
ANWENDUNG VON STAHLFASERBEWEHRTEM SPRITZBETON ZUR HOHLRAUMVERFÜLLUNG BEI ROHRSCHEIRMVORTRIEB IM TUNNELBAU

APPLICATION OF STEEL-FIBER-REINFORCED SHOTCRETE FOR FILLING THE SPACE CAUSED BY A PIPE ROOF

Andreas **Schaab**, HOCHTIEF Infrastructure GmbH, Mörfelden Walldorf, Deutschland
Carsten **Nöthlich**, HOCHTIEF Infrastructure GmbH, Stuttgart, Deutschland

Der Tunnel Bad Cannstatt (Stuttgart, Deutschland) wurde in mehreren Bereichen in einer Vortriebsklasse mit vorausseilender Sicherung in Form von Rohrschirmen aufgeföhren. Die dabei entstehenden Kavernen werden nach Beendigung des Vortriebs üblicherweise in konventioneller Spritzbetonbauweise mit konstruktiver Mattenbewehrung verfüllt. Im vorliegenden Fall sollte die Hohlraumverfüllung mit Stahlfaserspritzbeton ohne konstruktive Stahlbewehrung erfolgen. Diese Bauart wurde bereits bei mehreren Projekten im Ausland, zuletzt am Projekt Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI) in Österreich angewendet. In Deutschland ist die Bauart jedoch normativ nicht geregelt und bedarf im vorliegenden Fall einer unternehmensinternen Genehmigung (UiG) des Auftraggebers (hier: Deutsche Bahn - DB). Über den Prozess der Genehmigung und der Ausführung sowie der dabei gemachten Erfahrungen wird nachfolgend berichtet.

The Bad Cannstatt tunnel (Stuttgart, Germany) was partially excavated in the shape of a pipe roof. The resulting caverns are usually backfilled with conventional shotcrete with mesh reinforcement. However, in regard to this particular instance steel fiber shotcrete without a mesh reinforcement was used. A process which has been successfully utilized at numerous construction projects abroad (e.g. Project GKI in Austria). Due to the lack of regulation using this type of construction in Germany, an internal agreement with our client, the German railway company (DB), was required. The following report presents the approval and the execution process, as well as our experiences with the project.

1. Einleitung

Das Großprojekt Stuttgart 21 und die Neubaustrecke Wendlingen-Ulm dienen der Verbesserung des gesamten Bahnverkehrs im Großraum Stuttgart. Nach Fertigstellung aller Bauwerke werden die Fahrzeiten sowohl im Fernverkehr als auch im Nahverkehr deutlich verkürzt und es entstehen zusätzliche Kapazitäten auf diesen Strecken.

Die Arbeitsgemeinschaft Tunnel Cannstatt S21 (Pfa 1.5 Los 3) erstellt in Stuttgart die innerstädtischen Bauabschnitte der Fernbahnzuföhierung (1- und 2-gleisig) von Bad Cannstatt zum Hauptbahnhof sowie für sechs Verbindungsbauwerke und einen Abschnitt der S-Bahn Anbindung an Bad Cannstatt. Die Arbeitsgemeinschaft wird von den Firmen HOCHTIEF Solutions AG, BeMo Tunnelling GmbH und Wayss & Freytag Ingenieurbau AG gebildet. Der größte Teil der Bauwerke sind Tunnelbauwerke mit unterschiedlich großen Querschnitten in anspruchsvoller Geologie mit zwei Anhydritlinsen, welche in konventioneller Bauweise erstellt werden.

In mehreren Bereichen musste der Tunnel aufgrund der geologisch / geotechnischen Randbedingungen in einer Vortriebsklasse mit vorseilender Sicherung in Form von Rohrschirmen aufgeföhren werden. Hierzu zählen die in Bild 1 farblich markierten Vortriebe 4b, 6a, 6b sowie 8.

