

# Spritzbeton

## Anforderungen, Zusammensetzung, Überwachung \*)

Von Jürgen Dahms, Düsseldorf

### 1. Einleitung

Das Besondere an Spritzbeton im Vergleich zu Normalbeton ist die Art, wie er eingebracht wird, denn Einbringen und Verdichten der Mischung werden in einen Arbeitsgang, das Spritzen, zusammengelegt. Bis zur Spritzdüse oder zum Strahlrohr wird die nasse oder trockene Mischung in Rohren pneumatisch oder durch Pumpen gefördert. In der Düse wird mit Hilfe von Druckluft bzw. Druckluft und Wasser dem Mischgut eine hohe Geschwindigkeit erteilt und der Beton an die Einbaustelle geschleudert. Er erfährt hier infolge der hohen Auftreffgeschwindigkeit eine Verdichtung. Aus dieser Art des Einbringens ergeben sich für den Spritzbeton in bezug auf Anforderungen, Zusammensetzung und Überwachung einige besondere Forderungen, die zu beachten sind.

Um das seit mehr als 50 Jahren bekannte Verfahren der Spritzbetonherstellung, das insbesondere in den letzten Jahren immer mehr Verbreitung findet, hinsichtlich Herstellung und Verwendung möglichst zu vereinheitlichen, wurde 1972 mit der DIN 18 551 erstmalig ein Normenentwurf „Spritzbeton – Herstellung und Verwendung“ veröffentlicht. Neben der Begriffsbestimmung und der Herstellung von Spritzbeton sind die Abschnitte „Anforderungen an Ausgangsstoffe und Beton“ sowie die „Überwachung“ wesentliche Abschnitte dieses Normentwurfs. Gerade die etwas schwierige Überwachung des Spritzbetons hat in der Vergangenheit manchen Bauherrn trotz technischer Vorteile dieser Bauweise unsicher gemacht, so daß er von einer Anwendung Abstand genommen hat.

Im folgenden soll auf Fragen der Anforderungen, Zusammensetzung und Überwachung des Spritzbetons unter Berücksichtigung der DIN 18 551 eingegangen werden, wobei herausgestellt wird, daß auch Spritzbeton praktisch ein Beton nach DIN 1045 ist und nur in einigen wenigen Fällen aus verfahrenstechnischen Gründen von der Technologie normal eingebrachten Betons abgewichen werden muß.

### 2. Anforderungen

Vom erhärteten Spritzbeton wird in der Regel verlangt, daß er fest und dicht ist und das über einen längeren Zeitraum auch bleibt. Das gilt sowohl für die Auskleidung und Abdichtung eines

---

\*) Nach einem Vortrag anläßlich des Betonkollegs „Spritzbeton“ der Bauberatung Zement Düsseldorf am 6. Februar 1973 in Oberhausen.

Tunnels oder Felsraums in Spritzbeton als auch für den Ausbau von Strecken und Großräumen unter Tage. Ebenfalls gilt diese Forderung, wenn mit Spritzbeton ein zum Beispiel durch Brand beschädigtes Betonbauteil ausgebessert wird und seine alte Tragfähigkeit wieder hergestellt werden soll oder wenn zum Beispiel Stahl feuerhemmend oder aus Gründen des Korrosionsschutzes ummantelt werden soll. Weniger hohe Anforderungen sind bei einer Baugrubensicherung oder einer Hangbefestigung an den Spritzbeton zu stellen.

Man wird Spritzbeton immer dann anwenden, wenn es schwierig oder unwirtschaftlich ist, eine Schalung anzubringen oder wenn Beton in relativ dünnen Schichten eingebracht oder hergestellt werden muß.

Hieraus ergeben sich einige besondere Anforderungen an die Ausgangsstoffe, insbesondere an den Zuschlag, dessen Kornzusammensetzung, weniger an Zement und Wasser. In Fällen, in denen mit einem stärkeren Wasserzufluß zu rechnen ist und das Wasser betonangreifend sein kann, sollte jedoch immer eine Wasseranalyse nach DIN 4030 durchgeführt werden und der mögliche Angriffsgrad des Wassers danach ermittelt werden. Handelt es sich um einen Sulfatangriff, so sind ab 400 mg  $SO_4$ /l Zemente mit erhöhtem Sulfatwiderstand (HS-Zemente nach DIN 1164) zu verwenden.

