

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 116 (1998)
Heft: 19

Vereinsnachrichten

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Viktor Sigrist, Luzern, und Jean Pralong, Sion

Stahlfaserbeton – Richtlinie SIA 162/6

Die neue Richtlinie, die als Vernehmlassungsentwurf vorliegt, führt die wesentlichen Anwendungs- und Bemessungsregeln für Stahlfaserbeton auf. Damit liegt nicht nur eine Grundlage für die vermehrte Anwendung von Stahlfaserbeton, sondern auch eine Basis für die weitere Entwicklung dieses Materials vor.

Stahlfaserbeton war lange Zeit ein wenig beachteter Baustoff, obwohl in Kalifornien bereits 1874 von A. Berard ein Patent für faserverstärkten Beton eingereicht wurde [1]. Weitere Patente, auch in Europa, folgten. Die damaligen Ideen sahen vor, Beton durch die Zugabe von Stahl- oder Holzabfällen zu verstärken, was sich allerdings nur für Anwendungen von untergeordneter Bedeutung durchzusetzen vermochte. Etwa zur gleichen Zeit wurden die ersten Patente für Eisenbeton eingereicht. Das Konzept, Beton durch Stahlstäbe zu bewehren, trat in der Folge bekannterweise seinen Siegeszug an; heute gilt Stahlbeton weltweit als der wohl wichtigste Baustoff. Für spezielle Problemstellungen behielt Faserbeton aber immer seine Bedeutung, nicht zuletzt deshalb, weil bereits früh erkannt wurde, dass sich dieser Baustoff durch eine grosse Zähigkeit auszeichnet. Erst in den siebziger Jahren dieses Jahrhunderts, mit dem wachsenden Interesse an neuen, massgeschneiderten Baumaterialien, setzte auch auf dem Gebiet des faserverstärkten Betons eine intensivere Forschungstätigkeit ein.

Stahlbeton wird auch in Zukunft nicht durch Stahlfaserbeton ersetzt werden. Es gibt jedoch Anwendungen, bei denen Stahlfaserbeton alternativ oder als Ergänzung zu konventionell bewehrtem Beton eingesetzt werden kann und konstruktive oder wirtschaftliche Vorteile bietet. Als Anwendungen stehen heute die Felssicherung im Untertagbau mit Stahlfaserspritzbeton und der Bau von Industriefussböden im Vordergrund. Daneben wird Stahlfaserbeton aber bei zahlreichen weiteren Anwendungen erfolgreich eingesetzt; Beispiele sind: Straßen und Flugpisten, Betonfertigteile (Tübbings), Böschungs- und Hangsicherungen oder Betonpfähle.

In der Schweiz sind die Erfahrungen mit Stahlfaserbeton bisher bescheiden, und erst in den letzten Jahren setzte ein ge-

wisses Interesse an diesem Baustoff ein. Aus der Erkenntnis heraus, dass die Vorteile von Stahlfaserbeton auch hier genutzt werden sollten, hierfür jedoch keine entsprechenden Anwendungsregeln oder Materialspezifikationen vorliegen, wurden bei innovativen Bauunternehmungen und Bauämtern entsprechende Ausführungs-vorschriften erarbeitet. Diesem wachsenden Interesse Rechnung tragend, setzte 1995 die Begleitkommission SIA 162 eine Arbeitsgruppe mit dem Auftrag ein, eine Richtlinie für Stahlfaserbeton auszuarbeiten; zurzeit liegt der Vernehmlassungsentwurf der Richtlinie SIA 162/6 «Stahlfaserbeton» [2] vor, und mit dem Abschluss der Arbeit kann im Sommer 1998 gerechnet werden.

Richtlinie SIA 162/6

Die Richtlinie 162/6 Stahlfaserbeton orientiert sich klar an den Grundsätzen des SIA-Normenwerks. Ziel der Arbeitsgruppe war es, ein knappes und überschaubares Dokument zu verfassen, in dem die wesentlichen Anwendungs- und Bemessungsregeln aufgeführt werden, das aber genügend Spielraum für neue Entwicklungen lässt.

