
UNTERSCHIEDLICHE ERFAHRUNGEN VON EINSCHALIGEN BAUWEISEN MIT SPRITZABDICHTUNG UND NEUE ERKENNTNISSE HINSICHTLICH VERBUNDWIRKUNG UND FROSTBESTÄNDIGKEIT

SINGLE SHELL LININGS WITH SPRAYED MEMBRANE – EXPERIENCES AND NEW FINDINGS REGARDING COMPOSITE ACTION AND FROST RESISTANCE

Dipl.-Ing. Roland **Mayr**, BASF PP Austria GmbH, Krieglach, Österreich

Spritzbare Abdichtungen sind seit mehreren Jahren am Markt und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Es wird auf mehrere Ausführungsbeispiele aus Österreich, England und Norwegen Bezug genommen. Bei der Straßenbahnlinie Harter Plateau kam für die Querschläge eine Spritzabdichtung mit gespritzter Innenschale zum Einsatz. Im Krankenhaus Zams wurde das in alten Stollen befindliche Archiv mit einer Verbundschale saniert. Beim Hindhead Projekt in England wurde ein neuer Autobahntunnel als Alternativplanung einschalig ausgebaut.

Der Gevingas Eisenbahntunnel in Trondheim wurde im mittleren Teil einschalig ausgeführt. Dabei wurde für die Beurteilung der Verbundwirkung von einschaligen Spritzbetonkonstruktionen mit Spritzabdichtung die Energieaufnahme an Rundplatten gemessen. Für die Frostbeständigkeit wurden Großversuche bei SINTEF (Norwegen) durchgeführt.

Sprayed waterproofing membranes are in the market since several years and have increasing in importance. Several examples with single shell solutions are presented. In Austria the cross passages of a tramway line in Linz received a single shell lining and the underground archive of a hospital in Zams was waterproofed with a sprayed membrane. At the Hindhead tunnel in England the whole tunnel was supported with a single shell approach. Frost resistance and composite action of sprayed membranes with shotcrete was a topic for the Gevingas Tunnel in Norway. Both aspects were investigated and the middle stretch of the tunnel was supported with a single shell solution.

1. Einleitung

Spritzbare Abdichtungen sind nun seit mehreren Jahren am Markt und gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. Speziell im Bereich der Tunnelsanierung aber auch im Tunnelneubau werden Sonderlösungen mit gespritzten Abdichtungen und Verbundschale (Innen-, Außenschale) ausgeführt. Im vorliegenden Artikel werden einige Fallbeispiele aus Österreich, England und Norwegen präsentiert. In Norwegen traten spezielle Fragen betreffend Frostbeständigkeit und Verbundwirkung auf. Die ersten Ergebnisse werden kurz vorgestellt, wobei die Detailuntersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

2. Systemdarstellung Spritzabdichtung

Es gibt mehrere Systeme für gespritzte Abdichtungen von unterschiedlichen Herstellern am Markt. Sie unterscheiden sich in Produktart, Applikationstechnologie und Eigenschaften der gespritzten Abdichtung. Bei dem in diesem Artikel betrachteten Produkt, handelt es sich um ein Pulverprodukt, welches für die Applikation mit einer adaptierten Trockenspritzmaschine verarbeitet wird und an der Düse mit Wasser vermischt die Spritzfolie bildet.

Der hauptsächliche Produktbestandteil ist ein Vinylacetat Etylen Copolymer (EVA). Zusammen mit Wasser ergibt es auf dem Untergrund einen 2 – 4 mm starken Folienfilm. Details können der Literatur [1,2] entnommen werden.

Die wesentlichen Eigenschaften einer einschaligen Bauweise, bestehend aus einer Spritzabdichtung im Verbund mit Spritzbeton, sind folgende:

- Voller Haft- und Schubverbund der Spritzbetonschichten [3]
- Keine Migration von Wasser entlang der Grenzfläche Spritzabdichtung - Beton
- Es sind schlanke Strukturen realisierbar, wie sie oft bei der Tunnelanierung gefordert werden
- Rissüberbrückung im Ausmaß der Schichtstärke

