

# Stand und Trends der Spritzbeton-Bauart

Dr.-Ing. Richard LINDER  
Waldbronn/Bundesrepublik Deutschland

## 1. ALLGEMEINES

### 1.1 Name des Verfahrens und der Bauart

Spritzbeton als hinsichtlich der Maschinen und der ausführenden Unternehmer neutraler Name sowohl für das Verfahren des Betonierens als auch für die Art eines großen Teiles der so hergestellten Baukörper hat sich im gesamten deutschen Sprachraum allgemein durchgesetzt.

Die Kennzeichnung der Zusammensetzung der Ausgangsmischung in der Maschine und im Fördererschlauch mit Trockengemisch oder Naßgemisch, je nachdem, ob das Wasser erst nachher oder bereits vorher zugegeben wird, mag noch hingehen.

Für viele jedoch ist die daraus abgeleitete Unterscheidung in Trocken- und Naßspritzverfahren irritierend, wo doch der W/Z-Wert des nach beiden Verfahren hergestellten Spritzbetons - wenn überhaupt - so meist nur bei der Förderung im Dichtstrom höher liegt. Doch ist eine treffendere Bezeichnung der Verfahrensarten derzeit nicht in Sicht.

### 1.2 Alter und Anwendungsgebiete des Verfahrens

Ob das Betonspritz-Verfahren so alt ist wie unser Jahrhundert - im Sinne der geltenden Terminologie wurde Zementmörtel bereits im Anfang des Jahrhunderts naß gespritzt - oder erst seit den zwanziger Jahren in für uns nennenswertem Umfang ingenieurmäßig angewendet wird, mag hier offen bleiben. Sicher ist, daß das Verfahren ein hohes Alter erreicht hat, und daß seine Entwicklung in mehreren Schüben verlaufen ist. Der vorletzte Schub kam in den fünfziger Jahren mit dem Ausbau der Wasserkräfte in den Alpenländern. Hier seien stellvertretend die Namen der Österreicher Rabcewicz und Lauffer für die Anwendung bei der NÖT sowie Rotter und Drögsler für die Entwicklung der Spritzbeton-Technologie genannt. Zu erwähnen ist außerdem der Schweizer Senn, der mit der Entwicklung der ALIVA-Maschine die Herstellung von Spritzbeton mit einem Größtkorn des Zuschlaggemischs von 25 mm erst möglich machte.

Der jüngste Schub in der Entwicklung des Spritzbeton-Verfahrens wurde vor einigen Jahren durch den verbreiteten U-Bahn-Bau im Lockergestein sowie neuerdings durch die großen Tunnelbauten für die Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn ausgelöst.

Tabelle 1. Anwendungsgebiete Spritzbeton

#### A. "Klassische" Bereiche

1. Instandsetzung von Bauteilen aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton bei
  - Undichtigkeit (Auskleidung von Tunneln, Stollen, Becken, Kanälen)
  - Beschädigung (z.B. Brand)
  - Verschleiß (z.B. Wasserbauten)

#### 2. Neukonstruktionen über Tage

- Faltwerke, Schalen, Kuppeln, Dächer anderer Art
- Korrosionsschutz (Spannbeton-Wickelbehälter)
- Feuerschutz (stählerne Skelette, Öltanks und -leitungen)
- Auskleidungen (Becken, Kanäle)
- Schwimmkörper
- Verstärkungen (Decken, Balken, Stützen)
- Sicherung von Hängen, Böschungen, Wänden

#### 3. Neukonstruktionen unter Tage

- Bergsicherung bei Hohlgängen und -räumen
- Bergbau

#### B. Selten gewordene Bereiche

Innenseitige, dünne Abdichtungshäute in Tunneln und Stollen mit Auskleidung aus Mauerwerk oder Beton

