

Manuel Lagger Swietelsky Tunnelbau GmbH & Co KG, ARGE Tunnel Fröschnitzgraben

Johannes Weigl iC-consultanten ZT GmbH

Gernot Nipitsch ÖBB Infrastruktur AG, GB Projekte Neu-/Ausbau, Projektleitung Semmering

Gunther Thaler Implenia Österreich GmbH, ARGE Tunnel Fröschnitzgraben

Gespritzte Innenschale am Baulos SBT2.1 Tunnel Fröschnitzgraben: Von der Idee zur Umsetzung

Projektvorstellung

Der rd. 27 km lange Semmering-Basistunnel als Teil des baltisch-adriatischen Korridors bildet einen wesentlichen Baustein für den Ausbau einer leistungsfähigen Verkehrsverbindung im Streckenabschnitt Gloggnitz - Mürzzuschlag. Er wird seit 2014 in drei Hauptbaulosen mit zwei eingleisigen Streckenröhren hergestellt. Im mittleren Baulos SBT 2.1 wird von den ausführenden Firmen Implenia Schweiz AG und Swietelsky Tunnelbau GmbH & Co KG (ARGE Tunnel Fröschnitzgraben) über einen Zwischenangriff mit zwei ca. 400 m tiefen Schächten auch eine Not- haltestelle (NHS) ausgeführt.

Diese umfasst ein Kavernensystem, bestehend aus einer Längs- und drei Querkavernen mit unterschiedlichen Regelprofilen sowie zwei Rettungsräumen mit Flucht- und Absaugstollen. Die inneren Querschnittsabmessungen der einzelnen Regelprofile der Kavernen liegen zwischen ca. 15,5 m und 18,5 m in der Breite sowie zwischen ca. 10 m und ca. 18 m in der Höhe.

Der Vortrieb der NHS erfolgte zyklisch, der Innenausbau war als zweiseitiges System in Ortbeton mit Regenschirmabdichtung aus Kunststoff (KDB), Zwischendecke und unter Verwendung entsprechender Kavernenschalwägen vorgesehen. Die Innenschale selbst war mit einer Mindeststärke von 60 cm ausgeschrieben. Abbildung 1 zeigt beispielhaft das ursprüngliche Regelprofil der Längskaverne.

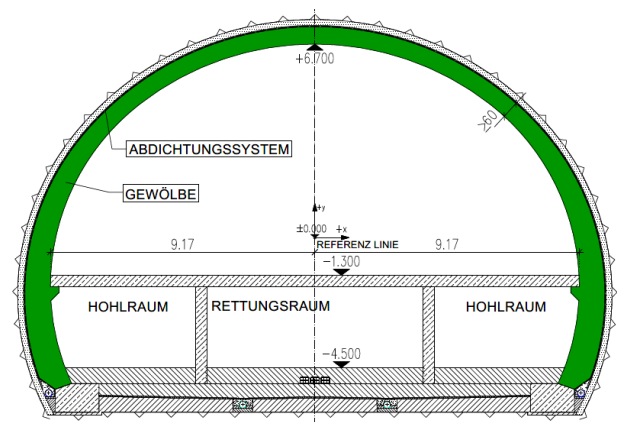


Abb. 1 Regelquerschnitt Längskaverne gem. Ausschreibungsplanung.

Ausgangssituation und Grundidee

Da die Ausbruchsquerschnitte in den Kavernen bis zu ca. 300 m² betragen, wurde im Zuge der Vortriebsarbeiten der Abdichtungsträger sukzessive mithergestellt, da ein Erreichen der Kalottenbereiche nach Absenken von Strosse/Sohle mit den auf der Baustelle vorgehalten Gerätschaften (v.a. Spritzbetonmanipulator) nicht möglich war.

Die vorherrschenden Gebirgsverhältnisse erforderten stellenweise einen duktilen Ausbau mittels Stauchelementen. Aufgrund anhaltender Verformungen in den Kavernen waren auch intensive Nachankerungen und Sanierungsarbeiten der Außenschale erforderlich. Zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit mussten im Kalottenbereich Kopfschutzgitter montiert werden.

Bedingt durch die gesetzten Maßnahmen kam es in den betroffenen Bereichen zum Vorliegen von Unter- und Überprofilen in der

Größenordnung von +/- 30 cm. Stellenweise waren auch noch Sanierungsmaßnahmen im Zuge der Neuherstellung des Abdichtungsträgers erforderlich.

