

# Richtlinien für Spritzbeton <sup>1)</sup>

Gekürzte Wiedergabe der Empfehlungen des ACI Committee 506 von Jürgen Dahms, Düsseldorf

## Übersicht

*Die Richtlinien enthalten auf praktische Erfahrungen aufgebaute Empfehlungen für die Herstellung von Spritzbeton. Sie wurden unter der Obmannschaft von Thomas J. Reading in einem Ausschuß von 21 anerkannten Fachleuten aufgestellt.*

*In sechs Abschnitten wird auf die verschiedenen Anwendungsgebiete des Spritzbetons, die Anforderungen an die Ausgangsstoffe, Eignungsversuche, Baustelleneinrichtungen und die Herstellverfahren eingegangen. Prüfmöglichkeiten für Spritzbeton werden kurz behandelt.*

*Da in Deutschland, soweit bekannt, keine Anleitungen für Spritzbetonarbeiten zur Verfügung stehen, soll die gekürzte Wiedergabe der amerikanischen Richtlinien Anregungen dafür geben, wie eine deutsche Richtlinie für den auch bei uns häufig angewandten pneumatisch aufgetragenen Mörtel oder Beton gestaltet werden könnte.*

## 1. Allgemeines

Unter Spritzbeton versteht man Mörtel oder Beton, der pneumatisch von der Mischanlage durch Schläuche zur Einbaustelle gefördert und mit hoher Geschwindigkeit aufgetragen wird. Durch die hohe Auftreffwucht wird der Beton verdichtet.

Spritzbeton wird sowohl für Neukonstruktionen als auch zur Ausbesserung von Beton und Mauerwerk verwendet. Seine Eigenschaften hängen weitgehend davon ab, wie sorgfältig er aufgetragen wird, ob die Misch- und Fördergeräte den Anforderungen entsprechen und welche Erfahrungen die Arbeiter mit dem Verfahren haben.

Der Spritzbeton kann im Trocken- oder im Naßverfahren hergestellt werden.

Beim Trockenverfahren werden Zement und feuchter Sand gründlich miteinander vermischt. Das Zement-Sand-Gemisch wird in einen besonderen Aufgabeebehälter gefüllt, von wo es mittels eines Vorschubrades der Förderleitung zugeteilt wird. Mit Hilfe von Druckluft gelangt das Material durch die Förderleitung (Schlauch) zur Spritzdüse. Die Spritzdüse enthält innen ein perforiertes Rohr, durch welches das Wasser unter Druck zugeführt und direkt mit dem Trockengemisch vermischt wird. Dabei wird der Mörtel aus der Düse gespritzt und prallt mit hoher Geschwindigkeit auf die Auftragsfläche. Dieses Verfahren kommt seit über 50 Jahren zur Anwendung.

<sup>1)</sup> Recommended practice for shotcreting. Proposed ACI Standard, reported by ACI Committee 506. Proc. Amer. Concr. Inst. 63 (1966) S. 219/246.

Beim Naßverfahren werden alle Ausgangsstoffe einschließlich Wasser gründlich gemischt und anschließend, wie auch beim Trockenverfahren, mit Druckluft bis zur Düse gefördert, wobei hier dann zur Beschleunigung zusätzlich Druckluft zugeführt wird. Das Naßverfahren wird seit etwa zehn Jahren angewendet.

Beide Verfahren können für die verschiedensten Arbeiten eingesetzt werden. Unterschiede in Kosten für die Geräte, für ihre Unterhaltung und auch verfahrenstechnische Gründe können je nach Anwendungsfall das eine oder andere Verfahren wirtschaftlicher machen. Im wesentlichen sind bei einem Vergleich der beiden Verfahren folgende Unterschiede herauszustellen:

#### *Trockenverfahren*

1. Zugabe des Mischwassers und die Beherrschung der Konsistenz über die Düse
2. Besser geeignet für Leichtbetonzuschlagstoffe
3. Geeignet für große Förderweiten

#### *Naßverfahren*

1. Mischwasser kann genau abgemessen werden
2. Größere Sicherheit, Wasser, Zement und Zuschlagstoffe gut miteinander zu vermischen
3. Weniger Staub während des Spritzvorganges

Vorteile des Spritzbetons gegenüber normalem Beton liegen in dem geringen Aufwand für Schalung und Baustelleneinrichtung.

