
Einführung der Spritzbeton-Technologie in das europäische Regelwerk

INTEGRATION OF SPRAYED CONCRETE TECHNOLOGY INTO THE EUROPEAN SET OF RULES AND STANDARDS

HARALD SCHORN, LEHRSTUHL FÜR BAUSTOFFE, TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

In den europäischen Staaten gibt es zahlreiche Regelwerke zur Spritzbeton-Technologie, zum Teil als Normen, zum Teil als Richtlinien. Eine Vereinheitlichung läßt sich am besten durch Straffung der Regelsetzung im Hinblick auf zwei große Bereiche erzielen. Dies sind zum einen jene Aufgabengebiete, die im weitesten Sinne dem Hohlraumbau zugeordnet werden können, zum anderen die Aufgabengebiete von Instandsetzung und Erneuerung. In beiden Fällen wird der Tatsache Rechnung getragen, daß Spritzbetonnormung die Technologie als ganzes umfassen muß und nicht in Stoffnorm und Verfahrensnorm aufgesplittet werden kann. Alle Faserzusätze und alle Kunststoffmodifikationen werden für den Spritzbeton geregelt. Die besonderen Anforderungen an die Qualitätssicherung erfordern einige besondere Prüfvorschriften.

There exist numerous sets of rules on shotcrete in Europe, partly as standards and partly in the form of guidelines. Standardization can best be achieved by streamlining the rules and standards with regard to two major areas: first, all those activities that can be subsumed under tunnel construction, and second, all activities in connection with reinstatement and repair work. In both cases sprayed concrete standards must cover the technology as a whole and cannot be split up into a material standard and a process standard. All additions of fibers and all plastic modifications must be defined for shotcrete. The specific requirements with regard to quality assurance call for special test regulations.

1. Generelle Abgrenzungen

Überall dort in Europa, wo Spritzbeton im Technischen Regelwerk erfaßt ist, wird er gleichermaßen als Baustoff und als Verfahren behandelt. Der typischen Besonderheit einer wechselseitigen Beeinflussung von Stoffzusammensetzung und Anwendungsgegebenheiten beim Spritzbeton wird damit Rechnung getragen. Das ist wichtig, denn zu Beginn einer jeden regelsetzenden Arbeit erhebt sich die Frage der Einbindung dieser Regelungen in einen größeren Zusammenhang wie Herstellung von Bauprodukten, Technologie der Baustoffherstellung oder Applikationstechniken und weiteres. Spritzbeton gehört in keine dieser Kategorien. Spritzbeton ist als eigenständige Technologie aufzufassen, die spezielle betontechnologische Anforderungen mit verfahrenstechnischen Gegebenheiten auf eine ganz besondere Weise miteinander verbindet.

Spritzbeton wird im europäischen Bereich in den nationalen Regelungen in diesem Sinne definiert. Als Beispiel sei die deutsche Norm DIN 18 551 in ihrer Ausgabe vom März

1992 zitiert. Dort heißt es: "Spritzbeton ist Beton, der in einer geschlossenen, überdruckfesten Schlauch- oder Rohrleitung zur Einbaustelle gefördert und dort durch Spritzen aufgetragen und verdichtet wird". Die Norm beläßt es nicht bei dieser Formulierung. In einem weiteren Abschnitt ihrer Regelungen unterscheidet sie zwischen derjenigen Betonmischung, die gegen eine Auftragsfläche, den "Untergrund" aus Fels, Mauerwerk, Stahlbeton oder anderem geschleudert wird, und derjenigen Betonmischung, die dort haften bleibt und nicht von dieser Auftragsfläche rückprallt und zu Boden fällt. Die Norm bringt damit die Tatsache zum Ausdruck, daß die betontechnologische Beschaffenheit eines Spritzbetonauftrags von unterschiedlichen Einflußgrößen abhängt. Dies betrifft die Applikationstechnik und die damit verbundenen maschinentechnischen Parameter, das bereitgestellte Gemisch vor Einbringung in die Spritzanlage, den Rückprall, die Beschaffenheit des "Untergrunds" und noch weitere Einflüsse und Einwirkungen. Alles hängt miteinander zusammen und hängt voneinander ab. Nur eine ganzheitliche Betrachtung kann dem Spritzbeton als eigenständige Technologie Rechnung tragen.

