
TEXTILBEWEHRTER SPRITZBETON ZUR BAUWERKSVERSTÄRKUNG

TEXTILE REINFORCED SPRAYED CONCRETE FOR STRENGTHENING OF EXISTING STRUCTURES

Dr.-Ing. Christoph **Hankers**, Torkret AG, Essen, Deutschland
Dipl.-Ing. Dirk **Matzdorff**, planzwo GmbH, Hamburg, Deutschland

Textilbewehrter Spritzbeton zur Bauwerksverstärkung kam in Deutschland erstmalig 2006 bei der Verstärkung der Hyparschale des Hörsaals der Fachhochschule in Schweinfurt zum Einsatz. Im Oktober 2008 wurde das Tonnengewölbe des Finanzamtes in Zwickau mit dem gleichen Verfahren verstärkt. Bei der Herstellung der textilbewehrten Verstärkungsschicht werden abwechselnd feiner Spritzmörtel und textile Bewehrung in mehreren Lagen auf einen vorhandenen Stahlbetonuntergrund aufgebracht. Die Dicke der Verstärkungsschicht ergibt sich aus der Anzahl der aufgespritzten Lagen und lag bei den o. a. Verstärkungsmaßnahmen bei 1,5 - 2 cm. Die Vorteile des textilbewehrten Spritzbetons sind das geringe Eigengewicht der Verstärkungsschicht, die Unempfindlichkeit gegen Korrosion und dass sich die Verstärkungsschicht der vorgegebenen Bauteilgeometrie optimal anpassen lässt.

For the shell structure of the auditorium of the FH Schweinfurt in 2006, textile reinforced shotcrete was executed in Germany for the first time as a strengthening method. Two years later the barrel vault of the local tax office in Zwickau was strengthened with the same method. In the production process of the textile reinforced strengthening layer, gunite and textile reinforcement are applied alternatively on an existing concrete structure. The thickness of the strengthening layer evolves from the number of sprayed layers and adds up to 15 to 20 mm in the above mentioned examples. The advantages of the textile reinforced shotcrete are its low dead weight, its excellent passivity against corrosion and the fact that the strengthening layer adapts to the existing component geometry in the best way.

1. Einleitung

Klassischer Spritzbeton in Kombination mit Stahlbewehrung ist seit Jahrzehnten ein bewährter Baustoff für die Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbetonbauwerken. Besonders der verfahrensbedingte gute Verbund zwischen Spritzbeton und Untergrund ist ein Entscheidungskriterium für diesen Baustoff. Bei der Instandsetzung wird Spritzbeton zum vorbeugenden Schutz vor Karbonatisierung des Betons eingesetzt. Wenn die Tragfähigkeit vorhandener Stahlbetonbauteile nicht ausreichend ist, kommt Spritzbeton und Stahlbewehrung als Querschnittsergänzung zur Erhöhung der Biege- und Schubtragfähigkeit sowie zur Erhöhung der Drucktragfähigkeit von Stützen zur Anwendung [1, 2]. Dabei ist der passive Schutz der ergänzten Stahlbewehrung vor Korrosion durch eine ausreichende Betonüberdeckung erforderlich. Dies führt zu entsprechenden Auftragsstärken des Spritzbetons, die bei einer Lage Stabstahl bei ca. 6-8 cm und bei mehreren Lagen über 10 cm liegen können. Eine Erhöhung des Eigengewichts der Gesamtkonstruktion und eine Querschnittsvergrößerung sind die Folge.



