

Stahlfaserspritzbeton im Berg- und Tunnelbau

STEELFIBRESHOTCRETE IN MINING AND TUNNELING

Dipl.-Ing. R. Amtsbüchler, Blue Circle Cement (Pty) Limited, Johannesburg, Südafrika

Stahlfaserspritzbeton wird zur Zeit ausschließlich im Trockenspritzverfahren in Bergwerken zur Auskleidung und Bergsicherung verwendet.

Zwei Fallstudien beschreiben den Einsatz von Spritzbeton mit Harex-Stahlfaser unter schwierigen Bedingungen:

- a) Nachträgliche Teilauskleidung eines teilweise eingestürzten Förderschachtes in einem Goldbergwerk.
- b) Erstmalige Anwendung zur Herstellung einer abriebsbeständigen Auskleidung von zwei Materialrutschen ("ore pass") 3.770 m unter Tag im tiefsten Goldbergwerk der Welt.

Darüber hinaus wird über Stahlfaserspritzbetonversuche in einem Tunnel (Wasserstollen) berichtet. Auch hier kamen das Trockenspritzverfahren und Harex-Faser zum Einsatz.

The application of steelfibreshotcrete is relatively new in South Africa

Presently only the mining industry is using dry shotcrete for steelfibre linings.

Two case studies describe the use of shotcrete with Harex steelfibre under difficult conditions:

- a) Relining of a partly collapsed shaft in a gold mine.*
- b) First ever abrasion resistant lining of two ore passes 3770 m underground in the deepest gold mine of the world.*

Further a report is given on steelfibre shotcrete tests in a water transfer tunnel.

Again, dry shotcrete was used together with Harex-Fibre

Der Bergbau in den tiefen Goldbergwerken Südafrikas ist heute ohne die Anwendung von Spritzbeton nicht mehr denkbar.

Es wird überwiegend mit dem Trockenspritzverfahren gearbeitet. Seit relativ kurzer Zeit ersetzt man in manchen Fällen die Netzbewehrung mit Stahlfaserbewehrung.

Die folgenden zwei Fallstudien beschreiben die erfolgreiche Anwendung von Stahlfaserspritzbeton unter schwierigen Bedingungen.

1. Auskleidung eines teilweise eingestürzten Förderschachtes im Stilfontein Goldbergwerk - Westtransvaal

Der Margaret-Schacht mit einer Tiefe von 1346 m ist ein älterer, unausgekleideter rechteckiger Schacht mit einem hölzernen Schachtausbau. Im April 1988 kam es unterhalb Sohle 14 (auf 1136 m Tiefe) zu einem teilweisen Einsturz. 15.000 Tonnen Fels lösten sich auf einer Länge von 30 m und stürzten zur Schachtsohle. Dabei wurde der gesamte Schachtausbau unterhalb Sohle 14 zerstört.

Die Bergwerksgesellschaft entschloß sich, den Ausbruch zu sichern und den Schacht zwischen Sohle 14 und 15 (auf 1195 m Tiefe) mit Beton auszukleiden (Ausbaulänge von 56 m).

Zur Auskleidung sollte Stahlfaserspritzbeton (30 N/mm²) eingesetzt werden - die günstigste Lösung bezüglich Arbeitsaufwand und Sicherheit.

Der Auftrag für diese Arbeit wurde an Shaftsinkers (Pty) Ltd. vergeben, eine Firma, die sich auf das Abtäufen von Schächten, Bergwerkserschließung und Tunnelbau spezialisiert hat.

Nach dem Ausräumen des Schachtes wurden die Ausbruchstelle sowie die restliche Schachtlänge zwischen Sohle 14 und 15 mit 8 bis 12 m langen Felsankern gesichert. Danach konnte der neue Schachtausbau aus Stahl vorgenommen werden. Die Auskleidung zwischen Sohle 14 und 15 erfolgte dann mittels Stahlfaserspritzbeton "fibrecrete" von Arbeitsbühnen oder einem offenen Förderkorb aus. Von Sohle 14 aus wurde bis zu einer Tiefe von 45 m ausgekleidet, wobei das Trockenspritzgut durch eine ø 50 mm Rohrleitung gefördert wurde. Die verbleibenden 11 m Auskleidung wurden dann von Sohle 15 aus vorgenommen.

"Abstands Nägel" wurden eingesetzt, um die gewünschte Mindestauskleidungsstärke von 50 mm sicherzustellen.

Zwei Meyco-Piccola 022 Spritzmaschinen, eine davon als Reserve, standen zur Verfügung.

Die Maximalleistung pro Tagesschicht betrug 61 Tonnen Stahlfaserspritzbetongut, was einer Einbaumenge von etwa 20 m³ Stahlfaserspritzbeton entspricht (noch immer eine erstaunliche Leistung unter den schwierigen Einbaubedingungen).

Das gesamte Trockenspritzgut wurde vorverpackt in 30 kg Säcken angeliefert. Jeder Sack enthielt gewaschenen Betonsand aus Granit (0/6,7 mm) mit 4 - 6 % Feuchte, Zement und Microsilica in wasserdichter Verpackung sowie Harex-Stahlfaser in getrennter Verpackung.