Das europäische technische Regelwerk zum Spritzbeton, das sich zur Zeit noch in Bearbeitung befindet, wird dies im Grundsatz so definieren.

2. Regelwerke in Europa

In den meisten europäischen Staaten gibt es im Rahmen der nationalen Normung und anderer Regelsetzungen auch seit langer Zeit die regelungstechnische Behandlung des Spritzbetons. Im folgenden ist eine Auswahl von Regelwerken auf Basis einer Recherche von Stand Mitte 1995 zusammengestellt. Sie soll eine Übersicht darstellen und die Bandbreite der Regelungen erkennen lassen.

Norwegen:

Sprayed Concrete for Rock Support - Technical Specification and Guidelines. Norwegian Concrete Association. Publication nr. 7, 1993.

Niederlande:

Spruitbeton. CUR Aanbeveling 11. Sept. 1987. (Anmerkung: Im Zusammenhang zu sehen mit den niederländischen Betonnormen NEN 3880 und NEN 5950.)

Frankreich:

Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie - Béton projeté. Norme française NF P 95 - 102. Juin 1992

Österreich:

Richtlinie Spritzbeton. Österreichischer Betonverein. Teil 1 - Anwendung., Jänner 1989. Teil 2 - Prüfverfahren, Juni 1991.

Deutschland:

Spritzbeton - Herstellung und Güteüberwachung. DIN 18 551. März 1992.

VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen. Spritzbetonarbeiten. DIN 18 314. Dezember 1992.

Regelung der Spritzbetontechnologie innerhalb von: Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten. Deutsche Bundesbahn DS 853. 1. Oktober 1993

Schweiz:

Regelung der Spritzbetontechnologie innerhalb von: Untertagebau. Schweizer Norm SIA 198. Ausgabe 1993

Spanien:

Hormigón y mortero proyectados. UNE 83-606-91, Julio 1991. UNE 83-605-91, Junio 1991. UNE 83-603-94, Mayo 1994. UNE 83-604-94, Mayo 1994. UNE 83-607-94, Julio 1994

In der Recherche wurden weitere Regelungen von Gremien in Italien, Finnland, Schweden und Großbritannien gefunden. Auch gibt es noch weitere Regelungen, die sich mittelbar mit dem Spritzbeton befassen. Sie sind hier nicht aufgeführt.

Neben den von nationalen regelsetzenden Gremien erarbeiteten Schriften liegen Ergebnisse der Arbeiten international zusammengesetzter Ausschüsse vor. Die im folgenden aufgeführten Literaturhinweise beziehen sich auf die Organisationen ITA (International Tunneling Association) und EFNARC (European Federation of National Associations of

Specialist Contractors and Material Suppliers to the Construction Industry):

- Shotcrete for Rock Support. Guidelines and Recommendations. ITA. December 1992

- Specification for Sprayed Concrete, Final Draft. EFNARC. October 1993

Die internationale RILEM-Organisation bearbeitet ihrem materialprüftechnischen Aufgabengebiet entsprechend auch Prüfeempfehlungen für Spritzbeton. Der damit befaßte Ausschuß (RILEM TC 145) hat seine Arbeiten noch nicht abgeschlossen.

Alle zusammengestellten Regelungen sind von unterschiedlicher Art. Zum Teil sind es Normen, zum Teil Richtlinien oder Empfehlungen. Im Hinblick auf die als besonders vorrangig empfundenen Bauaufgaben in den einzelnen Ländern sind die Regelungen auf bestimmte Anwendungsbereiche hin konzipiert. Die einen denken vorwiegend an Naßspritzverfahren, für andere steht das Trockenspritzen im Vordergrund des Interesses. Die einen wollen vorwiegend die Spritzbetontechnologie für den Hohlraumbau regeln, die anderen nehmen sich der Problematik dünner Spritzbetonschichten im Zuge von Instandsetzungsaufgaben an. Auch in der Erfassung von Besonderheiten wie Stahlfaserspritzbeton und kunststoffmodifiziertem Spritzbeton gehen die Regelungen unterschiedlich vor. So findet man im deutschen Regelwerk den Spritzbeton mit normengerechter Betonzusammensetzung ohne Fasern oder organische Zusätze in einer Norm, die Regelung kunststoffmodifizierten Spritzbetons dagegen in einer Richtlinie. Stahlfaserspritzbeton wird über ein Merkblatt erfaßt. In anderen Ländern wird überwiegend der Versuch gemacht, alle Varianten von Spritzbeton in einem einheitlichen Regelwerk zusammenzustellen. Das erfordert gegebenenfalls eine Auftrennung des jeweiligen Regelwerks in mehrere Teile.

