

Auskleidung von Stollen in Stahlfaserspritzbeton für die Bundeswehr

LINING OF TUNNELS WITH STEEL FIBRE SHOTCRETE FOR THE GERMAN ARMY

Dipl.-Ing. Marian Grondziel, Vulkan Harex Stahlfasertechnik GmbH & Co. KG, Herne

Im Rheinischen Schiefergebirge wurden im Sprengvortrieb aufgefahrene Stollen in der Weise gesichert und ausgekleidet, daß auf eine dünne erste Schicht unbewehrten Spritzbetons eine zweite Schicht Stahlfaserspritzbeton und als Deckschicht wiederum eine dünne Schicht Spritzbeton ohne Fasern, jeweils im Trockenspritzverfahren, eingebaut wurde.

Zur Anwendung kamen Harex-Stahlfasern, Typ SF 01-32, mit einer Dosierung von 4 Gewichts-Prozenten. Der Aufsatz beschreibt die Bauausführung. Es soll u. a. gezeigt werden, daß für die Anwendung dieser Stahlfaser keinerlei Zusatzgeräte (Vereinzelung- und Dosiergeräte) benötigt werden.

Somit wird der Spritzbetonbetrieb nicht durch Bildung von Stahlfaserigeln und Verstopfern in der Förderleitung gestört bzw. behindert.

Durch die Anwendung des Stahlfaserspritzbetons wurde der Vortrieb beschleunigt, da man auf die aufwendigen Verlegearbeiten der Bewehrungsnetze verzichten konnte.

Tunnels driven by blasting in the Rheinisch slate rock have lately been lagged and lined by a procedure in which, after the application of a thin preliminary layer of sprayed concrete, a thick layer of sprayed steel fibre concrete is deposited (in one or two operations), after which a thin final layer of sprayed concrete is applied. The dry process of concrete spraying is used. Harex steel fibres in a proportion of 4 % by weight are incorporated in the concrete. The present paper will describe the execution of the work. The fibres can be added to the dry mix without requiring special devices for separating and batching them. Spraying is not disturbed and delayed by entanglement of the fibres into lumps nor by obstruction of the delivery pipeline. This method of construction speeds tunnelling progress because it dispenses with the need to install reinforcement, besides reducing the accident hazard for the men on the job. It constitutes a technical advance.

1. Einführung

Beim Auffahren von Tunneln und Hohlräumen wird seit langem überwiegend die Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT) angewendet. Die Eigenschaften des für die alsbaldige Bergsicherung benutzten Spritzbetons lassen sich durch die Zugabe von Stahlfasern wesentlich verbessern /1/; dabei kommt dem vergleichsweise stark erhöhten Arbeitsvermögen gegenüber einem ohne Stahlfasern

bewehrten Spritzbeton eine besondere Bedeutung zu (Bild 1). Des weiteren wurde eine Erhöhung der Erstrißfestigkeit beobachtet.

Der wirtschaftlichen Anwendung von Stahlfasern standen bisher Schwierigkeiten beim Vereinzeln und Dosieren der Fasern entgegen, da übliche aus Stahldrähten hergestellte Fasern zur Bildung von Stahlfaserknäueln neigen und somit ein Verstopfen der Leitung hervorrufen. Dies verursacht hohen

Aufwand an Zeit und Kosten während des Spritzvorganges.

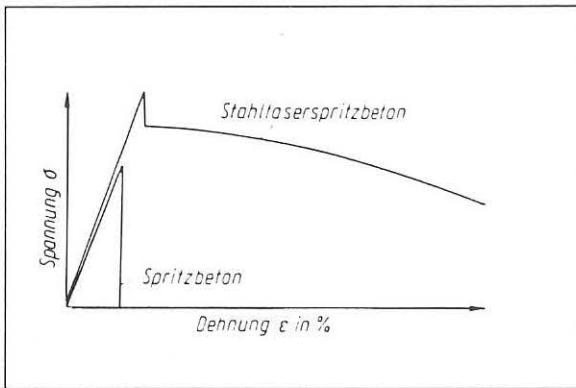


Bild 1: Lastverformungsdiagramm von Spritzbeton und Stahlfaserspritzbeton im verformungsge-regelten Zugversuch. Arbeitsvermögen

