

Frühhochfester Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen *)

Von Justus Bonzel, Düsseldorf

1. Allgemeines

Frühhochfester Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen ist durch folgende drei Merkmale gekennzeichnet:

- a) Der Beton ist so zusammengesetzt, daß er für Verkehrsflächen, wie z. B. für Fahrbahndecken des Straßenbaus, geeignet ist und den dort auftretenden Beanspruchungen ausreichend widersteht,
- b) der Beton wird mit Fließmittel hergestellt und ist leicht verarbeitbar und
- c) der Beton weist in jungem Alter bereits eine hohe Festigkeit auf.

Aus diesen Merkmalen ergeben sich für diese Bauweise folgende Vorteile bzw. Anwendungsmöglichkeiten:

- a) Wegen der leichten Verarbeitbarkeit können einfache und weniger aufwendige Einbaumethoden angewendet werden. Die Güte des Betons ist von der Verdichtung unabhängiger, sein Einbau ist einfach und wenig fehleranfällig,
- b) es sind keine langen Wartezeiten bis zur ausreichenden Erhärtung des Betons nötig; die Fahrbahnfläche ist bereits nach 1 oder 2 Tagen befahrbar,
- c) Fahrbahnen aus frühhochfestem Beton mit Fließmittel zeichnen sich wie jede sachgerecht hergestellte Betonfahrbahn durch gute Gebrauchseigenschaften und große Dauerhaftigkeit bei allen Beanspruchungen und Wetterlagen aus. Sie sind für alle Verkehrsflächen geeignet, besonders interessant aber für Verkehrsflächen, die hohen Beanspruchungen ausgesetzt werden und nur kurze Zeit gesperrt werden können, wie z. B. für Ausbesserungsfelder, für Stadtstraßen und für Startbahnen von Flugplätzen.

Da mit frühhochfestem Beton mit Fließmittel bereits viele Untersuchungen durchgeführt und mit dieser Bauweise bereits zahlreiche Erprobungsstrecken gebaut worden sind, wurde im Bereich der Arbeitsgruppe Betonstraßen der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen der Arbeitskreis „Frühhochfester Straßenbeton“

*) Nach einem Vortrag bei der Betonstraßentagung der Arbeitsgruppe Betonstraßen der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen am 15. und 16. Juni 1977 in Lübeck.

gegründet und beauftragt, ein Merkblatt für „Verkehrsflächen aus frühhochfestem Beton mit Fließmittel“ zu erarbeiten. Im folgenden sollen zunächst kurz die technischen Grundlagen dieser neuen Bauweise angeführt, anschließend Eigenschaften und Erfahrungen über Beton mit Fließmittel behandelt und zum Schluß der Stand der Bearbeitung des vorgesehenen Merkblattes erläutert werden. Auf die Anwendungsmöglichkeiten für Beton mit Fließmittel kann aus Zeitgründen im Rahmen dieses Berichtes nicht eingegangen werden, siehe dazu u. a. [1, 2].

2. Grundlagen

Die Grundlagen für diese neue Bauweise sollen getrennt nach den eingangs erwähnten drei Merkmalen betrachtet werden.

2.1 Beton für Verkehrsflächen

Beton für Verkehrsflächen muß der DIN 1045 sowie der TV Beton 72 bzw. der vorgesehenen Neufassung, der ZTV Beton, entsprechen. Er muß im Alter von 28 Tagen eine bestimmte Druckfestigkeit mindestens erreichen (bei der Güteprüfung je nach Bauklasse kein Einzelwert unter 25 bis 35 N/mm²) und kein Mittelwert von drei Einzelwerten unter 30 bis 40 N/mm²), einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand und einen hohen Abnutzwiderstand aufweisen. Die mit diesem Beton hergestellten Fahrbahnplatten müssen bestimmte Anforderungen hinsichtlich Dicke, Höhen- und Seitenlage der Decke erfüllen, ihre Oberfläche muß griffig und eben sein.

Da nicht alle diese Betoneigenschaften mit entsprechenden Prüfverfahren und darauf abgestimmten, zahlenmäßig festgelegten Anforderungen nachgeprüft werden können, sind in den Vorschriften für das Erreichen der geforderten Betoneigenschaften bestimmte Herstellgrundsätze festgelegt worden. Gefordert wird ausreichend fester, beständiger und nicht polierbarer Betonzuschlag nach DIN 4226 Teil 1, ein Mehlkorngehalt nicht über 450 kg/m³ (nach TV Beton 72 nicht über 400 kg/m³ bei 32 mm Zuschlaggrößtkorn), ein Sandanteil bis 1 mm nicht über 27 Gew.-% (nach TV Beton 72 je nach Zuschlaggrößtkorn nicht über 18 bzw. 22 Gew.-%) und bis 2 mm nicht über 30 Gew.-%, ein W/Z-Wert nicht über 0,50 und ein ausreichender Gehalt an Luftporen, die durch einen Luftporenbildner eingeführt worden sind, sowie ausreichende Verdichtung und Nachbehandlung. Darüber hinaus siehe u. a. [3, 4].

2.2 Beton mit Fließmittel

Eine wesentliche Voraussetzung für das Erreichen der Gebrauchseigenschaften des Betons (Festbetoneigenschaften) ist, daß der Frischbeton mit den vorgesehenen Einrichtungen ohne störende Veränderungen befördert und sachgerecht eingebaut werden kann. Hochwertiger Beton weist wegen seines geringen W/Z-Wertes in der Regel eine steife bis plastische Konsistenz auf und muß dann durch Rütteln verdichtet werden. Der Wunsch, die Herstellung

¹⁾ Wegen der Umstellung auf SI-Einheiten im Verhältnis 10:1 umgerechnet.

hochwertigen Betons, insbesondere bei Bauteilen mit eng bewehrten oder schmalen und hohen Querschnitten, von der Sorgfalt der Verdichtung unabhängiger zu machen, konnte durch die Entwicklung der Fließmittel und des Betons mit Fließmittel weitgehend erfüllt werden.