Beim Einsatz eines Schalwagens mit starrer Geometrie wäre der Bereich mit dem größten Unterprofil je Kavernentyp maßgebend gewesen. Sämtliche Stellen mit mehr als 15 cm „Überprofil“ hätten gemäß ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“, Ausgabe 2012, daher vor Herstellung der Ortbetoninnenschale mittels Spritzbeton „aufgefüllt“ werden müssen.

Von der ausführenden ARGE wurde daher der Vorschlag erbracht, die Innenschale im oberen Querschnittsbereich über der Zwischendecke nicht mittels Schalwagen, sondern komplett in Spritzbetonbauweise herzustellen. Der Vorschlag umfasste den Auftrag von mind. 60 cm Spritzbeton entlang der bestehenden Außenschalengeometrie und, aufgrund des druckwasserentlasteten Querschnitts, der Verwendung einer Spritzabdichtung bei Bedarf.

Für den Querschnittsbereich unterhalb der Zwischendecke wurde die Beibehaltung einer Ortbetoninnenschale als zielführend erachtet. Jedoch wurde anstelle einer gewölbten Innenschale die Herstellung als einhäufig geschaltete „gerade Wand“ mittels Systemschalungselementen vorgeschlagen.

Nach Diskussion und Prüfung alternativer Ausführungsvarianten wurden in intensiven Abstimmungen zwischen AN- und AG-Vertretern beschlossen, die Ausführung als „gespritzte Innenschale“ in Kombination mit gerade geschalteten „Ulmenwänden“ planerisch zu untersuchen und umzusetzen. Diese Variante erschien allen Beteiligten sowohl baupraktisch als auch wirtschaftlich als zielführendste Lösung.

Planerische Vorgaben

Basierend auf den geführten Abstimmungen wurde die Ausführung als Spritzbetoninnenschale nur im Gewölbereich ausgeführt. Mit dieser Grundlage wurden die Regelquerschnitte neu definiert. Beispielhaft für die Längskaverne ist ein solcher in Abbildung 2 dargestellt, unterteilt in die Betonierabschnitte „Ortbetongewölbe“ und „Spritzbetongewölbe“.

Auf das „Ortbetongewölbe“ wird im vorliegenden Bericht nicht näher eingegangen.

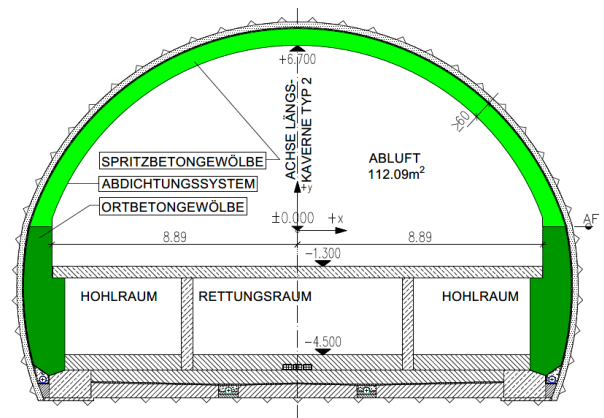


Abb. 2 Regelprofil Längskaverne Typ 2, Aufteilung in Ort- und Spritzbetongewölbe.

Die Anforderungen an die Ortbetonschale galten grundsätzlich, aber auch für die Spritzbetonschale. Damit waren folgende Vorgaben einzuhalten:

- Die Abdichtung erfolgte mit KDB als Regenschirmabdichtung, Spritzabdichtungssysteme waren nicht zulässig.
- Die innersten 25 cm waren wegen der Brandschutzanforderungen als Kunststoff-Faserbeton herzustellen.
- Es war eine durchgehende Bettung zwischen Außen- und Innenschale sicherzustellen (keine Hohlräume). Daher wurde eine Blockhinterlegung ausgeführt.
- Die Herstellung erfolgte in Blöcken mit Press- und/oder Dehnfugen.
- Um den Aufwand für die Inspektion während des Tunnelbetriebes (Instandhaltung) nur bedingt zu erhöhen, waren bestimmte Qualitätsanforderungen an die Oberfläche hinsichtlich Ebenföchigkeit und Rauigkeit einzuhalten.

