
ÜBER DEN EINSATZ VON WEISSEM SPRITZMÖRTEL AM AGNESBURGTUNNEL

THE APPLICATION OF WHITE GUNITE AT THE AGNESBERGTUNNEL

Dominik **Khaur**, H. Junger Baugesellschaft m.b.H., Irdning, Österreich
Günter **Vogl**, H. Junger Baugesellschaft m.b.H., Irdning, Österreich

Der zweiröhrige Agnesburgtunnel, 1987 als zweischalige Innenschale ohne Abdichtung ausgebildet, wies durch den Betrieb bereits beträchtliche Schäden an der Innenschale auf. Durch Risse im Beton kommt es großflächig zu Bergwasserzutritten. Die sich bereits ablösende Tunnelbeschichtung erfüllte nicht mehr die ans sie gestellten Anforderungen.

Anstelle einer konventionellen Sanierung mittels SPCC und einem Oberflächenschutzsystem (OS- System entsprechend ZTV-ING) ist in der sanierten Oströhre eine weiße, geglättete Spritzmörteloberfläche ausgebildet worden, welche keine Unverträglichkeit mit den im Altbeton verbliebenen Chloriden besitzt, zu keinen Ablösungen durch drückende Wässer aus dem Gewölbebeton neigt, die Vorgabe für Bauprodukte der Bauklasse A nach DIN 4102 erfüllt und somit keine zusätzliche Gefährdung der Verkehrsteilnehmer im Brandfall darstellt.

The Agnesburgtunnel was built in the years 1983 to 1986 and the lining was designed as a double layer construction without the use of a waterproofing membrane. Due to the exposed use (traffic, pollutants) the inner lining shows multiple concrete damages. Cracks and broken out areas tend to carry groundwater from the rock into the construction. The surface protection system was no longer working.

Instead of a resin coating a white gunite layer was finally applied on the inner lining. No negative reactions between the remaining chloride or the wet surface and the final layer will occur. White gunite also complies with DIN 4102 "Bauklasse A", so no hazard for traffic is caused.

1. Einleitung

Die zweiröhrige Tunnelanlage Agnesburgtunnel liegt auf der BAB A7 zwischen Ulm und Würzburg. Die Rohbauarbeiten erfolgten in den Jahren 1983 bis 1986 und das Bauwerk (BW 7127 526) wurde 1987 dem Verkehr übergeben. Bedingt durch den Betrieb von 26 Jahren und die mittlerweile gestiegenen Anforderungen an die Sicherheit und die entsprechende Ausrüstung der Tunnel, gemäß RABT 2006, waren umfangreiche Umbauarbeiten, Nachrüstungen und eine umfassende Instandsetzung des Gewölbebetons erforderlich. Die Ausschreibung beinhaltete folgende Hauptleistungen:

- Neubau zweier Verbindungsstollen (Nord und Süd)
- Neuausstattung des bestehenden Verbindungsstollens (Mitte)
- Neubau von Notruf- und Hydranten Nischen
- teilweiser Abbruch und Neubau der Bankette mit den Notgehwegen
- Erneuerung der Schlitzbordrinnen
- Erneuerung Löschwasserversorgung
- Instandsetzung Gewölbebeton

- Instandsetzung Bauwerksabdichtung durch Gelinjektionen
- Sanierung der Bergwasserdrainage
- Aufrauen der Fahrbahndecke
- Neubau Havariebecken
- Instandsetzungsarbeiten Betriebsgebäude
- Instandsetzung Kabelgang im Tunnelvorfeld

Die Adaptierung der betriebstechnischen Ausrüstung, mit Ausnahme der Löschwasserversorgung, war nicht Bestandteil der bautechnischen Sanierung, sondern erfolgt in einer gesonderten Ausschreibung.