Bild 1: Hyparschale FH Scheinfurt



Bild 2: Tonnengewölbe Finanzamt Zwickau

Textile Bewehrungen haben hier einen entscheidenden Vorteil. Im Gegensatz zu konventioneller Stahlbewehrung sind Textilien nicht korrosionsanfällig. Somit lässt sich die textile Bewehrung mit einer geringen Betonüberdeckung einspritzen. Auch der Abstand zum vorhandenen Betonuntergrund und die Feinbetonschicht zwischen den einzelnen Lagen Textil beträgt nur wenige Millimeter, da die Textilien in den feinen Spritzmörtel leicht eingedrückt bzw. eingebettet werden. Bei einer Stahlbewehrung ist es erforderlich, einen ausreichenden Stababstand einzuhalten um so genannte Spritzschatten zu vermeiden. Was liegt also näher, als die Vorteile von Spritzbeton mit den Vorteilen von textiler Bewehrung zu kombinieren? In diesem Beitrag wird über die Grundlagen und praktischen Erfahrungen bei der Ausführung dieser innovativen Verstärkungstechnologie berichtet, wie sie bei der Verstärkung einer Hyparschale der Hochschule Schweinfurt (Bild 1) und für das Tonnengewölbe des Finanzamtes in Zwickau (Bild 2) eingesetzt wurde.

2. Definition

Textilbewehrter Spritzbeton ist ein Verbundwerkstoff, bestehend aus einer im Spritzverfahren aufgetragenen Feinbetonmatrix und einer darin eingebetteten textilen Bewehrung. Die Volumenanteile des Betons betragen mindestens 90 %, in der Regel 95 % bis 99 %. Wie beim Stahlbeton wird die geringe Zugfestigkeit des Betons im Verbundwerkstoff durch die textile Bewehrung ausgeglichen. Die Fasern der textilen Bewehrung zeichnen sich durch eine hohe Zugfestigkeit aus, die die Kräfte nach Überschreitung der Zugfestigkeit des Feinbetons übernehmen.

3. Baustoffe

Die Ausgangsmischung des Feinbetons besteht aus der in Tab. 1 angegebenen Mischung des Sonderforschungsbereich 528 „Textile Bewehrungen zur bautechnischen Instandsetzung und Verstärkung“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der TU Dresden. Die in Tabelle 2 angegebenen mechanischen Eigenschaften wurden durch die TU-Dresden in über 10.000 Materialprüfungen bestätigt.

Die Übereinstimmung der Mischungsrezeptur mit der Ausgangsmischung und die an gespritzten Probekörpern erreichten mechanischen Eigenschaften sind im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung sicherzustellen. Die Kriterien der Konformitäts- und Produktionskontrolle sowie die Anforderungen an Personal und Ausstattung des ausführenden Unternehmens sollten gemäß Spritzbetonnorm DIN 18551 [4] mindestens eingehalten sein.

Tab. 1: Ausgangsmischung des Feinbetons im SFB 528 [3]

Bestandteile	Massteile [-]	Menge [kg/m ³]
Zement CEM III/B 32,5 NW/HS/HA	0,6667	628,0
Steinkohleflugasche	0,2820	265,6
Silikastaub (Suspension)	0,1067	100,5
Sand 0/1	1,000	942,0
Zugabewasser	0,2278	214,6
Fließmittel (FM)	0,0112	10,5

Tab. 2: Mechanische Eigenschaften des Feinbetons im SFB 528 [3]

Eigenschaft	Einheit	Wert
Dichte	g/cm ³	2,17
E-Modul (Mittelwert)	N/mm ²	28500
Druckfestigkeit (Mittelwert)	N/mm ²	76,3
Biegezugfestigkeit (Mittelwert)	N/mm ²	7,11
Haftzugfestigkeit (Mittelwert)	N/mm ²	4,8
Schubkraftübertragung in der Fuge (Mittelwert)	N/mm ²	0,35

Die textile Bewehrung besteht aus zusammengefassten Carbon-Faserbündeln (Rovings), die auf Textilmaschinen zu textilen Gelegen verarbeitet werden. Ein Roving besteht aus einer großen Anzahl von Endlosfilamenten, mit einem Durchmesser je Filament von wenigen Mikrometern. Die Anzahl der Filamente kann mehrere 10.000 Stück betragen und variiert je nach Rovingtyp. Die Rovings werden dann zu einem Gitter mit einer gewünschten Maschenweite zusammengefügt. Die Anzahl der Rovings pro Meter resultiert in einem Flächengewicht, das mit der aufnehmbaren Zugkraft der einzelnen Gelelagen korreliert.