Besondere Anwendungsgebiete der Spritzbetonbauweise sind gekrümmte Dächer, Fallwerkkonstruktionen, Wände, vorgespannte Tanks, Auskleidungen von Behältern, Kanälen, Schwimmbecken, Tunneln und Stollen sowie von Schächten. Spritzbeton dient weiter zur Sanierung von Mauerwerk, älterem Beton, zur Festlegung von Fels und zur Ummantelung und Feuersicherung von Stahlkonstruktionen.

Eine besondere Eigenschaft des Spritzbetons ist seine gute Haftung an Beton, Mauerwerk, Stahl und Fels.

Der Wasserzementwert des Spritzbetons liegt im allgemeinen mit 0,35 bis 0,50 etwas unter dem eines normalen Betons. Die physikalischen Eigenschaften sind mit denen eines normalen Betons zu vergleichen. Die Würfel-Festigkeiten nach 28 Tagen <sup>2)</sup> liegen zwischen 270 und 630 kp/cm<sup>2</sup>. Es sind aber auch schon Festigkeiten bis zu 900 kp/cm<sup>2</sup> erreicht worden. Allerdings sollten Festigkeiten von über 360 kp/cm<sup>2</sup> nur in besonderen Fällen verlangt werden.

Das Schwindmaß liegt mit 0,06 bis 0,10 % wegen der zementsteinreicheren Zusammensetzung etwas höher als bei normalem Beton. Entsprechend muß bei Spritzbeton der Fugenabstand etwas geringer gewählt werden.

Die Beständigkeit von Spritzbeton ist nach Labor- und Baustellenversuchen im allgemeinen gut. Nur bei sehr starker Frosteinwir-

<sup>2)</sup> Siehe hierzu: Walz, K.: Beton- und Zementdruckfestigkeiten in den USA und ihre Umrechnung auf deutsche Prüfwerte. Betontechnische Berichte 1962, Beton-Verlag, Düsseldorf 1963, S. 123/140.

kung und sehr stark betonangreifenden Wässern ist eine Imprägnierung, z. B. mit Leinöl, oder eine andere Beschichtung zu empfehlen.

## 2. Ausgangsstoffe

**Portlandzement** sollte der Norm entsprechen. Werden alkaliempfindliche Zuschlagstoffe verwendet, so ist ein Zement mit niederm Alkaligehalt zu empfehlen. Wird der Spritzbeton später Böden oder Wässern mit hohem Sulfatgehalt ausgesetzt, so ist ein Zement des Typs V zu verwenden und für Betone mit hoher Anfangsfestigkeit Zement des Typs III<sup>3)</sup>. Tonerdezement wird dem Portlandzement vorgezogen, wenn der Beton hohen Temperaturen ausgesetzt wird, zum Beispiel als feuerfeste Auskleidung. Bei seiner Anwendung muß die hohe Hydratationswärme berücksichtigt werden.

Die **Zuschlagstoffe** für Spritzbeton sollten den Anforderungen der ASTM C 33<sup>4)</sup> entsprechen. Die Kornzusammensetzung für „feine“ Zuschlagstoffe ist in Tafel 1, für „grobe“ Zuschlagstoffe in Tafel 2 zusammengestellt.