Die Gliederung der Richtlinie entspricht derjenigen der Norm SIA 162 [3]; nach den einleitenden Ziffern (Geltungsbereich, Verständigung und Allgemeines) folgen Ausführungen zur Berechnung und Bemessung, zu den Baustoffen, zur Ausführung, zu Schutz und Arbeitssicherheit sowie zu Leistungen und Ausmass. In Ergänzung zu den üblichen Regelungen

enthält die Richtlinie aber auch Bestimmungen zu den Prüfungen und Kontrollen (Eignungs- und Qualitätsprüfung) und zu Ausschreibung, Angebot und Abrechnung.

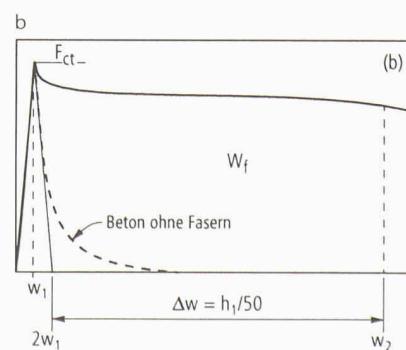
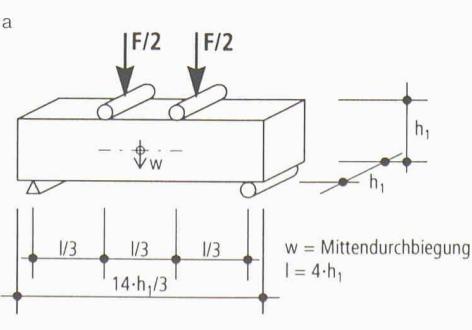
Anders als im Stahlbetonbau, im Stahlbau oder im Holzbau müssen bei Stahlfaserbeton die für die Bemessung benötigten Materialkennwerte vorgängig an separat hergestellten Versuchskörpern ermittelt werden; auch für die Qualitätsprüfung und -überwachung sind Versuche durchzuführen. Die entsprechenden Angaben sind im Anhang der Richtlinie zusammengestellt.