Fließmittel sind hochwirksame Betonverflüssiger, z. B. auf der Basis von Melaminharz oder von Ligninsulfonaten. Unter „Beton mit Fließmittel“ wird ein Beton mit gutem Fließvermögen und ausreichendem Zusammenhaltevermögen verstanden, der aus einem Rüttelbeton durch Zumischen eines Fließmittels hergestellt worden ist. Bei einem Ausbreitmaß oberhalb von 50 cm wird dieser leicht und ohne großen Verdichtungsaufwand verarbeitbare „Beton mit Fließmittel“ als „Fließbeton“ bezeichnet. Der Begriff „Beton mit Fließmittel“ wurde hier als Oberbegriff gewählt, weil Fließbeton eine Frischbetonkonsistenz oberhalb des Konsistenzbereiches K3 nach DIN 1045 und ein Ausbreitmaß größer als 50 cm aufweist und weil im Straßenbau für den gleichen Anwendungszweck – insbesondere bei einem Diagonalgefälle der Verkehrsfläche oberhalb von etwa 3 ‰ – auch ein leicht verarbeitbarer „Beton mit Fließmittel“ mit einem Ausbreitmaß zwischen 45 und 50 cm geeignet ist und zur Anwendung kommt.

„Fließbeton“ weicht in zwei Punkten von der DIN 1045 ab, weil das Fließmittel in der Regel dem Ausgangsbeton erst nach Beendigung des eigentlichen Mischvorgangs kurz vor Abgabe des Betons auf der Baustelle zugemischt wird und weil der Frischbeton nach Zumischen des Fließmittels eine Konsistenz oberhalb des Konsistenzbereiches von K3 aufweist. Damit er aber dennoch für tragende Bauteile verwendet werden kann, sind im Bereich des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton Richtlinien für die Herstellung und Verarbeitung von Fließbeton (Fassung Mai 1974) erarbeitet worden, die bauaufsichtlich eingeführt worden sind und bei Anwendung von Fließbeton beachtet werden müssen. Siehe u. a. [1, 2, 5 bis 20].

2.3 Frühhochfester Beton

Frühhochfester Beton weist bereits in jungem Alter eine so große Festigkeit auf, daß er beansprucht werden kann. Verkehrsflächen aus frühhochfestem Beton sollen in der Regel bereits nach etwa 1 bis 2 Tagen für den Verkehr freigegeben werden können. Für das Erreichen einer möglichst hohen Frühfestigkeit des Betons können folgende Maßnahmen in Frage kommen:

- a) *Beschleunigte Erhärtung durch erhöhte Betontemperatur*
Dampfmischen,
Wärmebehandlung des verdichteten Betons,
Dampfhärtung des verdichteten Betons.
- b) *Beschleunigte Erhärtung durch entsprechende Ausgangsstoffe und Betonzusammensetzung*
Zement mit hoher Anfangsfestigkeit,
Betonzusätze mit beschleunigender und/oder wassereinsparender Wirkung,
erhöhter Zementgehalt,
niedriger W/Z-Wert.

Einige dieser Maßnahmen werden häufig in Kombination angewendet. Die unter a) genannten Möglichkeiten haben für den übrigen Betonbau, insbesondere für die Herstellung von Betonwaren und von Betonfertigteilen, teilweise große Bedeutung. Sie kommen aber für Betonfahrbahnen in der Regel nicht in Betracht, weil sie dafür teilweise nicht anwendbar sind und weil höhere Betontemperaturen für Betonfahrbahnen vermieden werden sollten, da sie dort Temperaturspannungen und Risse zur Folge haben können. Für hohe Frühfestigkeit im Betonfahrbahnbau kommen daher in der Regel nur Maßnahmen nach b) zur Anwendung. Siehe u. a. [20 bis 22].

3. Erfahrungen über Beton mit Fließmittel

Der kurze Überblick über Zusammensetzung und Eigenschaften von Beton mit Fließmittel und ihre Beeinflussungsmöglichkeiten erstreckt sich nur auf die leicht verarbeitbaren Betone mit Fließmittel, d. h. auf Fließbeton und auf frühhochfesten Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen mit gutem Fließvermögen und ausreichendem Zusammenhaltevermögen. Auf eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Fließmittel, ihre Wirksamkeit ausschließlich zur Senkung des W/Z-Wertes und zur Steigerung der Frühfestigkeit ohne wesentliche Verbesserung der Verarbeitbarkeit zu nutzen, wird hier nicht eingegangen. — Bei den folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, daß der Beton mit Fließmittel stets aus einem fertigen Ausgangsbeton durch nachträgliches Zumischen des Fließmittels hergestellt wird, was bei Transportbeton der Regelfall ist. In Sonderfällen, bei denen der Beton mit Fließmittel nicht nennenswert transportiert werden mußte, ist er abweichend von den Fließbeton-Richtlinien auch ohne die Zwischenstufe Ausgangsbeton bereits mit Erfolg hergestellt und angewendet worden.