Tafel 1 Kornzusammensetzung für feine Zuschlagstoffe

Maschenweite in mm <sup>5)</sup>	Durchgang in Gew.-%
10	100
5	95 – 100
2,50	80 – 90
1,25	50 – 85
0,63	25 – 60
0,315	10 – 30
0,16	2 – 10

Tafel 2 Kornzusammensetzung für grobe Zuschlagstoffe

Maschenweite in mm <sup>5)</sup>	Durchgang in Gew.-% für Korngruppe		
	2,5/10 mm	5/12,5 mm	5/20 mm
25	—	—	100
20	—	100	90 – 100
12,50	100	90 – 100	—
10	85 – 100	40 – 70	20 – 55
5	10 – 30	0 – 15	0 – 10
2,50	0 – 10	0 – 5	0 – 5
1,25	0 – 5	—	—

<sup>3)</sup> Zement des Typs V ist ein Portlandzement mit hohem Sulfatwiderstand, Zement des Typs III ein Portlandzement mit hoher Frühfestigkeit.

<sup>4)</sup> ASTM C 33: Anweisungen für Betonzuschlagstoffe.

<sup>5)</sup> Die Siebe nach ASTM E 11-39 wurden auf Maschenweiten nach DIN 4188 umgerechnet.

Feinere Sande, die oft wegen der größeren Gleichmäßigkeit der Spritzbetonoberfläche oder wegen des geringeren Rückpralls bevorzugt werden, fördern durch ihren größeren Wasseranspruch das Schwinden. Größere Sande ergeben einen besseren Verbund. Das Überkorn muß abgesiebt werden, da sonst Verstopfer in der Förderleitung entstehen. Die Verwendung von Leichtzuschlagstoffen ist möglich <sup>6)</sup>.

Das *Anmachwasser* sowie das Nachbehandlungswasser sollten frei von beton- und stahlschädlichen Bestandteilen sein und keine Verfärbungen verursachen.

In einigen Fällen ist es wünschenswert, dem Spritzbeton für spezielle Anforderungen *Zusatzmittel* beizugeben <sup>7)</sup>. Es ist zu berücksichtigen, daß die Wirkung der Zusatzmittel bei Spritzbeton nicht immer der bei normalem Beton entspricht.

Wird eine rasche Festigkeitsentwicklung erforderlich, so können unter gewissen Bedingungen Calciumchlorid oder andere beschleunigende Zusätze verwendet werden. Der Anteil an Calciumchlorid sollte nie über 2 % des Zementgewichts betragen, es sei denn in Ausnahmefällen, wo eine Leckstelle rasch abgedichtet werden muß. Zusatzmittel, die Calciumchlorid enthalten, sollten nicht verwendet werden, wenn der Spritzbeton Spannstahl enthält und Meerwasser oder anderen sulfathaltigen Wässern ausgesetzt wird. Weiter soll Calciumchlorid nicht zugesetzt werden, wenn innerhalb des Spritzbetons verschiedene Metalle, wie z. B. Aluminium und Stahl, miteinander in Verbindung stehen.

Beim Trockenverfahren ist es im allgemeinen nicht möglich, Luftporen einzuführen. Dagegen können beim Naßverfahren luftporenbildende Zusatzmittel verwendet werden. Es muß allerdings berücksichtigt werden, daß etwa die doppelte Luftmenge in der Ausgangsmischung vorhanden sein muß, da ein Verlust an Luft eintritt; damit 1 % Luftporen in dem aufgespritzten Beton verbleiben, müssen 2 % in der Ausgangsmischung sein. Der Einfluß der luftporenbildenden Zusatzmittel im Spritzbeton ist somit zwar eingeschränkt, es darf aber erwartet werden, daß der Frostwiderstand trotzdem zunimmt.

In einigen Fällen, z. B. wenn nach dem Aufspritzen die Oberfläche noch bearbeitet werden soll, kann es erforderlich werden, dem Spritzbeton noch einen Verzögerer zuzugeben.

Feinststoffzusätze, wie z. B. Flugasche und Asbestfasern, können die Verarbeitbarkeit verbessern und den Beton zäher machen, so daß dem Absacken des Spritzbetons entgegengewirkt wird. Sie sollten aber nur in Ausnahmefällen zugegeben werden, da im allgemeinen der Wasseranspruch und damit das Schwinden erhöht werden sowie eine geringere Festigkeit damit verbunden sein kann.