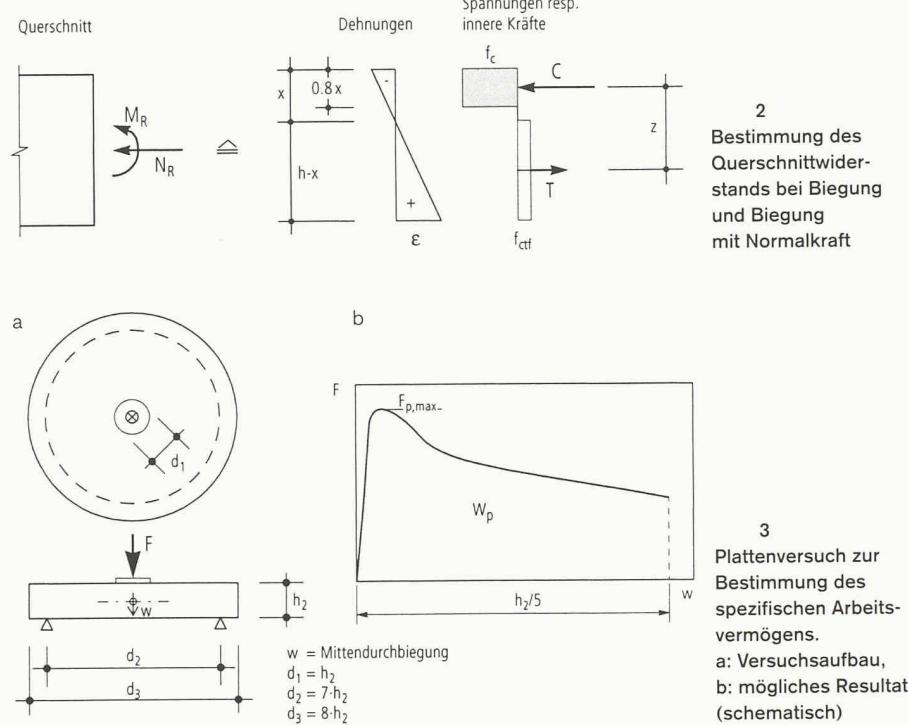
Stahlfaserbeton

Stahlfaserbeton hat im Unterschied zu Stahlbeton eine dreidimensionale und feingliedrige Bewehrungsstruktur. Damit sind auch oberflächennahe Bereiche (z.B. Kanten, vorspringende Ecken) bewehrt und weisen eine grössere Robustheit gegenüber mechanischen Einwirkungen auf. Andererseits bewirken die im Beton eingebetteten Stahlfasern ein im Vergleich zu unbewehrtem Beton deutlich duktileres Verhalten. Ähnlich wie bei konventionell bewehrtem Beton vermögen die Fasern nach dem Auftreten von Rissen Zugkräfte über diese hinweg zu übertragen und verleihen dem Bauteil dadurch einen gewissen Widerstand gegenüber Biege- oder Zugbeanspruchungen. Es gelingt jedoch kaum, den Beton durch die Beigabe von Stahlfasern über dessen Zugfestigkeit hinaus zu bewehren, so dass Stahlfaserbetonbauteile in der Regel keine Mindestbewehrung im Sinne der Norm SIA 162 [3] aufweisen.

Die eigentliche Qualität von Stahlfaserbetonbauteilen liegt in der Eigenschaft, beim Auftreten von Rissen nicht schlagartig zu versagen, sondern eine sukzessive

1
Biegezugversuch an Stahlfaserbetonbalken. a: Versuchsaufbau, b: mögliches Resultat (schematisch)





Entfestigung [4] zu durchlaufen. Der Einsatz von Stahlfaserbeton ist deshalb in erster Linie in all jenen Fällen interessant, in denen aus statischen Gründen nur eine relativ geringe Bewehrung erforderlich ist oder das Einlegen einer konventionellen Bewehrung aus ausführungstechnischen Gründen sehr aufwendig wäre.

Als Stahlfaserbeton wird Beton bezeichnet, der durch die Beigabe von Stahlfasern leicht bewehrt ist, wobei ein Fasergehalt von mindestens 20 kg/m^3 vorausgesetzt wird. Mit Stahlfasern sind kurze Stahl- oder Metallstücke gemeint, die speziell hergestellt werden, um Beton beigezogen zu werden. Die Eigenschaften von Stahlfaserbeton hängen wesentlich vom Fasergehalt, vom Fasertyp (Stahlqualität und Fasergeometrie) und von der Qualität der Ausführung ab. Neben den üblichen Angaben zur Betonrezeptur und zum Fasergehalt wird Stahlfaserbeton durch die äquivalenten Biegezugfestigkeit f_{eq} oder das spezifische Arbeitsvermögen f_p gekennzeichnet.

Bemessung

Die Bemessung von Bauteilen aus Stahlfaserbeton orientiert sich weitgehend am Vorgehen, wie es für Stahlbetontragwerke üblich ist. In der Richtlinie SIA 162/6 werden sowohl ein Nachweis der Tragsicherheit als auch ein Nachweis der Gebrauchstauglichkeit verlangt. Auf einen oder sogar beide Nachweise darf jedoch verzichtet werden, wenn gezeigt wird, dass die entsprechenden Anforderungen von untergeordneter Bedeutung sind oder

durch konstruktive oder ausführungstechnische Massnahmen erreicht werden können. Das gewählte Vorgehen soll aber auf jeden Fall im Sicherheits- bzw. im Nutzungsplan dokumentiert werden.

Für den Nachweis der Tragsicherheit wird der Widerstandsbeiwert γ_R im allgemeinen zu 1,2 angenommen. Eine angemessene Erhöhung ist jedoch erforderlich, wenn wegen herstellungs- oder ausführungstechnischer Probleme Unsicherheiten bezüglich der erreichbaren Qualität oder Massgenauigkeit bestehen.

Die Rechenwerte der Materialfestigkeiten sind mittels Versuchen zu ermitteln. Während die Druckfestigkeit nach den Kriterien der Norm SIA 162 [3] festgelegt werden kann, sind zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit spezielle Versuche erforderlich. Im Unterschied zur Betrachtungsweise bei Stahlbeton ist bei Stahlfaserbeton die Biegezugfestigkeit von zentraler Bedeutung. Im Rahmen der Richtlinie SIA 162/6 wird zwischen der äquivalenten (f_{eq}) und der wirksamen Biegezugfestigkeit (f_{ctf}) unterschieden; im weiteren ist das spezifische Arbeitsvermögen f_p von Interesse.

Zur Bestimmung dieser Kennwerte sind der Biegezugversuch und der Plattenversuch vorgesehen, wobei zurzeit (bis zum Vorliegen weiterer Forschungsergebnisse [5], [6]) der Biegezugversuch im Vordergrund steht.