Die erforderlichen Querschnittsstärken von mindestens 60 cm mussten herstellungsbedingt in mehreren Lagen aufgespritzt werden. In Zusammenschau mit den großen Querschnittsabmessungen und den dadurch bedingten Spritzbetonkubaturen wurden daraus folgende Anforderungen abgeleitet (siehe auch Abbildung 3):

- Zur Sicherstellung einer monolithischen Schalenausführung ohne kalte Fugen waren zwischen den einzelnen Lagen gewisse

Haftzugfestigkeiten nachzuweisen. Im konkreten Fall wurden die von der ÖBV-Richtlinie „Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton“, Ausgabe August 2019, für konstruktiv tragende Bauteile vorgegebenen Werte herangezogen.

- Jede Lage wurde mit Baustahlgitter bewehrt. Der Bewehrungsgehalt war von Grund aus so hoch, dass man einen anfänglich angedachten Einsatz von Stahlfaserspritzbeton nicht weiterverfolgte.
- Die erste(n) Lage(n) Spritzbeton waren statisch nicht in der Lage, ein tragfähiges Gewölbe auszubilden. Um ein Versagen während dieser Bauzustände zu verhindern, waren vorab Durchdringungsanker in einem definierten Raster herzustellen und die dünne Spritzbetonschale mittels Ankerplatten zu sichern. Die auftretenden Lasten erforderten den Einsatz von hochfestem Gewindestahl. Hier handelte es sich um keine zusätzlichen Anker im Vergleich zur Ortbetoninnenschale, da zur Lastabfangung des Bewehrungsgewichts (ca. 10,5 to je Block) ohnehin Anker erforderlich waren.

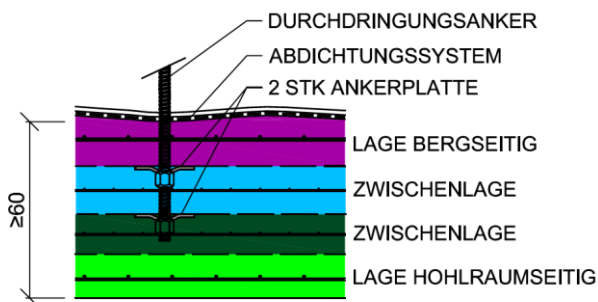


Abb. 3 Spritzbetonquerschnitt – Regelausführung.

Vorversuche zur Konzeptentwicklung

Nach Vorliegen der planerischen Vorgaben wurden umfangreiche Vorversuche zur Prüfung der Umsetzbarkeit durchgeführt.

In einem ersten Kleinversuch wurde die Spritzbetonapplikation auf die KDB sowie die Oberflächennachbehandlung untersucht. Hierfür wurde die KDB unter Einhaltung des Rondellenrasters gem. ÖBV-Richtlinie „Tunnelabdichtung“, Ausgabe Dezember 2012, verlegt. Die bergseitige Bewehrungslage wurde durch eine AQ50-Mattenbewehrung simuliert. Diese wurde in der planmäßigen Lage (Betondeckung + jeweiliges

Überprofil) verlegt und mittels Anker zum Gebirge hin gesichert. Der Spritzbeton wurde in Faschen entlang der Ankerreihen beginnend von unten nach oben aufgebracht.

Beim Auftrag auf die KDB zeigte sich eine deutliche Vergrößerung des Rückpralls, da kein Haftverbund zur glatten KDB erzeugt wurde. Bedingt durch den Abstand zwischen Bewehrung und „durchhängender“ KDB konnte auch ein deutliches Flattern dieser beobachtet werden. Dies führte immer wieder zum Herabfallen von bereits aufgetragenen Spritzbeton. Für die weiteren Betrachtung wurden folgende Lösungen überlegt:

- Erhöhung der Rondellenanzahl oder Einsatz von Gegenrondellen mit Haken.
- System „Spinne“ mit gleichzeitiger Erhöhung der Längseisen zum Aussteifen der Bewehrung.
- Gegenseitiges Verspannen von KDB und Bewehrung mittels Tunnelabstandhaltern und Montagebügel.
- Erhöhung der BE-Mittel-Dosierung für ein rascheres Anziehen des Spritzbetons.