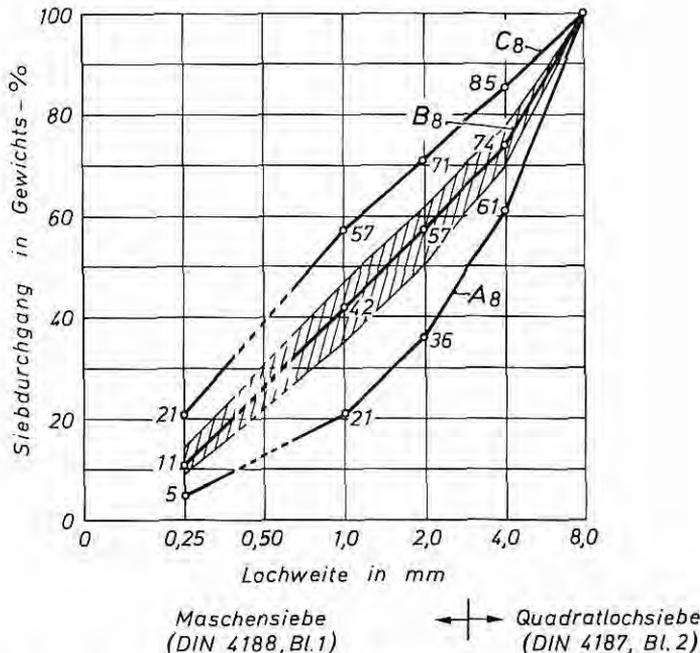


Bild 1 Günstiger Sieblinienbereich für Spritzbeton (Größtkorn 8 mm)

Die Art und Kornzusammensetzung des Zuschlaggemisches hat u. a. Einfluß auf die Haftfähigkeit des Spritzbetons, die Menge des Rückpralls und die Förderleistung. Der Zuschlag sollte gemischtkörnig sein und die Sieblinie des Zuschlaggemisches stetig verlaufen. Günstig sind Sieblinien in einem Bereich etwas unterhalb oder oberhalb der Regelsieblinie B nach DIN 1045 (siehe schraffierter Bereich der Bilder 1 und 2). Im allgemeinen beträgt das Größtkorn des Zuschlaggemisches 8 mm. Bei Auftragsdicken von mehr als 5 cm – die kleinste Auftragsdicke ist etwa 1,5 cm – und größeren Betonmengen ist ein Größtkorn von 16 mm angebracht. Das Größtkorn des Zuschlags ist auch abhängig vom Durchmesser der Förderleitung. Es sollte höchstens  $\frac{1}{3}$  des Leitungsdurchmessers betragen, da sonst besonders im Bereich von Leitungskrümmern und Querschnittsverengungen Verstopfer auftreten. Zu bevorzugen ist natürlich gerundetes Korn, da hiermit die Gefahr von Verstopfern herabgesetzt wird und der Verschleiß in der Spritzmaschine sowie in der Förderleitung geringer ist als bei gebrochenem Zuschlag.

Beim Zuschlag für Trockengemische ist besonders zu beachten, daß er eine gleichmäßige Eigenfeuchtigkeit von rd. 3 bis 4 % aufweist. Einerseits sollte die Eigenfeuchte so groß sein, daß das Trockengemisch während der Förderung nicht staubt, andererseits

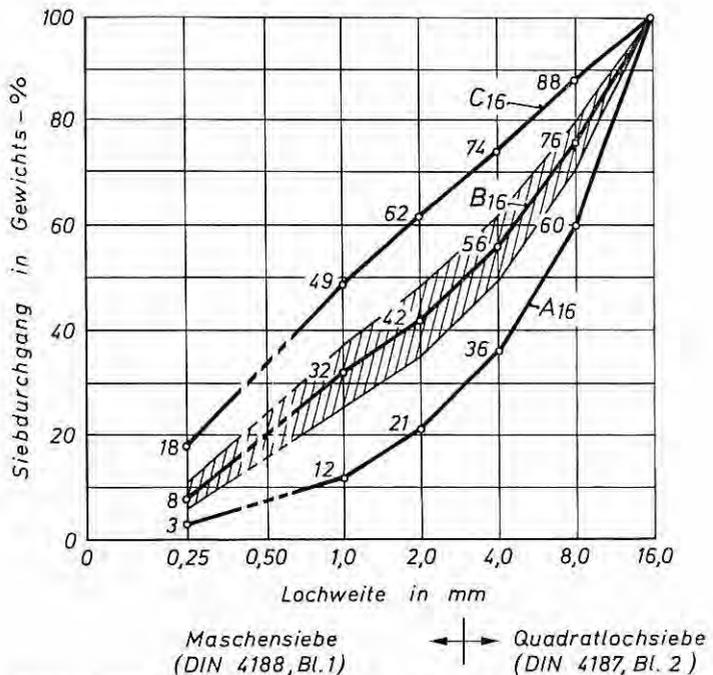


Bild 2. Günstiger Sieblinienbereich für Spritzbeton (Größtkorn 16 mm)

so gering, daß Zement und Zuschlag nicht kleben und sich keine Ansätze an der Förderleitung bilden. Beim Naßverfahren spielt die Eigenfeuchtigkeit des Zuschlags keine Rolle, sie ist bei der zugegebenen Wassermenge zu berücksichtigen.

Irgendwelche Zusatzmittel sind im allgemeinen für Spritzbeton nicht erforderlich. In bestimmten Anwendungsfällen, z. B. beim Spritzen auf nasse Flächen oder wenn der Beton besonders rasch erhärten soll, wie bei einem vorläufigen Ausbau in Strecken kurz nach dem Ausbruch, kann die Verwendung eines Erstarrungs- oder Erhärtungsbeschleunigers zweckmäßig sein. Chloride als Zusatz oder in Zusatzmitteln fördern die Korrosion der Bewehrung oder verursachen eine solche. Sie dürfen daher dem Beton nach DIN 1045 nicht zugesetzt werden. Wird bei unbewehrtem Beton zum Beispiel für einen vorläufigen Streckenausbau Calciumchlorid oder auch Wasserglas zugegeben, so ist bei beiden, besonders aber bei Wasserglas, zu berücksichtigen, daß die Festigkeiten im späteren Alter kleiner ausfallen können. Auf dem Markt gibt es inzwischen zahlreiche Zusatzmittel ohne Calciumchlorid, die die Anfangserhärtung des Betons sehr wirksam beschleunigen können (siehe auch unter Zusammensetzung).