3.1 Betonzusammensetzung

Die erforderliche Betonzusammensetzung von Beton mit Fließmittel ist abhängig von den jeweils geforderten Frisch- und Festbetoneigenschaften und damit auch von der Einbaumethode und dem herzustellenden Bauteil. Sie muß mit Hilfe von Eignungsprüfungen festgelegt werden. Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen benötigt außer einem Fließmittel stets die Zugabe eines Luftporenbildners zur Erzielung eines für hohen Frost-Tausalz-Widerstand ausreichenden Gehaltes an Mikroluftporen. Die Zugabemenge an Luftporenbildner zum Ausgangsbeton muß so gewählt werden, daß der Beton mit Fließmittel mindestens den erforderlichen Luftporengehalt aufweist. Die Fließmittelmenge darf nach den Fließbeton-Richtlinien aus Gründen ausreichender Untermischbarkeit 8 cm^3 je kg Zement (0,8 %) nicht unterschreiten und den im Prüfbescheid des Fließmittels genannten Größtwert nicht überschreiten. Da die Wirksamkeit der Betonzusatzmittel u. a. von der Temperatur und von Änderungen bei der Betonzusammensetzung abhängt, muß die Zugabemenge von Luftporenbildner und Fließmittel ggf. während der Bauausführung korrigiert werden. Für die Zusammensetzung von Fließbeton und von frühhochfestem Beton mit Fließmittel haben sich die nachstehenden Erfahrungswerte als zweckmäßig erwiesen.

a) *Erfahrungswerte für die Zusammensetzung von Fließbeton*

Zementgehalt:	300 bis 350 kg/m ³
Mehlkorngehalt:	360 bis 450 kg/m ³
Wasserzementwert:	je nach Anforderung 0,45 bis 0,60
Zuschlagkorn- zusammensetzung:	Sieblinie zwischen B und A/B
Fließmittelmenge:	je nach Mittel und Anforderung etwa 0,8 bis 1,5 ‰

b) *Erfahrungswerte für die Zusammensetzung von frühhochfestem Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen*

Zementgehalt:	360 bis 400 kg/m ³
Mehlkorngehalt:	400 bis 500 kg/m ³
Wasserzementwert:	0,38 bis 0,45, vorwiegend 0,40
Zuschlagkorn- zusammensetzung:	wie in TV Beton, jedoch wegen des höhe- ren Feinmörtelanteils möglichst sandarm
Fließmittelmenge:	je nach Mittel und Anforderung etwa 2 bis 4 ‰

Siehe u. a. [5 bis 20].

3.2 Frischbetoneigenschaften

Die Konsistenz des Betons mit Fließmittel kann mit dem Ausbreitmaß nach DIN 1048 Teil 1 bestimmt werden. Das Ausbreitmaß soll für Fließbeton zwischen 51 und 60 cm und für frühhochfesten Beton mit Fließmittel zwischen 45 und 60 cm liegen. Für einen bestimmten Anwendungsfall sollte innerhalb dieser Bereiche die Einhaltung eines Teilbereiches von etwa ± 3 cm angestrebt werden. – Für die Beurteilung der Verarbeitbarkeit genügt jedoch die zahlenmäßige Bestimmung des Ausbreitmaßes allein nicht, sondern muß der bei diesem Versuch entstehende Betonkuchen auch augenscheinlich beurteilt werden. Der Betonkuchen muß homogen sein und darf kein Grobkorn, Wasser, Zementleim oder Feinmörtel absondern. Bild 1 zeigt links einen Ausbreitkuchen aus sachgerech-

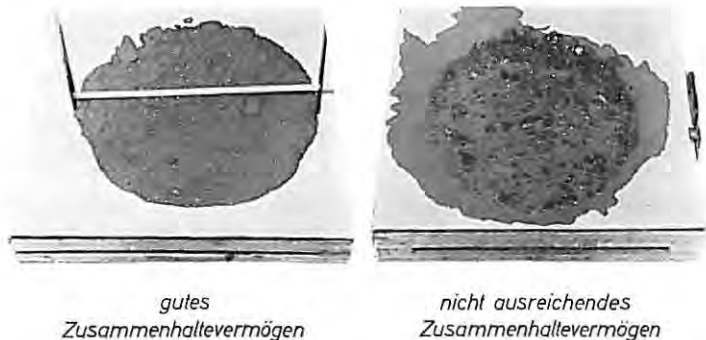


Bild 1 Ausbreitkuchen von Fließbeton mit gutem Zusammenhaltevermögen (links) und von Fließbeton mit nicht ausreichendem Zusammenhaltevermögen (rechts)

tem Fließbeton und rechts einen Ausbreitkuchen aus Fließbeton mit nicht ausreichendem Zusammenhaltevermögen. Eine solche Zementleimabsonderung kann auf zu kurzes Mischen nach Zugabe des Fließmittels oder darauf zurückzuführen sein, daß bereits der Ausgangsbeton kein ausreichendes Zusammenhaltevermögen aufwies bzw. nicht zweckentsprechend zusammengesetzt war.

Der Ausgangsbeton, aus dem der Beton mit Fließmittel durch nachträgliches Zumischen des Fließmittels hergestellt wird, muß ein gutes Zusammenhaltevermögen aufweisen, da sonst auch der Fließbeton diese Eigenschaften nicht erreicht. Er darf jedoch auch nicht zu zäh sein, weil er sich sonst mit dem Fließmittel nur sehr schwer oder nicht ausreichend verflüssigen läßt. Die Verarbeitbarkeit des Ausgangsbetons hängt im wesentlichen von Feinheit und Menge des Zements, von Art, Kornform und Kornzusammensetzung des Zuschlags sowie von Mehlkorngesamtgehalt und Wassergehalt ab. Das Ausbreitmaß soll beim Ausgangsbeton für Fließbeton zwischen 38 und 42 cm (nicht über 44 cm) und beim Ausgangsbeton für frühhochfesten Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen zwischen 25 und 33 cm (Verdichtungsmaß nach DIN 1048 Teil 1 zwischen 1,20 und 1,40) liegen. Ein Ausgangsbeton mit einer Konsistenz in diesen Bereichen weist im allgemeinen eine sachgerechte Verarbeitbarkeit auf, wenn seine Zusammensetzung den Angaben des Abschnittes 3.1 entspricht.