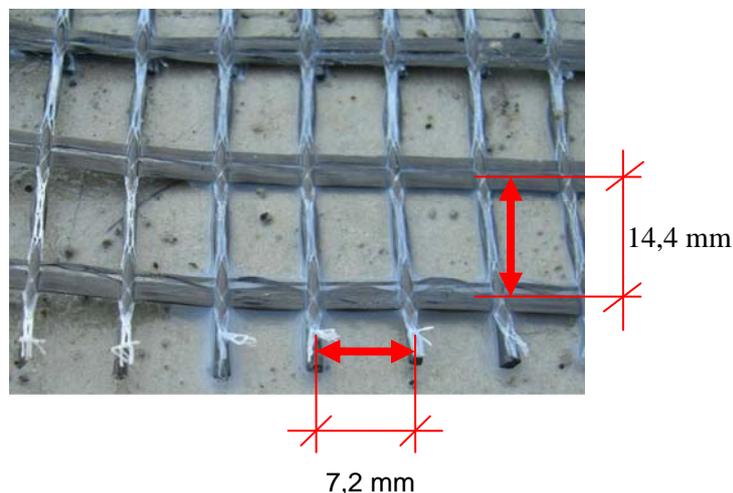


Bild 3: Textiles Gelege NWM3-006-08-b1

Für die ausgeführten Verstärkungsmaßnahmen wurden Carbonrovings „Tenax HTS 5631“ mit einer Feinheit von 800 tex der Firma „Toho Tenax Europe GmbH“ verarbeitet. Bei der Verstärkungsmaßnahme der Hyparschale in Schweinfurt wurde für das textile Gelege ein Rovingabstand von 10,8 mm in Längsrichtung und von 18 mm in Querrichtung gewählt. Bei der Verstärkung des Tonnengewölbes in Zwickau kam ein Gelege mit einem Rovingabstand

von 7,2 mm in Längsrichtung und 14,4 mm in Querrichtung zum Einsatz (Bild 3). Die mechanischen Eigenschaften des Rovings und die Geometrie des Geleges sind in Tabelle 3 und 4 angegeben.

Tab. 3: Mechanische Eigenschaften des Rovings „Tenax HTS 5631“ [3]

Eigenschaft	Einheit	Wert
Dichte	g/cm ²	1,77
Filament E-Modul (Mittelwert)	N/mm ²	240.000
Filament Zugfestigkeit (Mittelwert)	N/mm ²	4300
Filament Bruchdehnung (Mittelwert)	‰	18

Tab. 4: Geometrische Eigenschaften des Geleges „NWM 3-006-08-b1“ [3]

Eigenschaft	Einheit	Wert
Verwendeter Roving	Tenax HTS 5631	
Feinheit der Längsfäden	tex	800
Abstand der Längsfäden	mm	7,2
Feinheit der Quersfäden	tex	800
Abstand der Quersfäden	mm	14,4

4. Verbundverhalten

Die Wirksamkeit von textilbewehrten Verstärkungsschichten konnte im Rahmen des Sonderforschungsvorhabens 528 an der TU Dresden für Biegung und Querkraft nachgewiesen werden [5, 6]. Der Einfluss von Vorschädigungen wie z. B. Risse und Vordehnungen wurden in [7] durch experimentelle Biegeversuche an verstärkten und unverstärkten Stahlbetonplatten mit und ohne Vorschädigung untersucht.