In jedem Fall ist vor Verwendung eines Zusatzmittels hiermit eine Eignungsprüfung durchzuführen. Allgemein gilt für alle Betonzusatzmittel, für Spritzbeton nach DIN 18 551 entsprechend wie für Beton nach DIN 1045, daß sie nur verwendet werden dürfen, wenn sie ein gültiges Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik, Berlin, haben.

Neben Zusatzmitteln werden der Ausgangsmischung zum Teil auch Betonzusatzstoffe zugegeben; das sind fein aufgeteilte Stoffe, die dem Beton in deutlich größerer Menge zugegeben werden als die Betonzusatzmittel. Zu den bereits seit längerem bekannten und üblichen mineralischen Feinstoffen, wie Gesteinsmehl oder auch Traß, kommen in jüngster Zeit Steinkohlenflugaschen oder organische Zusatzstoffe, wie z. B. Kunstharzzusätze, hinzu. Durch letztere soll die Klebwirkung von Spritzbeton, die besonders bei Beginn des Aufspritzvorganges wünschenswert ist, verbessert werden. Wesentliche Erfolge sind allerdings bis jetzt mit Kunstharzen noch nicht bekanntgeworden.

Allgemein fordert die DIN 1045, daß Betonzusatzstoffe zement-, beton- und stahlverträglich sein müssen. Sie dürfen das Erhärten des Zements, die Festigkeit und die Beständigkeit des Betons sowie den Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton nicht beeinträchtigen. Um diese Anforderungen sicherzustellen, müssen auch Zusatzstoffe, die nicht DIN 4226 oder einer dafür vorgesehenen Norm entsprechen, allgemein bauaufsichtlich zugelassen sein oder ein entsprechendes Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik, Berlin, aufweisen.

Die zusätzlichen Anforderungen an den Frischbeton, die sich aus der Besonderheit des Spritzbetons ergeben, betreffen vornehmlich die Konsistenz, die durch Wasserzugabe geregelt wird, und eine mögliche Zähigkeit, die sich aus der Zusammensetzung ergibt. Beim Trockenspritzverfahren ist die Wasserzugabe an der Spritzdüse in Anpassung an den Förderstrom in solchen Grenzen zu halten, daß eine gute Verdichtung und Haftung des Betons bei

möglichst geringem Rückprall zuverlässig entstehen. Der aufgespritzte Beton ist ein steifer Beton, dessen Konsistenz wegen der besonderen Art der Einbringung baupraktisch nicht prüfbar ist. Beim Naßspritzverfahren ist die Konsistenz vom Förderprinzip abhängig. Bei einer Dünnstromförderung (Förderung im Luftstrom) liegt die Konsistenz der Ausgangsmischung im Bereich zwischen K 1 und K 2, bei der Dichtstromförderung im Konsistenzbereich K 2 bis Anfangsbereich K 3. Da der Beton beim Naßverfahren bereits vor der Förderung gemischt wird, kann man die Konsistenz entsprechend prüfen, z. B. für K 2 wäre ein Verdichtungsmaß von 1,11 bis 1,25 nachzuweisen bzw. ein Ausbreitmaß  $\leq 40$  cm erforderlich. Das Wasser ist im allgemeinen richtig dosiert, wenn der Beton an der Auftragsfläche gut haftet und der Rückprall gering ist.

Die Anforderungen an den Festbeton sind entsprechend wie beim Normalbeton. Spritzbeton läßt sich in denselben Festigkeitsklassen herstellen wie Normalbeton, d. h. es gelten die Werte der Tabelle 1 der DIN 1045, die in Tafel 1 wiedergegeben sind. Für die Mehrzahl der in Spritzbeton herzustellenden Betonbauwerke wird der Beton als B I hergestellt, d. h. einschließlich der Festigkeitsklasse Bn 250. Die für Spritzbeton erforderliche Betonzusammensetzung wird in der Regel nach einer Eignungsprüfung festgelegt. In besonderen Fällen, z. B. für die Ausbesserung und Verstärkung von Bauteilen höherer Festigkeitsklassen sowie für Beton mit besonderen Eigenschaften, kann Spritzbeton auch als Beton B II hergestellt werden. Die in DIN 1045 an das Personal und an die maschinelle Ausrüstung der Baustelle gestellten Anforderungen gelten sinngemäß auch für Spritzbeton. Derartige Arbeiten sollten daher nur an erfahrene Firmen übertragen werden. Die für B II erforderlichen

Tafel 1 Festigkeitsklassen des Betons und ihre Anwendung (DIN 1045)