Die Verarbeitbarkeit des Betons mit Fließmittel ist aber nicht nur von der Beschaffenheit des Ausgangsbetons abhängig, sondern auch von Art, Menge und ausreichendem Untermischen des Fließ-

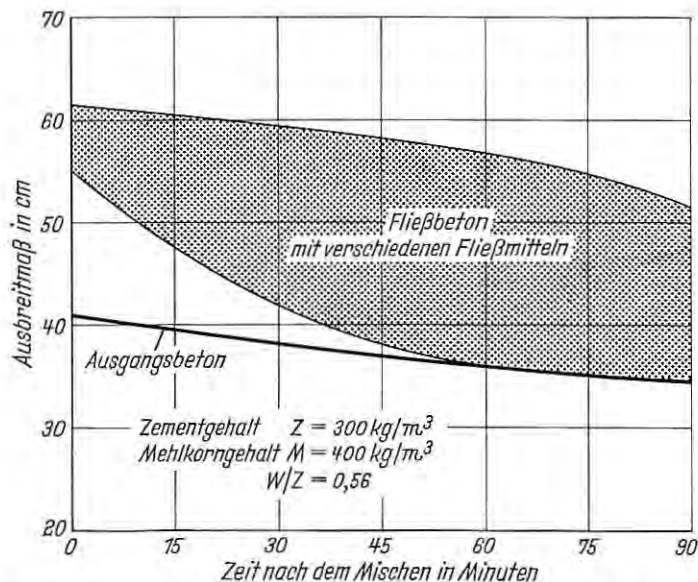


Bild 2 Ausbreitmaß von Fließbeton mit verschiedenen Fließmitteln in Abhängigkeit von der Zeit nach dem Zumischen des Fließmittels

mittels sowie von der Frischbetontemperatur und der Zeit nach dem Zumischen des Fließmittels. Für ein ausreichendes Untermischen des Fließmittels sind Mischer mit gut eingestellten und nicht zu stark abgenutzten Mischwerkzeugen und bei Mischerfahrzeugen in der Regel eine Mischzeit von mindestens 5 min, bei sehr großen Mischerfahrzeugen u. U. von 10 min, erforderlich. In Bild 2 ist das Ausbreitmaß von Fließbeton (Zementgehalt rd. 300 kg/m³; Mehlkorngelbst rd. 400 kg/m³; W/Z-Wert rd. 0,50) mit verschiedenen Fließmitteln in Abhängigkeit von der Zeit nach dem Zumischen des Fließmittels aufgetragen. Die Darstellung macht deutlich, daß die verflüssigende Wirkung verschiedener Fließmittel unterschiedlich sein kann und mit der Zeit unterschiedlich stark zurückgeht. Aus diesem Grunde müssen Fließbeton und frühhochfester Beton mit Fließmittel zügig verarbeitet werden, sie sollten in der Regel etwa 30 s nach Zumischen des Fließmittels eingebaut sein. Siehe u. a. [5 bis 20].

3.3 Festbetoneigenschaften

3.3.1 Druckfestigkeit

Hier interessiert vor allem die Frage, ob die Druckfestigkeit des Ausgangsbetons durch das Zumischen des Fließmittels verändert wird. In Bild 3 ist die Druckfestigkeit von verschiedenen Ausgangs-

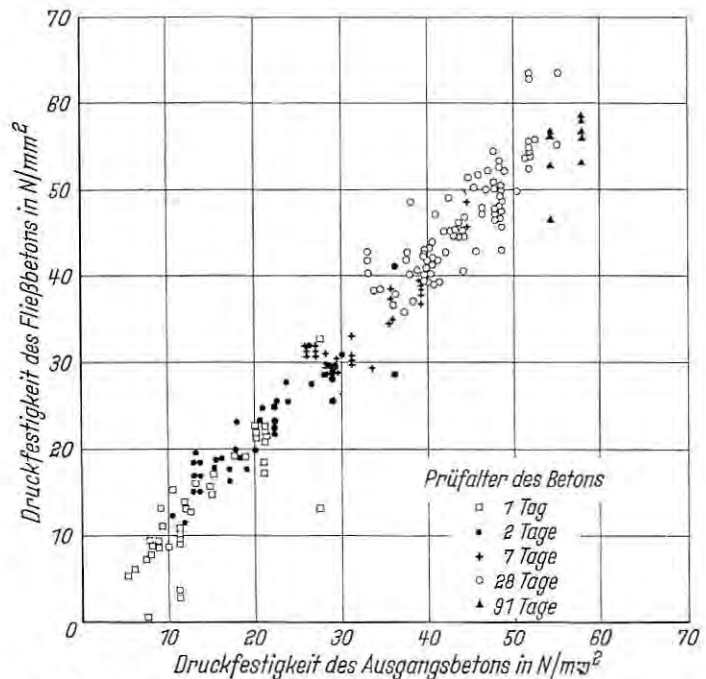


Bild 3 Druckfestigkeit von Fließbeton und dazugehörigem Ausgangsbeton im Betonalter von 1, 2, 7, 28 und 91 Tagen

betonen in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit der entsprechenden Fließbetone für Betonalter von 1, 2, 7, 28 und 91 Tagen aufgetragen. Die Darstellung macht deutlich, daß die Druckfestigkeit des Fließbetons durchweg mindestens ebenso groß ist wie die des dazugehörigen Ausgangsbetons und daß dieser Zusammenhang von der Betonzusammensetzung und vom Betonalter praktisch unabhängig ist. Auch bis zum Betonalter von 1 Jahr war die Druckfestigkeit feucht gelagerter Fließbetone nicht geringer als die der dazugehörigen Ausgangsbetone. Eine etwas geringere Druckfestigkeit ergab sich — wie zu erwarten war — lediglich bei Fließbeton mit einem verzögernd wirkenden Fließmittel im Betonalter von 1 und 2 Tagen sowie für einige Fließbetone mit Luftporenbildner, die einen deutlich größeren Luftgehalt aufwiesen als der dazugehörige Ausgangsbeton.