Für die weitere Konzeptentwicklung wurde auch eine „Bewehrungslage 0“ zusätzlich zur statischen bergseitigen Bewehrung angedacht, um das Flattern der KDB beim Einspritzen zu verhindern. Nach Verlegung der KDB wurde dabei eine AQ50-Matte unter Einhaltung der Mindestbetondeckung verlegt und an den für den Bauzustand benötigten Ankern befestigt. Die Aussteifung erfolgte gegen längslaufende Höheneisen, welche der lagerichtigen Positionierung der späteren bergseitigen statischen Bewehrungslage dienten. Für die weitere Ausführung war angedacht, die „Lage 0“ in einem eigenen Arbeitsschritt vorlaufend herzustellen:

- Die KDB wurde flächig mit der Lage 0 eingespritzt. Stellen mit Überprofilen wurden dabei mitausgespritzt. Der Beton Auftrag erfolgt außerhalb der geforderten Mindestbetondeckung.
- Die bergseitige Bewehrungslage wurde erst im Anschluss verlegt. Erst jetzt begann die Spritzarbeiten der tatsächlichen Spritzbetoninnenschale mit Faserbeton.

Nach Abschluss des Spritzbetonauftrags wurde die Oberfläche über zuvor verlegte, radiale

Höheneisen abgezogen und abgerieben. Der Versuch zeigte, dass ein Abziehen und Abreiben der Oberfläche nur bei entsprechend geringen BE-Mittel-Dosierungen und in äußerst kurzen Zeiträumen möglich waren. Für die Ausführung von Blöcken mit Ansichtsflächen von i.M. 300 m² erschien ein spritzraues Belassen jedoch als zielführender. Betontechnologisch wurde so auch der Bildung von Kapillarporen entgegengewirkt, da das Abreiben nur durch Erhöhung des Wassergehalts an der Oberfläche möglich war. Um eine möglichst glatte Oberfläche zu erzielen, sollte die letzte Lage deswegen mit Größtkorn GK4 anstelle von GK8 (Basissorte) hergestellt werden.

Analog zum Ortbetongewölbe kam nur eine einzige Spritzbetongrundsorte mit permanent beigemischten PP-Fasern zur Erhöhung der Brandbeständigkeit (BBG-Fasern) zum Einsatz. Die damit verbundene Erhöhung der BBG-Fasern von den ursprünglich vorgegebenen 25 cm auf nun 60 cm führte nur zu geringen Mehrkosten, verhinderte allerdings einen falschen Betoneinbau.

Im Zuge der Erstprüfung der beiden Rezepturen SpC 30/37(56)/III/J2 mit GK4 und GK8 wurden überhängende Spritzkisten mit 2 Lagen AQ100 und Ø12 Zulagen sowie unterschiedlichen BE-Mittel-Dosierungen (6,5% - 8,0%) hergestellt. Anhand von Bohrkernentnahmen konnte nachgewiesen werden, dass die Bewehrung satt eingespritzt wurde. Hinsichtlich der Verarbeitbarkeit der beiden BBG-Spritzbetone (Fasergehalt 1,38 kg/m³) konnten keine negativen Erfahrungen beobachtet werden.

Zur Sicherstellung einer monolithischen Bauweise wurde ein Mindesthaftzugwert von 1,5 N/mm² zwischen den einzelnen Spritzbetonlagen gefordert. Auf Testfeldern wurden zwei Spritzbetonschichten nach unterschiedlich langen Überarbeitungszeiten (2 h bis 120 h) aufgebracht. Vor Auftrag der zweiten Lage wurde die Oberfläche lediglich mit Wasser abgewaschen.

Die Bestimmung der Haftzugfestigkeiten erfolgte anhand entnommenen Bohrkern im Alter von 28 Tagen im axialen Zugversuch in Anlehnung an die ONR 23303 bzw. ÖN B 4710-3. Für sämtliche Prüfreihen, bestehend aus jeweils 5

Bohrkernen, konnten die Anforderungen der ÖBV-Richtlinie inkl. eines Vorhaltemaßes von 0,5 N/mm² erfüllt werden. Die Ergebnisse (siehe beispielhaft Tabelle 1 und 2) zeigten auch, dass die Brüche über die gesamte Bohrkernlänge (ca. 400 mm) verteilt auftraten. Vor der Prüfung wurden die Kerne optisch begutachtet. Eine Trennlage oder kalte Fuge konnte nicht festgestellt werden.

Tab. 1 Haftzugfestigkeiten nach 24h Überarbeitungszeit.

Probe	Einzelwert [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Bruchtiefe [mm]
BK 1	2,5	2,4	55 - 61
BK 2	2,5		280 - 290
BK 3	2,6		113 - 119
BK 4	2,3		135 - 140
BK 5	2,2		100 - 110

Tab. 2 Haftzugfestigkeiten nach 84h Überarbeitungszeit.