Tab. 1: Wesentliche technische Eigenschaften der Spritzabdichtung/ Verbundschale

Mindestschichtstärke	3 mm
Dehnfähigkeit bei -20°C/+20°C	80 % / 140 %
Scherfestigkeit, glatte Oberfläche, JRC = 0, Schichtdicke 2 mm [3]	1,1 MPa
Scherfestigkeit, spritzrau, JRC = 20, Schichtdicke 5 mm [3]	1,7 MPa
Haftzugfestigkeiten auf Beton	1 MPa
Zugfestigkeit der Spritzmembrane (feuchtigkeitsabhängig)	1 – 4 MPa

3. Straßenbahnlinie Harter Plateau, Linz

Die Straßenbahnlinie Harter Plateau verbessert das Straßenbahnsystem im westlichen Großraum von Linz. Die Gesamtlänge beträgt 5300 m mit einem bergmännischen Anteil von 1000 m und einer offenen Bauweise von 400 m. Der bergmännische Bereich besteht aus zwei eingleisigen Tunnelröhren, welche über vier Querschlägen verbunden sind. Die Tunnel befinden sich im Gleisbereich des Linzer Hauptbahnhofes und durchörtern Löss, Terrassenschotter und Schlier [4].

Für den Bauzustand wurde der Grundwasserspiegel mittels Brunnen abgesenkt. Die Außenschale im Vortrieb wurde mit Trockenspritzbeton hergestellt. Trockenspritzbeton wurde auf Grund der einfacheren Gerätelogistik und des geringeren Platzbedarfes gewählt. Die gesamte Tunnellänge konnte über Blasleitungen vom Portal aus bedient werden. Die Innenschale war als wasserdichte, bewehrte Ortbetoninnenschale (Weiße Wanne) ausgeschrieben. Seitens der ausführenden ARGE wurde für die Querschläge eine Spritzabdichtung und eine gespritzte Innenschale mit Stahlfaserbewehrung als Alternative vorgeschlagen und in dieser Form vom Bauherrn akzeptiert.

Der Anschluss der Abdichtung an die Ortbetonschale der Hauptröhren erfolgte mittels außenliegender Fugenbänder mit einer Breite von 500 mm. Die Fugenbänder wurden vorab befestigt und zur Hälfte mit der Spritzabdichtung beschichtet. Der daran anschließende Bereich der Querschläge wurde mit einer Breite von etwa 1 m ebenfalls abgedichtet. Nach dem Betonieren der Kreuzungsblöcke wurden die Querschläge in folgender Abfolge fertig gestellt:

- Behandlung der auftretenden Feuchtstellen entweder mit lokaler Injektion oder Ableitung des zutretenden Wassers mittels Drainagestreifen. Als Drainagestreifen kam ein doppeltes Geotextilvlies mit innenliegender Folie zum Einsatz.
- Applikation der Spritzfolie im First- und Ulmbereich von einer Arbeitsbühne aus
- Optische Kontrolle von Spritzfehlern und Ausbessern dieser
- Rückschreitende Applikation der Spritzabdichtung im Sohlbereich

Die geforderte minimale Schichtstärke von 3 mm wurde im frisch aufgetragenen Zustand laufend kontrolliert. Zusätzlich wurden von der ausgehärteten Membrane Muster entnommen. Die Aushärtung der Spritzmembrane wurde mit einem Shore - A Härte Messgerät überprüft. Die zum Überspritzen erforderliche Härte wurde üblicherweise innerhalb von 24 Stunden erreicht.

Für die gespritzte Innenschale kam stahlfaserbewehrter Nassspritzbeton zum Einsatz. Beim Spritzen wurde ein alkalifreier Beschleuniger eingesetzt, welcher im Spritzbeton eine moderate Frühfestigkeitsentwicklung bis zum Alter von 30 Minuten bewirkte. Dies wirkt sich positiv auf Endfestigkeit, Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit aus.



Bild 1: Kreuzungsblock WDI Schale mit Querschlag (Bild: BASF)



Bild 2: Fertiggestellte Spritzabdichtung im Querschlag (Bild: BASF)

Wie sehr oft bei der Anwendung von spritzbaren Abdichtungen zeigt sich im Nachhinein die Wichtigkeit eines möglichst feinkörnigen Untergrundes sowie die systematische Behandlung von Feuchtstellen in Hinblick auf Verbrauch und Ausführungsqualität. Geringe Wasserzutritte, welche auch speziell im Anschlussbereich mit den Kreuzungsbauwerken auftraten (Beschädigungsmöglichkeit bei den Abschalungen), konnten im Nachhinein saniert werden.