Die jeweils erforderliche Menge Sackware wurde am Boden mit Schaufeln gemischt. Anschließend wurde die Spritzbetonmaschine mittels Förder-schnecke beschickt.

Insgesamt wurden 830 Tonnen Stahlfaserspritzgut "fibrecrete" für Schachtauskleidung und 1660 Tonnen Trockenspritzgut "drycrete" für Felssicherung verarbeitet. Im Durchschnitt ergaben 76 Säcke zu 30 kg einen Kubikmeter eingebauten Spritzbeton, wobei allerdings 100 Säcke verspritzt werden mußten, da 24 Säcke (24 %) als Rückprall verloren gingen.

Die gesamte Einbaumenge im Margaret-Schacht betrug 277 m³ Stahlfaserspritzbeton und 553 m³ Trockenspritzbeton.

Stahlfaserspritzbeton (30 N/mm²):

Die normale Faserdosierung (gefräste Harex-Faser SF01-32) betrug 0,9 kg Faser pro 30 kg Sack, also 3 Gew.-% (etwa 70 kg/m³).

Am 14. Dezember 1988 wurden Spritzversuche mit 4 % Fasergehalt (etwa 95 kg/m³) und Flugaschzement (PC15FA) gemeinsam von Blue Circle Cement (BCC) und Shaftsinkers unter Tag durchgeführt /1/.

Der gewöhnliche Trockenspritzbeton "drycrete" war schon im Oktober 1988 von BCC an Hand von Bohrkernen aus Spritzkisten getestet worden /2/.

	~ kg/m ³	AUSKLEIDUNGSBETON		DRYCRETE
		O-BETON	FASER	
PC15FA *		455	455	-
RHC **		-	-	475
MICROSILICA (10-11X)		55	55	55
HAREX SF 01-32 (4%)		-	95	-
BETONSAND 0/6,7mm - FEUCHT		1750	1750	1750
DRUCKFESTIGKEIT (28d) IN SPRITZRICHTUNG, ø 90mm N/mm ²		35,0	39,3	43,0
SPALTZUGFESTIGKEIT (28d) ø 55mm		3,0	3,7	3,1

* Flugaschzement/BCC Industria, 15% FA
Normdruckfestigkeit (28d) : 44 MPa, Spez. Oberfläche : 300 m²/kg

** Rapid Hardening Cement/BCC Lichtenburg
Normdruckfestigkeit (28d) : 56 MPa, Spez. Oberfläche : 453 m²/kg

Bild 1: Betonrezepturen und Festigkeiten

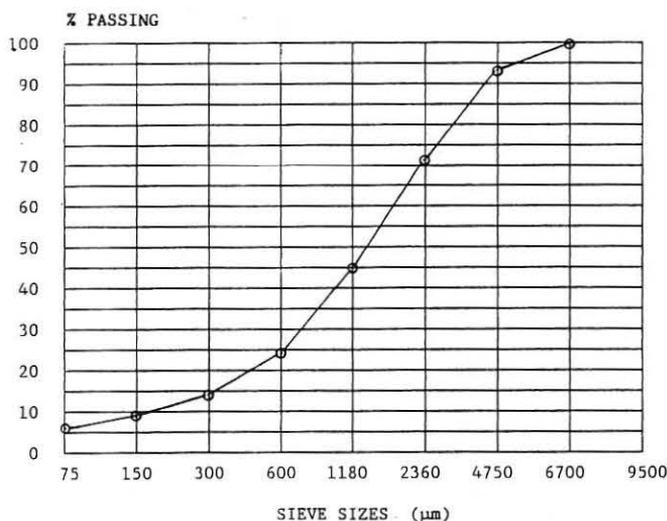


Bild 2: Korngrößenverteilung des Betonsandes 0/6,7 mm

Diese Versuchsserie bestätigte frühere gute Spritzbetonresultate mit Flugaschzement (FAZ). Auffallend war die Rückprallverminderung, wenn FAZ und Microsilica zusammen eingesetzt wurden.

Es erscheint daher empfehlenswert, Stahlfaserspritzbeton mit FAZ und Microsilica herzustellen, da Stahlfasern in der Regel die Rückprallneigung eines Spritzbetons erhöhen /3/.

Die hohe Faserdosierung von über 90 kg/m^3 war problemlos, und es kam zu keiner Igelbildung. Alle Bohrkerns zeigten eine gute Faserverteilung. Die Spaltzugfestigkeit des Stahlfaserspritzbetones lag um 23 % höher als die des 0-Betones.

"Drycrete" und "fibrecrrete" waren beim Margaret-Schacht in der Regel mit "Rapid Hardening Cement" hergestellt worden. Die guten Druckfestigkeitsresultate der Versuchsserie bestätigten, daß es nicht notwendig war, "Rapid Hardening Cement" zu verwenden, der eine Festigkeitsklasse über dem Flugaschzement lag.

