
ENTWICKLUNG EINES STAHLFASERARMierten SPRITZBETONS FÜR DEN BAU VON DAMMRINGEN

DEVELOPMENT OF STEEL FIBER REINFORCED SHOTCRETE FOR THE CONSTRUCTION OF SEALING RINGS, SO-CALLED "DAMMRINGE"

Thomas **Müller**, Wayss & Freytag Ingenieurbau AG, München; Deutschland
Andreas **Schaab**, HOCHTIEF Infrastructure GmbH, TCC- Materials, Frankfurt, Deutschland

Der Tunnel Bad Cannstatt durchfährt mit beiden Einzelröhren unausgelaugten anhydrit-führenden Gipskeuper. In den Übergangsbereichen vom anhydritfreien zum anhydrit-führenden Gebirge sollen Abdichtungsbauwerke, so genannte Dammringe, errichtet werdend die verhindern sollen, dass Quellprozesse durch neue Wasserwegigkeiten in Gang gebracht werden. Die Abdichtungsbauwerke waren ursprünglich als bewehrte Ortbetonkonstruktionen mit einer Stärke von 1,0 m geplant und sollten die Spritzbetonschale auf eine Länge von 5 Metern unterbrechen. In der Ausführung werden diese Ortbetonbauwerke nun durch stahlfaserbewehrten Spritzbeton ersetzt werden. In relativ knapp bemessener Zeit wurde dazu eine den speziellen Anforderungen entsprechende Rezeptur entwickelt. Diese musste die Vorgaben für einen dauerhaften, dichten Spritzbeton erfüllen, der auch noch unter Beanspruchung möglichst frei von Rissen ist.

The "Bad Cannstatt Tunnel" passes with two single tubes through unleached gipskeuper containing anhydrite. Watertight structures have to be installed in the transition area between rock with and without anhydrite. The aim is, to prevent ground water from entering the rock, possibly causing swelling processes. A so-called "Dammring" a component of these watertight structures was originally planned as a reinforced in-situ concrete structure with a thickness of 1.0 m and a length of 5.0 m. In relatively short execution time all special requirements considered in the development of the corresponding concrete mix had to be incorporated. The concrete mix design should fulfill the requirements for a high durable and dense shotcrete, which will be free of cracks even under stress.

1. Einleitung

Der Tunnel Bad Cannstatt durchfährt mit beiden Einzelröhren unausgelaugten, anhydrit-führenden Gipskeuper. In den Übergangsbereichen vom anhydritfreien zum anhydrit-führenden Gebirge sollen Abdichtungsbauwerke errichtet werden. Diese sollen verhindern, dass Grundwasser in das Gebirge eintritt und so möglicherweise Quellprozesse in Gang gebracht werden. Ein Bestandteil dieser Abdichtungsbauwerke ist der sogenannte Dammring, der ursprünglich als bewehrte Ortbetonkonstruktion mit einer Stärke von 1.0 m und einer Länge von 5.0 m geplant war. Anschließend wird das umliegende Gebirge durch Injektionen vergütet.

Bei dieser Ausführungsvariante ergibt sich das Problem, dass ein Zeitraum von mehreren Tagen vergeht, bis eine relativ große Öffnungsweite wieder durch eine Betonkonstruktion gestützt wird. So können unter Umständen zusätzliche Wasserwegigkeiten entstehen.

Um dies zu verhindern, wurde ein Stahlfaserspritzbeton entwickelt, der sowohl die sofortige Stützung des Gebirges übernimmt als auch die Undurchlässigkeit einer Ort betonkonstruktion besitzt.

2. Lage eines Abdichtungsbauwerkes

Die Abdichtungsbauwerke sind gemäß tunnelbautechnischem Gutachten (Bild 1) so anzuordnen, dass sie die anhydritführenden Bereiche gegen den ausgelaugten und wasserführenden Gipskeuper abdichten. Dies ist in der Regel am Beginn und am Ende einer Anhydritlinse. In Abstimmung mit dem tunnelbautechnischen Gutachter werden diese redundant im Abstand von 10 – 12.5 m ausgeführt, wenn im Bereich der Tunnelquerschnitte mürbe Zonen des unausgelaugten Gipskeupers anstehen.