4. Krankenhaus Zams

Das Krankenhaus Zams benutzte alte Luftschutzstollen als Archiv. Durch Luftfeuchtigkeit und Wasserzutritte war eine gesicherte Lagerung der Dokumente nicht mehr möglich und ein Sanierungsplan wurde ausgearbeitet. Da sich die Lagerstollen auf zwei Ebenen mit einem Höhenunterschied von etwa 3 m befinden, wurde die Sanierung in zwei zeitlich getrennten Phasen durchgeführt. In der 1. Phase wurde das untere Niveau geräumt und die Verbindung zum oberen Niveau abgetrennt, um den Betrieb des Archivs fortführen zu können.

Die Stollen haben einen Querschnitt von etwa 3 – 4 m Breite bei 2 m Höhe und waren mit Spritzbeton, welcher weiß gestrichen war, ausgekleidet. Da die Haftzugfestigkeit der Farbe auf dem Spritzbetonuntergrund nicht ausreichend war, musste die Farbe mittels Hochdruckreiniger entfernt werden.

Im Bereich der Sohle wurde beidseitig eine Ulmdrainage eingeschnitten und mit konventioneller Tunnelabdichtungsfolie abgedeckt. In Bereichen mit Wasserzutritten und kritischen Tiefpunkten wurde eine Drainagebahn, bestehend aus einer vlieskaschierten Noppenfolie, eingebaut. Der Anschluss an den Spritzbetonuntergrund wurde mit einem Feinmörtel geglättet. Im Bild 3 ist dieser Drainagestreifen hinter der Spritzmaschine erkennbar.

Danach wurde im gesamten Querschnitt die Spritzabdichtung aufgebracht.



Bild 3: Rotorspritzmaschine vor dem Spritzen (Bild: BASF)

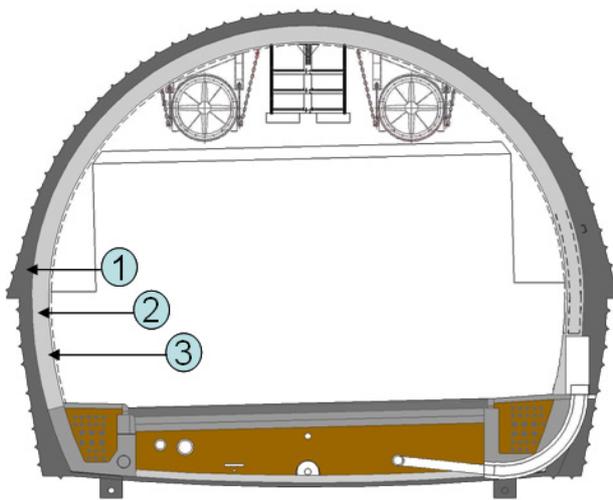


Bild 4: Applizierte Spritzfolie, Anschluss an PVC Folie in Sohle (Bild: BASF)

Nach dem Aushärten der Spritzabdichtung kam als Endauskleidung eine dünne Spritzbetonlage zur Ausführung. Diese bestand aus einem unbeschleunigtem Nassspritzmörtel mit einer Schichtstärke von 2 – 3 cm. Die 1. Phase der Arbeiten wurde bis Ende 2009 fertig gestellt und die 2. Phase ein Jahr später.