Zusammenfassung:

Mit FAZ hergestellter Trockenspritzbeton zeigte ein gut verdichtetes, homogenes Gefüge. Bemerkenswert war die Rückprallverminderung, die durch die gemeinsame Verwendung von Flugasche und Microsilica erreicht wurde. Diese Rückprallverminderung ist von ausschlaggebender Bedeutung für den kostengünstigen Einsatz von Stahlfaserspritzbeton /3/.

2. Abriebbeständige Auskleidung zweier Materialrutschen 3770 m unter Tag beim Nr. 3 Schacht, Western Deep Levels Goldbergwerk - Westtransvaal

Western Deep Levels mit über 4000 m Tiefe ist das tiefste (Gold-)Bergwerk der Welt.

Nr. 3 Schacht, bestehend aus Haupt- und 2 Nebenschächten untereinander, ist einer der Förder-schächte dieser Bergwerksanlage.

Wie in den meisten Goldbergwerken Südafrikas werden Abraum und goldhaltiges Gestein (= Reef) durch ein System von Materialrutschen ("ore passes", bergmännisch: Rolllöcher) zur Schachtsohle gebracht, von wo der vollautomatische Transport zur Oberfläche erfolgt.

Diese Rolllöcher, im Bohr- und Sprengvortrieb hergestellt, müssen je nach Bedarf ausgekleidet werden, um den Gebirgsdruck aufzunehmen und Abrieb sowie Schlagbeanspruchung zu widerstehen. Im Regelfall erfolgt diese Auskleidung in Ort-betonbauweise, wobei Zuschläge aus Andesit (= hartes Ergußgestein) verwendet werden.

Um die Ausbaugeschwindigkeit zu erhöhen,

wurden Versuche mit Spritzbeton und Andesitzuschlägen von Shaftsinkers und Blue Circle Cement (BCC) durchgeführt /4/.

Nach dem Vorliegen der ersten Ergebnisse entschloß man sich 1989, zwei Rolllöcher beim Nr. 3 Schacht zwischen Sohle 120 (auf 3700 m Tiefe) und Sohle 122 (auf 3770 m Tiefe) erstmals in Stahlfaserspritzbetonbauweise auszukleiden. Diese Arbeit wurde an Shaftsinkers vergeben, wobei die Methode: "Raiseboring and subsequent slipping" vorgeschrieben wurde.

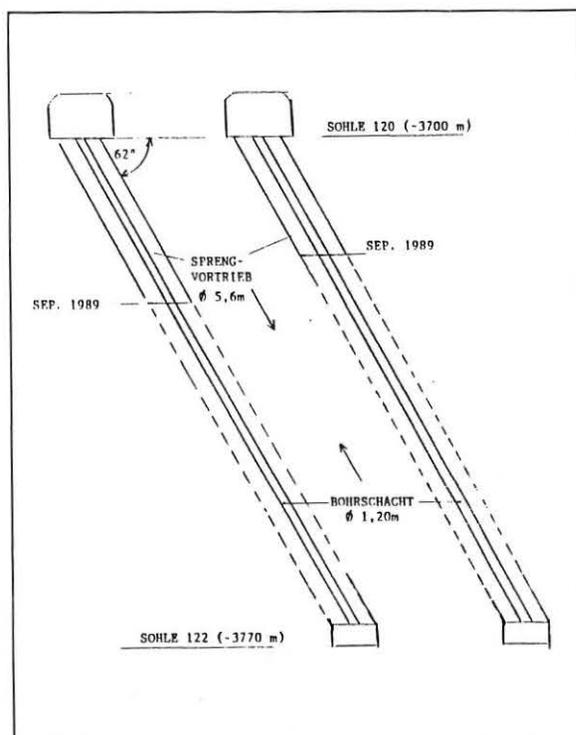


Bild 3: Rolllöcher beim Nr. 3 Schacht

Zuerst wurden zwei schräge Bohrschächte $\phi 1,20 \text{ m}$ ($l = 74 \text{ m}$) von der tieferen Sohle 122 zur Sohle 120 nach oben getrieben. Zur Zeit erfolgt die Erweiterung dieser Bohrschächte auf einen Durchmesser von $5,60 \text{ m}$ im Sprengvortrieb von Sohle 120 aus hinunter zur Sohle 122. Dieser Vortrieb verläuft in $2,00 \text{ m}$ Abschnitten, wobei der Abraum durch den Bohrschacht geworfen wird. Das relativ brüchige Gestein ("Jeppes" Schiefer) steht unter einem gewaltigen Gebirgsdruck und muß sofort durch $4,00 \text{ m}$ lange 40 t Spannanker (vorgespannt auf 20 t) und $2,00 \text{ m}$ lange gewöhnliche Felsanker gesichert werden. Diese Felsanker dienen auch der Befestigung eines Baustahlgitters, das aus Sicherheitsgründen eingebaut werden muß.