#### C. Vergleichsweise neue Bereiche

1. Instandsetzung großflächiger Stahlbetonfassaden
2. Bergsicherung beim Vortrieb in Lockergesteinen, bis hin zum Messervortrieb und unter Druckluft
3. Einschaliger Ausbau von Hohlgängen im Festgestein

Hinzu kommt, daß bei zahllosen in den fünfziger und sechziger Jahren erstellten Betonbauwerken im Bereich ihrer im Freien liegenden Oberflächenteile zufolge von Ausführungsmängeln und mangels jeden Aufwands für Instandhaltung die Sanierung immer dringlicher ansteht und dafür teils aus wirtschaftlichen, teils aus technischen Gründen Spritzbeton in Frage kommt. Daher ist sicher: Spritzbeton wird auch in absehbarer Zukunft in zunehmendem Maße verwendet werden.

Der Stahlfaserspritzbeton wird niemals den herkömmlichen Stahlbeton dort verdrängen, wo größere Eigen- und Nutzlasten aufzunehmen sind, weil Fasern teurer sind als Betonstahl. Außerdem ist es bisher nicht gelungen, die Fasern in der Art herkömmlicher Bewehrungen ausschließlich an die Stelle der großen Zug- und Biegezugbeanspruchung zu legen und sie an diesen Stellen in Richtung der maximalen Beanspruchung zu orientieren.

Dagegen kann Stahlfaserspritzbeton durchaus für Bauteile mit Beanspruchungen in Frage kommen, die bisher überwiegend durch das Einlegen von sog. konstruktiven Bewehrungen abgedeckt wurden, also z.B. solche zur Aufnahme von Zwangs- und Eigenspannungen bei Übertagebauten zufolge des Schwindens und Kriechens, als Folge von Temperaturunterschieden im erhärteten Beton, als Folge von Kerbbeanspruchungen oder ungleichmäßiger Setzung des Bauwerks.

Bei Untertagebauten dient Stahlfaserspritzbeton für die Bergsicherung und möglicherweise den einschaligen Ausbau.

Der Stahlfaserspritzbeton wird aber bei sämtlichen konstruktiven Anwendungen wahrscheinlich nur dann wirtschaftlich werden, wenn es gelingt, seine spezifischen Vorteile, nämlich besonders das mehrfach größere Arbeitsvermögen und die vielfach größere Sicherheit gegen Verbruch, gegen die Aufhebung des monolithischen Zusammenhangs dadurch tatsächlich nutzbar zu machen, daß reproduzierbare Verfahren zur Prüfung dieser neuen Stoffeigenschaften gefunden, entsprechende Verfahren der statischen Berechnung und der Bemessung der Faserbewehrung neu entwickelt, und zumindest in unserem vorschrittengläubigen Land bauaufsichtlich anerkannt und eingeführt werden. Ohne solche Erfolge wäre es leicht möglich, daß der Stahlfaserspritzbeton keine nennenswerte Anwendung erlangt.

### 1.3 Statistik

Von den etwa 55 000 Firmen des Bauhauptgewerbes in Deutschland sind etwa 5 Dutzend als Spritzbeton-Fachfirmen zu bezeichnen, und von ihnen führen etwa zwei Dutzend größere Arbeiten des öfteren aus. Es gibt einen bundesweit arbeitenden Marktführer; neuerdings beginnen die entsprechenden Sonderabteilungen einiger großer Bauunternehmen, die bisher Spritzbeton nur im Rahmen der von ihnen auszuführenden Untertagebauten herstellten, mit ihm zu konkurrieren.

Es ist anzunehmen, daß der im Spritzverfahren eingebaute Beton einen Marktanteil von höchstens 1 % hat; das wären in Deutschland bei einer Betonproduktion von etwa 100 Mio m<sup>3</sup>/a ungefähr 100 000 m<sup>3</sup> Spritzbeton pro Jahr.