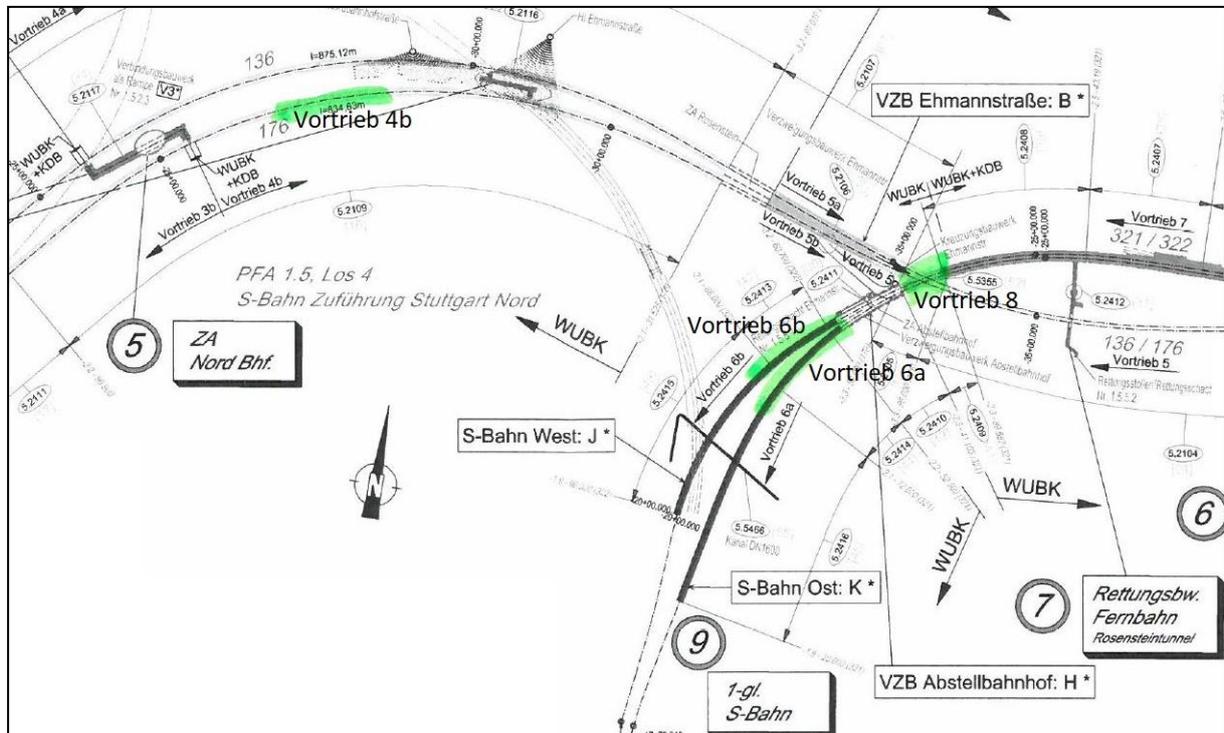


Bild 1: Ausschnitt des Einsatzbereiches (Bild: ILF Consulting Engineers)

Der Primärausbau erfolgt in diesen Bereichen mit Spritzbeton ohne Stahlfasern, konventioneller Mattenbewehrung und Bögen. Die durch den Rohrschirmvortrieb entstehenden Kavernen (Sägezahnprofil in Bild 2) sind nach Beendigung des Vortriebs und vor der Herstellung der Innenschale planmäßig zu verfüllen. Zum Zeitpunkt der Verfüllung ist der gesamte Tunnelquerschnitt bereits mit Stützmitteln gesichert und somit statisch abgesichert.

Die Verfüllung dieser sägezahnartigen Kavernen sollte ursprünglich in konventioneller Spritzbetonbauweise mit einer konstruktiven Mattenbewehrung erfolgen. Dieses tradierte Bauverfahren hat aber entscheidende Nachteile, da die Bewehrung aufwendig und händisch befestigt werden muss. Außerdem ist es nicht auszuschließen, dass sich aufgrund der Geometrie um die Bewehrung ein Spritzschatten bildet.

Die ausführende Arbeitsgemeinschaft hatte deshalb dem Auftraggeber vorgeschlagen diese Mattenbewehrung durch den Einsatz von Stahlfaserspritzbeton (SFSB) zu ersetzen, damit die aufwendigen Bewehrungsarbeiten entfallen können. Die Stahlfasern im Stahlfaserspritzbeton übernehmen die Funktion der konstruktiven Mattenbewehrung. Zur Erhöhung des Gesamttragverhaltens wurde die letzte Spritzbetonlage mit stahlfaserfreiem Spritzbeton und einer Mattenbewehrung ausgeführt, um die Funktion der Gleitfolie nicht zu beeinträchtigen. Die Verwendung von Verankerungen in Radialrichtung zur Sicherstellung des Verbunds der einzelnen Spritzbetonlagen war weiterhin erforderlich.