Das Verbundverhalten nachträglich auf Stahlbetonbauteile aufgeklebter Stahl- oder CFK Lamellen ist anhand von Modellen hinreichend genau beschrieben [8, 9]. Verstärkungen mit textilbewehrtem Beton zeigen ein ausgeprägtes nichtlineares Materialverhalten, welches mit der eintretenden Rissbildung in der Feinbetonmatrix zu begründen ist. Ein weiterer Unterschied ist, dass durch das Aufspritzen des Feinbetons auf die aufgeraute Betonoberfläche eine starke Verzahnung zwischen Untergrund und Verstärkungsschicht entsteht. Umfangreiche Untersuchungen an der TU Dresden haben gezeigt, dass ein Versagen zwischen Altbeton und textilbewehrter Verstärkungsschicht bei ausreichender Untergrundvorbehandlung, z. B. durch Sandstrahlen, ausgeschlossen werden kann [5].

Neben dem funktionierenden Verbund der Verstärkungsschicht mit dem Altbeton ist auch der Verbund zwischen den Fasern des Textils und des aufgespritzten Feinbetons von entscheidender Bedeutung. Dieser muss die Einleitung der Kräfte in die textile Bewehrung sicherstellen. Haftzugversuche an Probekörpern haben gezeigt, dass im Mittel eine Haftzugfestigkeit in Gelegeebene von > 3 N/mm² erreicht wird [10]. Sofern diese oberhalb der Haftzugfestigkeiten des Untergrundes liegt, stellt der Verbund zwischen den Fasern und dem umgebenden Feinbeton kein Versagenskriterium dar. Für das Herstellen der textilbewehrten Verstärkungsschicht im Spritzverfahren spricht, dass Auszugsversuche an gespritzten Probekörpern kürzere erforderliche Verankerungslängen als bei handlaminierten Probekörpern ergaben [10]. Die Prüfergebnisse im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung bei der Verstärkung des Tonnengewölbes in Zwickau lagen zum Drucktermin dieser Textfassung noch nicht vor.

5. Praktische Anwendungen

In [10] wurde bereits ausführlich über die Verstärkung des Hyparschalentragwerks des großen Hörsaals der FH Schweinfurt berichtet. Dabei wurde die textilbewehrte Verstärkungsschicht im Spritzverfahren oberseitig auf die auskragende Spitze einer doppelt gekrümmten Dachkonstruktion aufgetragen.

Im Oktober 2008, genau 2 Jahre nach der erfolgreichen Verstärkung der Hyparschale in Schweinfurt, wurde das Tonnengewölbe des Westflügels der ehemaligen Ingenieursschule Zwickau mit textilbewehrtem Spritzbeton verstärkt. Die Dachkonstruktion wurde 1903 in Form einer Tonne aus Stahlbeton errichtet (Bild 4 und 5). Künftig soll der Gebäudekomplex als Finanzamt genutzt werden. Statische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Biegetragfähigkeit des Tonnengewölbes nach heutigem Sicherheitsniveau nicht mehr nachzuweisen ist. Die Geometrie und die Auflagen des Denkmalschutzes erlaubten weder eine Verstärkung mit Spritzbeton und Stahlbewehrung noch eine Ertüchtigung mit CFK Lamellen.

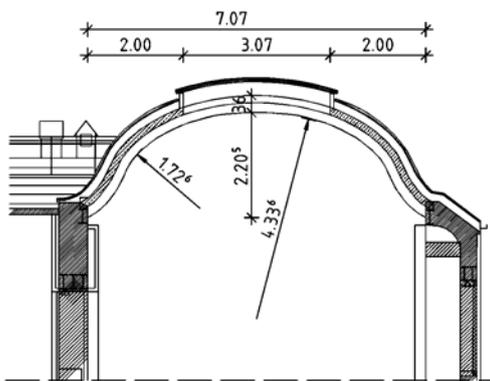


Bild 4: Querschnitt des Tonnengewölbes Bild 5: Innenansicht des Tonnengewölbes

Nach dem Freilegen der Dachhaut des Tonnengewölbes mit einer Spannweite von 7,00 m und einer Länge von 15,5 m wurde der Putz von den ca. 10 cm dicken Deckenspiegeln und den Unterzügen mit den Abmessungen $h/b = 25/20$ cm abgetragen. Die Untergrundvorbereitung erfolgte durch Strahlen mit festem Strahlmittel. Vorhandene Fehlstellen wurden entsprechend der Instandsetzungsrichtlinie des DAfStb [11] behandelt und vorgefundene Risse wurden kraftschlüssig injiziert.