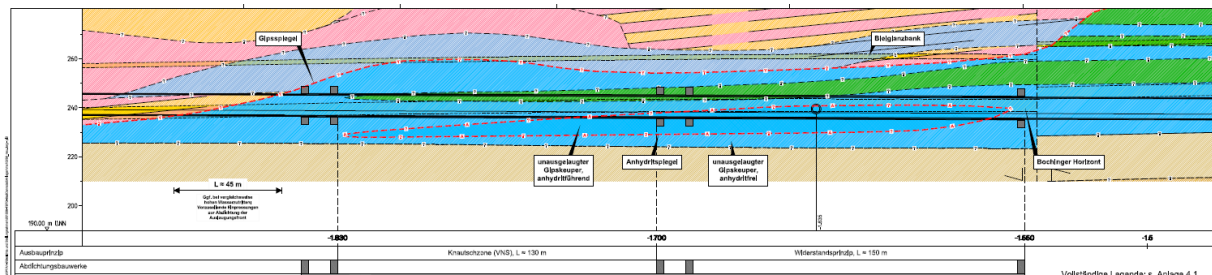


Bild 1: Geotechnischer Längsschnitt Anhydritlinse 1 Tunnel Cannstatt 1); (Bild: Tunnelbautechnisches Gutachten, PFA 1.5 Los 3, WBI)

3. Bestandteile eines Abdichtungsbauwerkes

Ein Abdichtungsbauwerk besteht aus einem 10 m langen Block der Innenschale, mit einem 3 - 5 m breiten und 1 m dicken Ringbalken, dem sogenannten Dammring in der Mitte. Weiterhin sind Injektionen des Gebirges und wasserdichte Anschlüsse an die Innenschale herzustellen.

Der Dammring dient dabei der Abdichtung der Auflockerungszone um den Tunnel und als Widerlager für die nachfolgenden Injektionen im Gebirge, auf die hier nicht eingegangen wird.

Im Zuge der Ausschreibung war geplant, den Ort betonringbalken ohne Spritzbetonsicherung einzubauen.

Die Variante mit Spritzbetonsicherung hat den Vorteil, dass die Oberfläche nach dem Ausbruch sofort versiegelt und das Gebirge sofort gestützt wird. Andererseits besteht auf Grund der zusätzlichen Arbeitsfugen der einzelnen Spritzbetonlagen die Gefahr, dass eine nicht gewünschte Wasserumlaufbarkeit geschaffen wird.

Bei der Variante ohne Spritzbetonsicherung entfällt zwar die zusätzliche Arbeitsfuge, es besteht jedoch die Gefahr einer Rissbildung im ungesicherten Bereich.

Aus diesem Grund wurde nach einer Lösung gesucht, mit der die Gefahr neuer Wasserumlaufbarkeit möglichst ausgeschlossen und die mit Baustellenmitteln umgesetzt werden kann.