Die Rohbauarbeiten erfolgen in drei Bauphasen durch die Arge H. Junger Baugesellschaft und ÖSTU Stettin. Bauphase 1 beinhaltet die Sanierung der zweispurigen Oströhre, Richtungsfahrbahn Würzburg. Während dieser Phase war die Oströhre gesperrt, der Verkehr wurde unter Aufrechterhaltung von zwei Fahrspuren je Richtung im Gegenverkehr in der Weströhre, welche grundsätzlich dreispurig ist, betrieben. Die Bauphase 2 umfasst die Sanierung der Ostulme der Weströhre. Der Verkehr in Fahrtrichtung Würzburg wird durch die bereits fertiggestellt Oströhre geführt, in Fahrtrichtung Ulm müssen stets zwei Fahrspuren Richtung Ulm aufrechterhalten werden. Im Anschluss wird in einer dritten Bauphase die Westulme der Weströhre saniert, wobei auch in dieser Bauphase stets zwei Fahrspuren in Fahrtrichtung Ulm aufrechterhalten bleiben müssen. Jeweils vor Beginn bzw. nach Abschluss einer Bauphase dieser Baumaßnahme (Phase I bis III“) erfolgen im Zuge eines separaten Bauvorhabens die erforderlichen provisorischen Umliegungen der Betriebstechnik und der Einbau der endgültigen betriebstechnischen Ausstattung. Dabei ist es auch möglich, dass Teile der Ausstattungsarbeiten zeitgleich mit der Ausführung der bautechnischen Maßnahmen stattfinden. Eine enge Abstimmung und Koordination mit anderen auf der Baustelle tätigen Unternehmen ist deshalb erforderlich. Ausschreibungsgemäßer Baubeginn war der 10.09.2012, die Fertigstellung der Rohbauarbeiten der Bauphase 3 hat spätestens am 31.07.2015 zu erfolgen.

2. Baustelle

Die im Folgenden beschriebenen Baumaßnahmen beschränken sich auf die Betoninstandsetzungsarbeiten, wobei hier weißer Spritzmörtel zum Einsatz gekommen ist.

Der Ausbau der Tunnel erfolgte seinerzeit ohne den Einsatz einer Abdichtung, sondern mit einer wasserundurchlässigen (WU) Innenschale. Es ist anzunehmen, dass es infolge der fehlenden Gleitschicht zwischen Außen- und Innenschale und einer damit einhergehenden Verzahnung der zwei Schalen zu einer Zwängung aus Verbundwirkung kam, sodass die Innenschale zum heutigen Tag von zahllosen Rissen durchzogen ist [1]. Der Agnesbergtunnel durchörtert flachliegende Schichten des Weißen Jura (Kalk-, Mergel- und Kalkmergel- und Tonmergelgesteine) und weist nur eine sehr geringe Überdeckung auf. Die Bergwässer sind stark kalkhaltig und neigen zu starken Aussinterungen in den Tunnel-drainagen. Im Ein- und Ausfahrtsbereich (jeweils ca. 250 m) sind die Risse der Innenschale Großteils wasserführend sodass es im Bereich der Rissflanken und unterhalb der Risse zu starken Verschmutzungen durch den Verkehr und Kalkablagerungen kommt. Im Bereich der Risse ist die bestehende Beschichtung besonders beschädigt bzw. nicht mehr vorhanden (Bild 1).



Bild 1: Ulmenfläche vor der Instandsetzung

Die ausgeschriebene Instandsetzung sah vor, wasserführende Risse mittels PUR- Injektion abzudichten. Zuzüglich sollte das Gewölbe mithilfe einer Gelinjektion abgedichtet werden. Im Injektionsverfahren sind durch eine Vergelung mit einem niedrig viskosen Acrylatgel die wasserführenden Bereiche des Ringspaltes zwischen Außen- und Innenschale abzudichten. Auf der abgedichteten Innenschale war in weiterer Folge vorgesehen, eine Betoninstandsetzung entsprechend ZTV-ING mit PCC bzw. SPCC auszuführen. Als letzter Schritt der Sanierungsmaßnahmen an den Tunnelinnenschalen sollte eine neue Oberflächenbeschichtung OS – C nach ZTV-ING (RAL 9010) auf der Fläche der bestehenden Beschichtung (bis ca. 3,0 m Höhe über den Notgehwegen) hergestellt werden. Diese besteht aus einer Feinspachtelung, ggf. Grundierung und zwei Lagen Beschichtung.