Probe	Einzelwert [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Bruchtiefe [mm]
BK 1	2,2	2,3	180 - 190
BK 2	2,4		182 - 192
BK 3	2,9		135 - 140
BK 4	1,9		83 - 88
BK 5	2,0		370 - 375

Großversuche vor Ausführungsbeginn

Während der Vorversuche wurden auch die ersten Ausführungspläne (v.a. Bewehrungspläne), sowie ein Prüfbuch mit Anforderungen an die Spritzbetonoberfläche vom Planer erstellt. Mit diesen und den Erkenntnissen aus den Vorversuchen wurde vom AN ein Ausführungskonzept für die Herstellung der gespritzten Innenschale entwickelt. Die Arbeitsvorbereitung wurde so ausgelegt, dass ab Beginn der Spritzarbeiten im 24-Stunden-Betrieb gearbeitet wird.

Da aufgrund der großen Kavernenquerschnitte das Bedienpersonal nahe an der Spritzdüse positioniert werden musste, wurde ein Spritzbetonmanipulator mit integrierten Bedienkorb am ausfahrbaren Hauptarm (siehe Abbildung 4) für die Herstellung der SpC-Innenschale, sowie vorlaufend für das Einspritzen der Kopfschutzgitter vorgesehen. Hier war der Bediener im Nahbereich der Düse positioniert und das Gerät konnte radgebunden flexibel umgestellt werden. Auch eine Durchfahrt durch den im zentralen

Kavernenbereich positionieren Schacht, welcher der Baustellenversorgung dient, ist möglich.



Abb. 4 SpC-Manipulator mit integriertem Bedienkorb bei Spritzarbeiten des Großversuchs.

Um eine blockweise Herstellung ohne aufwändiges Abschalen mit Holz zu ermöglichen, war der Einsatz von Blockfugenabschalungen aus verzinktem Stahl vorgesehen, welche vorlaufend montiert wurden. Die Bewehrung selbst wurde zur Reduktion von Überarbeitungszeiten in großformatigen, vorkonfektionierten Bewehrungsmatten verlegt.

Vor Beginn der Regelausführung wurde die Umsetzung des Ausführungskonzepts im Rahmen eines Großversuchs über etwa 1/5 der Regelblockabmessungen (12,5 m) durchgeführt.

Folgende Erfahrungen konnten aus dem Großversuch gewonnen werden:

- Eine „Bewehrungslage 0“ ist nicht notwendig. Die bergseitige Bewehrungslage wird unter Einhaltung von 5 cm Betondeckung möglichst nahe an der KDB angeordnet. Dies führt zusätzlich zu einer Vergrößerung der statische Höhe der Bewehrung.
- Eine Aufweitung der statischen Bewehrung von $\varnothing 10/10$ auf $\varnothing 12/15$ ist sinnvoll, um Spritzschatten zu verhindern. Die größeren Stabdurchmesser stabilisieren zusätzlich die statische Bewehrungslage.
- Eine Aufweitung der Randeinfassung von $\varnothing 10/10$ auf $\varnothing 12/30$, sowie das Einspritzen der Randeinfassungen in einem Zug ist vorteilhaft. Im Randbereich (= Blockfugen) treten somit keine Spritzschatten auf.

- Die Reduktion der BE-Mittel-Dosierung (untere Grenze J2 / ca. 6,5%) gewährleistet ein sattes Einspritzen der Bewehrung in Kombination mit einer ausreichender „Selbsttragfähigkeit“ des Spritzbetons.
- Das Einspritzen in Faschen entlang der hochfesten Anker verhindert ein Flattern der KDB und reduziert den entstehenden Rückprall. Der Bereich zwischen zwei Ankerreihen/Faschen wird sukzessive mitgespritzt.
- Wechselseitiges Spritzen und Gittern im gleichen Block ist arbeits- und sicherheitstechnisch nicht umsetzbar.

Im Großversuch konnte die Umsetzbarkeit des gewählten Konzepts bestätigt werden und die gewonnenen Erkenntnisse wurden in die Ausführungsplanung übernommen. Von Auftragnehmer und Auftraggeber wurde gemeinsam ein Qualitätssicherungskonzept erarbeitet, welches als Leitfaden für das ausführende Personal dienen soll.