Bild 1a zeigt den für den Biegezugversuch erforderlichen Versuchsaufbau und die Proportionen der Prüfkörper; die Höhe h_1 soll in der Regel 150 mm betragen.

Da nach dem Erreichen der Höchstlast eine Entfestigung stattfindet [4], muss die Prüfung weggesteuert erfolgen, wobei das Kraft-Durchbiegungs-Diagramm bis zu einer Mittendurchbiegung w von $h_1/40$ aufzunehmen ist; in Bild 1b ist ein mögliches Versuchsergebnis schematisch aufgetragen. Die Auswertung der Versuche erfolgt in Anlehnung an die in den DBV-Merkblättern «Faserbeton» [7] gezeigte Vorgehensweise. Anhand der Höchstlast ergibt sich die Biegezugfestigkeit f_{ctf} zu:

$$f_{ctf} = \frac{4 \cdot F_{ct}}{h_1^2} \quad (1)$$

Die Biegezugfestigkeit wird für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit benötigt; dabei sollen die rechnerischen Zugspannungen auf einen Wert von $2f_{eq}/3$ begrenzt bleiben. Mit Hilfe der nominalen Bruchenergie W_f kann die äquivalente Biegezugfestigkeit f_{eq} berechnet werden, wobei diese aus der mittleren Last $F_m = W_f/(h_1/50)$ unter der Annahme linear elastischen Materialverhaltens ermittelt wird:

$$f_{eq} = \frac{200 \cdot W_f}{h_1^3} \quad (2)$$

Wird f_{eq} als Grundlage für die Bemessung benötigt, sind in der Regel 15 Biegezugversuche durchzuführen, und es ist die 90%-Fraktile des Mittelwerts zu verwenden. Der eigentliche Rechenwert wird als wirksame Biegezugfestigkeit f_{ctf} bezeichnet; er ergibt sich als die auf eine starr-ideal plastische Spannungsverteilung umgerechnete äquivalente Biegezugfestigkeit:

$$f_{ctf} = 0,8 \cdot 0,37 \cdot f_{eq} \sqrt{\frac{h_1}{h}} \approx 0,3 \cdot f_{eq} \sqrt{\frac{h_1}{h}} \leq 0,3 \cdot f_{eq} \quad (3)$$

Der Ausdruck $\sqrt{h_1/h}$ dient zur näherungsweisen Berücksichtigung des Massstabefekts; h bezeichnet dabei die Höhe des Bauteils. Mit dem Faktor 0,8 sollen Unterschiede zwischen Laborprüfkörpern und Bauteil abgedeckt werden. Bei Biegung und Biegung mit Normalkraft ist der Querschnittswiderstand aufgrund der in Bild 2 dargestellten Spannungsverteilung zu ermitteln.

Speziell im Untertagbau erfolgt die Qualitätsprüfung zweckmäßig über den in Bild 3a dargestellten Plattenversuch. Im Rahmen der laufenden Kontrollen wird dabei die Einhaltung eines anhand von Vorversuchen ermittelten Wertes des spezifischen Arbeitsvermögens f_p überprüft. In der Regel soll h_2 100 mm betragen. Wie-

derum muss der Versuch weggesteuert ablaufen, und das Kraft-Durchbiegungs-Diagramm ist bis zu einer Mittendurchbiegung von $w = h_2/4$ graphisch aufzunehmen. Das spezifische Arbeitsvermögen ergibt sich aus der nominellen Bruchenergie W_p zu:

$$f_p = \frac{W_p}{h_2^3} \quad (4)$$

Als massgebender Vergleichswert gilt der Mittelwert aus mindestens drei Versuchen. Darüber hinaus ist auch eine erweiterte Auswertung der Versuche möglich; auf der Grundlage einer Mechanismusbetrachtung kann die äquivalente Biegezugfestigkeit f_{eq} für den Plattenversuch berechnet werden. Falls die Abmessungen gemäss Bild 3a eingehalten sind und sich im Versuch mindestens fünf radiale Risse einstellen, ergibt sich f_{eq} näherungsweise zu:

$$f_{eq} = 3 \cdot f_p \quad (5)$$

Liegt eine ausreichende Anzahl Versuchsergebnisse vor, kann obiger Wert ebenfalls gemäss Gleichung (3) als Bezeichnungsgrundlage verwendet werden.