Das europäische Regelwerk zum Spritzbeton wird in seinem derzeitigen Bearbeitungszustand konsequent als ein solches einheitliches Regelwerk konzipiert. Alle stofflichen Varianten sowie Naß- und Trockenspritzverfahren und zugehörige besondere Prüfverfahren sollen in diesem mehrteiligen Gesamtwerk umfassend behandelt werden.

3. Systematik der Normung

3.1 Regelsetzende Gremien

Formal folgen alle europaweit erarbeiteten Normen veraltungstechnischen Prozeduren, die sich aus europäischen gesetzlichen Vorgaben herleiten. Von der in Deutschland für die Normung zuständigen Organisation, dem Deutschen Institut für Normung, ging die Initiative zur Anregung einer europäischen Norm (EN) für die Spritzbetontechnologie aus. Die europaweit zuständige Normungsorganisation CEN führte die Anfragen bei allen nationalen Normungsorganisationen durch und kam aufgrund der lebhaften und positiven

Resonanz zur Entscheidung, die Normung der Spritzbetontechnologie vorzunehmen.

Große Themenbereiche der Normung im CEN fließen in Technischen Ausschüssen (Technical committees) mit der Kurzbezeichnung TC zusammen. Dort werden die Tätigkeiten zahlreicher Arbeitsausschüsse fachlich und formal koordiniert. Spritzbeton gehört in den großen Rahmen der Betontechnologie und somit zum entsprechenden TC "Concrete (Beton)" mit der Nummer 104. Der Arbeitsausschuß zur Erarbeitung der Normen für die Spritzbetontechnologie operiert als "Working group", Kurzbezeichnung WG, mit der Nummer 10 unmittelbar im Rahmen des TC 104. Es wäre grundsätzlich auch möglich, ein "Subcommittee" (SC) innerhalb des TC zu bilden, das dann in mehrere working groups zerfällt, denen die Bearbeitung von jeweils einem Teilbereich der Norm obliegt. Nach intensiven Diskussionen wurde erkannt, daß die Tätigkeit als WG 10 "Spritzbeton" innerhalb des TC 104 "Concrete (Beton)" ohne Anknüpfung an ein Subcommittee eine fachlich wie formal optimale Grundlage für eine erfolgreiche und zügige Tätigkeit des Arbeitsausschusses bedeutet.

Fachleute aus vielen europäischen Staaten fanden sich erstmalig im Frühjahr 1995 zusammen, um mit der Erarbeitung einer europäischen Norm für die Spritzbetontechnologie zu beginnen.

3.2 Teilbereiche der Spritzbetonnorm

Die ersten Diskussionen im Arbeitsausschuß zur Erstellung der Spritzbetonnorm erbrachten sehr schnell Klarheit darüber, daß alle Verfahrensmodalitäten und alle stofflichen Varianten regelungstechnisch in einer umfassenden Norm behandelt werden sollen. Die Norm gilt somit grundsätzlich für Naß- und Trockenspritzverfahren, für Betone mit und ohne Zusätze, für Faserbetone usw. Wohl aber muß die Norm in mehrere Teile untergliedert werden, die auf unterschiedliche Anwendungsbereiche jeweils speziell abgestimmt sind. Es erscheint sinnvoll, die Teile der Norm an großen Anwendungsbereichen zu orientieren. Außerhalb dieses Einteilungskriteriums muß es notwendigerweise einen übergeordneten Normenteil geben, der Geltungsbereiche, Abgrenzungen, Definitionen usw. enthält. Der Regelungsumfang gliedert sich unter diesen Voraussetzungen zunächst in fünf Teilbereiche:

Teil 1: Begriffe und Definitionen (General terms and definitions)

Teil 2: Konstruktions - Spritzbeton (Structural)

In diesem Anwendungsfeld steht der Neubau von solchen Stahlbetonkonstruktionen im Vordergrund des Interesses, die im einzelnen eines standsicherheitlichen Nachweises bedürfen. Die Anforderungen an Material, Herstellung, Nachbehandlung und qualitätssichernden Prüfungen sind dabei zwangsläufig sehr hoch.