Um die vom AG gestellten Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit (Rauigkeit, Ebenföchigkeit) einhalten zu können, erfolgte die Herstellung der Spritzbetoninnenschale mit dem bereits im Vortrieb eingesetzten Spritzgerät mit modernerer Pumpentechnologie (Meyco Pozenza). Hier war allerdings eine Erhöhung der Standfläche zur Erreichung der Kavernenfirste mit der Spritzdüse erforderlich.

Durch Freiwerden eines Gewölbeschalwagens wurde dieser zu einem verfahrbaren Plattformwagen als Unterkonstruktion für den Spritzbetonmanipulator umgebaut. Durch lenkbare Fahrwerke konnte das Spritzgerät entsprechend dem Arbeitsfortschritt positioniert werden (siehe Abbildung 5). Um ein Umfüllen bzw. Umpumpen des Betons zu vermeiden, wurde eine zusätzliche Pumpeneinheit am Plattformwagen auf Fahrbahnhöhe angeordnet. Das auf der Baustelle eingesetzte Bedienpersonal konnte auch auf jahrelange Erfahrung in der Handhabung dieser Gerätschaft während der Vortriebsarbeiten zurückgreifen.

Der Spritzbetonmanipulator mit integriertem Bedienkorb wurde weiterhin für die Neuherstellung des Abdichtungsträgers (inkl. Einspritzen Kopfschutzgitter) eingesetzt um die weiteren

vorlaufenden Tätigkeiten durchführen zu können (Abdichtungsarbeiten, Montage Abschalelemente, etc.).



Abb. 5 Plattformwagen mit aufgebautem Spritzbetonmanipulator.

Ausführung der gespritzten Innenschale

Im Zuge der Neuerstellung des Abdichtungsträgers wurden die Innengeometrien der Spritzbetoninnenschale zwischen AN und Planer unter Beachtung der nachfolgenden Randbedingungen abgestimmt:

- Die Kopfschutzgitter mussten vollflächig eingespritzt werden.
- Betonkubaturen sollten minimiert werden. Im Falle lokaler Unterschreitungen der Mindeststärke wurden die Profile nicht angepasst, sondern in diesen kleinflächigen Bereich bewusst ins planerisch zulässige Unterprofil gespritzt.
- Profile wurden immer an Blockfugen definiert, dazwischen erfolgte ein linearer Geometrieverszug.

Nach Fertigstellung des Abdichtungsträgers erfolgte eine Nachevaluierung und gegebenenfalls Anpassung der Ausführungsgeometrie.

Nach Herstellung der Widerlager wurde der gesamte Kavernenbereich abgedichtet und im Spritzbetongewölbe wurde an den Blockfugen ein radial verlaufendes Dehnfugenband angeordnet. In der längslaufenden Arbeitsfuge zum Ortbetongewölbe wurde ebenfalls ein außenliegendes Dehnfugenband verlegt. Dieses verhinderte ein Auslaufen von Zementsuspension im Zuge der Verpressarbeiten der Blockhinterlegungen. Nach Abschluss der Abdichtungsarbeiten wurden die Ortbetongewölbe hergestellt.

Vorlaufend zur den Bewehrungsarbeiten wurden Anker aus hochfestem Stahl (für Lasten bis zu 150 kN je Anker) und Montageanker für die Blockfugenabschalungen in einem vorab abgestimmten Raster versetzt.

Sämtliche Durchführungen durch die KDB wurden aufgrund des druckwasserentlasteten Querschnitts mittels Durchdringungsanker abgedichtet. Die Blockhinterlegungsstutzen wurden ebenfalls montiert. Die Anker aus hochfestem Stahl dienten sowohl der Lastabfangung im Erhärtungsprozess des Spritzbetons, als auch als Montagehilfe während der Herstellung selbst. Die Anker wurden nach dem Versetzen bereits auf Höhe der späteren hohlraumseitigen Bewehrungslage abgetrennt. Während der Spritzarbeiten dienten die Anker als Montageuntergrund für Höheneisen als Spritzhilfe.

Nach Komplettierung der Abdichtung wurden die Blockfugenabschalungen (aufgrund der geforderten Dauerhaftigkeit in Edelstahlausführung) montiert und eingemessen. Die Abschaltungen wurden in Elementgrößen von ca. 2,20 m mit vorkonfektionierter Außen- und Innengeometrie für den passgenauen Einbau geliefert. Für Dehn- und Pressfugen standen unterschiedliche Ausführungen (mit und ohne Fugeneinlage) zur Verfügung. Abbildung 6 zeigt exemplarisch ein eingebautes Abschalelement mit bereits verlegter Randeinfassung.