Unmittelbar nach Sicherung eines $2,00 \text{ m}$ Abschnittes erfolgt die Auskleidung mit Stahlfaserspritzbeton (geforderte Druckfestigkeit: $50 - 60 \text{ N/mm}^2$).

Die Auskleidungsstärke beträgt 300 mm für die Sohle (1/3 des Umfanges) und 150 mm für das Hangende (2/3 des Umfanges). Tetraeder aus Stahlrahmen werden in regelmäßigen Abständen eingespritzt, um die Ausbaustärke zu gewährleisten (später kann so auch der Abnutzungsgrad festgestellt werden).

Auf Sohle 120 in 3700 m Tiefe befindet sich pro Rolloch eine stationäre Spritzmaschine Menadier GM57, von der das Trockenspritzgut durch \varnothing 50 mm Rohrleitungen zur Spritzdüse gefördert wird. Die durchschnittliche Leistung pro Spritzmaschine und 8-Stunden Schicht beträgt 30 t Stahlfaserspritzgut, was einer Einbaumenge von etwa $9,0 \text{ m}^3$ Stahlfaserspritzbeton entspricht.

Die Materialzufuhr über die 3 Förderschächte muß genau vorgeplant werden. Das Trockenspritzgut wird vorverpackt in 30 kg Säcken angeliefert. Jeder Sack enthält Andesit-Brechsand (4 - 6 % Feuchte), 9,5 mm Andesit-Kantkorn, Zement und Microsilica in wasserdichter Verpackung sowie Harex-Faser in getrennter Verpackung.

Das Stahlfaserspritzgut wird am Boden mit Schaufeln gemischt und mittels Förderschnecke den Spritzbetonmaschinen zugeführt. Im Gegensatz zum Margaret-Schacht, wo 76 Säcke einen Kubikmeter Beton ergaben, sind bei Western Deep Levels 91 Säcke zu 30 kg erforderlich, da Andesit ein hohes spez. Gewicht von 2,89 hat. Das relativ fette Gemisch (hoher Zement- und Microsilicagehalt) reduziert den Rückprall in der Regel auf 17 %, so daß pro Kubikmeter Stahlfaserspritzbeton nur 110 Säcke verspritzt werden müssen (19 Säcke Rückprallverlust).

Stahlfaserspritzbeton (50 - 60 N/mm²)

Faserdosierung: 0,9 kg gefräste Harex-Faser SF 01-32 pro 30 kg Sack, also 3 Gew.-% (etwa 80 - 85 kg/m³).

Vorversuche, die von Shaftsinkers durchgeführt worden waren, ergaben die endgültige Spritzbetonzusammenstellung.

	ORE-PASS
RHC * $\sim \text{kg/m}^3$	675
MICROSILICA (11%)	80 - 85
HAREX SF 01-32 (3%)	80 - 85
BRECHSAND \varnothing /4,75mm - FEUCHT	1265 (66%)
ANDESIT-KANTKORN 9,5 mm	655 (34%)

		ORE-PASS
DRUCKFESTIGKEIT IN SPRITZRICHTUNG, \varnothing 90 mm		
7d	N/mm ²	56,5
14d		70,5
28d		79,0
56d		82,5
SPALTZUGFESTIGKEIT \varnothing 55 mm		
7d	N/mm ²	4,2
28d		5,8
56d		-

Bild 4: Betonrezeptur und Festigkeiten

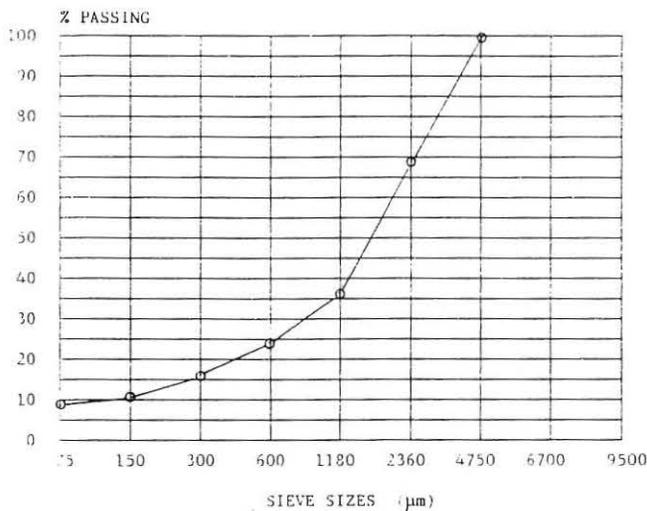


Bild 5: Korngrößenverteilung des Brechsandes 0/4,75 mm

Zusammenfassung:

Die hohe Frühfestigkeit des Stahlfaserspritzbetons, die auch in der Literatur berichtet wird /3/, erwies sich als äußerst günstig, da der Spritzbeton nach 8 Stunden Bohr- und Sprengerschütterungen ausgesetzt ist.

Stahlfaserbetonprobekörper aus Spritzkisten wurden darüber hinaus beim "Portland Cement Institute" erfolgreich auf Schlagfestigkeit geprüft.