$$A = \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon$$

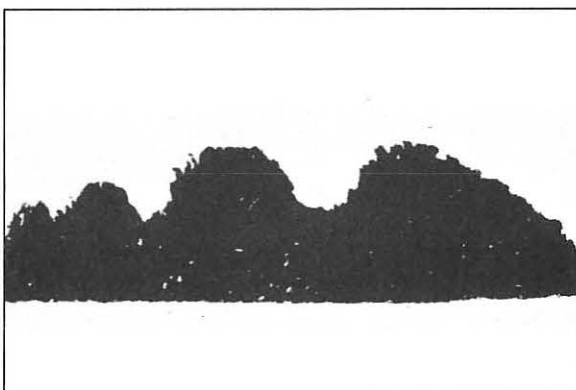


Bild 2: Querschnitt durch eine stark vergrößerte Harex-Faser

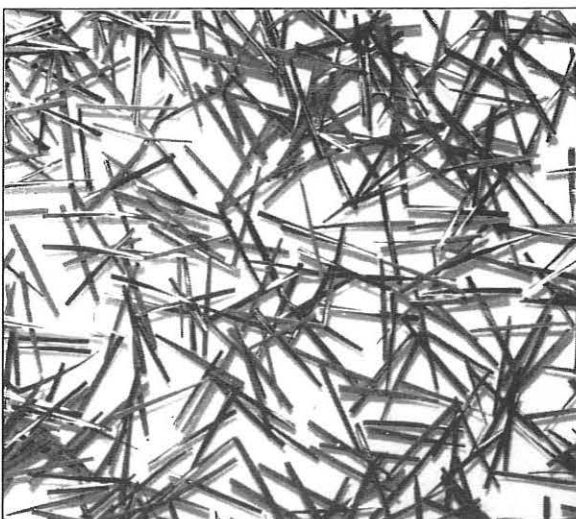


Bild 3: Harex-Fasern, Länge 32 mm

In der Praxis werden Stahlfasern verschiedener Art verwendet. Die seit 1983 auf dem Markt befindlichen patentierten Harex-Stahlfasern werden unmittelbar aus Stahlbrammen gefräst. Sie haben einen dreieckigen Querschnitt mit zwei rauhen und einer glatten Oberfläche (Bilder 2 und 3). Die zusätzliche Verdrillung der Stahlfaser in Längsrichtung bewirkt einen guten Verbund der Faser mit dem sie umgebenden Zementstein. Diese Stahlfasern können ohne Verwendung von Zusatzgeräten in einfacher Weise verarbeitet werden. Im folgenden wird über eine von vielen Praxis-Anwendungen in der BRD berichtet.

2. Bauaufgabe

Im Großraum Koblenz wurden für die Bundeswehr Stollen im Rheinischen Schiefergebirge aufgeföhren. Dieses Gebirge aus unterdevonischen Hunsrückschiefern besteht aus einer eintönigen Folge von gefalteten, geklüfteten und zerbrochenen Tonschiefern, sandigen Schiefern und quarzitäen Sandsteinen mit einem raschen Wechsel der Festigkeit zwischen 10 und 150 N/mm² sowie bevorzugtem Einfallen der Schichtung unter 20 bis 50 Grad. Das Gebirge war für den Ausbruch in folgende Klassen eingeteilt:

1. Ausbruch ohne Bergsicherung möglich,
2. Bergsicherung mit dem Ausbruch abgestimmt, ohne dessen Behinderung,
3. Bergsicherung in geringem Abstand unter entsprechender Behinderung des Ausbruchs,
4. Bergsicherung unmittelbar dem Ausbruch folgend,
5. wie vor, unter Anwendung besonderer Ausbruchverfahren,
6. Ausbruch mit Unterteilung des Querschnitts und mit Bergsicherung der Teilquerschnitte

Beim angewendeten Sprengvortrieb und den Ausbruchquerschnittsflächen von 15 bis 80 m² betrug die Standzeit des Gebirges in der Klasse 2 höchstens 120 Stunden, aber der Klasse 5 nur 4 bis 5 Stunden. Der größte Anteil entfiel auf die Ausbruchklasse 4.

Die Ausführung oblag der Bauunternehmung Müller-Gönnern, Niederlassung Frankfurt a. M. Der Amtsentwurf sah für die Ausbruchklassen 3 und 4 die Auskleidung mit herkömmlich bewehrtem Spritzbeton vor; als Sondervorschlag wurden die Bergsicherung und die Tragschale monolithisch in einem einzigen Arbeitsschritt mit Stahlfaserspritzbeton hergestellt. Die Stollenstrecken der Ausbruchklassen 5 bis 6 wurden mit HEB-Bögen 100 bis 120 in höchstens 1,00 m Abstand gesichert

und die Zwischenräume mit Gittermatten, Typ 10 Bernold 150 x 150, überbrückt, Bögen und Matten mit Pumpbeton hinterfüllt und anschließend mit Spritzbeton abgedeckt.

3. Bauausführung

Stahlfaserspritzbeton wurde bis zur Ausbruchklasse 4 zugelassen. Die ersten 3 cm der insgesamt nur noch 15 cm dicken Schale (Schalendicke der konventionellen Lösung betrug 18 cm) wurden unmittelbar nach dem Ausbruch ohne Fasern aufgetragen. Danach wurde eine 8 cm dicke Schicht Stahlfaserspritzbeton aufgebracht und diese abschließend mit einer 4 cm dicken Deckschicht ohne Fasern versehen, um die Korrosion solcher Stahlfasern zu vermeiden, die aus der Oberfläche herausragen oder zu gering mit Beton überdeckt sind (Bild 4).