Die Verstärkung der Deckenplatte erfolgte innen-, und außenseitig durch zwei in Feinbeton eingespritzte textile Bewehrungslagen. Die 20 cm breiten Balken wurden unterseitig mit fünf Lagen Textil verstärkt (Bild 6). Die Verbesserung der Querkrafttragfähigkeit erfolgte über zwei weitere Textillagen, die über den gesamten Umfang der 25 cm hohen Balken eingespritzt wurden (Bild 7 und 8).

Bei den ausgeführten Verstärkungsmaßnahmen wurde die in Abschnitt 3 angegebene Mischung mit einer offenen Förderpumpe PFT N2V im Nassspritzverfahren aufgetragen. Der Förderdruck lag bei 15 bis max. 20 bar und beim Verlassen der Düse wurde der Feinbeton mit 2 bis 3 bar gegen die Auftragsfläche gespritzt. Der Rückprall liegt bei nur ca. 10 %. Durch das Nassspritzverfahren konnte gewährleistet werden, dass zum einen das Textil durch die Aufprallgeschwindigkeit nicht beschädigt wird - aber optimal in den Feinbeton eingespritzt wird - und zum anderen, dass bei einem gleich bleibenden Wasser-/Zementwert die Ausgangsmischung im Wesentlichen erhalten bleibt.

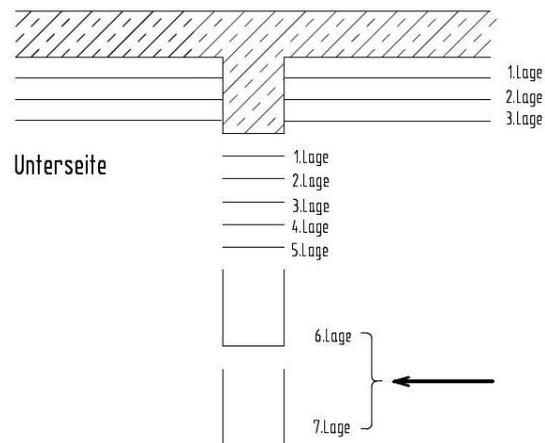


Bild 6: Anordnung der Textilien am Unterzug



Bild 7: Einlegen des Textils



Bild 8: Aufspritzen der Feinbetonschicht

Insgesamt wurden für die Verstärkung des Tonnengewölbes ca. 8 to. Feinbeton und 800 m² textile Bewehrung eingebaut. Die Ausführung der Verstärkungsmaßnahme mit textilbewehrtem Spritzbeton war nach drei Wochen abgeschlossen. Auf den Unterzügen verblieb die Oberfläche spritzrau, die innen liegenden Deckenspiegel wurden rau abgezogen.

6. Zusammenfassung

Die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Stahlbetontragwerken kann durch eine nachträglich aufgebrachte Verstärkungsschicht aus textilbewehrtem Feinbeton verbessert werden. Dabei hat sich in der Praxis das Spritzverfahren zum Auftragen der mehrschichtigen Verstärkungsschicht als sehr geeignet erwiesen. Die textile Bewehrung besteht aus endlosen Hochleistungsfasern, die zu Faserbündeln zusammengefasst werden und auf Textilmaschinen zu textilen Gelegen verarbeitet werden. Die in die aufgespritzten Feinbetonschichten eingelegten Textilien wirken dabei als Bewehrung und übernehmen nach Überschreitung der Zugfestigkeit des Feinbetons die weitere Kraftaufnahme.