	1	2	3	4	5	6
	Beton- gruppe	Festig- keitsklasse des Betons	Nennfestig- keit*) $\beta_{wN}$ (Mindest- wert für die Druckfestig- keit $\beta_{w28}$ jedes Würfels nach Abschnitt 7.4.3.5.2) kp/cm <sup>2</sup>	Serien- festigkeit $\beta_{wS}$ (Mindest- wert für die mittlere Druckfestig- keit $\beta_{wM}$ jeder Wür- felserie) kp/cm <sup>2</sup>	Her- stellung nach	Anwen- dung
1	Beton B I	Bn 50	50	80	Abschnitt 6.5.5	Nur für un- bewehrten Beton
2		Bn 100	100	150		
3 4		Bn 150 Bn 250	150 250	200 300		Für un- bewehrten und bewehrten Beton
5	Beton B II	Bn 350	350	400	Abschnitt 6.5.6	
6		Bn 450	450	500		
7		Bn 550	550	600		

\*) Der Nennfestigkeit liegt die 5 %-Fraktile der Grundgesamtheit zugrunde.

derliche Betonzusammensetzung ist immer aufgrund einer Eigenschaftsprüfung festzulegen. Das Vorhaltemaß für die Druckfestigkeit muß dabei stets so groß sein, daß bei der Güteprüfung (siehe Abschnitt 4) die Festigkeitsanforderungen sicher erfüllt werden. Es kann um so kleiner angesetzt werden, je gleichmäßiger der Beton hergestellt wird. Wegen der herstellungsbedingt möglichen etwas größeren Streuung beim Spritzbeton sollte hier von einem etwas größeren Vorhaltemaß als bei Normalbeton, das in der Größenordnung von 30 bis 50 kp/cm<sup>2</sup> liegt, ausgegangen werden.

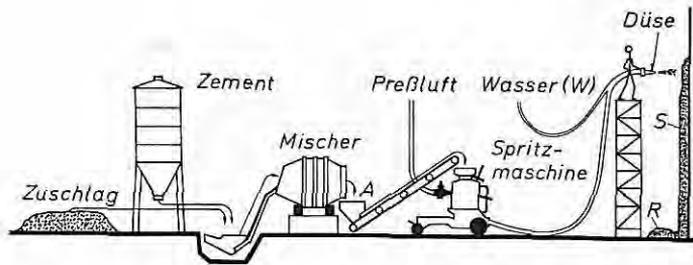
Betone mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1045, die auch gespritzt werden, sind wasserundurchlässiger Beton, Beton mit hohem Frostwiderstand, Beton mit hohem Widerstand gegen chemische Angriffe und Beton mit ausreichendem Widerstand gegen Hitze. Besonders die Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit müssen häufig auch für Spritzbeton beachtet werden, sei es für wasserundurchlässigen Beton oder sei es für Beton, der schwachen, starken oder sehr starken Angriffen nach DIN 4030 ausgesetzt wird. Nach DIN 1045 ist wasserundurchlässiger Beton in der Regel als Beton B II herzustellen, darf jedoch auch als Beton B I hergestellt werden, wenn ein Mindestzementgehalt berücksichtigt wird, z. B. bei Zuschlaggemischen 0/16 mm muß der Mindestzementgehalt 400 kg/m<sup>3</sup> betragen und außerdem die Kornzusammensetzung des Zuschlaggemisches im günstigen Bereich liegen.

Im allgemeinen sollte die Oberfläche des Spritzbetons spritzrauh belassen werden. Wünscht man aus irgendwelchen anwendungstechnischen Gründen eine besonders glatte oder andere Oberflächenbeschaffenheit, so ist in einem getrennten Arbeitsgang eine dünne Spritzmörtellage aufzuspritzen und ggf. entsprechend zu bearbeiten. Durch besondere Sorgfalt beim Glätten der Oberfläche kann diese durchaus die Eigenschaften eines Zement-Feinputzes erreichen.

Für die Mindestmaße der Betondeckung gilt allgemein Tabelle 10 der DIN 1045, soweit eine Betondeckung von 2 cm hierin nicht unterschritten wird. Für die Fälle, in denen DIN 1045 eine Mindestbetondeckung von weniger als 2 cm vorsieht, darf die Betondeckung bei Spritzbeton 2 cm in keinem Fall unterschreiten. Durch diese Festlegung der Mindestüberdeckung soll sichergestellt werden, daß eine ausreichende Betondeckung und damit ein ausreichender Korrosionsschutz der Bewehrung auch dann gewährleistet ist, wenn herstellungsbedingte kleine Unebenheiten sich in der Oberfläche ergeben.