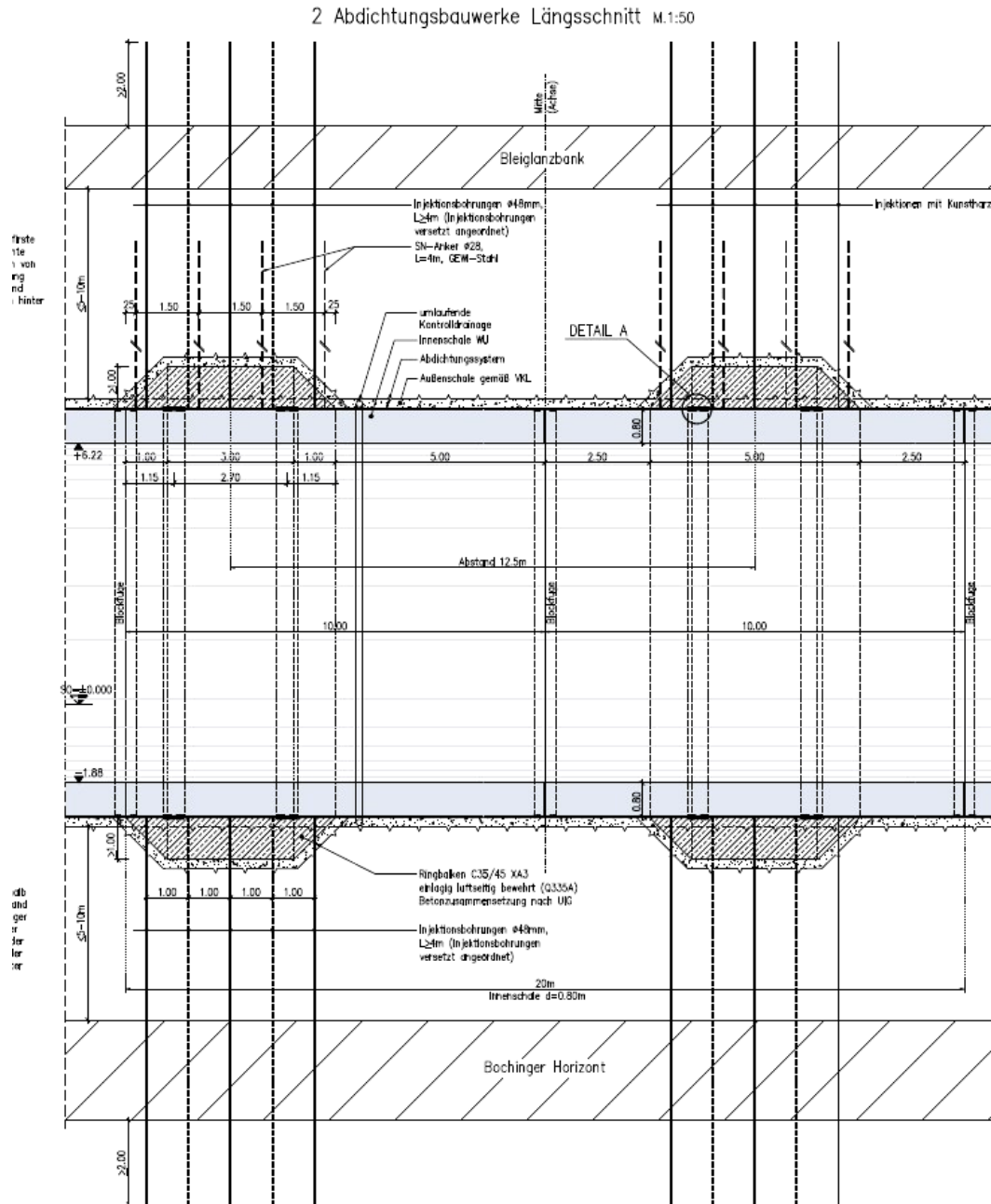


Bild 2: Schematische Darstellung eines Abdichtungsbauwerkes
Quelle: Ausschreibung S21, PFA 1.5 Los 3

Im Ergebnis wurde ein Stahlfaserspritzbeton entwickelt, der in Lagen von 15 cm die sofortige Stützung des Gebirges gewährleistet, wasserundurchlässig ist und aufgrund seiner Zusammensetzung als dauerhaft angesetzt werden kann. Die Entwicklungsschritte werden im Abschnitt 4 erläutert.

4. Entwicklung eines Stahlfaserbetons

In relativ knapp bemessener Zeit wurde eine den speziellen Anforderungen entsprechende Rezeptur entwickelt. Diese musste die Vorgaben für einen dauerhaften, dichten Spritzbeton erfüllen, der auch noch unter Beanspruchung möglichst frei von Rissen ist. Deshalb wurde zur effektiven Begrenzung von Rissen ein hochduktiler Spritzbeton gefordert, dem 50 kg/m^3

Stahlfasern zuzugeben waren. Das Bindemittelsystem sollte einen sehr hohen Sulfatwiderstand aufweisen, um vorbeugend auch die Vorgaben für die Expositionsklasse XA3 an den Beton erfüllen zu können. Anhand der vorliegenden chemischen Analysen wäre die Einstufung in die Expositionsklasse XA2 ausreichend gewesen. Die Vorgaben für XA3 führten zu einem zulässigen w/z-Wert von max. 0,45 und zu einem Bindemittelsystem bestehend aus einem CEM III/A mit einer Zulassung für hohen Sulfatwiderstand in Kombination mit Flugasche.

Die Rezeptur ist in der nachfolgenden Tabelle 1 wiedergegeben:

Tabelle 1: Rezeptur des Stahlfaserspritzbetons für die Abdichtungsbauwerke

C35/45 XC4 XA3 XF1 – WF / WU / F5 / Schnell / D _{max} 8 mm / Prüfalter 28 Tage		
Zement:	CEM III/A 52,5 N – SR	430 kg/m ³
Zusatzstoff:	Flugasche	60 kg/m ³
Fasern:	Stahlfasern Bekaert RC65/35	50 kg/m ³
Wassergehalt:	$w/z_{eq} = (200+3,7) / (430+0,4*60) = 0,45$	200 kg/m ³
Gesteinskörnung:	50 % Natursand 0/2 (< 15% CaCO ₃) 50 % Kies 2/8 (CaCO ₃ frei)	766 kg/m ³ 775 kg/m ³
Zusatzmittel:	PCE	0,85% (3,66 kg/m ³)

Die Ergebnisse der Frühfestigkeitsentwicklung beim Spritzversuch (Bild 3), als auch die geprüften weiteren Festigkeitswerte (Tabelle 2), erfüllten alle Anforderungen an einen dauerhaften, dichten Spritzbeton auch unter baupraktischen Bedingungen.