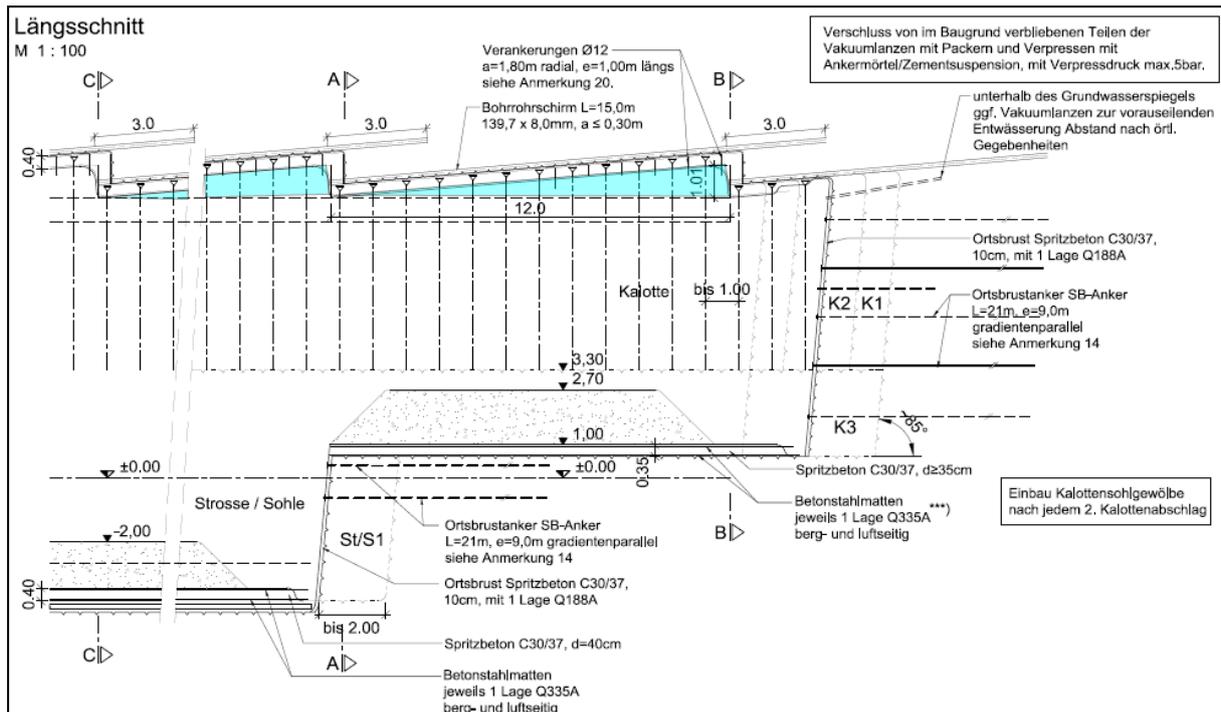


Bild 2: Längsschnitt der Rohrschirmkavernen, Stahlfaserspritzbeton farblich markiert (Bild: ILF Consulting Engineers)

2. Genehmigungsprozess zur Erlangung einer UiG

Gemäß Ril 853.4003 ist „die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton als eine nicht geregelte Bauart zu betrachten“ [1]. Daher bedarf es gemäß Ril 853.0101 [1] einer unternehmensinternen Genehmigung (UiG) des Auftraggebers der DB oder einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) durch das Eisenbahnbundesamt als Aufsichtsbehörde. Darüber hinaus sind bauaufsichtlich eingeführte Normen und Regelwerke für die Dimensionierung von SFSB im Tunnelbau in Deutschland aktuell noch nicht existent. In Deutschland existiert derzeit nur das Regelwerk „Stahlfaserbeton“ (03/2010) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStB) [2], welches ein durchgängiges Bemessungsmodell für diesen Baustoff berücksichtigt. Dieses Regelwerk kann aber ausdrücklich nicht für Stahlfaserspritzbetone angewandt werden. Aus diesem Grund wurde in der gutachterlichen Stellungnahme zur Erlangung der UiG vorgeschlagen, die Richtlinie der österreichischen Vereinigung für Beton- und Bautechnik (ÖVBB) „Spritzbeton 12/2009“ [3] heranzuziehen. In diesem Regelwerk erfolgt die Einteilung des Faserspritzbetons in Klassen nach dem Energieabsorptionsvermögen. Dieses wird über Plattenversuche nach ÖNORM EN 14488-5 [4] an Platten aus Faserspritzbeton geprüft. Für den Zweck der Verfüllung des Sägezahnprofils wurde das zu erzielende Energieabsorptionsvermögen durch den Gutachter Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Schießl in seiner gutachterlichen Stellungnahme mit mindestens 500 J festgelegt [5].

Die DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH als Auftraggeber erfragte bei der für das Eisenbahnwesen zuständige Aufsichtsbehörde, dem Eisenbahnbundesamt (EBA), ob eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) für die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton zur Verfüllung der Rohrschirmkavernen erforderlich sei. Als Grundlage hierfür diene eine fachtechnische Stellungnahme der DB Netze AG. Das EBA verzichtete auf eine förmliche ZiE, unter der Bedingung der Erfüllung der Auflagen und Hinweise der UiG, sowie des betontechnologischen Gutachtens und der weiteren nachfolgenden Punkte [6]:

- Führung eines statischen Nachweises für die statisch erforderliche Verankerung der Zwickelverfüllung ins Gebirge sowie für die ggf. notwendige Verankerung zwischen den einzelnen Spritzbetonschichten und Prüfung durch den mit der bautechnischen Prüfung beauftragten (vom EBA anerkannten) Gutachter.
- Die Frischbetonprüfung zur Feststellung des Fasergehaltes ist mit der beabsichtigten Rezeptur vor Baudurchführung durchzuführen.
- Der Nachweis des Energieabsorptionsvermögens durch einen Plattenversuch nach ÖNORM EN 14488-5 [4] ist vor Ausführungsbeginn zu erbringen.
- Eine ausreichende Verschieblichkeit zwischen Außenschale (Oberfläche Stahlfaserspritzbeton) und Innenschale muss gewährleistet werden. Zwischen der Außenschale (Oberfläche Stahlfaserspritzbeton) und der Innenschale ist eine geeignete Trennschicht (Luftpolsterfolie, Vlies) einzubauen. Die Eignung ist durch mit der bautechnischen Prüfung beauftragten (vom EBA anerkannten) Gutachter zu bestätigen).

3. Rezeptur des eingesetzten Stahlfaserspritzbetons

Für den bereits beschriebenen Einsatzzweck wurde eine Spritzbetonrezeptur der Festigkeitsklasse C30/37 verwendet. Diese Rezeptur (Tab. 1) erfüllt die nachstehenden Eigenschaften und trägt die interne Kennnummer ATC-SPC-5aSF20.