<sup>6)</sup> Siehe hierzu ASTM C 330: Richtlinien für Leichtzuschlagstoffe für Konstruktionsbeton.

<sup>7)</sup> Siehe hierzu ASTM C 494: Richtlinie für chemische Zusätze für Beton und ASTM C 260: Richtlinie für luftporenbildende Zusätze für Beton.

### 3. Eignungsversuche

Die Belonzusammensetzung, Art und Kornaufbau der Zuschlagstoffe, die Anordnung der Bewehrung, die Baustelleneinrichtung sowie die Auswahl der Facharbeiter sind maßgebend für die Qualität des Spritzbetons. Vor Beginn der Bauarbeiten sollten deshalb von der Mannschaft, die später die Spritzarbeiten ausführen soll, im Laboratorium Vorversuche durchgeführt sowie das Arbeiten der Mischanlage überprüft werden.

Beim Trockenverfahren muß die Wassermenge, die an der Düse zugegeben wird, so bemessen werden, daß eine möglichst dichte Lagerung ohne Nester und mit geringem Rückprall erzielt wird. Es kann erforderlich werden, daß dazu zwei oder drei verschiedene Mischungen erprobt werden müssen. Ähnliches gilt beim Naßverfahren, nur daß hier bereits während des Mischens etwas mehr auf die Konsistenz — das Setzmaß beträgt im allgemeinen 0 bis 10 cm<sup>8)</sup> — geachtet werden muß. Vorversuche sind immer erforderlich, wenn gröbere Zuschläge verwendet werden sollen. Hierbei wird empfohlen, mit einem Anteil größerer Zuschläge von 20 bis 40 % zu beginnen.

In der Vergangenheit war es vielfach üblich, bei Eignungsversuchen Zylinderformen ( $d = 15$  cm und  $h = 30$  cm) mit der gewünschten Mischung vollzuspritzen. Da diese Proben nicht repräsentativ genug sind, wird empfohlen, eine Platte mit den Abmessungen von mindestens  $75$  cm  $\times$   $75$  cm  $\times$   $7,5$  cm zu spritzen. Für diese Form kann Sperrholz verwendet werden. Die später erforderliche Spritzrichtung ist während des Spritzens zu berücksichtigen, d. h. es muß wie später im Bauwerk, z. B. horizontal oder vertikal über Kopf, gespritzt werden. Auch Bewehrungsstäbe sollten, falls sie eingespritzt werden, in der Platte angeordnet sein. Später können dann Würfel oder Zylinder zur weiteren Prüfung aus der Platte herausgesägt oder -gebohrt werden. Die Zylinder sollten hierbei mindestens einen Durchmesser von 7,5 cm und ein Verhältnis Höhe zu Durchmesser von rd. 1 haben. Die Proben sollten im Alter von 7 oder 28 Tagen auf Druckfestigkeit geprüft werden. Die Schnittflächen der Proben sind sorgfältig zu untersuchen, und durch zusätzliches Brechen oder Sägen der Platte sollten weitere Flächen freigelegt werden. Die Flächen sollen ein dichtes Gefüge aufweisen und frei von Schichtungen und Sandnestern sein. An herausgebohrten oder -gesägten Proben können die Wasseraufnahme, das Schwinden und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Frost-Tau-Wechseln geprüft werden.