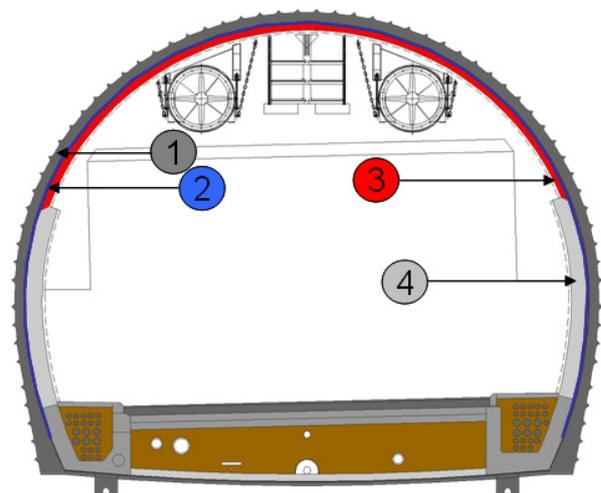
5. Hindhead Tunnel

Das Hindhead Projekt befindet sich an der Autobahn A3 zwischen London und Portsmouth. Der Hindhead Tunnel besteht aus 2 Röhren mit einer Länge von ca. 1800 m und ermöglicht den 4-spurigen Ausbau der Autobahn im Bereich eines Landschaftsschutzgebietes. Der Tunnel durchörtert Abfolgen von Sandstein mit einer maximalen Überlagerung von 65 m. Der Bergwasserspiegel liegt unterhalb der Tunnelsohle und es traten nur wenige, jahreszeit- und niederschlagsabhängige Feuchtstellen auf.



1. Aussenschale Faserspritzbeton
2. PVC Abdichtungsfolie
3. Ortbetoninnenschale

Bild 5: Ursprüngliche Planung (Bild: Alun Thomas)



1. Aussenschale Faserspritzbeton
2. Spritzabdichtung
3. Gespritzte Innenschale (Firste)
4. Ortbetoninneschale (Ulme)

Bild 6: Alternativplanung einschalig (Bild: Alun Thomas)

Die ursprüngliche Planung basierte auf einer konventionellen Folienabdichtung mit Ortbetoninnenschale. Im Zuge einer Alternativplanung („value engineering“) wurde von Seiten der Baufirma und ihrem Planer eine Spritzabdichtung mit Ortbetonschale in den Ulmen und Spritzbetonschale in der Firste vorgeschlagen. Dies wurde so auch vom Bauherrn akzeptiert.

Der Vortrieb erfolgte mit Abschlagslängen von 1 – 2 m und kurzem Ringschluss. In den Portalbereichen wurden Rohrschirme eingesetzt und in schwach verfestigten Zonen Spieße. Aus Gründen der Dauerhaftigkeit wurde in der Planung auf alle Stahleinbauten wie Anker, Gitterträger und Baustahlgitter verzichtet. Das Hauptstützmittel war Faserspritzbeton mit Stahl – oder Kunststofffasern. Um die Profilgenauigkeit der Spritzbetonschale ohne Gitterträger zu gewährleisten, wurde ein berührungsloses Messsystem eingesetzt.



*Bild 7: Applikation mit Spritzroboter
(Bild: BASF)*



*Bild 8: Innenschale, links Ulme betoniert,
rechts Schalwagen (Bild: BASF)*

Aufgrund der großen Fläche der Spritzabdichtung (80.000 m²) kamen für die Ausführung Spritzmobile mit Robotersteuerung (Meyco Logica) zum Einsatz. Das Produkt wurde über die, für die Verarbeitung der Spritzfolie vorgesehene Rotormaschine (Meyco Piccola) aufgegeben und mittels der automatisierten Düse des Spritzmobils aufgetragen. Die Spritzabdichtung einer Röhre (40.000 m²) konnte mit 2 Spritzmobilen im Durchlaufbetrieb innerhalb von 4,5 Wochen appliziert werden.



Bild 9: Fertiggestellter Hindhead Tunnel mit Anstrich im Ulmbereich [Bild: BASF]

Auf die Auftragung eines feinkörnigen Isolierträgers wurde aus Kostengründen verzichtet. Dies hatte einen Mehrverbrauch an Spritzabdichtung bei tendenziell schlechterer Qualität zur

Folge, was allerdings wegen der geringen Wassermenge in Kauf genommen wurde. Andererseits hatten sich beim Spritzen der Außenschale Spritzbetonanlagerungen an den überstehenden Fasern gebildet. Diese Anlagerungen, welche starke Spritzschatten zur Folge hatten, mussten in einem zusätzlichen Reinigungsvorgang (Bürste, Druckwasser) vor der Applikation der Spritzabdichtung entfernt werden.

Die Innenschale wurde in den Ulmen bis in eine Höhe von 4 m in Ort beton mit einer Stärke von 300 mm gefertigt. Die Firste wurde im Anschluss mit 150 mm Spritzbeton direkt auf die Spritzabdichtung gespritzt.

Die Hauptvorteile in Hindhead waren eine Kosteneinsparung bei Material und Ausrüstung, eine Zeiteinsparung von etwa 3 Monaten und eine größere Flexibilität im Arbeitsablauf.