Der Anteil des davon im Trockenspritzverfahren verarbeiteten Betons dürfte bei mindestens 95 % liegen. Gänzlich unbekannt ist, wie hoch dabei die Anteile der nach dem Zweikammer-Schleusenprinzip und dem Rotorprinzip arbeitenden Maschinen sind, und wie hoch die baupraktisch erzielbare Leistung in m<sup>3</sup>/h anzunehmen ist.

Verlässliche Angaben oder gar Statistiken über diese Sachverhalte sind mir nicht bekannt. Sicher ist, daß das Spritzbeton-Verfahren auch in Zukunft nur von einer vergleichsweise sehr kleinen Zahl von Unternehmern und in anteilmäßig sehr geringem Umfang angewendet werden wird.

### 1.4 Forschung und Entwicklung

Die erste, den Stand der Spritzmaschinenteknik berücksichtigende und meines Wissens bisher einzige umfassende Darstellung des Wissens um den Spritzbeton, des einschlägigen Stands der Forschung und zahlreicher Anregungen für wünschenswerte Untersuchungen gibt die 1977 erschienene Dissertation Lutsch (1). Eine umfassende Bestandsaufnahme des Fachschrifttums über die Ausbesserung von Stahlbetonkonstruktionen mit Spritzbeton geben Müller/Lutsch (2). Nicht zuletzt ist auf (3) hinzuweisen, das als Standardwerk gelten kann und dessen Übersetzung ins Russische zur Zeit betrieben wird.

Eine Forschungsstelle, in der alle Fragen des Spritzbetons behandelt werden, gibt es nicht. Teilfragen werden in folgenden Institutionen bearbeitet, wobei die Reihenfolge keine Gewichtung darstellt, sondern sich chronologisch am Beginn der Forschungen orientiert:

- Stuttgart, Otto-Graf-Institut: Korrosionsschutz des Spannstahls im Spritzbeton von Wickelbehälter-Bauwerken mit kreisförmigem Querschnitt.

- Hannover, Betoninstitut TH, Wierig: Verstärkung von Betonbauteilen mit Spritzbeton.

- Im Auftrag von STUVA, Köln, an verschiedenen Stellen: Spritzbetonarbeiten für Untertagebauten, besonders unter Druckluft, zur Frage der Spritzstaub-Entwicklung.

- Bochum, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Universität, Zerna und Maidl: Stahlfaserspritzbeton einschließlich Probleme der Faser-Vereinzelung und der benötigten Spritzmaschinen; erste Dissertationen über Faserbetone und Stahlfaserspritzbetone von Schnütgen und Stiller; die Dissertation von Rapp (7) führte besonders hinsichtlich der Maschinenteknik weiter.

- Karlsruhe, Betoninstitut TH, die vorerwähnte Literatursichtung Lutsch, neuerdings Eibl: Tragverhalten von im Spritzverfahren anbetonierten Bauteilen, Eigenschaften des jungen Stahlfaserspritzbetons.

- Innsbruck Universität, Lukas und Kusterle: Spritzbeton mit hohem Widerstand gegen Sulfate, Erstarrungsbeschleuniger, Verfahren der Ermittlung der Frühfestigkeit von Spritzbeton (4), (5) und (6).

- Essen, Bergbau-Forschung: Einsatz von Stahlfaserspritzbeton für den Streckenausbau unter Tage und von Spritzmaschinen für Stahlfaserbeton.

An Institutionen, die sich in Deutschland mit Spritzbeton befassen, seien genannt:

- Arbeitsausschuß DIN 18 551 Spritzbeton (Obmann: Linder)

- Arbeitskreis Faserbeton beim Deutschen Beton-Verein (Obmann: Linder)

- Sachverständigenausschuß Faserbeton beim Institut für Bautechnik Berlin (Obmann: Baur)

- Fachvereinigung Glasfaserbeton, Heidelberg (Geschäftsführer: Pachow)

Tabelle 2. Regelwerke Spritzbeton

1. Bundesrepublik Deutschland

DIN 18 551 Spritzbeton, 7.1979. Die Vorarbeiten für die Neufassung beginnen.