Bei Erprobungsstrecken und entsprechenden Untersuchungen ergaben sich für frühhochfesten Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen bei einer Betonzusammensetzung entsprechend Abschnitt 3.1 die Druckfestigkeiten der Tafel 1. Danach kann — wie

Tafel 1 Erfahrungswerte der Druckfestigkeit von frühhochfestem Beton mit Fließmittel und dazugehörigem Ausgangsbeton

Betonalter Tage	Druckfestigkeit in N/mm ² ¹⁾	
	Ausgangsbeton	frühhochfester Beton mit Fließmittel
1	21 bis 30	15 bis 32
2	27 bis 43	25 bis 41
7	44 bis 56	43 bis 54
28	52 bis 75	47 bis 75

¹⁾ Wegen der Umstellung auf SI-Einheiten im Verhältnis 10:1 umgerechnet.

zu erwarten war — die Druckfestigkeit des frühhochfesten Betons mit Fließmittel etwas geringer sein als die des dazugehörigen Ausgangsbetons, wenn der Ausgangsbeton eine relativ steife Konsistenz und dadurch einen deutlich geringeren Luftgehalt aufweist als der Beton mit Fließmittel. Die für die Verkehrsfreigabe der Bauklassen I bis III nach ZTV Beton erforderliche Druckfestigkeit von 27 bzw. 24 N/mm² ¹⁾ — das sind 70 bzw. 60 % der geforderten 28 Tage-Druckfestigkeit je nach darunterliegender Tragschicht — erreichten viele frühhochfeste Betone mit Fließmittel schon nach 1 Tag, im Betonalter von 2 Tagen wurde sie in der Regel bereits weit überschritten. Siehe u. a. [5 bis 20].

3.3.2 Spaltzugfestigkeit

Über die Spaltzugfestigkeit von Fließbeton wurden entsprechende Versuche durchgeführt. Einige Ergebnisse sind in Tafel 2 zusammengestellt. Sie zeigen, daß die Spaltzugfestigkeit der untersuchten Fließbetone und der dazugehörigen Ausgangsbetone im Betonalter zwischen 2 und 91 Tagen nicht systematisch verschieden ist. Siehe u. a. [7, 12].

Tafel 2 Erfahrungswerte der Spaltzugfestigkeit von Fließbeton und dazugehörigem Ausgangsbeton

Betonalter Tage	Spaltzugfestigkeit in N/mm ² ¹⁾	
	Ausgangsbeton	Fließbeton
2	1,7 bis 2,5	1,8 bis 2,7
7	2,8 bis 2,9	2,4 bis 3,1
28	3,2 bis 3,4	3,2 bis 3,6
91	3,3 bis 3,8	3,5 bis 3,8

¹⁾ Wegen der Umstellung auf SI-Einheiten im Verhältnis 10:1 umgerechnet.

3.3.3 Wasserundurchlässigkeit und chemischer Widerstand

Die Ergebnisse lediglich orientierender Untersuchungen über die Wasserundurchlässigkeit gehen aus Tafel 3 hervor. Dabei unterschieden sich die Wassereindringtiefe der Prüfung nach DIN 1048 Teil 1 unter Berücksichtigung der Prüfstreuungen des Verfahrens sowohl beim Fließbeton als auch beim frühhochfesten Beton mit Fließmittel nicht systematisch von der des dazugehörigen Ausgangsbetons. Diese Untersuchungen lassen erwarten, daß Fließbeton und frühhochfester Beton mit Fließmittel grundsätzlich den gleichen Grad der Wasserundurchlässigkeit bzw. der Wasserdurchlässigkeit aufweisen wie der dazugehörige Ausgangsbeton und daher wasserundurchlässig im Sinne von DIN 1048 und DIN 1045 sind, wenn der dazugehörige Ausgangsbeton als wasserundurchlässiger Beton hergestellt wird.

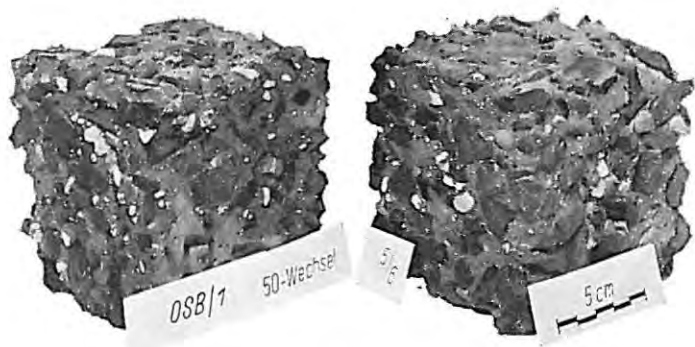
Tafel 3 Wassereindringtiefe von Beton mit Fließmittel und dazugehörigem Ausgangsbeton bei Prüfung nach DIN 1048 Teil 1

Betonart	Wassereindringtiefe in cm	
	Mittelwert	Größtwert
Fließbeton dazugehöriger Ausgangsbeton	0,5 bis 1,7 0,2 bis 0,8	0,9 bis 2,4 2,0 bis 2,2
frühhochfester Beton mit Fließmittel dazugehöriger Ausgangsbeton	0,9 0,5	1,5 1,2

Da Fließmittel nach bisherigen Erfahrungen auch die chemische Widerstandsfähigkeit des Betons nicht beeinflussen, kann von sachgerechtem Fließbeton und von sachgerechtem frühhochfestem Beton mit Fließmittel auch der gleiche Grad der Widerstandsfähigkeit gegen chemisch angreifende Stoffe erwartet werden wie vom dazugehörigen Ausgangsbeton. Siehe u. a. [7, 12].