Zusätzlich wurde ein in Südafrika entwickelter "silicon carbide grit"-Abriebtest durchgeführt. Mit einem Abrieb von unter 1,00 mm konnten ähnliche Werte wie bei Korund (Härte 9) erreicht werden /5/.

Nach Fertigstellung der Stahlfaserauskleidungen in Spritzbetonbauweise wird die harte Praxis zeigen, ob die beiden Rollöcher zwischen Sohle 120 und 122 allen Anforderungen gerecht werden können.

* Rapid Hardening Cement / BCC Lichtenburg

Stahlfaserspritzbetonversuche im Ecça-Wasserstollen

Das staatliche "Lower-Fish" Bewässerungsschema liegt im Ost-Kap und formt einen Teil des Oranje-Fluß-Entwicklungsprojektes.

Im Zuge dieses Bewässerungsschemas wurde der 5032 m lange Fisch-Ecça-Wasserstollen im Sprengvortrieb vorgetrieben. Dieser Stollen mit einem Hufeisenprofil (4 m weit und 3,5 m hoch) mußte zu 25 % mit Spritzbeton ausgekleidet werden. Zwischen Februar und April 1989 wurden Spritzbetonversuche gemeinsam von der südafrikanischen Wasserbehörde und Blue Circle Cement durchgeführt /6/. Neben dem Einfluß von verschiedenen Kornzusammensetzungen des Spritzgutes wurden Flugasche, Microsilica sowie pulverige und flüssige Erstarrungsbeschleuniger getestet. Darüber hinaus wurde auch Stahlfaserspritzbeton untersucht. Über diese Versuche soll berichtet werden.

Trockenspritzbeton (25 N/mm²)

1. Versuchsserie:

Als Ausgangspunkt diente die Standardmischung der Wasserbehörde für dieses Tunnelprojekt. Zunächst erfolgten Reaktionsuntersuchungen der Zement-Beschleuniger-Kombinationen mit der modifizierten Vicat-Prüfung sowie der \varnothing 9 mm Eindringnadel im Labor. Um die Frühfestigkeitsentwicklung an Ort und Stelle zu prüfen, wurden auch Eichkurven für die \varnothing 3,5 mm Eindringnadel und die Setzbolzenmethode (HILTI) erstellt /7/. Danach erfolgte die praktische Erprobung zwischen Kilometrierung 2050 und 2020 (vom Nordportal).

Der im Ecça-Tunnel verwendete Spritzbeton zeigte eine relativ hohe Rückprallneigung - besonders das plattige 9,5 mm Kantkorn. Da dies sehr nachteilig für Stahlfaserspritzbeton ist, wurde versucht, die Ausgangsmischung durch den Einsatz von Flugasche und Microsilica zu verbessern.



Bild 6: (Ecça Stollen) Trockenspritzen

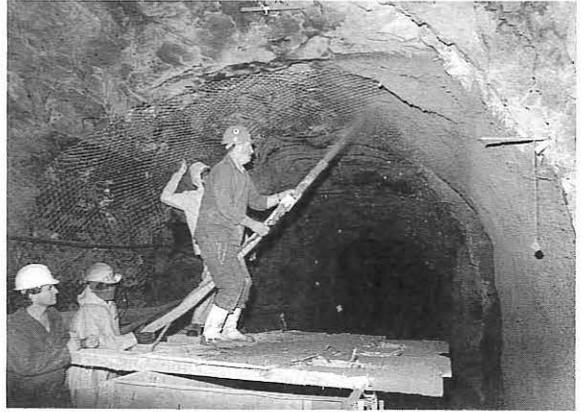


Bild 7: (Ecça Stollen) Trockenspritzbeton

	~ kg/m ³	1. VERSUCHSSERIE		
		STANDARDMISCHUNG	0-BETON	FASER
ZEMENT*		445	335	335
FLUGASCHEN ** (15%)		-	65	65 445
MICROSILICA (10%)		-	45	45
HAREX SF 01-32 (4%)		-	-	100
FÜLLER SAND - FEUCHT		440 (30%)	440	440
BRECHSAND 0/6.7 mm FEUCHT***		805 (55%)	805	805
9,5 mm KANTKORN***		220 (15%)	220	150
ERSTARRUNGSBESCHLEUNIGER		JE NACH BEDARF		

* Ordinary Portland Cement/PPC Port Elizabeth
Normdruckfestigkeit (28d) : 34 MPa, Spez. Oberfläche : 335 m²/kg