DIN 18 314 Spritzbetonarbeiten, 9.1984.

Richtlinien für die Ausbesserung und Verstärkung von Betonbauteilen mit Spritzbeton, 10.1983. Vom DAFSt bauaufsichtlich eingeführt.

Merkblatt Stahlfaserspritzbeton, 2.1984. Deutscher Beton-Verein.

Sicherheitsregeln für Spritzbeton-Maschinen (Spritzbetonarbeiten), 1979. Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München.

Sicherheitsregeln für Mörtelförder- und Mörtelspritzmaschinen, 10.1983. Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München.

Grundsätze für die Prüfung der Arbeitssicherheit von Betonspritz-Maschinen, 6.1983. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn.

2. Frankreich

Recommandations à la Technologie et la Mise en Oeuvre du Béton projeté. 1974. A.F.T.E.S. Association française des Travaux en Souterrain, Paris.

Guide du Béton projeté, 1.1983. AFB, Association française du Béton, Paris.

3. Österreich

Spritzbeton, Richtlinie für Herstellung, Verarbeitung und Prüfung, 1982. Österreichisches Bundesministerium für Bauten und Technik, Wien.

4. Schweiz

SIA-Norm 198 Untertagebau, 1975, Zürich.

Technische Richtlinien für Gunit-, Spritzbeton- und Förderbetonarbeiten, 10.1978, herausgegeben vom Schweizerischen Gunitverband Zürich, Fachverband der Ausführungsfirmen für Gunit und Spritzbeton sowie der Hersteller von Spritzmaschinen.

5. UdSSR

Spritzbeton auf Baustellen der Wasserwirtschaft, Baunorm TU-11-58, Moskau.

6. Ungarn

Spritzbetonkonstruktionen, Technische Richtlinien Nr. 09.10233 - 1 bis 77, 9.1979. Ministerium für die Schwerindustrie, Hauptabteilung für technische Entwicklung, Budapest.

7. USA

ACI Standard: Specification for Materials, Proportioning and Application of Shotcrete, ACI 506.2 - 77. Recommended practice for Shotcreting, 2.1977, Detroit.

2. AUSGANGSSTOFFE DES SPRITZBETONS2.1 Zement

Das Bindemittel für sich betrachtet beinhaltet keinen besonderen Schwierigkeitsgrad beim Spritzbetonieren. Die verschiedenen Zemente reagieren unterschiedlich empfindlich gegen Temperaturschwankungen. Auch in Zukunft dürfte eine Eignungsprüfung in jedem Einzelfall der Anwendung mit praxisgerechten Grenzen der dabei untersuchten Temperaturen zweckmäßig sein.

Oft stellt sich die Frage, ob die bei nahezu allen Anwendungen unter Tage so wichtige hohe Frühfestigkeit durch Verwendung höherwertiger Zemente (PZ 55 - PZ 45), durch Verwendung von BE oder durch entsprechende Beeinflussung der Temperatur der Ausgangsmischung erzielt werden soll.

2.2 Zuschlag

Ein Streben nach einem möglichst hohen Größtkorn des Zuschlaggemischs ist nicht mehr festzustellen; üblich sind 16 mm und bei dünnen Schichten, erschwert zugänglichen Stellen oder stärkerer Bewehrung oft 8 mm. Natürlich gerundetes Korn wird weiterhin überwiegend verwendet, möglichst ohne größere Anteile an plattigen Grobkörnern, weil diese den Gehalt an natürlichen Luftporen erhöhen sowie die Rohwichte und die Festigkeit mindern. Beim Naßspritzverfahren mit Förderung im Dichtstrom wird zunehmend gebrochenes Korn verwendet.