Expositionsklassen:	XC4 XF1 XA2
Feuchtigkeitsklasse:	WF
Konsistenzklasse:	F5
Größtkorn:	8 mm
Frühfestigkeitsklasse:	J2

Tab. 1: Rezeptur des Stahlfaserspritzbetons ATC-SPC-5aSF20

Ausgangsstoffe		Menge	
Bindemittel	CEM I 52,5 N (sb)	360	kg/m ³
Stahlfasern	Bekaert RC 65/35 BN	20	kg/m ³
Flugasche	Powerment	90	kg/m ³
Wasser	-	194	kg/m ³
Zusatzmittel	Ha-Be T400 (Fließmittel)	3,36 (1,0 %)	dm ³ /m ³
Natursand 0/2	-	476	kg/m ³
Bruchsand 0/2	-	244	kg/m ³
Sand 2/8	-	902	kg/m ³

3.1 Verwendete Stahlfasern und Dosierung

Eingesetzt wurden die Stahlfasern RC 65/35 BN des Herstellers Bekaert. Hierbei handelt es sich um 35 mm lange Stahlfasern mit einem Durchmesser von 0,55 mm. Die Kennzahl 65 ergibt sich aus dem Länge/Durchmesser-Verhältnis und dient der Eingruppierung in eine laut Hersteller sog. „Performanceclass“. Die Stahlfasern sind normalfest und haben eine hakenförmige einfache Endverankerung. Nach [7] bieten diese einen ausreichenden Auszugswiderstand und sind gut geeignet für eine Spritzbetonanwendung. Insgesamt sind bei einer Dosierung von 20 kg/m³ Stahlfasern dieses Typs in einem Kubikmeter Spritzbeton ca. 290.000 Fasern enthalten, dies führt in der Regel zu einer guten Faserverteilung im Spritzbetonquerschnitt. Die Faserdosierung erfolgte über ein Förderband direkt in die drehende Trommel des Fahrmischers. Dieser musste anschließend zur Homogenisierung der Fasern in der Ausgangsmischung die Trommel für mindestens 15 min mit Höchststufe drehen lassen. Die Faserverteilung im Fahrmischer wurde durch die Bestimmung des Fasergehaltes

an drei Proben je Fahrnischer (Anfang/Mitte/Ende) überprüft. Diese Differenz zwischen diesen Prüfungen sollte nicht mehr als 10% betragen. Diese Anforderung wurde bei einer Überprüfung eingehalten. Die Prüfung ergab einen Stahlfasergehalt von 20,1 kg/m³ zu Beginn, bei der Hälfte des Fahrzeuginhaltes wurden 20,3 kg/m³ ermittelt und zum Schluss wurden 19,7 kg/m³ gemessen.

4. Eignungsversuch

Als Nachweis des Arbeitsvermögens des Stahlfaserspritzbetons wurden Energieabsorptionsversuche an Stahlfaserspritzbetonplatten gemäß ÖNORM EN 14488-5 [4] durchgeführt. Dieser Nachweis war eine Auflage zur Erlangung der UiG.

In der gutachterlichen Stellungnahme des Ing.-Büros Schießl Gehlen Sodeikat GmbH [5] wird im vorliegenden Fall ein Mindestarbeitsvermögen von 500 J gefordert. Begründung hierfür ist, dass der Stahlfaserspritzbeton in der vorgesehenen Verwendung als Hohlraumverfüllung weder eine sichernde noch eine tragende Funktion besitzt. Daher können hinsichtlich des Arbeitsvermögens die geringsten Anforderungen angesetzt werden (Tab. 2).

Tab. 2: Richtwerte für das Arbeitsvermögen eines Faserbetons je nach Anwendung nach ÖVBB-Richtlinie von 2008 „Faserbeton“ [8]

Anwendung/ Funktion	Erforderliches Arbeitsvermögen E nach 7 Tagen
Versiegelung gegen Wasser- und Luftzutritte bei standfestem Gebirge	500 J bis 700 J
Firstsicherung und Kopfschutz, Erstsicherung (Vorspritzen) im Abschlagbereich, Sicherung der Ortsbrust	800 J bis 1200 J
Sicherungsspritzbeton in geklüftetem Fels ohne erforderliche Voraussicherung	700 J bis 1000 J

4.1 Durchführung

Zum Nachweis des Arbeitsvermögens wurden drei Prüfplatten vor Ort im Tunnel hergestellt und in der staatlich akkreditierten Versuchsanstalt für Baustoffe in Innsbruck geprüft. Die geprüften Stahlfaserspritzbetonplatten (Bild 3) wiesen im Mittel ein Energieabsorptionsvermögen von 678 J auf und erfüllen daher die Anforderung von ≥ 500 J sowie die Erwartungen des Gutachters von mehr als 600 J.