Im Zuge der Vortriebsarbeiten für die neu herzustellenden Querschläge wurde festgestellt, dass die Innenschale mit der Außenschale einen starken Verbund darstellt. Auf dieser Erkenntnis aufbauende Rasterversuche für die folgende Gelinjektion führten zu dem Schluss, dass aufgrund mangelnder Wegigkeiten zwischen den einzelnen Injektionskanälen kein zusammenhängender Gelschleier herzustellen gewesen wäre, ohne den Abstand der Bohrkanäle nicht drastisch zu reduzieren. Im Zuge vorangegangener Sanierungsmaßnahmen wurde bereits versucht wasserführende Risse abzudichten. Diese Maßnahmen waren aus heutiger Sicht nicht vollständig erfolgreich, sodass ein Großteil der wasserführenden Risse in der Vergangenheit bereits bearbeitet wurde. Dadurch wurden Haftungsprobleme zwischen den neu zu injizierenden PUR- Harzen und den verschmutzten Rissflanken erwartet. Unterlagen mit welchen Materialien seinerzeit die Rissinjektion ausgeführt wurden, lagen nur teilweise vor.

Einvernehmlich wurde zwischen den Projektbeteiligten (RP Stuttgart, Prüfeningenieur, ausführende ARGE) festgestellt, dass die ausgeschriebenen Instandsetzungsmaßnahmen wohl

nicht den gewünschten Erfolg in Form einer dauerhaften Abdichtung der Innenschale mit einem dauerhaften Oberflächenschutzsystem auf einer wasserführenden Tunnelinnenschale liefern wird können. Die Suche nach alternativen Ausführungslösungen führte zu folgendem Konzept:

- Verzicht auf die Ausführung einer Gelinjektion
- Injektion wasserführender Risse mit PUR
- Abtrag von chloridhaltigem Innenschalenbeton mit einer Betondeckung < 4,5 cm (ca. 30 %)
- Reprofilierung der Abtragsbereiche mit SPCC
- Instandsetzung der Innenschale mit einer 2 cm starken Schichte aus weißem Spritzmörtel auf eine Höhe von 3,6 m ü. GOK

Durch diese gewählte Vorgehensweise kommt es zu folgenden Vorteilen:

- Erfüllung der Anforderungen an einen Tunnelanstrich gemäß ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 1 Pkt. 11.2
Entsprechend ZTV-ING sind Tunnelinnenschalen mit einem Anstrich im Farbton RAL 9010 zu versehen. Durch lichttechnische Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass der eingesetzte weiße Spritzmörtel gleichwertige Hellbezugswerte erbringt, und dadurch optisch kein farblicher Unterschied zu einem konventionellen Tunnelanstrich besteht. Der für die Bemessung der neu installierten Tunnelbeleuchtung erforderliche Reflexionsgrad entspricht ebenfalls den Anforderungen und es ist davon auszugehen, dass durch die bessere Reinigbarkeit der Oberfläche eine Einsparung an Beleuchtungskosten erzielt werden kann.
- vollständige Abdichtungsmaßnahme nicht erforderlich
Durch die Verwendung einer hydraulisch erhärtenden Tunnelbeschichtung können, entgegen bei Produkten auf Kunstharzbasis, feuchte Bereiche im Bereich der Innenschale verbleiben. Eine vollständige Abdichtung der bestehenden Innenschale hätte nur mit einem unverhältnismäßigen wirtschaftlichen und technischen Aufwand erzielt werden können, sodass schlussendlich sogar der Neubau der Innenschale kurzzeitig in Betracht gezogen wurde.
- Erhöhung der Betondeckung
Der eingesetzte Spritzmörtel erfüllt die Anforderungen an Instandsetzungsprodukte entsprechend EN 1403-3 für Produkte für die statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung Klasse R4, Instandsetzungsverfahren 3.3, 4.4, 7.1, 7.2. Insbesondere die Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand und die Druckfestigkeit werden erfüllt. Gleichzeitig wird der Grenzwert für das Eindringen von Chloridionen nach EN 206 08.97 für Spannbeton von 0,2 M-% vom Zementgehalt erfüllt. Die Innenschale des Agnesbergtunnels hat durch den regelmäßigen Einsatz von Streusalzen bereits eine über den Grenzwerten liegende Chloridkonzentration in einer Tiefe von 4 cm erreicht. Ein dauerhaftes Schutzsystem zur Verhinderung des Eindringens weiterer Schadstoffe ist deshalb für die Dauerhaftigkeit des Bauwerks unumgänglich, was durch die Erhöhung der Betondeckung mit einem, die Anforderungen an ein Instandsetzungsprodukt entsprechend EN 1504 bzw. ZTV-ING erfüllendes Produkt gewährleistet wird.