Neuerdings drängen die Hersteller von sog. Trockenbeton mit fabrikmäßig vorgefertigten Ausgangsmischungen für das Trockenspritzverfahren, also sog. Sackware, auf den Markt. Dabei dürfte die Tatsache problematisch sein, daß dem Sand dabei die natürliche Eigenfeuchte entzogen ist, so daß beim Benetzen auf dem kurzen Weg von der Spritzdüse zur Auftragsfläche neben dem Zement eine mindestens ebenso große Sandmenge sich das Zugabewasser anlagern muß. Meines Wissens fehlen Erfahrungen mit solcher Sackware.

2.3 Zusätze

Es handelt sich dabei fast ausschließlich um BE. Die auf dem Markt befindlichen Beschleuniger haben ihren wirkungsmäßigen Schwerpunkt teils bei der Vorverlegung des Erstarrungszeitpunktes, teils bei der Einwirkung auf den Verlauf des ersten Erhärtens, und sie sind in dieser Wirkung, wie erwähnt, unterschiedlich temperaturabhängig. Eignungsprüfungen werden daher notwendig.

Reines Wasserglas oder Zusatzmittel mit Wasserglas als Wirkstoff (sog. Schnellbinder, Spritzbetonhilfen) werden zunehmend im Naßspritzverfahren bei der Bergsicherung eingesetzt. In Deutschland muß bei der Herstellung tragender Bauteile jedes verwendete Betonzusatzmittel ein Prüfzeichen des IfB Berlin haben. Es gibt neuerdings zugelassene BE auf Basis Kaliglas.

Es ist bekannt, daß die gerade bei der Bergsicherung tatsächlich verwendeten Mengen an BE weit über die 5 % hinausgehen, die entsprechend den Vorschriften des IfB zulässig sind.

Die Frage, ob der pulverförmigen oder der flüssigen Phase der BE der Vorzug zu geben

Einige der hier aufgeführten Regelwerke sind teilweise im Wortlaut einander sehr ähnlich.

ist, läßt sich noch immer nicht allgemeingültig ohne Bezug auf Trocken-/Naß, Dünn-/Dichtstrom und die Maschinentype beantworten. Die Zugabe von puzzolanisch oder latent hydraulisch wirkenden Betonzusatzstoffen wird meines Wissens gerade in Österreich seit Jahren überwiegend positiv beurteilt. In Deutschland dagegen sind die Erfahrungen bisher gering, sieht man von dem früher oft zugegebenen Traßmehl ab.

#### 2.4 Fasern

Seit einigen Jahren werden Stahlfasern in zwar geringem, aber zunehmendem Umfang verwendet, teils versuchsweise, zunehmend für erste Anwendungen.

Es gibt noch keine einheitliche Lehrmeinung über die zweckmäßige Geometrie der Einzelfaser (Länge, Querschnittsform, Relation Länge/Querschnittsfläche und äußere Form, z.B. gewellt, gekröpft), über die Feinrauhigkeit der Oberfläche und die optimale Stahlsorte und -festigkeit. Nach allen Erfahrungen werden die Fasern beim Reißen des Betons ausgezogen. Interessant könnten daher ringförmige und daher im Ribbereich stets zweischnittige Fasern sein, bei denen dies schlechterdings unmöglich ist.

Auf die Glasfasern, Handelsname z.B. Cemfil, ist hier nicht einzugehen, da solche Fasern zwar gelegentlich bei der Anwendung auch von Spritzverfahren eingesetzt werden, aber entweder reiner Zementleim verwendet wird (analog dem Asbestzement wäre die Bezeichnung Glasfaserzement zutreffend) oder Feinsande, z.B. 0/1 mm, zugegeben werden.

Über die Verwendung von Kunststoff-Fasern bei Spritzbeton gibt es meines Wissens bisher keine Veröffentlichungen.

#### 3. MASCHINEN

Das Mischen der herkömmlichen Ausgangsstoffe von Spritzbeton ist sozusagen problemlos. Beim Einmischen von Stahlfasern gilt es, die Bildung von sog. Igel- oder Knäueln der Fasern (besonders wenn sie leicht angerostet sind) dadurch zu verhindern, daß sie durch geeignete maschinelle Vorrichtungen "vereinzelte" werden.