### **3. Zusammensetzung**

Die Eigenschaften des erhärteten Spritzbetons hängen vornehmlich von seiner Zusammensetzung ab. Bei der Festlegung der Ausgangsmischung ist zu berücksichtigen, daß wegen des Rückpralls die Zusammensetzung des aufgespritzten Betons von jener der Ausgangsmischung mehr oder weniger abweicht. Schematisch ist der Anfall an Rückprall in Bild 3 dargestellt. Rückprall ist der Anteil Spritzbeton, der beim Spritzvorgang von der Auftragsfläche zurückprallt. Er ist eine verfahrensbedingte Eigenart des Spritzbetons und nicht zu vermeiden.



$$\text{Spritzbeton}(S) = \text{Ausgangsmischung}(A) + \text{Wasser}(W) - \text{Rückprall}(R)$$

Bild 3 Schematische Darstellung des Betonspritzens

Die Zusammensetzung und die Menge des Rückpralls hängen von vielen Einflußgrößen ab, wie z. B. der Auftreffgeschwindigkeit des Spritzgutes, der Spritzrichtung, dem Abstand der Düse von der Auftragsfläche, der Art und Menge der Bewehrung, der Zusammensetzung der Ausgangsmischung und schließlich auch der Geschicklichkeit des Düsenführers. Beim Spritzen in horizontaler Richtung beträgt der Rückprall rd. 20 bis 30 % der Ausgangsmischung, in Vertikalrichtung nach oben kann er bis zu 40 % betragen. Da vorwiegend die gröberen Zuschläge zurückprallen, wird der aufgespritzte Beton, wie es auch die Veränderung der Sieblinie der Ausgangsmischung in Bild 4 zeigt, feinstsand- und zementreicher. Der Anteil an Zement im Rückprall ist relativ gering und liegt in der Größenordnung von 50 kg/m<sup>3</sup>. Zwangsläufig be-

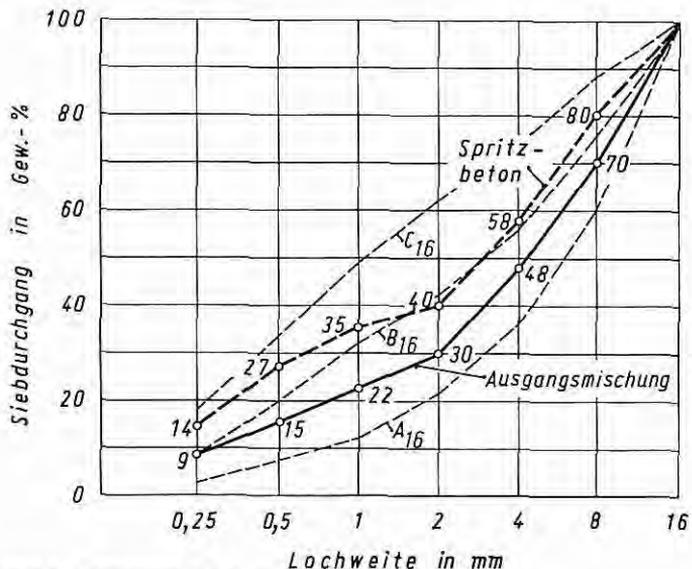


Bild 4 Veränderung der Sieblinie nach dem Aufspritzen

steht die erste Spritzbetonlage aus klebrigem, zähem Mörtel, so daß darin dann die größeren Zuschläge bei weiterem Aufspritzen haften und der Rückprall geringer wird.

Von der Zusammensetzung her kann man die Klebefähigkeit etwas beeinflussen, indem man Zemente bevorzugt, die diese Eigenschaft begünstigen, d. h. die einen zähen, klebrigen Mörtel liefern. Das sind in der Regel etwas feiner gemahlene Zemente etwa der Festigkeitsklasse 350 F. Noch feiner gemahlene Zemente werden insbesondere dann bevorzugt, wenn zusätzlich ein möglichst rasches Erstarren und Erhärten gewünscht wird. Allerdings ist hierbei gleichzeitig mit einer größeren Schwindneigung zu rechnen; sie wird zum Teil in Kauf genommen oder durch entsprechende Nachbehandlung vermindert.

Der Zementgehalt liegt wegen der gewünschten Klebrigkeit immer verhältnismäßig hoch und je nach Größtkorn zwischen 350 und 400 kg/m<sup>3</sup>; unter Umständen, z. B. bei 8 mm Größtkorn, kann der Zementgehalt auch mehr als 400 kg/m<sup>3</sup> betragen.

Der Wasserzementwert bei Spritzbeton entsteht bei diesen Zementgehalten beim Naß- bzw. Trockenverfahren unterschiedlich. Beim Trockenverfahren beträgt der Wasserzementwert in der Regel 0,50 bis 0,55, beim Naßverfahren liegt er im allgemeinen etwas unterhalb 0,50.

Das Größtkorn des Zuschlags sollte in der Regel wegen des erhöhten Rückpralls 16 mm nicht überschreiten. Die Richtwerte für den Mehlkorngelalt in DIN 1045 gelten auch für Spritzbeton (siehe Tafel 2). Als Mehlkornzusätze werden neben Gesteinsmehl unter

Tafel 2 Richtwerte für den Mehlkorngelalt (DIN 1045)

	1	2
	Größtkorn des Zuschlaggemisches mm	Mehlkorngelalt in 1 m <sup>3</sup> verdichteten Betons kg
1	8	525
2	16	450
3	32	400
4	63	325

Werden Luftporenbildende Zusatzmittel verwendet, so ist ein kleinerer Mehlkorngelalt zweckmäßig und ausreichend.

anderem auch Traß und Flugasche verwendet, und auch tonige Bestandteile können, sofern sie nicht am Zuschlag haften oder in Knollenform auftreten, in etwas größeren Mengen hingenommen werden als bei üblichem Beton.