** Steinkohlenflugasche - windgesichtet
90% < 45 micron, Glühverlust < 1,0%

*** Quarzitz

Bild 8: Betonrezepturen

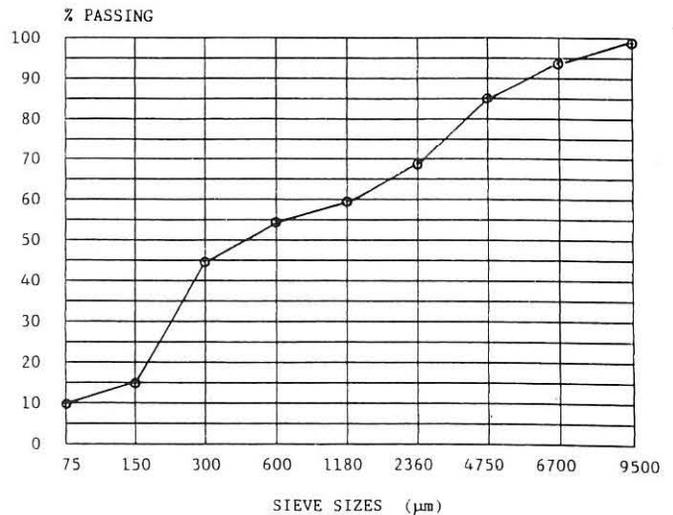


Bild 9: Korngrößenverteilung für Standardmischung und Nullbeton

Die Mischung des Trockenspritzgutes erfolgte außerhalb des Stollens beim Nordportal in einem 250 l Freifallmischer. Zement, Flugasche, Microsilica und Stahlfaser wurden gewichtsmäßig, alle Zu-

schläge volumetrisch mittels Schubkarren dosiert (Füller und Brechsand mit $\pm 3\%$ Feuchte).

Das vorgemischte Trockenspritzgut wurde dann mittels Loren in den Stollen transportiert und direkt in die Trockenspritzmaschine vom Typ Turner-Morris geschaufelt. Pulverige Beschleuniger wurden mittels "Schöpfkellenmethode" beigegeben, flüssige Beschleuniger mittels Dosierpumpe.

Der Nullbeton der Versuchsserie, bei dem ein Teil des Zementes direkt gegen Flugasche (15 %) und Microsilica (10 %) ausgetauscht worden war, zeigte eine geringere Rückprallneigung sowie einen niedrigeren Wasseranspruch (bedingt durch die wassereinsparende Wirkung der feinen Flugasche) als die Standardmischung. Dieser Trockenspritzbeton diente als Ausgangsmischung für den Stahlfaserspritzbeton, wobei der Anteil an 9,5 mm Kantkorn um 1/3 verringert wurde, da diese Kornfraktion die größte Rückprallneigung zeigte. Die Vormischung des Trockenspritzgutes mit der relativ hohen Faserdosierung von 100 kg/m^3 erfolgte problemlos und es kam zu keiner Igelbildung.



Bild 10: (Ecca Stollen) Stahlfaserspritzbeton

Auch das Auftragen des Stahlfaserspritzbetones selbst über Kopf an der Firste - war relativ problemlos. Die Reduzierung des 9,5 mm Kantkornes brachte die erwünschte Rückprallverminderung. Als nachteilig zeigte sich das Fehlen von "Abstandsnägeln" - die Düsenführer hatten Schwierigkeiten, die Stärke des aufgetragenen Spritzbetones abzuschätzen. Darüber hinaus traten mechanische Probleme mit der Spritzmaschine vom Typ Turner-Morris auf.

Die Bewertung des Spritzbetones erfolgte an Hand von Bohrkernen und Balken, die aus Spritzkisten gesägt wurden.

Die nachfolgende Tabelle enthält nur Resultate von Spritzbeton ohne Beschleuniger.

	STANDARDMISCHUNG	1. VERSUCHSSERIE	
		0-BETON	FASER
DRUCKFESTIGKEIT IN SPRITZRICHTUNG, $\varnothing 90 \text{ mm}$			
7d	N/mm^2	26,0	30,0
28d		36,5	47,0
56d		43,0	53,0
SPALTZUGFESTIGKEIT, $\varnothing 55 \text{ mm}$			
28d	N/mm^2	3,3	4,3
BIEGEZUGFESTIGKEIT $400 \times 100 \times 100 \text{ mm}$			
28d	N/mm^2	-	7,45

Bild 11: Spritzbetonfestigkeiten (ohne Beschleunigerzugabe)

Mit den zur Verfügung stehenden Prüfeinrichtungen konnten Arbeitsvermögen und "Flexural Toughness" (nach ASTM C1018-85) leider nicht bestimmt werden.

Die Auswertung der Resultate ergab folgendes Bild:

Die hohe Faserdosierung von 100 kg/m^3 zeigte eine nicht erwartete Zunahme an Druckfestigkeit. Die Spaltzugfestigkeit des Stahlfaserspritzbetones lag um 43 % höher als die des Nullbetones.

Die relativ hohe Biegezugfestigkeit (16 % der Druckfestigkeit) kann u. U. auf die gemeinsame Verwendung von Microsilica und Stahlfasern zurückgeführt werden /8/.

Der Austausch von Zement gegen Flugasche beeinflusste die Frischbetoneigenschaften positiv, brachte aber nicht die erwartete zusätzliche Zunahme an Spätfestigkeit (56 d). Das kann einerseits auf die gute Spätfestigkeit des Zementes selber zurückgeführt werden, andererseits hat das Microsilica (hohe Dosierung von 10 %) vermutlich mit dem vorhandenen Ca(OH)_2 reagiert.