6. Gevingas Eisenbahntunnel

Der Gevingas Tunnel liegt an der Eisenbahnlinie von Trondheim zum Flughafen Trondheim. Er verbessert die Linienführung der alten Eisenbahnlinie aus dem 19. Jahrhundert. Der Tunnel ist eingleisig ausgelegt mit einer Länge von 4200 m. Der Vortrieb erfolgte im Sprengvortrieb. Die Außenschale wurde mit Spritzbeton und Ankern gesichert und stellt den eigentlichen Ausbau dar. Üblicherweise wird in Skandinavien keine abgedichtete Ort betoninnenschale eingebaut. Um trotzdem einen trockenen Tunnel zu gewährleisten, wird zur Wasserableitung eine Vorsatzschale bestehend aus PE – Schaum Platten und Spritzbeton eingesetzt. Die PE – Schaum Platten werden als Drainagestruktur gewölbeförmig eingebaut und an der Innenseite mit Gittermatten und Spritzbeton verstärkt. Siehe Bilder 10 und 11.



Bild 10: Hohlräume hinter PE Schaum Platten (Bild: BASF)



Bild 11: Gewölbe aus PE Schaum Platten mit Bewehrung (Bild: BASF)

Seitens des Bauherrn wurde nach Alternativen zu dem herkömmlichen Abdichtungssystem gesucht. Dabei wurde der Einsatz einer spritzbaren Abdichtung mit gespritzter Innenschale untersucht. Die Eignung wurde an zwei Anwendungsversuchen im Großmaßstab überprüft.

Die Verbundwirkung eines Systems „Spritzbeton – spritzbare Abdichtung – Spritzbeton“ wurde an Rundplatten nachgewiesen und das Systemverhalten unter Frosteinwirkung im Detail untersucht (siehe unten).

Da für eine endgültige Beurteilung der Frosteinwirkung noch weitere Untersuchungen notwendig waren, wurde seitens des Bauherrn entschieden, die Portalzone zur Sicherheit auf eine Länge von etwa 1000 m in konventioneller Art mit PE – Schaum Platten auszuführen. Die verbliebene Länge im Mittelteil des Tunnels mit etwa 1900 m wurde mit Spritzabdichtung ausgeführt.

Ein Vergleich der beiden Systeme erbrachte folgende Erkenntnisse:

- Die Ausführungskosten sind in etwa für beide System gleich
- Die Erhaltungskosten der einschaligen Bauweise mit Spritzabdichtung liegen wesentlich unter denen des PE – Schaum Systems
- Die laufende Inspektion des Systems mit Spritzabdichtung ist einfacher, da eine Rissbildung in der Außenschale sich auf die Innenschale durchpaust und damit beobachtet werden kann (Siehe auch Bild 10)
- Die erforderliche Querschnittsfläche kann beim Einsatz der Spritzabdichtung reduziert werden.



Bild 12 und 13: Applikation der Spritzabdichtung im Gevingas Tunnel (Bild: BASF)

6.1 Energieaufnahme an gespritzten Platten

Um die Verbundwirkung der spritzbaren Abdichtung im System Spritzbeton – Abdichtung – Spritzbeton beurteilen zu können, wurde bei SINTEF die Energieaufnahme an runden Platten (ähnlich RDP) mit einem Durchmesser von 600 mm und einer Dicke von 100 mm, gemäß der norwegischen Vereinigung für Beton, Publikation 7/2003 Pkt. 3.3.1, gemessen.

Das kreisringförmige untere Auflager hat einen Innendurchmesser von 500 mm und die Last wird über einen Stempel mit Durchmesser 100 mm zentrisch von oben aufgebracht. Die Verformungsgeschwindigkeit beträgt 1,5 mm/min und die mittige Verformung wird bis 25 mm gemessen.

Der Spritzbeton war mit Polypropylen Makrofasern (5 kg/m^3) bewehrt. Alle Parameter wie Betonrezeptur, Spritzausrüstung und Mannschaft waren identisch. Ein Satz Platten wurde mit 10 cm Spritzbeton hergestellt und der andere mit einer Zwischenlage Spritzabdichtung.