Die Bemessung für Querkraft ist gemäss Ziffer 3253 der Norm SIA 162 für Bauteile ohne Schubbewehrung durchzuführen. Es ist zu vermuten, dass durch die Beigabe von Stahlfasern eine Erhöhung der Schubspannungsgrenze τ_c erreicht wird; eine solche darf jedoch nur in Rechnung gestellt werden, wenn sie durch Versuche nachgewiesen werden kann.

Baustoffe und Ausführung

Stahlfaserbeton gelangt als stahlfaser verstärkter Schalbeton oder als Stahlfaserspritzbeton zur Anwendung. Als Zement wird Portlandzement gemäss der Norm SIA 215.002 [8] empfohlen, und für die Zuschlagstoffe gelten die Anforderungen der Norm SIA 162 [3]. Üblicherweise werden Zuschlagstoffe mit einem Grösstkörndurchmesser von 16 mm verwendet. Für Stahlfaserspritzbeton ist eine Begrenzung auf 8 mm empfehlenswert; hohe Fasergehalte bzw. lange Fasern können gar eine Begrenzung auf 4 mm erfordern.

Die Stahlfasern werden über ihre Produktebezeichnung charakterisiert; vom Hersteller sind folgende Angaben zu machen:

- Herstellungsart und Lieferform (lose, geklebt)
- Fasergeometrie (Durchmesser, Länge, Form)
- Zugfestigkeit und Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Zeitpunkt	Massnahme	Vorgehen	Verantwortlichkeit
Projektierung	Planung	Anforderungen definieren evtl. Vorversuche (bei grossen Objekten)	Projektverfasser
Ausschreibung	Kompetenznachweis des Unternehmers	Konzept der Prüfungen Atteste, Untersuchungsberichte Referenzobjekte (Erfahrung) Vorschlägen von Steuergrössen	Projektverfasser Bauunternehmer
vor Baubeginn	Eignungsprüfung	Festlegen der Steuer- und Zielgrössen Vorversuche unter festgelegten Randbedingungen Muster und Probenentnahme	Projektverfasser, Bauleitung Bauunternehmer
Ausführung	Qualitätsprüfung	Eigen- und/oder Fremdüberwachung gemäss Kontrollplan	Bauunternehmer, Bauherr, Bauleitung
nach Fertigstellung	nachträgliche Prüfung	gemäss Überwachungsplan	Projektverfasser, Bauherr

4

Konzept der Prüfungen und Kontrollen

Der für eine bestimmte Anwendung erforderliche Fasergehalt richtet sich nach der Art der Beanspruchung sowie nach dem Fasertyp und der Fasergeometrie. So sind zum Beispiel bei Industriefussböden (elastisch gebettete Platten) Stahlfasergehalte zwischen 25 kg/m³ und 50 kg/m³ üblich. Bei Stahlfaserspritzbeton ergibt sich der Fasergehalt als Differenz zwischen der Faserdosierung und dem im Rückprall enthaltenen Faserverlust. Mit üblichen Spritzbetonmischungen werden Fasergehalte von bis zu 40 kg/m³ problemlos erreicht; höhere Fasergehalte erfordern spezielle Betonrezepturen und geeignete Fasertypen.

Grundsätzlich sind vor und während der Ausführung Prüfungen und Kontrollen durchzuführen. Dies betrifft einerseits die üblichen Frischbeton- und Festbetonprüfungen; während der Ausführung ist zudem der Fasergehalt in angemessenen Zeitabständen durch Auswaschen der Fasern oder durch Zerkleinern von Betonproben und Aussortieren der Fasern mittels eines Magneten zu bestimmen. Im Rahmen der Eignungs- und Qualitätsprüfung sind weitere Untersuchungen vorgesehen; das Prüfkonzept ist in Bild 4 tabellarisch dargestellt.

Leistungen und Ausmass

Bei der Ausarbeitung der Richtlinie SIA 162/6 erwies sich der Abschnitt über Leistungen und Ausmass als spezielles Problem. Im Vernehmlassungsentwurf wurden deshalb, erstmalig in einer technischen Richtlinie des SIA, konkrete Angaben über die Art der Ausschreibung und Abrechnung gemacht.