Die Wirksamkeit von Erstarrungs- bzw. Erhärtingsbeschleunigern ist durch eine Eignungsprüfung unter Baustellenbedingungen vorher genau zu ermitteln.

In Bild 5 sind Ergebnisse von Feststellungen an Beton mit einem Erhärtingsbeschleuniger auf der Basis von Calciumformiat dargestellt. Als Zement wurde ein Z 550 verwendet. Bei einer Zusatz-

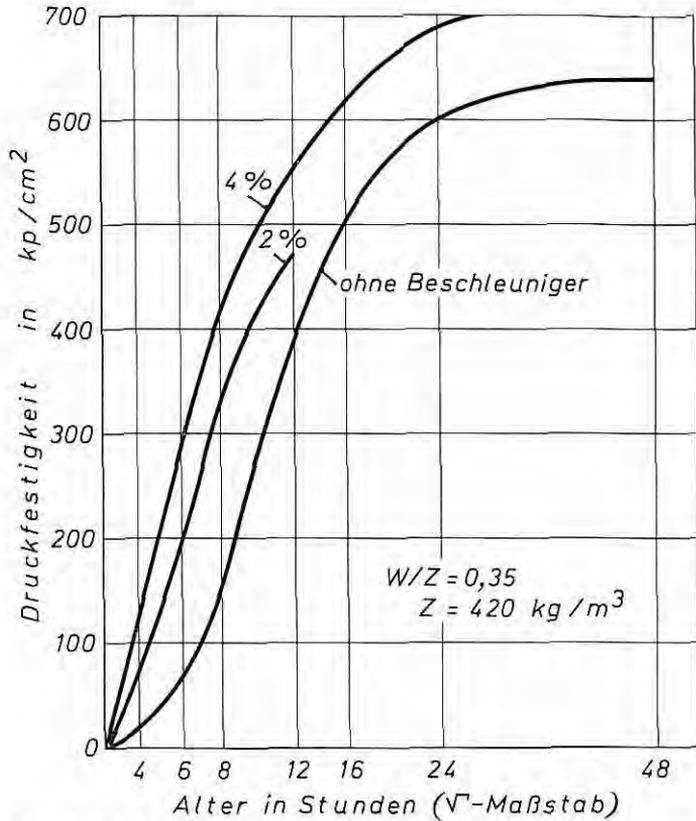


Bild 5 Einfluß eines Erhärtungsbeschleunigers

mittelmenge von 4% wurde bereits im Alter von 4 Stunden eine Festigkeit von  $130 \text{ kp/cm}^2$  erreicht. Allerdings lag in diesem Fall auch der Wasserzementwert in einem für Spritzbeton ungewöhnlichen Bereich von 0,35.

Häufig, z. B. bei dickem, mehrschichtigem Spritzbeton, wird eine hohe Frühfestigkeit nötig. Es wird versucht, Zemente herzustellen, die bereits nach ein bis zwei Stunden eine Festigkeit von 50 bis  $100 \text{ kp/cm}^2$  erreichen. Bekanntgeworden sind Untersuchungen aus den USA, aus Japan und auch aus Deutschland. In Bild 6 ist der Festigkeitsverlauf eines Betons mit einem von der Portland Cement Association in den USA entwickelten Zement dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen sog. Regulated-Set-Cement. Im Vergleich dazu wurde der Festigkeitsverlauf von zwei Betonen mit Zementen der Typen I und III dargestellt. Der Typ I entspricht etwa einem Zement 350 F, der Typ III etwa einem Z 450 F. Der Zementgehalt betrug in allen Fällen  $340 \text{ kg/m}^3$ . Der Beton mit dem Regulated-Set-Cement zeichnet sich dadurch aus, daß er in der relativ kurzen Zeit von einer Stunde eine Festigkeit von rd.  $70 \text{ kp/cm}^2$  erreicht. Für Normalbeton ist mit derart rasch erhärten-

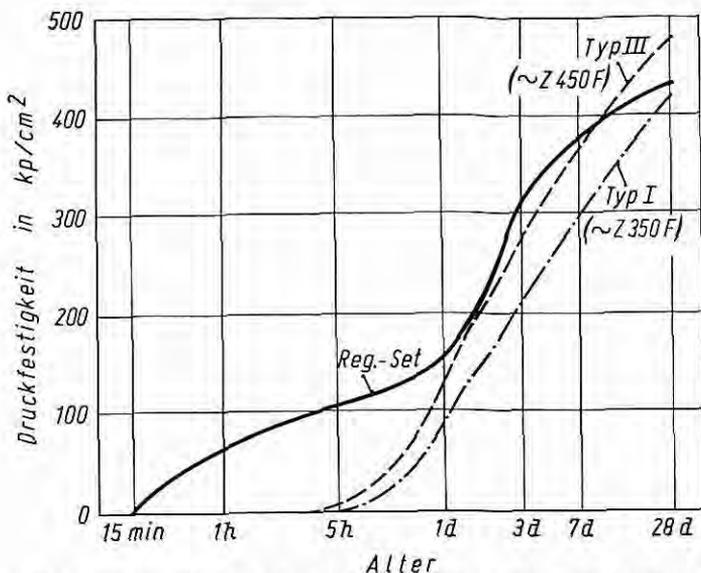


Bild 6 Festigkeitsverlauf eines Betons mit Spezialzement, der besonders rasch erhärtet

den Zementen der Nachteil verbunden, daß sie kurze Erstarrungszeiten haben und rasch verarbeitet werden müssen. Beim Spritzbeton, insbesondere beim Trockenverfahren, wo das Wasser erst an der Düse zugegeben wird, wirkt sich der rasche Erstarrungsbeginn eher vorteilhaft aus.