Aus den Versuchsergebnissen lassen sich folgende Schlüsse betreffend des Verhaltens der Verbundplatten mit Spritzabdichtung ziehen [5]:

- Die Energieaufnahme (bis 25 mm Verformung) ist etwa 17 % höher.
- Die Verformung beim Erstriss ist annähernd doppelt so hoch, das Lastniveau jedoch etwas tiefer. Die Ergebnisse streuen weniger und sind konstanter.
- Die Rissbildung wird in der Sandwichplatte Spritzbeton – Abdichtung – Spritzbeton von der Abdichtungsschicht unterbrochen. Dies führt zu einem verbesserten Nachbruchverhalten mit einer Lastaufnahme in der Größenordnung der Lastaufnahme bei Erstriss. Es ergibt sich eine höhere Sicherheit im Nachbruchverhalten. Siehe Bild 16.



Bild 14: Prüfpresse für die Energieaufnahme an Rundplatten
(Bild: BASF)

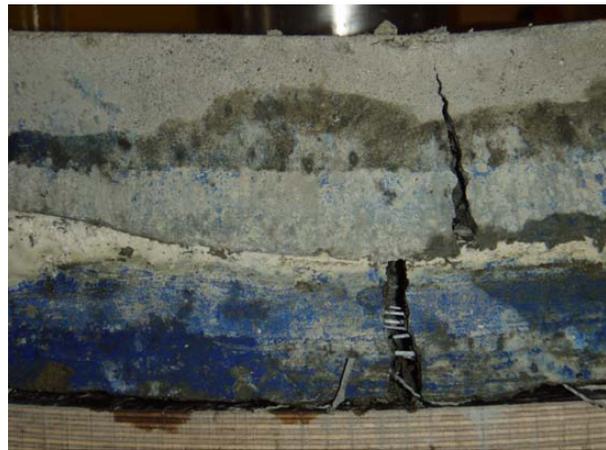


Bild 15: Bruchdetail, Rissübertragung
(Bild: BASF)

Die Ergebnisse zeigen sehr schön die Verbundwirkung der 3 Schichten. Es wird einerseits genügend Schubkraft für einen Verbund übertragen, andererseits ist die Spritzabdichtung elastisch genug um eine direkte Rissübertragung zu verhindern. Siehe Rissversatz in Bild 15.

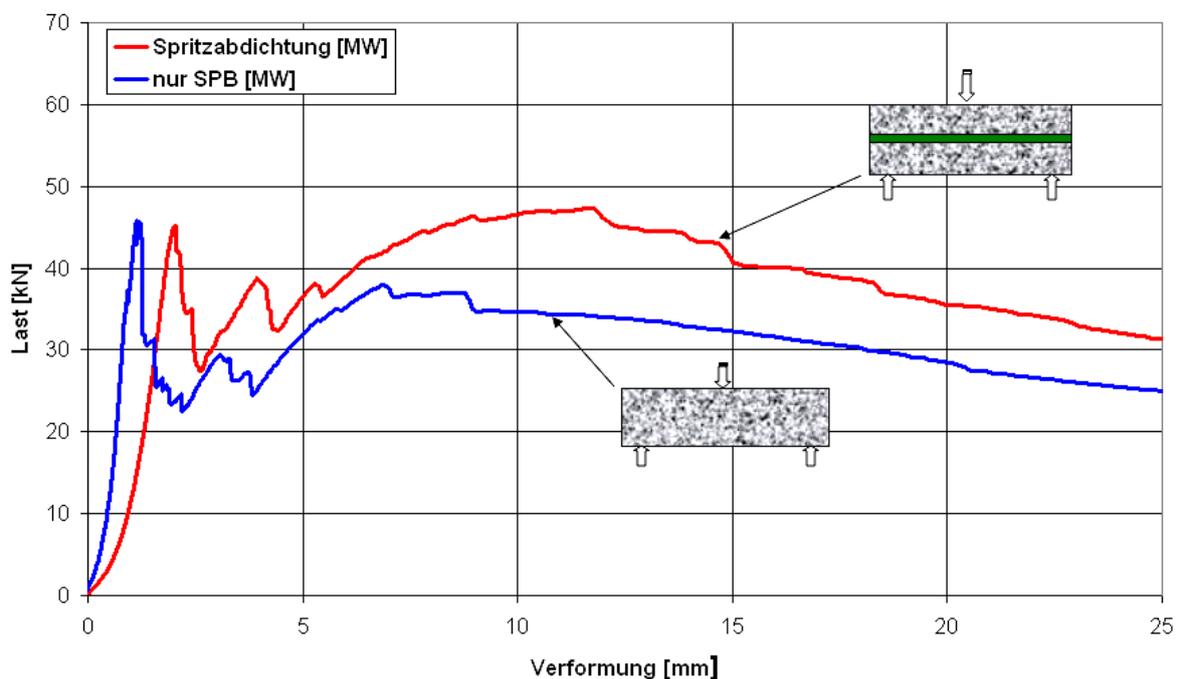


Bild 16: Last – Verformungs Diagramm, gemittelte Werte der Einzelversuche [5]