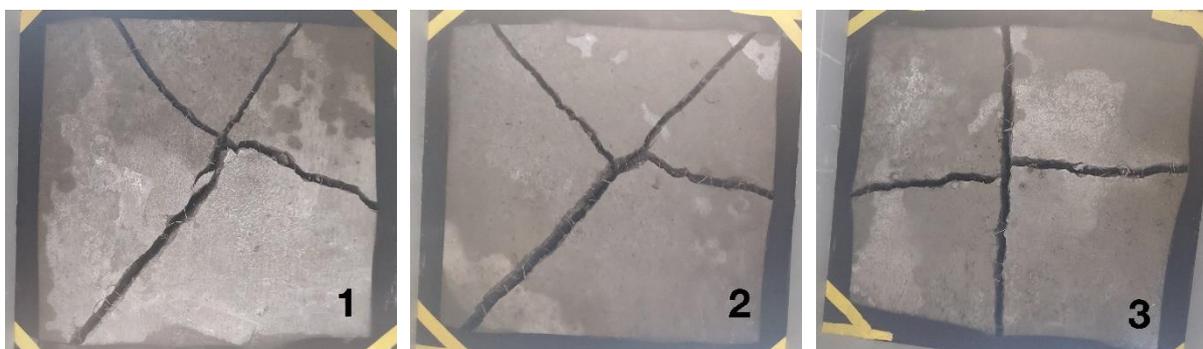


Bild 3: SFSB-Platten (60x60x10 cm) nach Ende der Prüfung (Bild: Klemens Maier)

In nachfolgenden Grafiken (Bild 4 und 5) ist die Kraft (kN) sowie die Energie (J) gegen die Verschiebung (mm) aufgetragen. Bei einer Durchbiegung von 0-25 mm erzielte die Platte 1 ein Energieabsorptionsvermögen von 666 J, die Platte 2 - 699 J und die Platte 3 - 669 J.

