden. Im Zuge der Herstellung der Ortbeton-Innenschale wurden die nun neu geschaffenen Stollenmünder gesichert, aber auch endgültig mit Betonplomben verschlossen. Nicht zuletzt, um zukünftige Schatzsucher nicht zu motivieren, die Straßentunnel unbefugt zu betreten.

Die kooperative und zielorientierte Behandlung und Abarbeitung des Themas durch alle Projektbeteiligten sprechen in den aktuellen Zeiten für sich.

## Tunnel TS-26 – Innenschale/Betonbau

Nachdem die Vortriebsarbeiten abgeschlossen wurden, starteten die Arbeiten an der Innenschale. Hier kam modernstes Schalungsgerät eines namhaften österreichischen Herstellers zum Einsatz.

Hervorzuheben ist, dass sämtliche Leistungen zur Herstellung der Innenschale durch PORR Unternehmen ausgeführt wurden. Die Eigenproduktion der verschiedenen Betonsorten wurden durch das Baustellenlabor qualitätsüberwacht und der Autor des Beitrags stellte im Hinblick auf die optimalen Betonkompositionen die fachliche Expertise.

Wie bereits erwähnt, teilt sich der Tunnel im Wesentlichen in zwei geologische Bereiche – im Norden Schiefer – hier wurde ein Sohlgewölbe ausgeführt und im Süden Konglomerat. Hier kam eine flache Sohle zur Ausführung.

Da die angetroffenen Konglomerate sensitiv auf Wasser reagierten und zum Aufweichen neigten, musste die Geometrie der Innenschale darauf angepasst werden. Ursprünglich war vorgesehen, die Bankette direkt auf die gereinigte Felsoberfläche zu platzieren. Es konnte jedoch nicht sichergestellt werden, dass die Kontaktfläche durch die Bergwässer nicht beeinträchtigt worden wäre.

In einem ersten Ansatz wurde überlegt, die Bereiche mit Sohlgewölbe entsprechend zu verlängern. Dies hätte jedoch einen erheblichen zeitlichen und monetären Mehraufwand mit sich gebracht. In einem sehr innovativen Ansatz wurde eine Schicht aus „Roller compacted concrete - RCC“ eingebracht.

Diese RCC-Schicht schützt die sensitive Felsoberfläche vor mechanischen Beeinträchtigungen und stellt eine Kontaktfläche mit hoher Qualität zur Ableitung der statischen Kräfte dar.

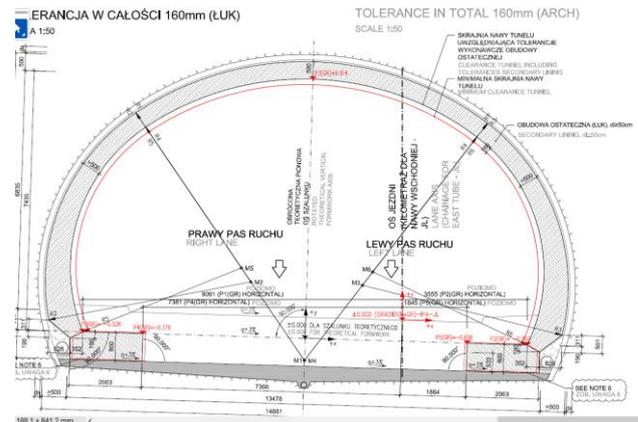


Abb. 16 Regelquerschnitt mit flacher Sohle



Abb. 17 Erfolgreicher Abschluss der Betonarbeiten am 16.05.2023

## Gesamtprojekt Fertigstellung – Übergabe

Das Baulos wurde am 12. Juli 2024 an den Auftraggeber übergeben und eröffnet. Die Schnellstraße S3 ist somit durchgängig von der tschechischen Staatsgrenze bis zur Ostsee befahrbar. Der Tunnel TS-26 ist im Jahre 2024 der neueste Tunnel des polnischen Straßennetzes. Es wurden die modernsten Kontroll- und Überwachungsanlagen installiert. Diese wurden durch die Spezialisten von PORR Verkehrstechnik geplant.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass sich die NÖT auch in Niederschlesien bewährt hat. Die Bewältigung von geologischen / geotechnischen Herausforderungen bedarf eine koordinierte Zusammenarbeit von Spezialisten verschiedenster Disziplinen.

Der Tunnel TS-26 ist ein Leuchtturmprojekt für alle Beteiligten, da er den ersten Autobahn Tunnel in Polen darstellt welcher nach modernsten Gesichtspunkten realisiert wurde. Die lokale Verkehrsinfrastruktur erhält damit ein Bauwerk welches ebenso in jedem Land des D-A-CH Raums stehen könnte. Bemerkenswert ist auch, dass die Heilige Barbara ihre schützenden Hände über das Projekt legte, womit schwere Arbeitsunfälle vermieden werden konnten.