### 4. Anforderungen an die Geräte

Die Zugabe der Ausgangsstoffe sollte gewichtsmäßig erfolgen. Die Zuschlagstoffe können raummäßig zugegeben werden, wenn in gewissen Abständen Nachprüfungen durchgeführt werden und sichergestellt ist, daß in der Zwischenzeit die geforderten Toleranzen eingehalten werden. Beim Trockenverfahren sollte die Sandfeuchtigkeit nur so groß sein, daß das Sand-Zement-Gemisch bzw. das Kiessand-Zement-Gemisch ohne Verstopfer durch die Förder-

<sup>8)</sup> Das entspricht einem Ausbreitmaß von etwa 35 bis 45 cm.

leitung bewegt werden kann. Dies ist im allgemeinen der Fall, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Zuschlags zwischen 3 und 6 % beträgt. Die Mischanlage soll so groß ausgelegt werden, daß bei einer Mischdauer von mindestens 1 Minute (Trockenverfahren) ein kontinuierliches Arbeiten gewährleistet wird. Die Förderanlage sollte sowohl in ihrer Wirkungsweise als auch in ihrer Größe bereits erprobt sein. Kompressorleistungen für normale Herstellungsbedingungen sind in Tafel 3 zusammengestellt.

Tafel 3 Kompressorleistungen<sup>9)</sup> für eine normale Spritzbetonbaustelle

Kompressorleistung m <sup>3</sup> /min	Leitungsdurchm. cm	Größte Düsenöffnung cm	Wirksamer Luftdruck kp/cm <sup>2</sup>
7	2,5	1,9	2,8
9	3,2	2,5	3,2
10	3,8	3,2	3,9
14	4,1	3,8	4,6
17	4,4	4,1	5,3
21	5,0	4,4	6,0

Der in Tafel 3 angegebene Luftdruck ist der Druck, mit dem das Material in die Förderleitung gedrückt wird. Er wird mit einem Druckaufnehmer in der Förderleitung in der Nähe des Materialaustritts gemessen. Der Luftdruck soll stetig und gleichmäßig und in keinem Fall pulsierend wirken. An der Spritzdüse befindet sich beim Trockenverfahren ein von Hand bedienbarer Wasserhahn, mit dem das Wasser in beliebiger Menge dem Zement-Sand-Gemisch zugegeben werden kann. Das Spritzgut soll beim Austritt aus der Spritzdüse einen überall gleich dichten Sprühkegel bilden. Ungleichmäßigkeiten im Sprühkegel ergeben sich, wenn das Düsenrohr undicht ist oder die Wasserzuführung ungleichmäßig erfolgt. Der Wasserdruck an der Spritzdüse sollte etwas größer sein als der wirksame Luftdruck. Damit wird sichergestellt, daß das Wasser sich intensiv mit dem Trockenbeton vermischt.

Auch beim Naßverfahren sollte eine gewichtsmäßige Zugabe der Ausgangsstoffe angestrebt werden. Zement kann wie beim Trockenverfahren sackweise zugegeben werden. Wird Transportbeton verwendet, dann sollte dieser ASTM C 94<sup>10)</sup> entsprechen.

Beim Naßverfahren wird der Beton in der Regel wie beim Trockenverfahren mit Hilfe von Druckluft gefördert. An der Düse wird zusätzlich noch Druckluft zugeführt. Andere Fördermöglichkeiten, z. B. mit einer Betonpumpe, sind beim Naßverfahren möglich.

<sup>9)</sup> Die in Tafel 3 angegebenen Werte gelten für Schlauchlängen von 45 m und gleichzeitig für eine Steighöhe von 7,50 m. Je 15 m Schlauchleitungslänge und je 7,50 m Steighöhe sollte im allgemeinen der Druck um 0,35 kp/cm<sup>2</sup> erhöht werden.

<sup>10)</sup> ASTM C 94: Richtlinien für Transportbeton.

## 5. Auswahl der Facharbeiter

Die Qualität des Spritzbetons hängt weitgehend auch von den Erfahrungen und der Eignung der Arbeiter ab, ähnlich wie eine gute Schweißnaht im wesentlichen von den Fähigkeiten des Schweißers abhängig ist. Grundsätzlich sollten nur Arbeitskräfte eingesetzt werden, die bereits ähnliche Arbeiten ausgeführt haben. Der Vorarbeiter sollte mindestens 2 Jahre lang als Düsenführer gearbeitet haben. Der Düsenführer sollte mindestens eine 6monatige Lehre in dieser Tätigkeit durchgemacht haben.