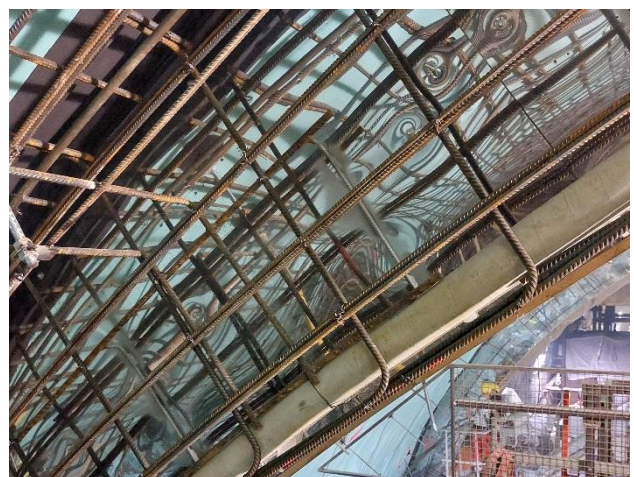


Abb. 6 Blockfugenabschalung (Dehnfuge) vor Beginn der Spritzarbeiten.

Die großteils vorkonfektionierte Bewehrung (Listennatten und 3D-Bügel) wurde eingebaut und mit dieser die KDB gegen das Gebirge gedrückt.

Erforderliche Einfassbügel und Schubbügel (v.a. in Verschneidungsbereichen von Kreuzungsblöcken und Brillenwänden) wurden als L-Bügel ausgeführt und auf die hohlraumseitige Lage rückgebogen. Die Bewehrungsführungen wurden im Vorfeld intensiv zwischen AN und Planer abgestimmt. Hierbei wurde auch die Spritzreihenfolge in Verschneidungsbereichen berücksichtigt. Die Erdung im Spritzbetonabschnitt wurde zur Vermeidung von Spritzschatten als Runderder anstelle eines Banderders ausgeführt.

Im Bereich der Längskaverne erfolgte die Montage der Abschalung und die Verlegung der Bewehrung über einen verfahrbaren Bewehrungswagen (siehe Abbildung 7). In den Querkavernen wurde ausschließlich über laststarke Hebebühnen gearbeitet. Aus bauphysikalischen Gründen konnte der Plattformwagen mit aufgesetztem Spritzgerät (ca. 8 m Gesamthöhe) unter dem Bewehrungswagen durchfahren.



Abb. 7 Bewehrungswagen im Zuge der Vorbereitungsarbeiten. ÖBB/Ebner

Die Spritzarbeiten erfolgten immer blockweise, das Einspritzen der KDB und der bergseitigen Bewehrungslage erfolgte in Faschen entlang der Anker. Sukzessive mit dem Spritzbetonauftrag von unten nach oben wurden die Ankerplatten montiert. Im Anschluss wurden zwei Zwischenlagen mit jeweils einer Lage AQ50 hergestellt, die Reinigung des Untergrunds erfolgte dabei laufend mittels Hochdruckreiniger. Der Bediener des Spritzgeräts konnte sich am Plattformwagen positionieren und hatte immer optimale Einsicht in den Arbeitsbereich. Abbildung 8 zeigt die Spritzbetoninnenschale vor, während und nach den Spritzarbeiten.

Vor Herstellung der Decklage mit GK4 wurden längslaufende Montageeisen auf die Ankerenden aufgeschweißt und daran die hohlraumseitige Bewehrung angerödelt. Durch den lagerichtigen Einbau wurde die entsprechende Betondeckung gewährleistet. Die Anschlussbewehrungen aus dem Ortbetongewölbe sowie die Einfassbügel und Schubbewehrungen wurden rückgebogen.



Abb. 8 Arbeitsschritte bei der Herstellung der SpC-Innenschale.

Zusätzlich wurden Faserzementabstandhalter auf die hohlraumseitige Bewehrung montiert und beim Einspritzen der Decklage vollflächig eingespritzt. Im Zuge der Spritzarbeiten wurde die Geometrie laufend mittels Totalstation kontrolliert und der Spritzbetonauftrag entsprechend gesteuert. Dies diente der Sicherstellung der notwendigen Betondeckung sowie auch der Einhaltung des geforderten Ebenflächigkeitskriteriums.