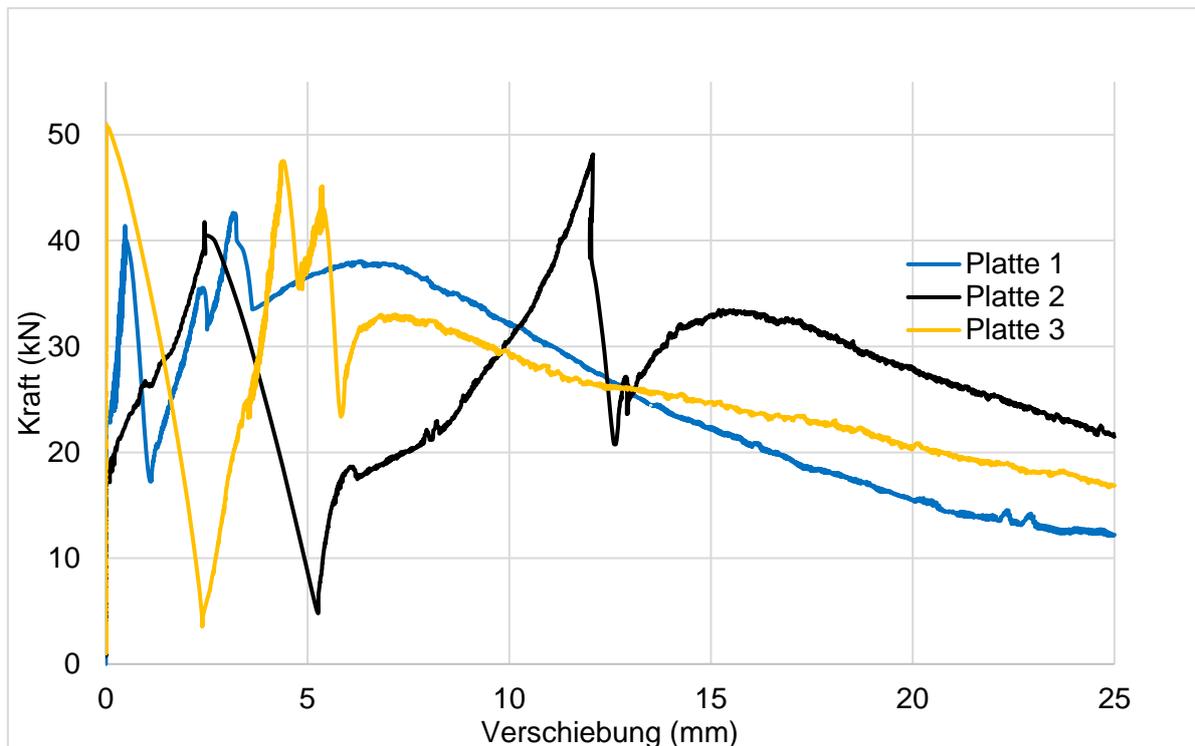


Bild 4: Kraft/Verformungskurven der SFBS-Platten

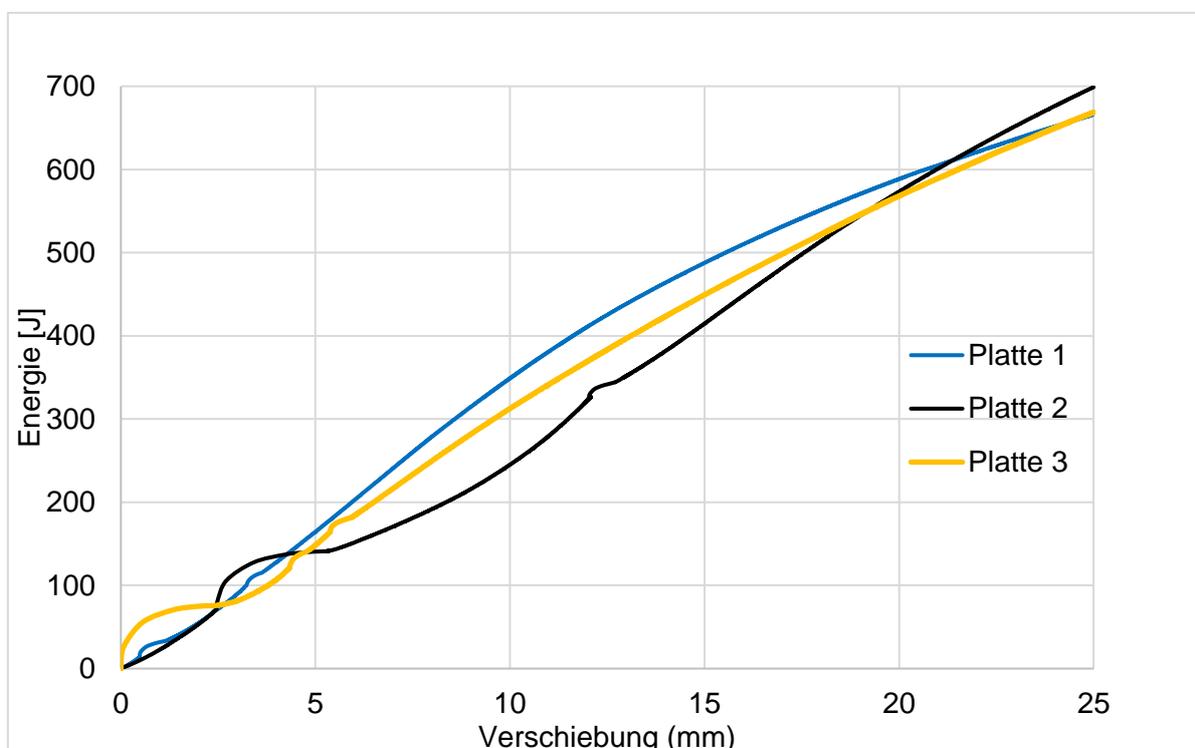


Bild 5: Energie/Verformungskurven der SFBS-Platten

5. Umsetzung

Die Umsetzung wird am Beispiel des Überfirstungsbereich von Fernwärmeleitungen (Bild 1; Vortrag 4b) beschrieben. Es wurden drei Rohrschirmkavernen lagenweise aufgespritzt und ca. 300 m³ SFSB verbaut. Der Stahlfaserspritzbeton wurde als Nassspritzbeton im Dichtstromverfahren mit einem Spritzmobil MEYCO Potenza mit ca. 14 m³/h aufgetragen. Als Erstarrungsbeschleuniger wurde der gleiche alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger bei gleicher Dosiermenge (6 %) wie bei dem stahlfaserfreien Sicherungsspritzbeton verwendet. Die Frühfestigkeitsklasse von J2 wurde damit sicher erreicht. Die ununterbrochene Ausführungsdauer in Tag- und Nachtschichten betrug dabei ca. 4,5 Tage. Diese verhältnismäßig kurze Dauer ergibt sich aus dem Wegfall des zeitaufwändigen „Bewehrens“ (Gittern), welches üblicherweise nach dem Spritzen von ca. 30 cm starken Lagen Spritzbeton erfolgt. Der SFSB wird in Schichtdicken von bis zu max. 80 cm aufgetragen. In Bild 6 ist der aufgebrauchte SFSB mit Kavernenverankerung zu erkennen.



Bild 6: Stahlfaserspritzbeton mit Kavernenverankerungen (Bild: Philip Geisen)

In die jeweils letzte Spritzbetonlage (ohne Stahlfasern) wurde eine Mattenbewehrung Typ Q188A (1-lagig mit einem Übergreifungsstoß von 30 cm) verbaut (Bild 7). Neben einer erheblichen Zeitersparnis von ca. vier Tagen (24/7-Betrieb) wurde kein höherer Verschleiß an den Förderleitungen und Spritzdüsen festgestellt. Letzteres begründet sich vermutlich in der zu kurzen Anwendungsdauer. Unabhängig davon sind beim Einsatz von SFSB keine negativen Vorkommnisse wie z.B. Igelbildungen der Stahlfasern beim Spritzen aufgetreten.

Die Ausführung der Spritzbetonarbeiten wurde entsprechend dem mit dem Auftraggeber abgestimmten Prüfplan [9] überwacht. Grundlage dafür sind die vertragsspezifischen Festlegungen des Bauvertrages sowie die RIL853-4003 [10] der DB sowie die DIN 18551 [11] beachtet. Für den SFSB wurden die gleichen Prüffrequenzen wie beim normalen Sicherungsspritzbeton mit 250m³ gemäß Kategorie 2 der DIN EN 14487 Teil 1 [12] festgelegt.