3.3.4 Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand

Dem Frost-Tausalz-Widerstand von Beton mit Fließmittel wurde in Versuchen nachgegangen. Einige für diese Versuche repräsentative



Nullbeton



Fließbeton



Fließbeton mit Luftporen

Bild 4 Frost-Tausalz-Widerstand von Fließbeton mit Luftporen, von Fließbeton ohne Luftporen und vom dazugehörigen Nullbeton (ohne Luftporenbildner und Fließmittel) nach 50 Frost-Tausalz-Wechseln

Ergebnisse gehen aus Bild 4 hervor. Aus den Versuchsergebnissen ist zu folgern, daß der Beton mit Fließmittel sich auch gegenüber Frost-Tausalz-Einwirkungen wie der dazugehörige Ausgangsbeton verhält, d. h. daß er nur dann einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweist, wenn er außer einer sachgerechten Zusammensetzung und Herstellung einen ausreichenden Gehalt an Mikroluftporen aufweist (Abstandsfaktor höchstens 0,20 mm).

Der für hohen Frost-Tausalz-Widerstand geforderte Luftgehalt des Frischbetons ist bei Beton mit Fließmittel nur dann ein Maß für einen ausreichenden Mikroluftporengehalt und eine Voraussetzung für hohen Frost-Tausalz-Widerstand, wenn auch die Kombination von Luftporenbildner und Fließmittel hinsichtlich der Entstehung von Mikroluftporen wirksam ist und wenn der Beton mit Fließmittel für die Prüfung des Luftgehaltes am Frischbeton mit Luftporentopf durch Stochern oder leichtes Rütteln verdichtet worden ist. Nach P. Nischer [18], in dessen Untersuchungen allerdings nur 3 Fließmittel (2 modifizierte Melaminharze und 1 synthetisches Dispergierungsmittel) und 3 Luftporenbildner (2 Vinsolharze und 1 synthetischer Luftporenbildner) einbezogen wurden, braucht die Wirksamkeit (Einführung eines ausreichenden Luftporengehaltes) der Kombination von Luftporenbildner und Fließmittel nicht untersucht zu werden, wenn ein Luftporenbildner auf Vinsolharz-Basis verwendet wird und für dieses Zusatzmittel allein die Einführung eines ausreichenden Luftgehaltes in einer Wirksamkeitsprüfung [23] nachgewiesen worden ist.

Aus den Ausführungen zu Abschnitt 3.3.3 und aus den Ergebnissen der Frost-Tausalz-Versuche kann gefolgert werden, daß Beton mit Fließmittel auch einen hohen Frostwiderstand aufweist, wenn der dazugehörige Ausgangsbeton mit hohem Frostwiderstand im Sinne von DIN 1045 hergestellt wurde. Siehe u. a. [7, 12, 18, 19, 20].

4. Merkblatt für Verkehrsflächen aus frühhochfestem Beton mit Fließmittel

Das Merkblatt für Verkehrsflächen aus frühhochfestem Beton mit Fließmittel, das vom Arbeitskreis „Frühhochfester Straßenbeton“ der Arbeitsgruppe Betonstraßen zur Zeit erarbeitet wird (die Bearbeitung soll etwa bis Ende des Jahres 1977 abgeschlossen sein), soll die Besonderheiten dieser Bauweise und die dafür erforderlichen Abweichungen von den bestehenden Bestimmungen, wie der ZTV Beton, der DIN 1045 und den Fließbeton-Richtlinien, regeln und alle Erfahrungen über Fließbeton und über frühhochfesten Beton mit Fließmittel berücksichtigen. Die Gliederung des Merkblattes ist weitgehend an die ZTV Beton angelehnt und nach dem derzeitigen Stand der Bearbeitung wie folgt vorgesehen:

0. Allgemeines
1. Begriffsbestimmung
2. Anwendung
3. Baugrundsätze
4. Baustoffe
5. Herstellen und Einbau des Betons

6. Anforderungen

7. Prüfungen

Der *Abschnitt 0* regelt die Anwendbarkeit dieses Merkblattes und nennt die mitgeltenden Bestimmungen. Im *Abschnitt 1* wird festgelegt, daß unter frühhochfestem Beton mit Fließmittel im Sinne dieses Merkblattes frühhochfester Fließbeton mit einem Ausbreitmaß zwischen 51 und 60 cm und frühhochfester weicher Beton mit Fließmittel mit einem Ausbreitmaß zwischen 45 und 50 cm verstanden wird. Der *Abschnitt 2* gibt Hinweise für die Anwendung dieser Bauweise. Der frühhochfeste Beton mit Fließmittel kann für die Herstellung von Verkehrsflächen aller Art angewendet werden. Sein Einsatz ist besonders dort zweckmäßig, wo nur kurze Sperrzeiten bzw. Verkehrsbehinderungen möglich sind oder wo der Einsatz eines größeren Fertigers nicht möglich oder nicht zweckmäßig ist. Für den *Abschnitt 3* ist vorgesehen, daß zur Verhinderung des Wegfließens von Beton mit Fließmittel in bestimmte Unterlagen, wie z. B. nicht mit Bindemittel gebundene Tragschichten, diese ggf. vor Einbau des Betons mit Folien oder Unterlagspapier abgedeckt werden sollen, daß der Beton bei der Deckenherstellung in Sonderfällen auch zweilagig oder zweischichtig eingebaut werden kann, in der Regel aber die einlagige Bauweise vorzuziehen ist und daß der Einbau des Betons mit Fließmittel bei Neigungen größer als 3 % besondere Maßnahmen erfordert, damit er nicht wegfließt. Als besondere Maßnahmen bei Neigungen von mehr als 3 % können in Betracht kommen:

- Abstimmung der Betonzusammensetzung (gebrochener Zuschlag, grobkörniges Korngemisch, Begrenzung des Mörtelanteils, Herabsetzen der Fließmittelmenge für eine Konsistenz in der unteren Hälfte des Bereichs 45 bis 60 cm),
- zweilagiger Einbau,
- Abziehen des Betons nach einer bestimmten Wartezeit.