Teil 3: Felsfestigung (Strengthening of Rock)

Hier wird der gesamte Bereich des Hohlraumbaus angesprochen, soweit er auf die Spritzbetontechnologie angewiesen ist. Dies gilt insbesondere für den Tunnelbau mit vorläufiger Ausbruchssicherung im Sinne der NÖT unter

Verwendung hochbeschleunigter Spritzbetone.

Teil 4: Instandsetzung und Verstärkung (Repair and upgrading)

Dieser Teil bezieht sich zwar generell auf Instandsetzungen im Massivbau. Vordringlich zu regeln ist jedoch die Anwendung der Spritzbetontechnologie auf die Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbeton-Bauteilen. Dabei sind allein die Belange der Spritzbetontechnologie zur Normung vorgesehen. Rechnerische Nachweisverfahren für Verstärkungen werden verfahrensübergreifend in anderen Gremien behandelt.

Mit Gremien, die auf benachbarten Themengebieten tätig sind, findet ein intensiver Informationsaustausch statt. Dies betrifft insbesondere die Gremien, die Regelungen zu "Schutz und Instandsetzung von Beton" erarbeiten, und Gremien, die sich mit der Regelung der Zusatzmittelanwendung im Betonbau befassen.

Teil 5: Oberflächenverbesserung (Surface improvement)

Dieser Teil wurde zunächst vorgesehen, erwies sich jedoch schon bald als entbehrlich, weil er sich leicht in die übrigen Teile integrieren läßt.

Weitere Diskussionen im Zuge erster konkreter Entwürfe für Teile der zu erarbeitenden Spritzbeton-Norm ließen erkennen, daß es sinnvoll ist, die Oberbegriffe für die einzelnen Normenteile noch weiter zu fassen. Wenn Teil 4, Instandsetzung und Verstärkung, primär auf die Problematik beim Stahlbeton zielt, dann erscheint es zweckmäßig, den gesamten Teil 2, Konstruktions - Spritzbeton, dort einzubringen.

Das europäische technische Regelwerk zum Spritzbeton wird voraussichtlich in drei große Gruppen mit folgenden Arbeitstiteln gegliedert werden; dies schließt eine spätere Erweiterung nicht aus.

Europäische Norm (EN) für Spritzbetontechnologie		
Teil 1	General Terms and Definitions	Begriffe und Definitionen
Teil 2	Repair and Upgrading of Structural Members	Instandsetzung und Verstärkung von Konstruktionsteilen
Teil 3	Strengthening of Rock and Ground	Festigung von Fels und Boden
Europäische Normen (EN) für Prüfverfahren zur Spritzbetontechnologie Prüfnorm 1, 2, 3...n		

Zeitlich abgestimmt mit der Erstellung der Spritzbeton - Norm müssen Prüfnormen geschaffen werden. Aus formalen Gründen bedarf es für jedes Prüfverfahren einer gesonderten Norm.

Dabei werden nur solche Prüfverfahren geregelt, die so speziell und spritzbetontypisch sind, daß Hinweise auf bereits in CEN- oder ISO-Normen geregelte Prüfverfahren nicht hinreichen oder nicht möglich sind. Die Diskussionen über Art und Umfang der in die Normung aufzunehmenden spritzbetontypischen Prüfverfahren steht noch am Anfang.

4. Abstufungen in den Anforderungen

4.1 Problemaufriß

Grundsätzliche Konzeptionen von Normungsarbeiten und theoretische Ansätze für technische Regulative und Normen waren und sind noch Gegenstand von Diskussionen. Für den Praktiker der Normungsarbeit stellt sich hingegen vorwiegend die Frage nach der Art der Anforderungsbeschreibung an Stoff und Verfahren. Mitglieder von Arbeitsausschüssen zu Erstellung von Normen sind in diesem Sinne Praktiker, gleich welcher Art ihre berufliche Aufgabe sein mag. Zunächst ist ein Bauschaffender geneigt, diejenigen Anforderungen zusammenzustellen, die er als Baustoffkenngrößen verlangt, insbesondere die mechanischen Eigenschaften. Da steht vor allem die Festigkeit im Vordergrund des Interesses, aber auch Verformungseigenschaften wie Elastizitätsmodul oder Kriechverhalten. Gegebenenfalls sind auch Anforderungen an Wärmedehnzahl und Schwindverhalten, also an lastunabhängige Eigenschaften, zu stellen. Ein nur nach Eigenschaften zusammengestellter Anforderungskatalog wird dem "performance concept" zugerechnet, das sich jedweder Angaben zu Stoffart, Stoffkomponenten oder Stoffgefüge enthält. Werden stoffliche Beschreibungen dieser Art angegeben, erhält man einen Anforderungskatalog im Rahmen des "description concept".