6.2 Frostbeständigkeit einer einschaligen Bausweise mit Spritzabdichtung

Die Portalbereiche von Tunnel in kalten Klimazonen unterliegen starker Frostbelastung. Um ein größeres Verständnis der Belastungen bei unterschiedlichen Ausbausystemen zu erlangen, wurde bei SINTEF in Trondheim ein Großversuch durchgeführt [6, 7]. Vor allem in Hinblick auf den Gevingas Tunnel wurde ein einschaliges System mit Spritzabdichtung unter Frostbelastung untersucht.

Der Versuchsaufbau besteht aus einem isolierten Raum mit einer Länge von 8,0 m und einer Breite von 3,2 m, bei 2,4 m Höhe. Im Mittelteil wird das System Gebirge – Ausbau modelliert. Das Gebirge besteht aus vermörtelten Granitblöcken mit den Abmessungen 1,5 x 0,8 x 0,8 m. Auf der Tunnelseite wird das Ausbausystem (hier Spritzbetonschale mit Spritzabdichtung) aufgebracht. An beiden Enden befinden sich Klimäräume, welche unabhängig gesteuert sind. Der Raum „Tunnel“ kann auf -20°C gekühlt werden. Das „Gebirge“, der Ausbau und die Klimäräume sind mit Temperatursensoren instrumentiert. Wasser kann über 4 Bohrlöcher bis zum Kontakt mit dem Ausbau aufgebracht werden. Mittels einer Fettschicht an der Kontaktfläche kann ein lokaler Haftverbund des Spritzbetons verhindert und ein begrenztes Angreifen des Wasserdruckes ermöglicht werden. (Siehe Bild 18)

Ziel war es die Wärmeübertragung und die Belastung durch Eisbildung besser zu verstehen. Als Referenz diente der konventionelle skandinavische Ausbau mit PE – Schaum Platten.



Bild 17: Klimakammer „Gebirge“ mit Temperaturofzeichnung (Bild [8])

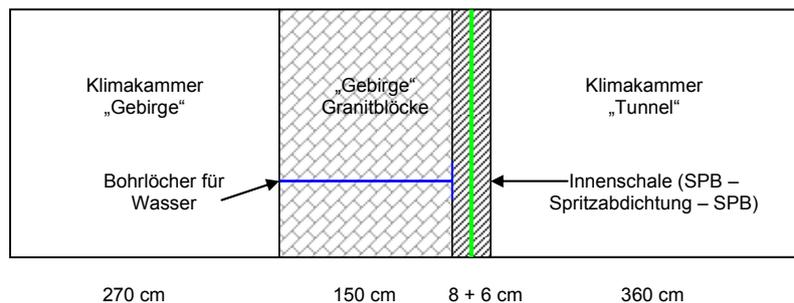


Bild 18: Schema der Versuchsaufbaus (nach [7])

Die Untersuchungen sind noch nicht gänzlich abgeschlossen, aber es lässt sich zwischenzeitlich folgendes sagen:

- Eine gespritzte Innenschale mit Spritzabdichtung hat keine nennenswerte Isolierwirkung.
- Bei Anwesenheit von Wasser und Frost konnten keine negativen Auswirkungen auf die Innenschale durch Eisbildung beobachtet werden. Durch den geringen Porenraum zwischen Gebirge und Spritzbeton, greift der Eisdruck weniger an der Innenschale an sondern breitet sich eher im Gebirge aus.
- Bei Frostwechselbelastung (z.B. mehrfach wechselnd zwischen -8°C und $+3^{\circ}\text{C}$) konnte folgendes Verhalten beobachtet werden: Beim Auftauen breitet sich die 0°C Isotherme wesentlich schneller in Richtung Tunnel aus als beim Einfrieren in Richtung Gebirge. Die Wärmekapazität des Gebirges hat offensichtlich einen wesentlichen Einfluss auf die Temperaturentwicklung. In den skandinavischen Ländern wird üblicherweise die über den gesamten Winter akkumulierte „Frostmenge“ als Planungskriterium für die Auslegung der Isolierung verwendet. Dabei werden die Gesamtstunden an Frostbelastung mit der Temperaturdifferenz zum Gefrierpunkt multipliziert $[\text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}]$. Diese Annahme erweist sich als zu konservativ, da das Gebirge kein Gedächtnis für die Kältebelastung hat und innerhalb des Winters auch wärmere Perioden auftreten.

Derzeit werden weitere Untersuchungen betreffend Wärmekapazität im Gebirge, Wärmeübertragung und Frostwirkung durchgeführt.

7. Zusammenfassung

Einschalige Bauweisen mit Spritzabdichtung können, wie dargestellt, für unterschiedlichste Projektaufgaben herangezogen werden. Durch den guten Haftverbund können äußerst schlanke Strukturen bei Sanierungsaufgaben realisiert werden. Konzepte wie Hindhead, mit Spritzabdichtung und einer Kombination Ortbeton – Spritzbeton, liegen hinsichtlich von Wartung und Betrieb näher an der typisch österreichischen Tunnelplanung. Der Gevingas Tunnel stellt da eher die minimale Lösung dar und kann in dieser Form in unserer Region nur als Referenz für Sonderfälle herangezogen werden. Die Ergebnisse der Verbundwirkung untermauern weiter die Eignung der Spritzabdichtung bei einer einschaligen Bauweise. Hinsichtlich Frostbeständigkeit kann man derzeit nur von groben Richtwerten ausgehen und wird für weitere Details auf die Ergebnisse der laufenden Forschungsarbeiten warten müssen.

8. Literatur

- [1] Aldrian, W.; Giefling, R.:
Jüngste Erfahrungen mit einer spritzbaren Abdichtung im Tunnelbau. In: Kusterle, W.: Spritzbetontagung 2009, Alpbach.
- [2] Mayr, R.; Aldrian, W.; Kothe, T.:
Einsatz von spritzbaren Abdichtungen im Tunnelbau. Felsbau, 21 (2005), Nr. 3, Seite 39 - 45.
- [3] Institut für Felsmechanik und Tunnelbau:
Laborbericht, Direktscherversuche Masterseal 345, TU Graz, Graz, 2008.
- [4] Eder, M.; Bauer, M.; Pühringer, F.:
Straßenbahnlinie Harter Plateau – Tunnelbau unter den Gleisanlagen des Linzer Hauptbahnhofes. Geomechanics and Tunnelling, 2 (2009), No.5, Seite 531 - 543.
- [5] SINTEF:
Test Report: Measurement of energy absorption on circular shotcrete panels. SINTEF Building and Infrastructure, Materials Laboratory Oslo, Oslo 2010.
- [6] Holter, K.G.; Bridge, R.; Tappy, O.:
Design and Construction of Permanent Waterproof Tunnel Lining Based on Sprayed Concrete and Spray-Applied Double-Bonded Membrane. Proceedings of 11th International Conference of Underground Construction. Prag 2010, Seite 571 – 574.
- [7] Holter, K.G.; Nermoen, B.:
Permanent Waterproof Tunnel Lining Based on Sprayed Concrete and Spray-Applied Double-Bonded Membrane. Vortrag WTC 2011, Helsinki.
- [8] Nermoen, B.; Grov, E.; Holter, K.G.; Vassenden, S.:
Permanent Waterproof Tunnel Lining Based on Sprayed Concrete and Spray-Applied Double-Bonded Membrane. First Norwegian Experiences with Testing under Freezing Conditions, Design and Construction. Vortrag, 6th International Symposium on Sprayed Concrete, Tromsø 2011.

Zum Autor

Dipl.-Ing. Roland Mayr
Studium des Bergwesens/Tunnelbaus an der MU Leoben, 1990 – 1991 Fa. Intergeo, 1992 – 2001 Fa. Geoconsult, seit 2002 Verkaufsleiter Tunnelbau Österreich Fa. BASF
roland.mayr@basf.com