In *Abschnitt 4* soll aufgenommen werden, daß frühhochfester Beton mit Fließmittel wegen der hohen Anfangsfestigkeit in der Regel mit Zement 450 F hergestellt werden soll und daß als Fließmittel nur Betonverflüssiger mit gültigem Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik, Berlin, und der Zusatzbezeichnung „auch als Fließmittel für Fließbeton zulässig“ verwendet werden dürfen. Die Fließmittel dürfen die Erhärtung des für die Verwendung vorgesehenen Fließbetons nicht verzögern. Bei Verwendung von Fließmittel und Luftporenbildner muß sichergestellt sein, daß auch mit dieser Zusatzmittelkombination ein ausreichender Gehalt an Mikroluftporen (Abstandsfaktor nicht über 0,20 mm) erreichbar ist.

Der *Abschnitt 5* behandelt Herstellen und Einbau des Betons. Für Zusammensetzung und Herstellung des Ausgangsbetons gelten weitgehend die Festlegungen der ZTV Beton. Die Betonzusammensetzung ist aufgrund von Eignungsprüfungen festzulegen. Wegen des für eine hohe Frühfestigkeit etwas höheren Zementgehaltes darf der Mehlkorngelbalt bis zu 500 kg/m³ betragen und ist auch ein um 0,5 % höherer Luftgehalt erforderlich als in der ZTV Beton vorgesehen. Die Zugabemenge an Luftporenbildner zum Ausgangsbeton muß so gewählt werden, daß der Beton mit Fließmittel einen

ausreichenden Luftgehalt aufweist. Wegen der begrenzten Wirkungsdauer ist das Fließmittel dem Ausgangsbeton erst unmittelbar vor Abgabe des Betons an der Baustelle zuzumischen. Die jeweilige Zugabemenge des Fließmittels darf 8 cm^3 je kg Zement (0,8 %) nicht unter- und den Größtwert im Prüfbescheid nicht überschreiten. Im Gegensatz zu den Festlegungen der Fließbeton-Richtlinien wird das Merkblatt ein Nachdosieren des Fließmittels gestatten, wenn die gesamte Zugabemenge den im Prüfbescheid festgelegten Größtwert nicht überschreitet. Während der Bauausführung sind die Zugabemengen sowohl des Luftporenbildners als auch des Fließmittels ggf. den Erfordernissen entsprechend zu korrigieren. Der Ausgangsbeton muß im Werk bzw. in einer zentralen Mischanlage gemischt und soll im Fahrmischer mit nicht-drehender Trommel transportiert werden. Er soll nicht zu zäh sein, aber ein gutes Zusammenhaltevermögen sowie ein Ausbreitmaß zwischen 25 und 33 cm oder ein Verdichtungsmaß zwischen 1,20 und 1,40 aufweisen. Beim Beton mit Fließmittel soll das Ausbreitmaß zwischen 45 und 60 cm liegen und soll in diesem Bereich die Einhaltung des Ausbreitmaßes von $\pm 3 \text{ cm}$ angestrebt werden. Bei höheren Temperaturen sollte eine Konsistenz nahe der oberen Grenze, bei Neigungen über 3 % eine Konsistenz in der unteren Hälfte des Konsistenzbereiches 45 bis 60 cm angestrebt werden. Der Beton mit Fließmittel muß so lange gemischt werden, bis ein gleichmäßiges Gemisch entstanden ist, mindestens aber 5 min. Es ist vorgesehen, für die Zubereitung des Betons mit Fließmittel nur etwa 5 m^3 -Fahrmischer oder kleinere Fahrmischer zuzulassen, weil die Zubereitung in großen Fahrmischern, wie z. B. in 10 m^3 -Fahrmischern, eine deutlich längere Mischzeit benötigt und die dabei anfallenden größeren Betonmengen nicht rechtzeitig verarbeitet werden können.

Die Schalung muß dicht sein. Ihre Oberkanten, über die der Beton abgezogen wird, müssen die Einhaltung der Anforderungen an Ebenheit und Höhenlage der Decke ermöglichen. Wegen der begrenzten Dauer der verflüssigenden Wirkung ist Beton mit Fließmittel zügig zu verarbeiten, für den Einbau stehen in der Regel nicht mehr als 30 min zur Verfügung. Auch Beton mit Fließmittel benötigt im allgemeinen eine auf die Konsistenz abgestimmte Verdichtung. Für den Einbau von frühhochfestem Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen sind die in der ZTV Beton genannten Verteiler und Straßenfertiger nicht erforderlich. Es haben sich aber Abziehböhlen mit leichten Rüttlern (mit niedriger, möglichst verstellbarer Frequenz) bewährt.

Die schnelle Erhärtung des frühhochfesten Betons erfordert in der Regel das Fugenschneiden zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt als beim sonst üblichen Straßenbeton. Anstelle des Fugenschneidens können in den Beton sofort nach dem Abziehen auch Fugeneinlagen eingesetzt werden. Dübel können nur auf Dübelkörben verlegt werden, die Lage der Dübel und der Dübelkörbe muß gegen Verschieben gesichert werden. Wird in Ausnahmefällen Bewehrung angeordnet, so ist es bei seitlicher Beschickung zweckmäßig, zweilagig zu arbeiten und die Bewehrung auf die angesteifte erste Lage aufzulegen. Bei Vorkopfbeschickung ist die Bewehrung auf langen Ankerkörben zu verlegen und kann der Beton einlagig eingebaut werden.