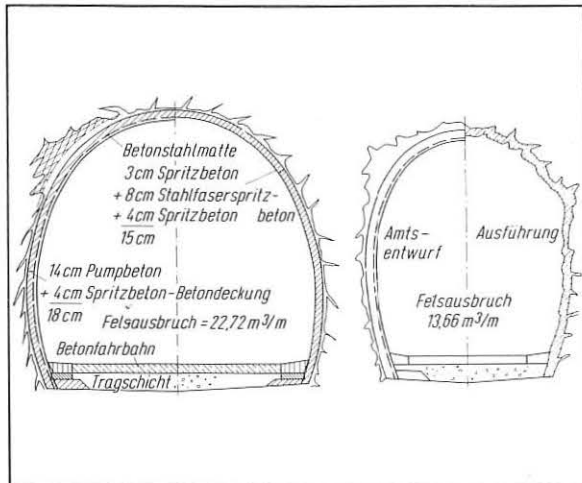


Bild 4: Querschnitt durch den Verkehrsstollen (links) und den Verbindungsstollen (rechts); links jeweils Amtsentwurf, rechts Ausführung. Abschlaglängen beim Vortrieb 2,50 bis 2,70 m

Der Stahlfaserspritzbeton wurde nach dem Trockenspritzverfahren in einer stationären Mischanlage Typ Elba EMC 35 hergestellt. Dabei wurden die Stahlfasern durch eine seitliche Öffnung in einer Zuschlagkammer von Hand in den Zuschlagförderkorb mit dem übrigen Zuschlag eingefüllt. Dies vermied Wartezeiten bei der Zugabe und stellte die genaue Dosierung der Fasern sicher. Sobald das Zuschlaggemisch und die Fasern im Mischer angelangt waren, wurden Zement und Kleber zugegeben. Die Mischzeit betrug etwa zwei Minuten, unabhängig davon, ob das Trockengemisch Stahlfasern enthielt oder nicht.

Für den Spritzbeton und den Stahlfaserspritzbe-

ton war die Betonfestigkeitsklasse B 25 verlangt; 1 m³ Trockengemisch enthielt 400 kg PZ 35 F, Zuschlag der Sieblinie B 8 mit 6 Gewichts-% Eigenfeuchte, 4 Gewichts-% Stahlfasern Harex SF 01-32 und 4 kg Kleber.

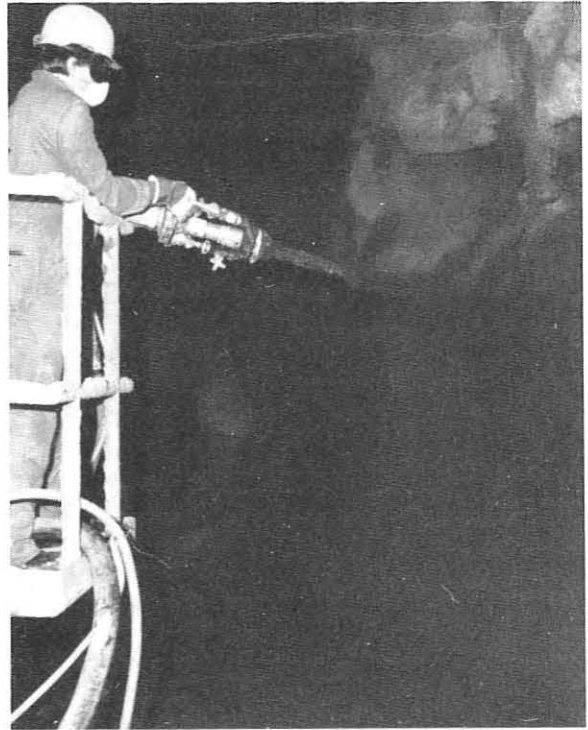


Bild 5: Spritzen einer Ulme mit Stahlfaserspritzbeton

Der fertig gemischte trockene Stahlfaserspritzbeton wurde anschließend mit Fahrmischern vor Ort transportiert und mit einer pneumatisch angetriebenen, nach dem Taschenradprinzip arbeitenden Spritzbetonmaschine Typ GL 406 BSM-Frankfurt verarbeitet. Der Betriebsluftdruck für die Förderung im Dünnstrom betrug 7 bar. Die Schläuche hatten einen Innendurchmesser von 65 mm und waren bis zu 40 m lang. Das Wasser wurde an der Düse durch den Düsenführer zugegeben. Beim Spritzbeton und beim Stahlfaserspritzbeton wurden gleichermaßen 2 bis 2,50 m³ Auftrag je Stunde erzielt. Der Stahlfaserspritzbeton wurde in der Firste in zwei Arbeitsschritten und in der Ulme in einem Arbeitsgang aufgetragen.