Die so hergestellte, extrem dünne Verstärkungsschicht, zeichnet sich durch eine flächige Kraftübertragung aus und passt sich nahezu jeder Bauteilgeometrie an. Vorteile gegenüber der klassischen Spritzbetonverstärkung mit Stahlbewehrung sind das geringe Eigengewicht und die Unempfindlichkeit gegen Korrosion. Textilbewehrter Spritzbeton eignet sich daher

hervorragend zur Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbetontragwerken, sofern durch qualifiziertes Personal und eine gut funktionierende Eigen- und Fremdüberwachung eine fachgerechte Ausführung gewährleistet ist.

7. Literatur

- [1] Hankers, Ch.:
Möglichkeiten zur Verstärkung von Stahlbetonbauteilen. Beton- und Stahlbetonbau, 95 (2000), 9, Seite 531 bis Seite 536.
- [2] Hankers, Ch.; Matzdorff, D.:
Bauen im Bestand – Verstärken mit Spritzbeton. Bauingenieur, 81 (2006), 7/8, Seite 303 bis Seite 310.
- [3] Curbach, M.; Schladitz F.:
Verstärkung eines Tonnendachs des Finanzamtes Zwickau mit textilbewehrtem Beton. Gutachten zum Antrag auf Zustimmung im Einzelfall, TU Dresden, 2008.
- [4] DIN 18551:
Spritzbeton – Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität. Berlin, Januar 2005.
- [5] Möller, B.; Brückner, A.; Ortlepp, R.; Steinigen, F.:
Verstärken mit textilbewehrtem Beton – Experimente und numerische Simulation. Beton- und Stahlbetonbau, 99 (2004), 6, Seite 466 – Seite 471.
- [6] Curbach, M.; Jesse, F.:
Verstärken von Stahlbetonbauteilen mit textilbewehrtem Beton. Beton- und Stahlbetonbau Spezial, Juli 2005, Seite 78 – Seite 81.
- [7] Curbach, M.; Weiland, S.:
Experimentell Analyse des Tragverhaltens von textilverstärkten Bauteilen aus Stahlbeton. In: Curbach, M. et al. (Hrsg.): 3. Symposium „Experimentelle Untersuchung von Baukonstruktionen“. Technische Universität Dresden, Institut für Massivbau, Eigenverlag, 2005, Seite 147 – Seite 156.
- [8] Hankers, Ch.:
Zum Verbundverhalten laschenverstärkter Betonbauteile unter nicht vorwiegend ruhender Belastung. In: DAfStb Heft 473, 1997, Beuth Verlag GmbH.
- [9] Holzenkämpfer, P.:
Ingenieurmodelle des Verbunds geklebter Bewehrung für Betonbauteile. In: DAfStb Heft 473, 1997, Beuth Verlag.
- [10] Curbach, M.; Weiland, S.; Hauptenbuchner, B.; Ortlepp, R.:
Textilbewehrter Beton zur Verstärkung eines Hyparschalentragwerks in Schweinfurt. Beton- und Stahlbetonbau, 102 (2007), 6, Seite 353 – Seite 361.
- [11] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.):
Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil I bis IV. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Berlin: Beuth 1991/1992.

Die Autoren:

Dr.-Ing. Christoph Hankers

Studium des Bauingenieurwesens und Dissertation an der TU Braunschweig, seit 1996 bei der Torkret AG, zunächst als Leiter der Niederlassung Hamburg, ab 2000 als Geschäftsführer bzw. Vorstand.

hankers@torkret.de

Dipl.-Ing. Dirk Matzdorff

Studium des Bauingenieurwesens an der TU Braunschweig, seit 2006 für das Ingenieurbüro planzwo GmbH im Bereich Bauwerksverstärkung tätig.

matzdorff@planzwo-gmbh.de