#### 4. Überwachung

Die Art und der Umfang aller Maßnahmen der Überwachung und des Nachweises der Baustoffeigenschaften sollen in einem sinnvollen Verhältnis zur Zweckbestimmung und zur Größe der Spritzbetonbauteile stehen. Bei kleineren Baustellen kann unter Umständen in ähnlich gelagerten Fällen – besonders hinsichtlich der Eignungsprüfung – auf die Erfahrungswerte vorangegangener Baumaßnahmen zurückgegriffen werden.

Hinsichtlich der *Überwachung der Ausgangsstoffe* kann vorausgesetzt werden, daß diese nach den Baustoffnormen – für Zement DIN 1164 und für Zuschlag DIN 4226 – in ihren Herstellwerken einer eigenen Güteüberwachung unterliegen. So wird auch in DIN 1045, abgesehen von wenigen Ausnahmen und von Zweifelsfällen, auf eine Prüfung der Ausgangsstoffe auf der Baustelle verzichtet. Bei dieser Art der Überwachung ist es wichtig, daß bei jeder Lieferung von Bindemitteln, Zuschlägen, Betonzusatzmitteln und Betonzusatzstoffen die Lieferscheine und die Verpackungsaufdrucke überprüft werden. Sie müssen mit der Bestellung übereinstimmen und das Güteüberwachungszeichen bzw. das Prüfzeichen tragen. Zur Wahrung etwaiger Gewährleistungsansprüche an den Zement sollte der Abnehmer von jeder Lieferung unverzüglich

nach Eintreffen des Zements am Bestimmungsort eine Rückstellprobe nehmen.

Bei Lieferung von Zuschlag ist eine augenscheinliche Überprüfung auf richtige Zuschlagart, Kornzusammensetzung und etwaige Verunreinigungen vorzunehmen. Außerdem ist mindestens einmal je Betonierwoche die Kornzusammensetzung des Zuschlags zu überprüfen.

Durch eine *Eignungsprüfung* des Spritzbetons vor Beginn der Spritzbetonarbeiten soll festgestellt werden, ob mit den vorgesehenen Ausgangsstoffen unter den gegebenen Baustellenbedingungen einschließlich der vorgesehenen Maschinen und Geräte die geforderten Spritzbetoneigenschaften erreicht werden können. Aus diesem Grund sind bereits bei der Eignungsprüfung die auch später zur Anwendung kommenden Ausgangsstoffe und Geräte für die Herstellung und den Transport des Betons einzusetzen. Da der aufgespritzte Beton sich von der Ausgangsmischung unterscheidet, wird eine Eignungsprüfung auch dann erforderlich, wenn die Ausgangsmischung als sog. Rezeptbeton nach DIN 1045, Tabelle 4, zusammengesetzt ist. Bei Verwendung von Zusatzmitteln sollte auch untersucht werden, inwieweit sich eine unbeabsichtigte Überdosierung auf die Festigkeitsentwicklung auswirkt. Außerdem sollte parallel immer ein Beton gleicher Zusammensetzung (Nullbeton) ohne Zusatzmittel hergestellt und geprüft werden.

Als Probekörper für die Eignungsprüfung sind in der Regel mindestens zwei Platten ausreichender Größe (mindestens 50 x 50 cm) in der bei der Bauausführung überwiegend vorkommenden Spritzrichtung und in der vorgesehenen Bauteildicke (mindestens 12 cm dick) einzuspritzen. Die Schalungsformen zur Herstellung der Platten sollten eine den örtlichen Bedingungen ähnliche, nicht federnde Auftragsfläche haben und möglichst vibrationsfrei gelagert sein. Bild 7 zeigt ein Beispiel vom Einspritzen einer derartigen Platte.

Von dem Beton einer der beiden Platten wird unmittelbar nach dem Einspritzen die Betonrohddichte bestimmt und, um auch Vergleichswerte für die Güteprüfung zu haben, der Wasserzementwert bzw. die Betonzusammensetzung nach DIN 1048 bzw. DIN 52 171 ermittelt. Hierbei wird dann auch die Veränderung des aufgespritzten Betons gegenüber der Ausgangsmischung festgestellt. Es ist weiter möglich, mit aus der Platte herausgekratztem Beton z. B. Würfel mit 20 cm Kantenlänge herzustellen und an diesen die Festigkeit zu prüfen. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, daß das Verdichtungsverfahren, z. B. Stampfen oder Rütteln, gegenüber dem eingespritzten Beton anders ist und sowohl niedrigere als auch höhere Festigkeiten erhalten werden können. Durch Vergleich der Rohdichten von gespritztem Beton und in Formen gefülltem Beton kann ein Aufschluß über die Verdichtung erhalten werden.