Bemerkenswert war die gute Faserverteilung in allen Bohrkernen und Balken. Nach dem Vorliegen aller 28 Tage-Resultate wurde eine 2. Versuchsserie durchgeführt.

2. Versuchsserie:

Ziel dieser Versuche war in erster Linie eine Kostenoptimierung. Darüber hinaus sollte die Mischzusammenstellung vereinfacht werden. Die neue Spritzbetonrezeptur mußte auch für Stahlfaser geeignet sein.

Folgende Veränderungen wurden vorgenommen: Der relativ teure Füllersand sowie das von der Handhabung her komplizierte Microsilica wurden

weggelassen. Der Bindemittelgehalt wurde um 9 % verringert. 21 % des Zementes wurden durch preisgünstige Flugasche ersetzt. Der Gehalt an 9,5 mm Kantkorn wurde verringert.

		2. VERSUCHSSERIE	
		0-BETON	FASER
ZEMENT *	~ kg/m ³	320	320
FLUGASCHE (21%)		35	35
HAREX SF 01-32 (4%)		-	100
BRECHSAND 0/6,7 mm - FEUCHT - 38%		1540	1540
9,5mm KANTKORN - 12%		210	210
ERSTARRUNGSBESCHLEUNIGER		JE NACH BEDARF	

* OPC/PPC Port. Elizabeth

Bild 12: Betonrezepturen

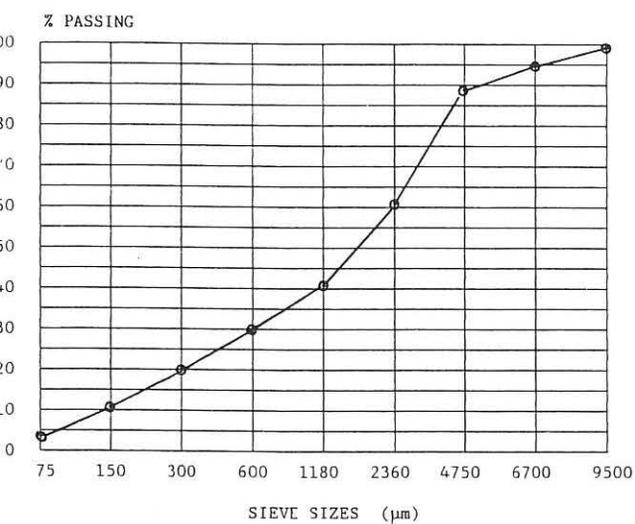


Bild 13: Korngrößenverteilung

Nach Ermittlung neuer Eichkurven für die \varnothing 3,5 mm Eindringnadel und die Setzbolzenmethode (HILTI) erfolgte die praktische Erprobung bei Kilometrierung 1525.

Das Vormischen des Trockenspritzbetones erfolgte wie bei der 1. Versuchsserie außerhalb des Stollens in einem Freifallmischer.

Der Spritzbeton ohne Füllersand und mit reduziertem 9,5 mm Kantkorn zeigte eine niedrige Rückprallneigung und gute Verdichtbarkeit.

Nach dem Auskleiden eines Stollenabschnittes mit gewöhnlichem Trockenspritzbeton wurden 100 kg/m³ Harex-Faser dem Trockenspritzgut beigegeben. Das Vermischen war wieder problemlos (Bohrkerne und Balken zeigten später ebenfalls eine gute Faserverteilung).

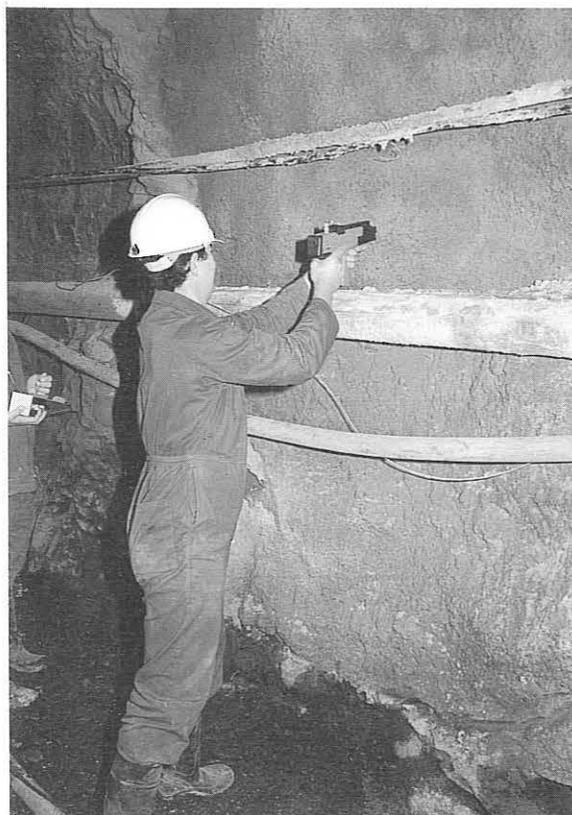


Bild 14: (Ecca Stollen) In-situ Druckfestigkeitsbestimmung

Beim Auftragen des Stahlfaserspritzbetones traten neuerdings Probleme mit der Turner-Morris Spritzbetonmaschine auf. Die Stahlfaserspritzbetonversuche wurden daher bis zum Eintreffen einer Meyco Piccola 022 Spritzbetonmaschine abgebrochen. Mit diesem Maschinentyp konnten die Versuche problemlos abgeschlossen werden. Der hohe Fasergehalt von 100 kg/m³ bereitete keine Schwierigkeiten und der Rückprall war erstaunlich niedrig.