Bild 2: Weißer Spritzmörtel auf Tunnelinnenschale (oben Übersicht, unten Detail)

- Verlängerung der Gebrauchstauglichkeit durch SPCC
Entgegen konventioneller Oberflächenschutzsystemen, welche in Straßentunnel nur eine absehbare Dauerhaftigkeit von wenigen Jahren vorweisen, ist bei Einsatz von weißem Spritzmörtel davon auszugehen, dass übliche Instandsetzungsintervalle von 25 – 30 Jahren ohne einen Ersatz eingehalten werden können.
- Erfüllung der Anforderungen an das Brandverhalten
Entsprechend ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 1 Pkt. 10.4 sind für den konstruktiven Innenausbau nur Baustoffe der Baustoffklasse 1 zugelassen. Ebenfalls dürfen keine Baustoffe verwendet werden, die bei Brandeinwirkung Personen schädigende Stoffe freisetzen können. Durch den Einsatz von weißem Spritzmörtel werden diese Anforderungen eingehalten. Eine Entflammbarkeit des Anstriches nach DIN EN 13501 besteht im Gegensatz zu Tunnelanstrichen auf Epoxid oder Acrylatbasis nicht mehr.

3. Produkt

Der eingesetzte Spritzmörtel trägt die Produktbezeichnung „**TUNNELBESCHICHTUNG WEISS**“ [2]. Es handelt sich um einen werksgemischten hydraulisch erhärtenden, polymermodifizierten Trockenmörtel für maschinelle Verarbeitung im Nassspritzverfahren. Die Lieferung auf die Baustelle kann sowohl in Silos oder als Sackware erfolgen. Das Produkt trägt das ÖBV Gütesiegel für Produkte für die Erhaltung und Instandsetzung von Bauten aus Beton und Stahlbeton. Die Druckfestigkeit nach 28 Tagen ist > 45 MPa, sodass das Produkt für die konstruktiv tragende Instandsetzung verwendbar ist. Eine Zulassung für die Listung bei der Bundesanstalt für Straßenwesen als Instandsetzungsprodukt ist im Laufen und soll bis zum Jahresende 2014 angeschlossen sein (Stand: August 2014).

Tab. 1: Die Erstprüfung des Spritzmörtels ergab die folgenden technischen Kennwerte:

Nachweis	Anforderung	Toleranz	Prüfverfahren	EP
Chloridgehalt	≤ 0,05%		ÖNORM EN 1015-17	< 0,05 %
Druckfestigkeit 1d 3d 7d 28d	≥ 45 MPa	> 80 % der Herstellerangabe	ÖNORM EN 12190	18,5 N/mm ² 38,1 N/mm ² 42,9 N/mm ² 49,0 N/mm ²
Dichte			ÖNORM EN 12190	2230 kg/m ³
Elastizitätsmodul 28 d	≥ 20 GPa		ÖNORM EN 13412	22,4 GPa
Haftzugfestigkeit 28 d	≥ 2,0 MPa		ÖNORM EN 1542	3,2 N/mm ²
Beständigkeit gegen Temperaturwechselverträglichkeit	Haftzugfestigkeit nach 50 Prüfzyklen		ÖNORM EN 13687-1	2,5 N/mm ² (Referenz: 3,1 N/mm ²)
Eindringen von Chloridionen	Gesamtchloridgehalt in der Zone 8 mm bis 10 mm ≤ 0,6% der Zement-M.		ÖNORM EN 13396	0,18 M-%
Kapillare Wasseraufnahme	≤ 0,5 kg*m ² *h ^{-0,5}		ÖNORM EN 13057	0,15 kg*m ² *h ^{-0,5}
Freies Schwinden	Längenabnahme nach 90 d ≤ 1,2 mm/m		ÖNORM EN 12617-4	1,03 mm/m

4. Verwendete Geräte

Durch die Leistungserbringung in einem Straßentunnel erfolgt die Anlieferung in Säcken zu je 30 kg. Zum Einsatz sind sowohl Kolbenpumpen gekommen, als auch Schneckenpumpen. Bei den zwei Maschinentypen konnte keine Veränderung der Frischmörtel Eigenschaften festgestellt werden. Der Auftrag erfolgte im Nassspritzverfahren. Die Verwendung der Kolbenpumpe mit aufgebautem Zwangsmischer (Bild 3) hat sich baupraktisch als sinnvoller

erwiesen. Einerseits wird dadurch eine gleichbleibende Qualität durch die exakte Zugabe des Anmachwassers sichergestellt, wie auch eine höhere Förderleistung infolge eines niedrigeren Verschleißes durch den Entfall eines Rotor/ Stator Systems.