Die realen Prüffrequenzen wurden gegenüber dieser Festlegung allerdings deutlich erhöht, es wurden alle 100 m³ einer Konformitätssprüfung durchgeführt. Die Prüfergebnisse, sowohl zur jungen Druckfestigkeitsentwicklung, als auch zur Druckfestigkeit gemessen an Bohrkernen entnommen aus Begleitplatten konnten mit großem Sicherheitsabstand zu den Anforderungen immer eingehalten werden.



Bild 7: Mattenbewehrung der Kavernen (Bild: Philip Geisen)

6. Praxiserfahrungen

Auf den nachfolgenden Tunnelprojekten kam Stahlfaserspritzbeton für den Tunnelausbau bereits erfolgreich zum Einsatz [13]:

Gotthard-Basistunnel (Eisenbahntunnel, Schweiz)

Tunnel Eyholz (Autobahntunnel, Schweiz)

Violay Tunnel (Autobahntunnel, Frankreich)

In den genannten Autobahntunneln hatte der Stahlfaserspritzbeton den Zweck der Felsicherung und diente als Ersatz zu der Mattenbewehrung. Das Arbeitsvermögen des Stahlfaserspritzbetons (25 kg/m³ Stahlfasern, L = 25 mm, Ø = 0,55 mm) im Violay Tunnel lag bei 875 J (Mittelwert aus drei Platten).

In [14] liegen die Einzelwerte aus den Plattenversuchen der Stahlfaserbetone im Bereich zwischen 600 J (17 kg/m³), 1090 J (25,9 kg/m³) und 1340 J (32,2 kg/m³). Auch hier wurden Stahlfasern mit Endhaken, einer Länge von 25 mm und einem Durchmesser von 0,55 mm verwendet.

Eigenen Erfahrungen des Gutachterbüros Schießl Gehlen Sodeikat GmbH zufolge, ergab das Arbeitsvermögen eines Stahlfaserspritzbetons (32 kg/m³ Stahlfasern, L = 30 mm, Ø = 0,60 mm) für einen Zugangsstollen eines Salzbergwerks 880 J (Mittelwert aus drei Platten).

Nachfolgend sind die genannten Einzelwerte des Arbeitsvermögens aus der Literatur (in blau) sowie die Versuche der ARGE Tunnel Cannstatt S21 (in rot) in Abhängigkeit des Fasergehaltes aufgetragen (Bild 8).

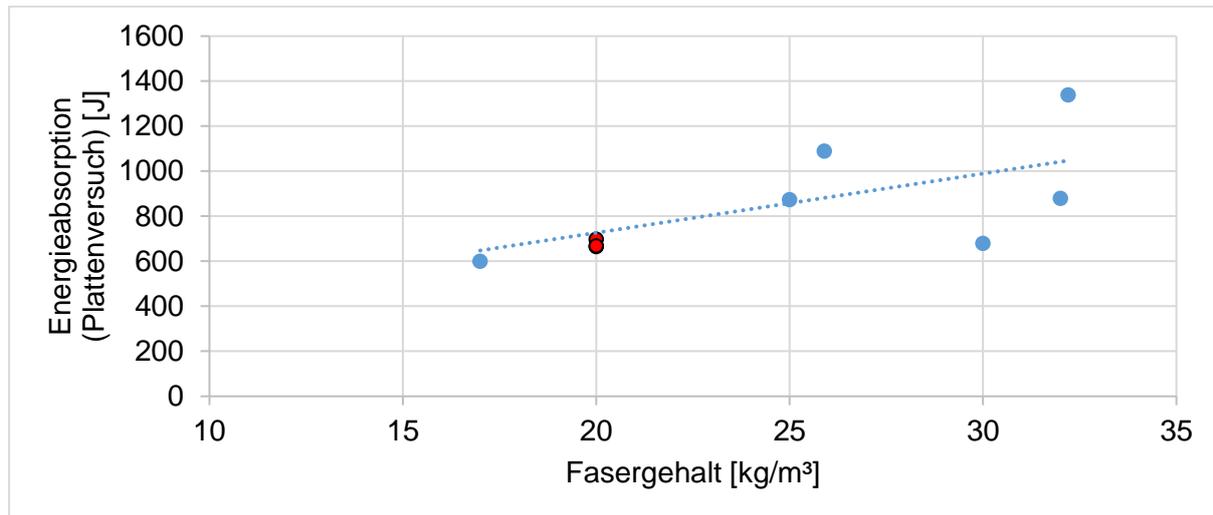


Bild 8: Zusammenhang zwischen Arbeitsvermögen und Fasergehalt (Einzelwerte) aus verschiedenen Literaturquellen.

Deutlich zu erkennen ist, dass die Einzelwerte aus der Literatur bei Verwendung ähnlicher Stahlfasermengen eine starke Streuung aufweisen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist der Einsatz von Betonen mit unterschiedlicher Bindemittelmenge und Festigkeitsklasse. Weiterhin entscheidend ist die Orientierung der Stahlfasern im Beton. Die geprüften Platten der ARGE Tunnel Cannstatt S21 (in rot) wiesen ein Arbeitsvermögen im Bereich zwischen 666 J und 699 J auf.