Die seit Jahrzehnten bestehende Frage, in welchen Fällen das Trocken- oder Naßverfahren anzuwenden ist, wird noch Gegenstand vieler Diskussionen sein.

Als vergleichsweise neue und aussichtsreiche Entwicklungen sind zu nennen:

- Die Zugabe des Wassers in der Düse mit sehr hohen Drücken (Panda-Düse),
- die automatische Düsenführung (Spritzroboter, -manipulatoren), besonders in Verbindung mit der Anwendung des Naßspritzverfahrens in der Dichtstromförderung (z.B. "Spritzbüffel" von Putzmeister) und
- Fortschritte bei der Zugabe der Betonbeschleuniger sowie
- Erfolge bei der Bekämpfung des Spritzstaubs.

Ein abschließendes Urteil darüber, ob und gegebenenfalls welche dieser Entwicklungen Bestand haben, welche zum sogenannten Technikstand gehören, ob sie zur "herkömmlichen Bauweise" zählen werden, dürfte erst in einigen Jahren möglich sein.

Der Düsenführer ist bisher kein Lehrberuf; hier tummeln sich unter anderem gelernte Bäcker und Metzger. Dieses für den Erfolg der Ausführungen entscheidende Personal wurde bisher ausschließlich firmenintern geschult. Neu sind hier Lehrgänge für Spritzbetonbauer in Nürnberg, jeweils zweiwöchig, veranstaltet von einem Verein für Bauforschung und Berufsbildung des Bayerischen Bauindustrie-Verbands, München.

#### 4. HERSTELLUNG UND PRÜFUNG VON SPRITZBETON

Die Aussagen über das eigentliche Herstellen der Baukörper im Betonspritzverfahren sind sowohl im Fachschrifttum als auch in den Regelwerken dürftig und widersprüchlich. Das wundert nicht, wenn man bedenkt, daß ganz allgemein alle mehr oder weniger manuellen Arbeiten sich schlecht in kurze Worte fassen lassen, daß es für das herkömmliche Mischen der Ausgangsstoffe, das Verdichten des Frischbetons und den so wichtigen sog. Oberflächenschluß der schalungsfreien Oberseite bis heute keine leicht faßlichen Arbeitsanweisungen gibt und daß die Zusammenhänge und Wechselwirkungen bisher nicht bekannt sind.

Beim Spritzen von Beton fallen die ansonsten getrennten Arbeitsschritte des Förderns zur Einbaustelle, des Einbauens des Frischbetons und des Verdichtens in dem einzigen Arbeitsschritt des Spritzens zusammen. Da sämtliche Ausgangsstoffe jeden Betons völlig inkompressibel sind, kann "Verdichten" immer und auch beim Spritzverfahren nur heißen, daß die zwischen die Partikel der Ausgangsstoffe eingelagerte Luft im größtmöglichen Umfang ausgetrieben wird. Diesem Austreiben sind beim Spritzen vergleichsweise engere Grenzen dadurch gesetzt, daß die neuen Partikel beim Auftreffen auf die spritzraue Oberfläche mit einem Unterschied der "Berge" und "Täler" von bis zu 1 cm wieder Luft einschließen, trotz aller Wucht, mit der die neuen Partikel auf die Fläche auftreffen und dort eingehämmert werden (so steht es in den Werbeprospekten). Sie bilden dort Luftporen von 1 mm bis zur Größe einer Erbse oder Linse, bei plattigem Grobkorn des Zuschlags bis zur Größe einer Bohne oder eines Mandelkerns.