Die Auswertung dieser Versuchsserie erfolgte an Hand von Bohrkernen und Balken, die aus Spritzkisten gesägt wurden.

Die Auswertung der Resultate ergab folgendes:

Die Faserbeigabe bewirkte diesmal keine Zunahme an Druckfestigkeit (in-situ Druckfestigkeitsermittlungen können auch bei Stahlfaserspritzbeton mit der Setzbolzenmethode durchgeführt werden).

Der hohe Flugaschengehalt von 21 % bewirkte eine gute Festigkeitszunahme zwischen 28 und 90 Tagen - 35 zu 37 %.

Die Spaltzugfestigkeit des Stahlfaserspritzbetones

lag um 20 % höher als die des Nullbetones, während die Biegezugfestigkeit von 3,6 N/mm² bei 12 % der Druckfestigkeit lag.

		2. VERSUCHSSERIE	
		0-BETON	FASER
DRUCKFESTIGKEIT IN SPRITZRICHTUNG, Ø 90 mm			
7d	N/mm ²	21,0	20,5
14d		24,0	-
21d		28,5	-
28d		30,0	30,0
56d		35,5	(31,5)
90d		40,5	41,0
SPALTZUGFESTIGKEIT, Ø 55 mm			
28d	N/mm ²	2,5	3,0
BIEGEZUGFESTIGKEIT 420 x 100 x 100 mm			
28d	N/mm ²	-	3,6

Bild 15: Spritzbetonfestigkeiten (ohne Beschleunigerzugabe)

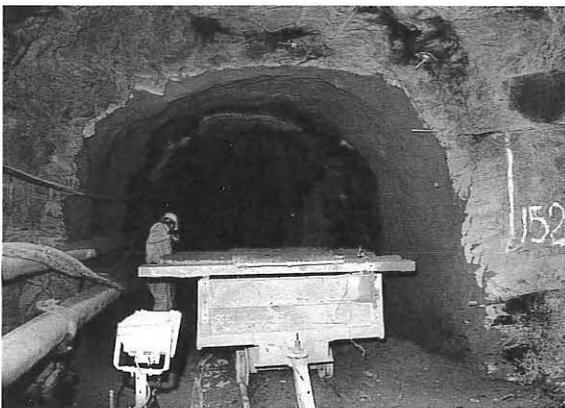


Bild 16: (Ecca Stollen) Spritzbetonauskleidung

Zusammenfassung:

Stahlfaserspritzbeton für Stollenauskleidung:

Gefräste Harex-Stahlfaser kann selbst mit einer hohen Dosierung von 4 Gew.-% problemlos verarbeitet werden. Die Ausgangsmischung muß allerdings eine niedrige Rückprallneigung haben.

Die Verwendung von Flugasche und/oder Microsilica als Teil des Bindemittels erscheint daher empfehlenswert. Düsenführer benötigen keine besondere Einschulung. "Abstandsnägel" müssen verwendet werden, um die gewünschte Auskleidungsstärke sicherzustellen. Nicht alle Trockenspritzmaschinen eignen sich für die Verarbeitung von Stahlfaserspritzbeton.

Das Korrosionsverhalten der Stahlfaserspritzbetonauskleidung wird zu einem späteren Zeitpunkt an den beiden Testabschnitten im Ecca-Tunnel untersucht werden.

3. Literatur

- /1/ **BCC Report:**
Shotcrete with Harex Steelfibre, Part III, 1989/01/27.
- /2/ **BCC Report:**
Drycrete Evaluation, 1988/11/23.
- /3/ **Schmidt, M.:**
Stahlfaserspritzbeton. beton 9/83, S. 333-337.
- /4/ **BCC Reports:**
High Strength Shotcrete, 1989/03/01.
Steel Fibre Shotcrete, 1989/04/12.
- /5/ **Portland Cement Institute:**
Interim Lab Report, Ref. 191/89/NPD/jn, 1989/04/21.
- /6/ **BCC - Technical Reports:**
BCC - Technical Reports on Shotcrete Tests at the Ecca Water Transfer Tunnel near Grahamstown, Parts I, II and III, 1989.
- /7/ **Kusterle, W.:**
Frühfestigkeiten des Spritzbetons, Spritzbeton-Technologie, Fachtagung - Innsbruck, 1985.
- /8/ **Bramshuber, W.:**
Faserbeton. Wildegger Kurse 1988, Kurs 23.