Der Düsenführer hat im einzelnen folgende Aufgaben:

Er muß dafür sorgen, daß die zu bespritzende Oberfläche sauber und frei von losen Bestandteilen ist. Gegebenenfalls muß er mit Luft oder einem Luft-Wasser-Gemisch zunächst noch einmal die Oberfläche abspritzen. Er hat vor allem die Luftzufuhr zu regeln und den Wasserzufluß so einzustellen, daß eine plastische Mischung entsteht, die eine möglichst große Verdichtung und einen geringen Rückprall ergibt. Gleichzeitig soll die Mischung aber so steif sein, daß sie nach dem Anspritzen nicht absackt. Beim Naßverfahren muß der Düsenführer dafür sorgen, daß die Konsistenz gegebenenfalls an der Mischanlage geändert wird. Weiterhin muß der Düsenführer über genügend Erfahrung verfügen, um den geeigneten Abstand zwischen Spritzdüse und zu bespritzender Fläche zu wählen sowie um auch Bewehrungsstäbe und unregelmäßige Stellen gut einzuspritzen. Bei Fehlstellen muß er dafür Sorge tragen, daß Sandnester oder Ablagerungen herausgestemmt werden; hierzu sollte er ständig einen Hilfsarbeiter in der Nähe haben.

## 6. Anforderungen bei der Ausführung

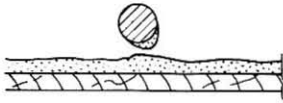
Wird der Spritzbeton auf Erdplanum aufgebracht, z. B. bei Kanalauskleidungen, so sollte die Oberfläche zunächst gut verdichtet und eingeebnet werden. Spritzbeton sollte nie auf gefrorenen, lockeren oder sehr nassen Untergrund aufgebracht werden. Einige Stunden vor dem Aufspritzen sollte die Fläche angefeuchtet werden.

Wird mit Spritzbeton schadhafter Beton ausgebessert, dann müssen zunächst alle losen und schadhafte Teile sowie scharfe, vorspringende Kanten von der zu bespritzenden Fläche entfernt werden. Die zu spritzende Fläche sollte vorher möglichst mit dem Sandstrahl behandelt werden. Beton und Mauerwerk muß angefeuchtet werden. In der Praxis wird in der Regel der Düsenführer die Fläche mit einem Luft-Wasser-Strahl abspritzen und das überschüssige Wasser mit Druckluft wegblasen.

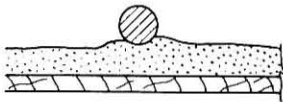
Für das Aufspritzen kann als allgemeine Regel gelten, daß die Düse im Abstand von etwa 60 cm bis 1,50 m rechtwinklig zur Auftragsfläche gehalten wird. Wird Bewehrung eingespritzt, dann muß u. U. die Düse dichter und unter einem flacheren Winkel zur Auftragsfläche gehalten werden, damit der Beton auch unter die Stäbe gelangt. Ein Beispiel zeigt Bild 1, wo Bewehrungsstähle einmal richtig und einmal falsch eingespritzt wurden.

Richtig

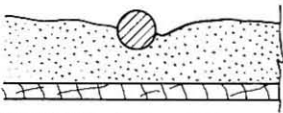
Spritzdüse dicht am Baustahl



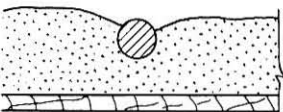
1. Spritzbeton gelangt mit hoher Geschwindigkeit unter die Bewehrung