Es ist einsichtig, daß in technischen Normen normalerweise beides benötigt wird, Stoffbeschreibung ebenso wie Eigenschaftsanforderung - doch je nach Aufgabenstellung im einzelnen mit unterschiedlicher Gewichtung. Gerade in umfangreichen und umfassenden Regelungen einer Technologie können innerhalb einer Norm höchst unterschiedliche Gewichtungen von "description"- und "performance"-Anforderungen nötig sein.

4.2 Qualitätssicherung

Die am weitesten gehenden Anforderungen an den Spritzbeton sind zweifellos dann gegeben, wenn der Spritzbeton als Konstruktionsbaustoff dort eingesetzt wird, wo rechnerische Nachweise der Standsicherheit geführt werden müssen. In enger Anlehnung an das technische Regelwerk für den Stahlbetonbau werden dann in der Regel nur solche Betonkomponenten erlaubt, die ihrerseits genormt sind. Diese Komponenten wiederum dürfen nicht beliebig zusammengesetzt werden. Die Abstufungen der Körnungen des Zuschlags innerhalb eines Sieblinienbereichs, der Mindestzementgehalt, der Wasserzementwert und anderes begrenzen die möglichen Stoffgefüge der Betone auf einen relativ schmalen Bereich. Anforderungen an gefügebestimmende Ausführungsmaßnahmen wie Verdichtung und Nachbehandlung tun ein übriges, um zu einem recht genau bestimmten Betongefüge ohne große Variationsmöglichkeiten zu gelangen.

Die deutsche Norm DIN 18 551 hat den Gedanken des höchstleistungsfähigen Spritzbetons konsequent umgesetzt. Spritzbeton nach dieser Norm wird als "B II" im Sinne der

nationalen deutschen Norm für Stahlbeton - Konstruktionen und Beton, DIN 1045, definiert und bedarf somit der Eignungsprüfung vor seinem Einsatz im Einzelfall. Die Spritzbetonarbeiten werden dann über drei "Prüfebene" kontrolliert. Die erste Prüfebene, siehe **Bild 1**, ist die Schnittstelle zwischen Materialanlieferung und Einführung in die Spritzanlage. Es ist nicht nur technisch sinnvoll, dieses "Bereitstellungsgemisch" zu überprüfen. Es ist auch vertragsrechtlich von Bedeutung, den Übergang der Verantwortung vom Baustofflieferanten zur bauausführenden Firma eindeutig zu regeln.

Prüfebene 1	Bereitstellungsgemisch
1. Vorbenetzung/Wasser/ Zusatzmittel	
2. Luftzugabe	
3. Förderung	
4. Zugabe im Düsenbereich	
	Spritzgemisch
5. Spritzverfahren	
Prüfebene 2	Spritzbeton
Prüfebene 3	Festbeton

Bild 1: Begriffe und schematische Darstellung von Prüfebene nach nationaler deutscher Spritzbetonnorm DIN 18551

Nun folgt, wie im **Bild 1** anhand einiger Stichworte dargestellt, der Weg des Baustoffs durch die Spritzanlage. Das darin aufbereitete Material wird als "Spitzgemisch" gegen die Auftragsfläche geschleudert. Was davon haften bleibt, ist der Spritzbeton. Der in Prüfebene 2 erfaßte Spritzbeton ist demnach definiert als Spritzgemisch minus Rückprall. Der erhärtete Spritzbeton wird in Prüfebene 3 den üblichen Festbetonprüfungen unterzogen.