In der für den wirtschaftlichen Erfolg der Spritzbeton-Bauart so wichtigen Frage des Rückpralls gibt es keine verlässlichen Angaben über die prozentualen Anteile in Abhängigkeit von den Einflußgrößen des Spritzverfahrens und der Neigung, und über die Zusammensetzung des Rückprallguts einschließlich des mittleren Zementgehalts. Sicher ist lediglich, daß das Rückprallgut in aller Regel nicht wiederverwendet werden kann, weder für die Zugabe zur Ausgangsmischung noch zur Herstellung von Bauteilen mit untergeordneter Bedeutung, z.B. Dränungen im Sohlbereich von Hohlgängen.

Zu den Güteprüfungen an Bohrkernen, die entweder dem Bauteil selbst entnommen sind oder aus Probekörpern stammen, die unter vergleichbaren Verhältnissen gespritzt und danach normgemäß gelagert sind, ist festzustellen, daß die Prüfergebnisse zwar repräsentativ sind (so weit das bei einem Betonbauwerk grundsätzlich möglich ist), aber einen sehr hohen Aufwand erfordern, allzu hoch z.B. bei Prüfhäufigkeiten, wie sie die bundesdeutschen Normen für die Betonfestigkeitsklassen der Gruppe B II fordern.

Wir sind heute in der Lage, im Spritzverfahren Betone nicht nur der üblichen Festigkeitsklasse B 25, sondern auch als B 35, B 45

und B 55 einigermaßen zielsicher herzustellen. Wer das Wörtchen "einigermaßen" streichen möchte, muß einen vergleichsweise größeren Vorhaltewert von 8 - 10 N/mm<sup>2</sup> wählen.

Die Rohwichte von Spritzbeton liegt sehr oft vergleichsweise niedrig, um bis 0,1 kg/dm<sup>3</sup> niedriger als bei Ortbeton, was davon herührt, daß - besonders bei Verwendung von Zuschlag mit überwiegend plattiger Kornform - mehr Luft als sonst eingeschlossen wird. Dennoch bestehen diese Spritzbetone die Wasserundurchlässigkeitsprüfung nach DIN 1048 mit größtzulässigen mittleren Eindringtiefen von 5 - 3 cm, weil der Gehalt an Zementstein und Zementfeinmörtel im Beton vergleichsweise hoch liegt und die vorerwähnten, im einzelnen sehr großen Luftporen untereinander nicht in Verbindung stehen.

Die Sonderprobleme der Prüfung des "Arbeitsvermögens" bei Stahlfaserspritzbeton sind in der Fachliteratur behandelt.

#### LITERATUR

1. Lutsch, H.: Neue Erkenntnisse zum Auftragen des Spritzbetons. Beitrag zu Technologie des Spritzbetons. Technische Hochschule Innsbruck 1978. Dissertation Blümel/Lessmann. 263 Quellen.
2. Müller, P., und Lutsch, H.: Ausbesserung von Stahlbetonkonstruktionen mit Spritzbeton. Ergebnisse einer Bestandsaufnahme der Fachliteratur. Universität Karlsruhe, Deutscher Beton-Verein, Wiesbaden. 508 Quellen.
3. Brux, G., Linder, R., und Ruffert, G.: Spritzbeton - Spritzmörtel - Spritzputz; Herstellung, Prüfung und Ausführung. Verlag Rudolf Müller, Köln, 1981. 428 Quellen
4. Kusterle, W.: Optimierung der Komponenten für Spritzbeton, Dissertation Universität Innsbruck 1983.
5. Kusterle, W.: Ein kombiniertes Verfahren zur Beurteilung der Frühfestigkeit von Spritzbeton; Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984), Heft 9, S.251-253.
6. Byfors, J.: Verfahren zur Bestimmung der Frühfestigkeit von Betonbauteilen; Beton- und Stahlbetonbau 79 (1984), Heft 9, S.247-251.
7. Rapp, R.: Stahlfaserspritzbeton im Bergbau und Tunnelbau; Dissertation Ruhr-Universität Bochum 1979.
8. Zerna, W.: Technologie des Stahlfaserbetons und des Stahlfaserspritzbetons; Konstruktiver Ingenieurbau, Berichte Heft 42, 1984.