Als massgebende Anforderungen für die Ausschreibung sind im Leistungsverzeichnis der minimale Fasergehalt und das

spezifische Arbeitsvermögen f_p bzw. die äquivalente Biegezugfestigkeit f_{eq} vorzuschreiben. Zudem können besondere Anforderungen an die zu verwendenden Stahlfasern festgelegt werden. Die Wahl des Fasertyps und der Faserdosierung ist hingegen dem Unternehmer überlassen und muss zusammen mit dem Angebot mitgeteilt werden; beim Einsatz von Stahlfaserspritzbeton ist außerdem der erwartete Faserverlust anzugeben. Diese Angaben entbinden den Unternehmer jedoch nicht davon, den verlangten minimalen Fasergehalt und das geforderte spezifische Arbeitsvermögen bzw. die äquivalente Biegezugfestigkeit einzuhalten.

Im Rahmen der Eignungsprüfungen ist mit Vorversuchen nachzuweisen, dass die Vorgaben mit der gewählten Rezeptur erreicht werden können; im Anschluss daran wird der effektive Fasergehalt als Zielgröße für die Ausführung fixiert. Die Qualitätsprüfung während der Ausführung dient schliesslich dazu, die in den Vorversuchen festgelegten Parameter zu kontrollieren.

Die Abrechnung erfolgt sowohl bei Stahlfaserbeton als auch bei Stahlfaserspritzbeton über den in den Vorversuchen festgelegten Fasergehalt. Bei Stahlfaserspritzbeton wird zudem der vom Unternehmer angegebene Faserverlust vergütet.

Folgerungen und Ausblick

Mit der Einführung der Richtlinie SIA 162/6 soll ein erster Schritt zur Aufarbeitung des Wissens auf dem Gebiet des Stahlfaserbetons gemacht und eine Grundlage für die vermehrte Anwendung von Stahlfaserbeton in der Schweiz geschaffen werden. Da bei Stahlfaserbeton,

anders als bei Stahlbeton, erst begrenzte Erfahrungen vorliegen, bedürfen einige der in der Richtlinie enthaltenen Angaben noch der Verifizierung durch die Praxis. Trotzdem wird sich die Richtlinie in vielen Fragen als hilfreich erweisen und bietet zudem eine solide Basis für die weitere Entwicklung dieses modernen Baustoffs [9].

Adresse der Verfasser:

Viktor Sigris, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, Ritz Zimmerli Sigris AG, Steghofweg 2, 6005 Luzern. *Jean Pralong, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, Dr. J. Pralong + Ass. SA, Rue de la Majorie 9, 1950 Sion*

Literatur

- [1] *Naaman A.E.: Fiber Reinforcement for Concrete. Concrete International, März 1985*
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Richtlinie SIA 162/6, Stahlfaserbeton, Vernehmlassungsentwurf, 1997
- [3] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Norm SIA 162, Betonbauten, 1993
- [4] *Sigrist V.: Zum Verformungsvermögen von Stahlbetonträgern. IBK Bericht Nr. 210, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Birkhäuser Verlag Basel, 1995*
- [5] *Pfl/Tb.: Versuche an Stahlfaserbetonplatten und -balken. Diplomarbeit, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Januar 1997*
- [6] *Ulaga T.: Biegeverhalten von Stahlfaserbeton. Diplomarbeit, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Juni 1997*
- [7] Deutscher Beton-Verein e.V.: Technologie des Stahlfaserbetons und Stahlfaserspritzbetons - Bemessungsgrundlagen für Stahlfaserbeton im Tunnelbau. DBV-Merkblätter Faserbeton, 1992
- [8] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Norm SIA 215.002, Zement-Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien - Teil 1: Allgemein gebräuchlicher Zement, 1992
- [9] *Maidl B.: Stahlfaserbeton. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1991*

Luzi Gruber, Bassersdorf

Spritzbeton

Anwendungen, Erfahrungen, Entwicklung im Untertagbau

Spritzbeton ist im Untertagbau das wichtigste Sicherungsmittel, zusammen mit Armierung, Felskern und allenfalls Stahl- oder Gitterträgern. Im rückwärtigen Bereich dient Spritzbeton als Ausbaumittel, falls der Tunnel in der einschaligen Spritzbetonbauweise erstellt wird. Im vorliegenden Artikel wird auf die Herstellung und die praktische Anwendung von Spritzbeton eingetreten. Anhand von Beispielen von grossen Untertagbauten werden Erfahrungen vermittelt, auf Erfolge und Misserfolge hingewiesen sowie Entwicklungstendenzen aufgezeigt.