Der Rückprall betrug bis zu 35 %; dabei war der Anteil an Fasern geringfügig größer. Diese Werte werden nach dem heutigen Fertigungs- und Kenntnisstand als normal bezeichnet, lassen sich jedoch möglicherweise durch eine Verbesserung von Düsenführung und Maschinenteknik noch senken.

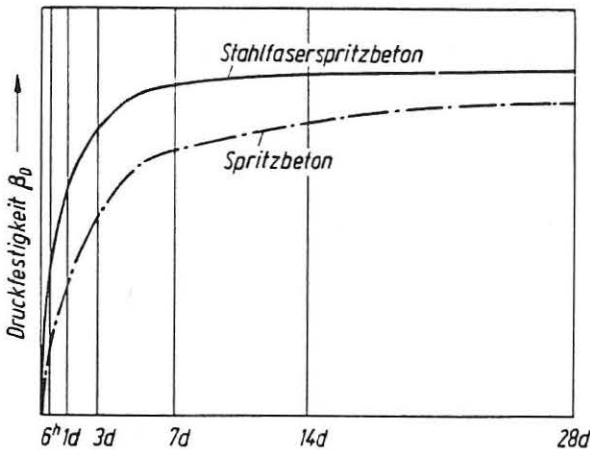
Die Stahlfasern erhöhten den Verbrauch an Verschleißteilen der Spritzbetonmaschinen und an den

Schläuchen während einer 24-monatigen Bauzeit um weniger als 10 % im Vergleich zum Spritzbeton ohne Fasern der ersten Schicht und der Deckschicht. Arbeitsunterbrechungen infolge von Verstopfern oder der Entstehung von Stahlfaser-Igeln traten nicht ein.

Alter (Tage)	Spritzbeton		Stahlfaserspritzbeton	
	7	28	7	28
Druckfestigkeit	36,1	44,4	45,1	55,7
Biegezugfestigkeit	6,3	6,9	7,3	8,8
Spaltzugfestigkeit	3,4	3,9	5,1	5,8

Tab. 1: Festigkeit (N/mm^2) des Spritzbetons und des Stahlfaserspritzbetons mit 4 Gew.-% Harex-Fasern

Das Rückprallgut wurde zur Herstellung des Rohplanums für die Betonfahrbahnen verwendet, so daß der Abtransport keine zusätzlichen Kosten verursachte.



4. Eigenschaften des Baustoffs und Vorteile der Anwendung

Tabelle 1 und Bild 6 zeigen die für die Anwendung zur Bergsicherung besonders wichtige rasche Entwicklung der Festigkeit des Stahlfaserspritzbetons und seine hohen Nennwerte.

Diese Eigenschaften des Baustoffs ermöglichten den beschleunigten Vortrieb der Stollen durch die Einsparung des Bewehrungseinbaus. Die Gefährdung des Vortriebpersonals war geringer. Mehrausbrüche brauchten nicht verfüllt zu werden. Die Gesamtdicken der Schichten von Bergsicherung und Auskleidung ließen sich verringern. Dies brachte mit sich, daß der Aufwand für Bergsicherung und Auskleidung mit Stahlfaserspritzbeton im Vergleich mit der ursprünglich vorgesehenen Bauart einschließlich des Verfüllens der Mehrausbrüche eine Kostenersparnis von nahezu 30 % erbrachte.

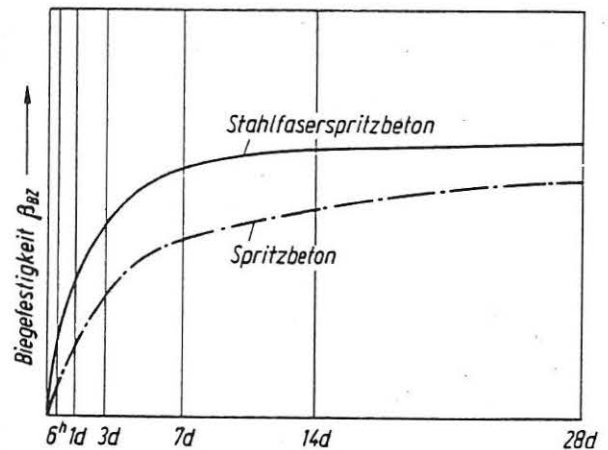


Bild 6: Entwicklung der Druck- und der Biegezugfestigkeit des Spritzbetons und des Stahlfaserspritzbetons mit 4 Gew.-% Harex-Fasern