Die zweite Platte ist zunächst entsprechend DIN 1048 nachzubehandeln und zu lagern. Aus ihr werden dann nach Erreichen ausreichender Festigkeit – möglichst in jungem Alter, damit sie anschließend in Anlehnung an DIN 1045 gelagert werden können – drei Bohrkerne mit 10 cm Durchmesser entnommen (siehe DIN 1048, Blatt 2). Nach dem beiderseitigen Absägen auf 10 cm Höhe und anschließendem Abgleichen oder Abschleifen sind die Bohr-



Bild 7 Einspritzen einer Schalungsform

kerne nach DIN 1048, Blatt 1, zu lagern und im Alter von 28 Tagen auf Druckfestigkeit zu prüfen. Für die Beurteilung der Druckfestigkeit der Bohrkerne ist DIN 1048, Blatt 2, zu beachten. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß bei der Eignungsprüfung die Druckfestigkeiten ( $\beta_{w,g}$ -Werte) derjenigen Betonmischungen, die für die Bauausführung maßgebend sein sollen, um ein gewisses Vorhaltemaß überschritten werden.

Bei Eignungsprüfungen für das Naßverfahren ist auch vom Beton der Ausgangsmischung die Frischbetonrohichte und die Konsistenz nach DIN 1048, Blatt 1, zu ermitteln.

Die Güteprüfung umfaßt beim Spritzbeton die Überprüfung der Ausgangsmischung, den Frischbeton aus dem Bauteil und den erhärteten Spritzbeton.

Beim Trockenspritzverfahren ist die Ausgangsmischung laufend nach Augenschein zu überprüfen, und es ist darauf zu achten, daß ein gleichmäßiges und klumpenfreies Zement-Zuschlag-Gemisch entsteht.

Beim Naßspritzverfahren ist die Konsistenz der Ausgangsmischung laufend nach Augenschein zu überwachen und das Konsistenzmaß zu Beginn der Betonierarbeiten und danach mindestens einmal je Betoniertag zu bestimmen. Außerdem sind die Frischbetonrohichte und der Wasserzementwert mindestens einmal je Betoniertag zu ermitteln.

Der Frischbeton aus dem Bauteil bzw. aus einer parallel gespritzten Platte ist in angemessenen Zeitabständen, mindestens jedoch einmal je 100 m<sup>3</sup> Beton, auf Rohdichte und Wasserzementwert bzw. Betonzusammensetzung in Anlehnung an DIN 1048, Blatt 1, bzw. DIN 52 171 zu prüfen. Bei unzulässigen Abweichungen von den Ergebnissen der Eignungsprüfung (siehe u. a. DIN 1045, Abschn. 7.4.3.3) ist die Ausgangsmischung entsprechend zu korrigieren.

Die Festigkeit des erhärteten Spritzbetons ist in der Regel an Bohrkernen von 10 cm Durchmesser und 10 cm Höhe zu prüfen, die entweder aus dem Bauwerk oder aus den gesondert hergestellten Platten (siehe Eignungsprüfung) zu entnehmen sind. Die Entnahme sollte erfolgen, sobald der Beton sich ohne wesentliche Beeinträchtigung des angrenzenden Gefüges einwandfrei bohren läßt. Abweichend von DIN 1045 wird folgender Prüfumfang festgelegt:

bei Baumaßnahmen mit weniger als 100 m<sup>3</sup> Beton eine Serie Probekörper,

bei Baumaßnahmen bis 300 m<sup>3</sup> Beton je 100 m<sup>3</sup> eine Serie Probekörper und

bei Baumaßnahmen über 300 m<sup>3</sup> Beton eine Serie Probekörper bei Betonierbeginn und dann jeweils alle 250 m<sup>3</sup>.

Bei B II ist die doppelte Anzahl Probekörper erforderlich.

Die Bohrkerne sind nach dem Sägen abzuschleifen bzw. abzugleichen, entsprechend DIN 1048 zu lagern und im Alter von 28 Tagen auf Rohdichte und Druckfestigkeit zu prüfen. Die Prüfergebnisse werden nach DIN 1048, Blatt 2, ausgewertet und beurteilt.

Ist die Entnahme von Bohrkernen nicht möglich, z. B. wegen zu geringer Bauteildicke oder Unzugänglichkeit für Bohrgeräte oder zur Vermeidung von Bohrlöchern in hochbeanspruchten Bauwerken, so kann die Gleichmäßigkeit der Güte des Bauwerkbetons zerstörungsfrei nach DIN 1048, Blatt 2, geprüft werden. Liegt dabei für den Beton eine Bezugskurve vor, so berechtigen die Ergebnisse auch zu Aussagen über die Druckfestigkeit des Bauwerkbetons.

Sind besondere Eigenschaften, z. B. die Wasserundurchlässigkeit, nachzuweisen, so sind hierfür in der Regel Bohrkerne von 15 cm Durchmesser sowie 12 cm Höhe zu entnehmen. Entnahme, Lagerung, Prüfkörpervorbereitung und Prüfung erfolgen wiederum nach DIN 1048, Blatt 1.