Bei der Herstellung von Untertagbauten im Fels ist anzustreben, dass die Tragfähigkeit des Gebirges weitgehend erhalten bleibt. Die primäre Felssicherung hat die Aufgabe, die Eigentragfähigkeit des Gebirges zu unterstützen und günstig zu beeinflussen. Das Tragverhalten der Ausbruchssicherung wird durch die Verformbarkeit bzw. Steifigkeit, den Grad des Verbunds zwischen Sicherung und Gebirge sowie durch den Einbauzeitpunkt bestimmt. Unterschieden wird in hochbiegesteife, biegesteife und biegeweiche Sicherungsmittel. Biegeweiche (hochverformbare) Sicherungsmittel sind nur im Zusammenhang mit dem mittragenden

umgebenden Gebirge standsicher. Die Sicherung ist im Grenzfall als statische Randverstärkung anzusehen. Sie übernimmt Normal- und Schubkräfte, aber keine oder nur äusserst geringe Biegemomente. Diese biegeweiche Sicherung besteht heute meist aus unbewehrtem oder bewehrtem Spritzbeton oder auch aus Stahlfaserspritzbeton.

Sicherungsspritzbeton

Spritzbeton ist im modernen Tunnelbau das wichtigste Sicherungsmittel. Seine Anwendung ist sehr flexibel und kann sich wechselnden Anforderungen, auch für Teilausbrüche jeder Grösse, leicht anpassen. Spritzbeton dient vorwiegend zur Versiegelung, zur vorübergehenden Sicherung, zur Ausbruchglättung und zur Abdichtung. Selbst bei einer minimalen Versiegelung mit Schichtstärken unter 5 cm ist die tragende Wirkung grösser als erwartet, da gleichzeitig Klüfte geschlossen und kleine Nachbrüche verhindert werden, wodurch die Aktivierung des Gebirgsgewölbes unterstützt wird. Spritzbeton ermöglicht bei optimalem Verbund mit dem Gebirge eine Sicherung in unmittelbarem Anschluss an den Vortrieb (Bild 1).

Ausbau spritzbeton

Beim einschaligen Spritzbetonausbau, einem zweiten wichtigen Einsatzgebiet

von Spritzbeton im Untertagbau, wird der Felssicherung eine dauerhafte Tragfunktion zugewiesen. Kommt diese Bauweise zur Anwendung, ist die vorübergehende Sicherung in das Gesamtsystem der endgültigen Sicherung zu integrieren. Es ist daher notwendig, dass alle Sicherungsmittel aus hochwertigem, dauerhaftem Material bestehen. Art und Umfang des Gewölbeausbaus werden aufgrund felsmechanischer Überlegungen sowie der vorgängig eingebrachten Felssicherungsmittel bestimmt. Die Spanne reicht dabei von einer unbewehrten Spritzbetonschicht von minimal 10 cm bis hin zu mehrlagiger Armierung mit Spritzbetonstärken von 30 cm und mehr (Bild 2).

Stahlfaserspritzbeton

Der Einsatz von Stahlfasern anstelle einer Netzarmierung bringt verschiedene Vorteile mit sich. Beim Sicherungsspritzbeton müssen keine Netze im ungesicherten Vortriebsbereich mehr montiert werden, wodurch sich das Unfallrisiko reduziert. Anstelle von zwei Arbeitsgängen (Netzmontage und Applikation von Spritzbeton) wird der Stahlfaserspritzbeton in einem einzigen Arbeitsgang aufgetragen. Zudem entfällt die Schwierigkeit des satten und hohlräumfreien Einspritzens von Armierungsnetzen.

Umfangreiche Untersuchungen zeigen, dass problemlos stahlfaserarmierter Spritzbeton mit dem gleichen Arbeitsvermögen wie netzarmierter Spritzbeton hergestellt werden kann. Stahlfasern führen zudem zu einem besseren Rissebild im Spritzbeton, was sich positiv auf die Wasserdichtigkeit auswirken kann, einem