2. Der Spalt unter dem Bewehrungsstahl ist völlig mit Beton gefüllt



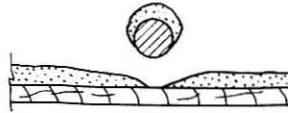
3. Stahlfläche frei von Betonansätzen



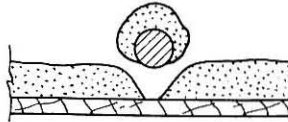
4. Bewehrungsstahl gut eingebettet

Falsch

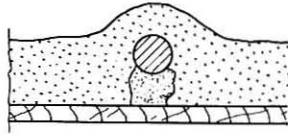
Spritzdüse zu weit entfernt



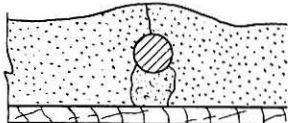
1. Der sanft auftreffende Spritzbeton bleibt an der Bewehrung hängen



2. Starker Betonansatz an der Bewehrung



3. Eine entmischte und schlecht verdichtete Zone unter dem Bewehrungsstahl



4. Schwindriß

Bild 1 Richtiges und falsches Einspritzen der Bewehrung

Als Bewehrung können Rundstäbe oder Baustahlmatten verwendet werden. Dünne Stahlquerschnitte sind zu bevorzugen. Vor dem Einspritzen sollten die einzelnen Stäbe möglichst frei liegen, damit rundherum gesunder Spritzbeton eingebracht werden kann. Die geringste Maschenweite von Baustahlmatten sollte  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  nicht unterschreiten. Der Abstand der Rundstäbe sollte mindestens  $6\text{ cm}$  betragen.

Die Dicke der Lagen, in denen der Spritzbeton aufgetragen wird, hängt praktisch davon ab, von welcher Dicke an der Spritzbeton anfängt abzusacken. Sackt er ab, so ist eine geringere Lagendicke zu wählen.



Rückprall besteht aus etwas Zementleim und viel groben Zuschlagstoffen. Die Menge des Rückpralls hängt von der Art des Bauteils, vom Luftdruck, vom Zementgehalt, dem Wassergehalt, der maximalen Korngröße, der Abstufung der Zuschläge, der Anordnung der Bewehrung sowie der Dicke der aufgetragenen Schichten ab.

Der Rückprall beträgt im allgemeinen bei

waagerechten Flächen	5 bis 10 ‰
Böschungen und vertikalen Wänden	15 bis 30 ‰
Überkopfbauteilen	25 bis 50 ‰

Zu Beginn der Spritzarbeiten fällt ein größerer Rückprall an, weil zunächst einmal ein plastisches, weiches Polster entstehen muß. Der Rückprall ist viel magerer und enthält mehr gröbere Zuschlagkörner als die Ausgangsmischung. Deshalb ist der Zementgehalt des aufgetragenen Spritzbetons immer höher als in der Ausgangsmischung. Der Rückprall sollte in der Regel den folgenden Mischungen nicht wieder zugesetzt werden.

Soll ein Spritzbetonbauteil mit einer besonders glatten Oberfläche abschließen, so wird diese Schicht erst aufgetragen, nachdem die vorangegangene Schicht erhärtet ist und erneut leicht angefeuchtet wurde. Zuvor sollte der bereits aufgebrauchte Spritzbeton mit einem Hammer auf Hohlstellen oder Nester abgeklopft werden. Werden Stützen gespritzt, so sollte dies möglichst von zwei nebeneinanderliegenden Seiten erfolgen. Wandpfeiler werden von zwei nebeneinanderliegenden oder von zwei gegenüberliegenden Seiten gespritzt. Bei jeder Art von Spritzbeton-Konstruktionen ist dafür zu sorgen, daß Luft und Rückprall entweichen bzw. entfernt werden können.

Bei zweilagiger Bewehrung muß mit dem Einbau der zweiten Lage so lange gewartet werden, bis die erste Lage eingespritzt ist. Spritzbeton sollte nicht zum Verfüllen von schmalen Spalten und Löchern verwendet werden. Hier wird normaler Beton empfohlen. So eignet sich z. B. Spritzbeton auch nicht für spiralbewehrte Stützen oder Pfähle.