Die Notwendigkeit von Eignungsprüfungen für den Spritzbeton wird im europäischen Regelwerk generell nicht bestritten. Wohl aber sind die Anforderungen an die Qualitätssicherung in der Regel geringer. So zum Beispiel stuft die ITA die Qualitätsanforderungen in Anlehnung an die norwegische Norm dreifach ab:

I	minor	(verringerte Anforderungen)
II	normal	(normale Anforderungen)
III	extended	(erhöhte Anforderungen)

Nur Stufe III ist in etwa mit den Anforderungen der deutschen Norm vergleichbar. Die weiteren Stufen II und I bleiben weit darunter. Das Problem solcher oder ähnlicher Abstufungen ist die Wahl der geeigneten Stufe für den jeweiligen Anwendungsfall. Gerade bei der Spritzbetontechnologie ist der Einsatzbereich so breit gefächert, daß eine Katalogi-

sierung von Aufgaben mit Zuordnung zu einer Qualitätsstufe wohl kaum umfassend durchführbar wäre. Es bleibt ein mehr oder minder großer Bereich, für den die Vertragspartner qualitätssichernde Maßnahmen im einzelnen zu vereinbaren hätten. Die EFNARC - Richtlinie geht sogar so weit, solches als Normalfall anzusehen. Es muß die Frage gestellt werden, ob dies in die richtige Richtung weist. Eine Norm, die ihre Regelungsaufgabe an andere abgibt, führt sich in letzter Konsequenz damit selbst ad absurdum.

4.3 Besondere Betonkomponenten

Solange man davon ausgehen kann, daß alle Komponenten für den Spritzbeton genormt sind oder über eine der Normung adäquate Zulassung verfügen, bleibt man bei Erstellung der Spritzbetonnorm konfliktfrei in Bezug auf andere Normen. Das ändert sich grundlegend, wenn man Komponenten einführt, die das betontechnologische Regelwerk zwar kennt, die aber nicht in Normen erfaßt sind. Dies geschieht zum Beispiel bei Faserzugabe zur Betonmischung. Faserspritzbetone unter Verwendung von Stahlfasern sind seit langem bekannt und in der Praxis gebräuchlich. Normt man diese Faseranwendung für den Spritzbeton, ist es unvermeidbar, damit mittelbar auch die Anwendung dieser Fasern bei allen übrigen Konstruktionsbetonen zu bestimmen. Wartet man hingegen ab, bis sich ein Gremium etabliert hat, das die Fasern im Beton einer generellen Normung zuführen will, schiebt man den Abschluß der Spritzbetonnormung auf unbestimmte Zeit hinaus.

Da es Regelungen zum Stahlfaserspritzbeton in mehreren nationalen Regelwerken, wenn auch nicht Normen, bereits

gibt, kann die Spritzbetonnorm darauf aufbauen. Der Arbeitsausschuß wird die dringend nötige Regelung des Stahlfaserspritzbetons zu seiner Aufgabe machen.

Sehr viel schwieriger gestaltet sich die Erfassung kunststoffmodifizierter Spritzbetone, die ihr Anwendungsgebiet vor allem im Instandsetzungsbereich haben. Der Nachweis ihrer Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit ist ein Thema, dem sich bevorzugt diejenigen Arbeitsausschüsse widmen müssen, deren Aufgabengebiet die Regelung von Schutz und Instandsetzung von Betonbauten generell ist. Eine intensive Zusammenarbeit ist angezeigt und vorgesehen.

5. Zusammenfassung

In den europäischen Staaten gibt es zahlreiche Regelwerke zur Spritzbetontechnologie, zum Teil als Normen, zum Teil als Richtlinien. Eine Vereinheitlichung läßt sich am besten durch Straffung der Regelsetzung im Hinblick auf zwei große Bereiche erzielen. Dies sind zum einen jene Aufgabengebiete, die im weitesten Sinne dem Hohlraumbau zugeordnet werden können, zum anderen die Aufgabengebiete von Instandsetzung und Erneuerung. In beiden Fällen wird der Tatsache Rechnung getragen, daß Spritzbetonnormung die Technologie als ganzes umfassen muß und nicht in Stoffnorm und Verfahrensnorm aufgesplittet werden kann. Alle Faserzusätze und alle Kunststoffmodifikationen werden für den Spritzbeton geregelt. Die besonderen Anforderungen an die Qualitätssicherung erfordern einige besondere Prüfvorschriften.