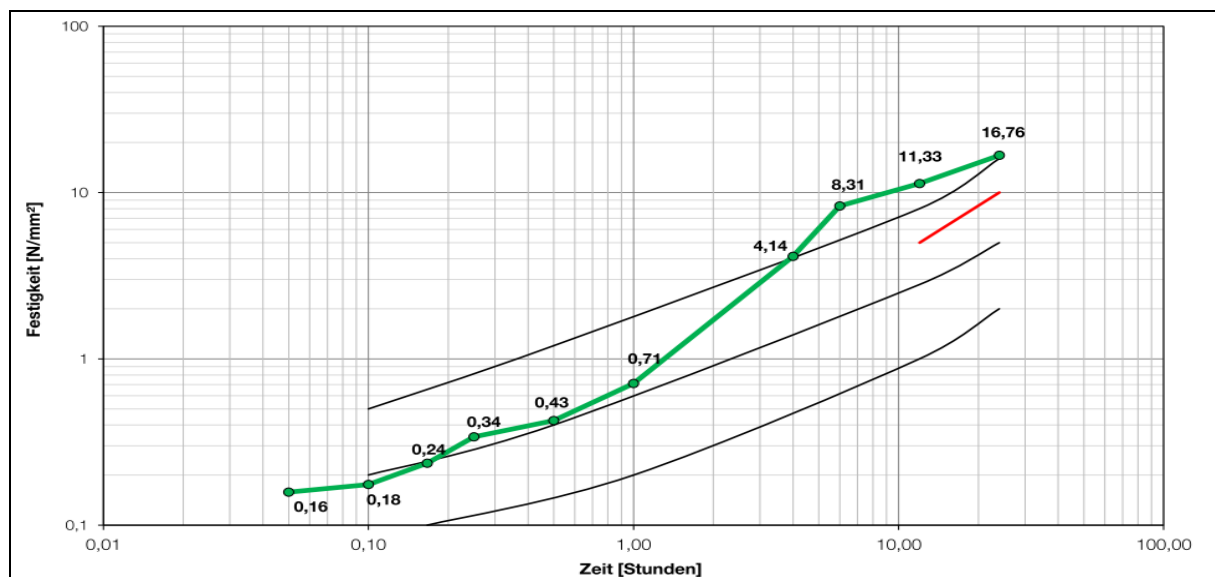


Bild 3: Frühfestigkeitsentwicklung des Stahlfaserspritzbetons

Besonderes Augenmerk muss bei der Applikation des Spritzbetons auf eine hohe Ausführungsqualität gelegt werden. Dies schließt eine wasserfreie Reinigung des Untergrunds zwischen den Spritzbetonlagen mit ein. Diese erfolgte größtenteils durch eine mechanische Reinigung mittels maschinell betriebenen Bürsten. Zusätzlich wurde die Oberfläche unmittelbar vor dem Spritzbetonauftrag nochmals mittels Druckluft von losen Teilen befreit.

Tabelle 2: Festbetonergebnisse Bereitstellungsgemisch und Stahlfaserspritzbeton

Prüfalter	Betondruckfestigkeit Bereitstellungsgemisch	Betondruckfestigkeit Spritzbeton	Erstriss- / Biegezugfestigkeit Spritzbeton
1 Tag	21,9 N/mm ²	---	---
4 Tage	---	37,7 N/mm ²	---
7 Tage	48,8 N/mm ²	39,2 N/mm ²	7,6 / 7,9 N/mm ²
28 Tage	54,3 N/mm ²	50,9 N/mm ²	9,7 / 9,9 N/mm ²

5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der beschriebenen Rezeptur sind alle Beteiligten der Überzeugung, eine optimale Lösung für die Herstellung der Dammringe gefunden zu haben. Bisher musste noch kein Abdichtungsbauwerk errichtet werden. Die ATC ist jedoch mit dem Vorliegen einer UiG und der ZiE gut vorbereitet, den ersten Dammring in Stahlfaserspritzbeton herzustellen. Bis dahin sind noch der nachträgliche Einbau des Fugenbandes, sowie die Sicherstellung des Verbundes zwischen den einzelnen Lagen des Stahlfaserspritzbetons zu lösen. Erste Ansätze dazu liegen vor und alle Beteiligten sind zuversichtlich, auch diese Details bis zum Jahresende 2017 zu lösen.

6. Literatur

- [1] Wittke, W.:
Tunnelbautechnisches Gutachten, PFA 1.5 Los 3, Oktober 2011
Ausschreibung S21, PFA 1.5, LOS 3, Fern- und S-Bahnzuführung Bad Cannstatt.

Zu den Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Müller

Studium des Bauingenieurwesens an der TU München, Wayss & Freytag Ingenieurbau Süd, Oberbauleiter, Projektleitung von Großprojekten, derzeit neben S 21 Tunnel Cannstatt, Betreuung der 2. Stammstrecke in München
thomas.mueller@wf-ib.de

Dipl.-Ing. Andreas Schaab

Studium des Bauingenieurwesens an der FH Wiesbaden; HOCHTIEF, Infrastructure GmbH, TCC-Materials, Fachabteilungsleiter Baustofftechnik, Aufgabengebiete: Entwicklung von Baustoffen, Bau- u. Prüfverfahren; Betreuung internationaler Großprojekte bei baustofftechnologischen Fragen.
andreas.schaab@hochtief.de