Normalerweise sollte die ursprüngliche Spritzbetonoberfläche erhalten bleiben. Dennoch kann es in einigen Fällen erforderlich werden, die verhältnismäßig rauhe Oberfläche noch mit einem besonderen Abschluß zu versehen. Dieser kann erfolgen, indem man feineren Sand verwendet. Beim Aufspritzen wird die Spritzdüse besonders weit von der Auftragsfläche entfernt gehalten. Die glatte, dünne Schicht läßt sich dann noch mit verschiedenen Arten von Spachteln (Holz- oder Gummispachteln) bzw. mit Kellen bearbeiten.

Auch Sonderbetone, wie Leichtbetone, Betone mit hohem Widerstand gegen angreifende Wässer oder Betone mit hoher Frühfestigkeit, lassen sich als Spritzbeton herstellen. Die für diese Mischungen erforderlichen besonderen Herstellungsbedingungen sind zu beachten. So werden z. B. Leichtzuschlagstoffe im allgemeinen nur beim Trockenverfahren verwendet. Da Leichtbetone im allgemeinen etwas weicher hergestellt werden müssen als die übrigen Betone, ist bei einer Förderung nach dem Naßverfahren viel Energie erforderlich.

Eine sorgfältige *Nachbehandlung* ist besonders bei dünnen Bauteilen wichtig. Die Oberfläche muß mindestens 7 Tage lang gleichmäßig feucht gehalten werden. Es ist aber auch möglich, einen Nachbehandlungsfilm aufzubringen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die Spritzbetonfläche wegen ihrer Rauigkeit etwa 1 $\frac{1}{2}$ mal so groß ist wie bei normalem Beton. Die den Spritzbeton umgebende Luft sollte mindestens 7 Tage lang über dem Gefrierpunkt liegen.

Die *Güteüberwachung* von Spritzbeton ist schwieriger als von normalem Beton. Durch genaues Abmessen der Ausgangsstoffe ist noch nicht gewährleistet, daß auch eine ausreichende Güte des Betons erreicht wird. Es ist vielfach nicht möglich, Bohrkerne aus dem Bauteil zu entnehmen. Deshalb sollten, wie auch unter 3 beschrieben, in bestimmten Abständen Platten gespritzt werden, aus denen dann Bohrkerne und Würfel herausgearbeitet werden können. Für eine tägliche Baustellenüberwachung können eingespritzte Zylinder ausreichend sein. Über die Qualität des Bauwerks würden jedoch Bohrkerne den sichersten Aufschluß geben. Jede Spritzbetonlage sollte systematisch mit einem Hammer nach Fehl- und Hohlstellen abgeklopft werden.

#### SCHRIFTTUM :

- [1] ACI Committee 805: Recommended practice for the application of mortar by pneumatic pressure (ACI 805-51). American Concrete Institute, Detroit 1951.
- [2] Recommended practice for the application of mortar by pneumatic pressure (ACI 805-51). Discussion by J. M. Crom, R. M. Doull and Committee. Proc. Amer. Concr. Inst. 47 (1950/51) S. 720-1/720-8.
- [3] ACI Symposium on Shotcrete (noch nicht veröffentlicht).
- [4] Concrete Manual. 7. Auflage. U. S. Bureau of Reclamation, Denver 1963.
- [5] Moran, T. W.: The use of gunite as a structural material. A survey of developments 1930-1955. The Structural Engineer (London) 34 (1956) H. 2, S. 37/55.
- [6] Ternan, W. G. M.: The refacing of four concrete dams. Civil Engineering and Public Works Review (London) 51 (1956), H. 595, S. 79, H. 596, S. 196, und H. 597, S. 317.
- [7] Sluddebaker, C. H.: Report on gunite at arrowrock dam. USBR Memorandum, U. S. Bureau of Reclamation, 1939.
- [8] Kulberg, O. N.: Pneumatically applied mortar for restoring concrete structures. Proc. Amer. Concr. Inst. 57 (1960/61) S. 183/192.
- [9] Gunite specifications and recommended practice. Gunite Contractors Association Brochure G-55-61, Los Angeles.