7. Zusammenfassung

Die Anwendung von Stahlfaserspritzbeton zum Verfüllen der Rohrschirmkavernen, hat sich positiv bewährt. Dadurch war es möglich, die konstruktive Bewehrung einzusparen, die einen separaten Arbeitsschritt erfordert. Dies führte zu einer deutlichen Beschleunigung des Arbeitszyklus bei gleichzeitiger Verbesserung der Spritzbetonqualität, da sich kein Spritzschatten hinter der Bewehrung bilden kann. Die vom Gutachter zur Beurteilung der UiG geforderten Eigenschaften zur Energieaufnahme, konnten sicher erfüllt werden. Der Stahlfaserspritzbeton war in seiner Anwendung robust, außerdem wurden keine negativen Erfahrungen, wie z.B. eine Igelbildung der Stahlfasern in dem Betonausgangsgemisch, beobachtet. Die baubegleitenden Konformitätsprüfungen konnten mit großem Sicherheitsabstand gegenüber den Anforderungen eingehalten werden. Dem gegenüber steht ein erhöhter zeitlicher Dosier- und Mischaufwand verglichen zu Spritzbeton ohne Stahlfasern. Insgesamt bestätigen die gemachten Erfahrungen, dass ein erhöhter finanzieller Aufwand beim Baustoff Stahlfaserspritzbeton eine spürbare Zeitersparnis im ganzen Arbeitszyklus möglich ist, wenn dadurch die Bewehrung komplett entfallen kann. Dies ist häufig möglich, wenn die Bewehrung nur konstruktive Funktionen zu erfüllen hat.

8. Ausblick

Die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton ist in Deutschland durch die DIN EN 14487 [12] in Verbindung mit der DIN 18551 [11] in der Anwendung und Ausführung geregelt. Die statische Berücksichtigung der Stahlfasern im Spritzbeton bei der Bemessung ist in Deutschland aktuell noch nicht geregelt. Die Bemessungsregel für die Verwendung von Stahlfasern im Beton erfolgt über die Richtlinie Stahlfaserbeton (03/2010) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStB) [2], dies schließt die Verwendung von Stahlfaserspritzbeton aus. Die aktuell in der Überarbeitung befindliche Spritzbetonnorm in Deutschland wird versuchen diese Regelungslücke in nächster Zukunft zu schließen. Hierzu werden auch auf die Erfahrungen derartiger Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) oder Unternehmensinterne Genehmigungen (UiG) zurückgegriffen.

9. Literatur

- [1] DB Netz AG:
Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten, 2018.
- [2] DAfStB:
Richtlinie Stahlfaserbeton 03/2010, Beuth Verlag.
- [3] ÖVBB:
Richtlinie Spritzbeton, Wien, 2009.
- [4] ÖNORM EN 14488-5:
Prüfung von Spritzbeton – Bestimmung der Energieabsorption. bei faserverstärkten plattenförmigen Prüfkörpern, 2006.
- [5] Schießl, P.:
Stahlfaserspritzbeton S21 PFA 1.5 Los 3 Fern- und S-Bahnzuführung Bad Cannstatt – Reduzierung des Bewehrungsgehaltes für eine Hohlraumverfüllung mittels Stahlfaserspritzbeton 16-421/1.1.1 vom 09.02.2017 Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat (unveröffentlichte Gutachterliche Stellungnahme).
- [6] EBA:
Stellungnahme des Eisenbahnbundesamt (EBA) zum Antrag auf eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) für die Verfüllung der Rohrschirmzwinkel mit SFSPB im Abschnitt 1.5 PSU (unveröffentlichte Stellungnahme).
- [7] Stahlfaserbeton – Neue Perspektiven: Technischer Bericht; Bauingenieur 11/12, Band 87, S-506-507, 2012.
- [8] ÖVBB:
Richtlinie Faserbeton, Wien, 2008.
- [9] Prüfplan Baustelle: ATC-S21; Kapitel 1.2 Spritzbeton - Konformitätsprüfungen Stand 01.07.2016.
- [10] DB-RIL853-4003:
Ausbau mit Spritzbeton (01.01.2007); DB Netz AG.
- [11] DIN 18551:
Spritzbeton Nationale Anwendungsregeln zur Reihe DIN EN 14487 und Regeln für die Bemessung von Spritzbetonkonstruktionen (02/2010); Beuth Verlag.
- [12] DIN EN 14487:
Spritzbeton Teil 1 (2006): Begriffe Festlegungen Konformität. Deutsche Fassung EN 14487-1 (2005); Beuth Verlag.
- [13] Guirguis, P.:
Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau: Stand der Technik und Beispiele. Tunnel 7/11, S.20-30.
- [14] Höfler, J.; Schlumpf, J.:
Spritzbeton im Tunnelbau. Putzmeister AG, Aichtal, 2. Auflage, 2004.

Zu den Autoren

Dipl.-Ing. (FH) 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

M.Sc. Carsten Nöthlich

Studium der Geowissenschaften (CAU Kiel) und Baustoffingenieurwissenschaft (BUW Weimar); seit 2020 Baustoffingenieur bei der Fa. HOCHTIEF Infrastructure GmbH, TCC-Materials
carsten.noethlich@hochtief.de