Bild 3: Mobiler Spritzhänger mit Mörtelpumpe

Die durchschnittlichen Tageleistungen betragen, in Abhängigkeit der Kolonnengröße, zwischen 70 und 130 m². Zur exakten Einhaltung der geforderten Mindestschichtdicke aber auch zum Zweck der Profilgenauigkeit wurden die aus der geotechnischen Vermessung gewonnenen Daten zur Produktion von Stahlschienen genutzt, welche werksgefertigt eine exakte Abbildung der Ulmenlaibung darstellten. Diese wurden provisorisch an der Innenschale verankert und nach dem Abziehen der frischen Mörtelfläche wieder entfernt. Somit können die optischen Anforderungen an die Ebenföächigkeit eingehalten werden, und ein für ein nachfolgendes Schleifen idealer Untergrund sichergestellt werden.

5. Oberfläche

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit die Spritzbetonoberflächen abzuziehen, zu glätten oder mit einer eigens konzipierten Schleifmaschine zu glätten. Unbestritten lässt sich festhalten, dass glattere Oberflächen zu geringerer Verschmutzung und einfacherer Reinigung neigen.

Am Agnesbergtunnel wurde ein kombiniertes System aus geglätteten und geschliffenen Oberflächen hergestellt. Dadurch können in situ langfristig Aussagen über Reinigungszyklen getroffen werden. Ein Nachschleifen von lediglich geglätteten Bereichen ist jederzeit möglich (Bild 4).

Das Glätten erfolgte vor dem Schleifen manuell mit Reibbrettern am frischen Spritzmörtel. Im Anschluss wurde ein Nachbehandlungsmittel als Verdunstungsschutz auf Paraffinbasis auf-

gebracht. Eine Oberflächenvergütung mit einem UV- beständigen Nachbehandlungsmittel wurde versuchsweise an einem Block zur Gewinnung von Langzeitdaten ausgeführt.



Bild 4: Schleifen einer Tunnelulme

6. Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Einsatz von weißem Spritzmörtel am Agnesbergtunnel die Anforderungen an die Oberflächengestaltung erfüllt hat. Die Verarbeitbarkeit des eingesetzten Materials unterscheidet sich nur geringfügig von jenem vergleichbarer Instandsetzungsprodukte. Gegenüber einem Einsatz herkömmlicher Tunnelanstrichsysteme bieten sich Vorteile in der Verarbeitung, einer relative Unempfindlichkeit gegenüber der herrschenden Witterung (Taupunktproblematik, Temperatur) sodass auch im Winter die Arbeiten ausgeführt werden können, eine Verarbeitbarkeit auch bei feuchten Untergründen und selbst bei erhöhten Chloridwerten im Innenschalenbeton.

Auch für das kritische Auge der Verkehrsteilnehmer sind Instandsetzungen mit weißem Spritzmörtel aufgrund der längeren Instandsetzungsintervalle begrüßenswert.

7. Literatur

- [1] Kirschke, D.: BAB A 7 Ulm – Würzburg, Agnesbergtunnel, Gutachterliche Stellungnahme zu Fragen der Abdichtung und Drainage. Ettligen, 2003.

- [2] Krispel, St.: Tunnelauskleidung aus geschliffenem weißen Spritzmörtel. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Tagung 2012, Alpbach, Eigenverlag, 2012.

Zu den Autoren

Dominik Khaur, MBA
Montanuniversität Leoben
Seit 2008 angestellt bei der Fa. H. Junger Baugesellschaft im Bereich Bauwirtschaft
dominik.khaur@junger.at

GF BM Ing. Günter Vogl
Ausbildung an der HTL Mödling – Bautechnik
Seit 1989 angestellt bei der Fa. H. Junger Baugesellschaft m.b.H.
Seit 2006 Geschäftsführer H. Junger Baugesellschaft m.b.H.
office@junger.at