Die Nachweise von Spritzbetonstärke und Ebenflächigkeit erfolgten durch flächige Auswertung von Scanaufnahmen. Die Oberfläche wurde zudem optisch begutachtet und mit einer angelegten Musterfläche laufend verglichen.

Nach Erreichen der 28-Tage-Festigkeit erfolgte die kraftschlüssige Verbindung zwischen Außen- und Innenschale durch Verpressen über die Blockhinterlegungsöffnungen.

Laufende Qualitätskontrolle und Nachweise

Neben den im Planungsprozess abgestimmten Anforderungen waren aus planerischer Sicht

auch folgende Punkte für die Sicherstellung der Qualitätsziele von Bedeutung:

- Einhaltung der angegebenen Mindestbauteildicke in jedem Punkt.
- Einhaltung der angegebenen Betondeckungen.
- Einhaltung der zulässigen Überschreitung der Betondeckung (Innenschalendicke) gem. ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“, Ausgabe Dezember 2012 (Rissbeschränkung).

Durch folgende Maßnahmen wurde die Einhaltung dieser Vorgaben sichergestellt:

- Die Geometrie der Innenkante der Innenschale war nicht starr vorgegeben, sondern wurde in jeder Blockfuge flexibel angepasst. Grundlage dafür bildeten Scanaufnahmen des hergestellten Abdichtungsträgers. Im Wesentlichen passierte die Anpassung durch ein Höher- oder Tiefersetzen des Firstpunktes bis max. +/- 30 cm; die Bogengeometrie blieb dabei weitgehend unangetastet. Die Abschalelemente wurden für jede Fuge passgenau hergestellt.
- Der Nachweis der geforderten Innenschalenstärke erfolgte durch Auswertung der Scandaten vor und nach Herstellung der SpC-Innenschale.
- Die bergseitige Bewehrung wurde über die eingebohrten Anker und Distanzhalter aus Kunststoff (analog Ortbetoninnenschale) unter Einhaltung der Mindestbetondeckung möglichst nahe an der KDB eingebaut und gegen diese „verspannt“. Dadurch konnte sie den Ausrundungen des Abdichtungssystems folgen. Um ein Durchhängen der KDB zu verhindern, wurden zusätzliche Abstandhalter mit Montagebügel eingebaut und die KDB möglichst flächig gegen die Außenschale gedrückt. Dies verhinderte zum einen ein Flattern der KDB beim Einspritzen, zum anderen reduzierten sich die im Zuge der Blockhinterlegung zu verpressenden Kubaturen.
- Die geforderte Betondeckung wurde durch folgende Maßnahmen sichergestellt:
 - Lagerichtiger Einbau der hohlrauseitigen Bewehrungslage.

- Verwendung von Faserzementabstandhalter in einem definierten Raster und vollflächiges Einspritzen dieser.
- Laufende Kontrolle der gespritzten Geometrie mittels Totalstation.
- Die Herstellung bis zur definierten Profillinie gewährleistet gleichzeitig die geforderte Betondeckung.

Zusammenfassung und wesentliche Erkenntnisse

Die Umsetzung einer gespritzten Innenschale dieses Ausmaßes erforderte von allen Projektbeteiligten hohes Know-How und intensive Zusammenarbeit, um alle entsprechenden Projektinteressen unter einen Hut zu bekommen. Einerseits waren dazu klare planerische Vorgaben auf Basis entsprechender Regelwerke notwendig, andererseits musste aber auch ein qualitativ hochwertiger und effizienter Herstellungsprozess entwickelt und getestet werden. Unbeschadet davon wurde aber mit dieser Variante eine Möglichkeit gefunden, auf die geologisch bedingten Verformungen in der NHS flexibel zu reagieren und dabei auch den gesamten Bauablauf entsprechend zu optimieren.

Literatur

- [1] ÖBV-Richtlinie „Innenschalenbeton“, Ausgabe Dezember 2012
- [2] ÖBV-Richtlinie „Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton“, Ausgabe August 2019
- [3] ÖBV-Richtlinie „Tunnelabdichtung“, Ausgabe Dezember 2012
- [4] ONR 23303 „Prüfverfahren Beton (PVB) – Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seine Ausgangsstoffe“, Ausgabe September 2010
- [5] ÖNORM B 4710-3 „Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung, Verwendung und Konformität – Teil 3: Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seine Ausgangsstoffe“, Ausgabe Jänner 2023