Auch für die Unterabschnitte „Schutzmaßnahmen, Nachbehandlung und Sperrfristen“ ergeben sich gegenüber der ZTV Beton gewisse Änderungen. Die dort für Betondecken der Bauklassen I bis III sonst geforderten Schutzzelte und Schutzdächer sind bei frühhochfestem Beton wegen der raschen Erhärtung in der Regel nicht erforderlich. Während des Regens darf frühhochfester Beton mit Fließmittel nicht eingebaut werden und ist bereits eingebauter, noch nicht erstarrter Beton mit Folien abzudecken. Die Betonoberfläche sollte in der Regel mit Nachbehandlungsmittel nachbehandelt werden, sobald sie leicht abgetrocknet und nur noch mattglänzend ist. Für die Sperrfristen gilt die ZTV Beton sinngemäß. Die Fahrbahn kann befahren werden, wenn 70 % und bei hydraulisch verfestigter Unterlage 60 % der 28 Tage-Druckfestigkeit vorhanden ist. Von sachgerechtem frühhochfestem Beton mit Fließmittel wird diese Festigkeit in der Regel nach 1 bis 2 Tagen erreicht (siehe Anforderung).

Im *Abschnitt 6* werden die Anforderungen festgelegt. Die im Merkblatt vorgesehenen Anforderungen gehen für den Frischbeton aus *Tafel 4* und für den Festbeton aus *Tafel 5* hervor. Wegen des erforderlichen hohen Frost-Tausalz-Widerstandes wurde der W/Z-Wert auf höchstens 0,50 begrenzt, und wegen der Frühfestigkeit und des dadurch etwas höheren Zementgehaltes werden Mehlkorngelalte bis 500 kg/m³ zugelassen und darauf abgestimmte

Tafel 4 Anforderungen des „Merkblattes für Verkehrsflächen aus frühhochfestem Beton mit Fließmittel“ an den Frischbeton

Mehlkorngelalt bei der Eignungsprüfung kg/m ³	Luftgelalt in Vol.-%	
	Einzelwert mind.	Mittelwert mind.
bis 400	3,0	3,5
bis 450	3,5	4,0
bis 500	4,0	4,5
Wasserzementwert ≤ 0,50		Ausbreitmaß 45 bis 60 cm

Tafel 5 Anforderungen des „Merkblattes für Verkehrsflächen aus frühhochfestem Beton mit Fließmittel“ an den Festbeton

Bau- klasse	Druckfestigkeit N/mm ² ¹⁾				Biegezug- festigkeit N/mm ² ¹⁾ bei der Eignungsprüfung 28 Tage mind.
	jedes 20 cm-Würfels		jedes Serienmittels		
	2 Tage mind.	28 Tage mind.	2 Tage mind.	28 Tage mind.	
I	25	35	28	40	5,5
II	25	35	28	40	5,5
III	25	35	28	40	5,5
IV	21	30	25	35	4,5
V	18	25	21	30	4,0

¹⁾ Wegen der Umstellung auf SI-Einheiten im Verhältnis 10:1 umgerechnet.

höhere Luftgehalte gefordert. Die Festigkeitsanforderungen im Alter von 28 Tagen entsprechen der ZTV Beton. Zusätzlich aufgenommen wurden Anforderungen für die 2 Tage-Druckfestigkeit, die 70 % der Festigkeits-Anforderungen nach 28 Tagen ausmachen. Für die Ebenheit sollen die Anforderungen der ZTV Beton gelten, jedoch müssen dazu für große Baulose noch weitere Erfahrungen gesammelt werden.

Der *Abschnitt 7* enthält die Besonderheiten für die Prüfung von frühhochfestem Beton mit Fließmittel. Im Rahmen der Eignungsprüfung soll die 2 Tage-Druckfestigkeit des Betons mit Fließmittel auch bei wesentlich von 20 °C abweichenden Temperaturen geprüft werden, wenn solche Temperaturen während der Bauausführung zu erwarten sind. Im Rahmen der Eigenüberwachungsprüfung ist die Druckfestigkeit nach 2 und 28 Tagen zu prüfen. Als Kontrollprüfung sind zur Feststellung einer ausreichenden Frühfestigkeit Erhärtungsprüfungen im jungen Alter vorgesehen. — Am Frischbeton mit Fließmittel sind in Anlehnung an die ZTV Beton außerdem der Wasserzementwert, die Betonzusammensetzung, die Rohdichte, der Luftgehalt, die Betontemperatur, die Konsistenz und augenscheinlich das Zusammenhaltevermögen zu prüfen, die beiden letzten Eigenschaften auch am Ausgangsbeton.

5. Zusammenfassung

Die Ergebnisse von zahlreichen Untersuchungen und die Erfahrungen von zahlreichen Erprobungsstrecken haben gezeigt, daß sowohl der Fließbeton als auch der frühhochfeste Beton mit Fließmittel für die Herstellung von Verkehrsflächen aller Art geeignet sind. Auch mit diesen Bauverfahren ergibt sich bei sachgerechtem Vorgehen die für solche Anwendungen bewährte Betonqualität, die sich besonders durch hohe Widerstandsfähigkeit gegen alle Beanspruchungen und große Dauerhaftigkeit auszeichnet. Betone mit Fließmittel erfordern keinen großen Geräteaufwand und haben den Vorteil, leicht verarbeitbar und weniger empfindlich gegen nicht so sorgfältige Verdichtung zu sein. Der frühhochfeste Beton mit Fließmittel ist in der Regel bereits nach 1 oder 2 Tagen voll befahrbar. Er eignet sich daher besonders für Verkehrsflächen, die großen Beanspruchungen ausgesetzt werden und nur kurze Zeit gesperrt werden können, wie z. B. für Ausbesserungsfelder, für Stadtstraßen und für Startbahnen von Flugplätzen. Für die sachgerechte Anwendung des frühhochfesten Betons mit Fließmittel für Verkehrsflächen wird im Bereich der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen zur Zeit ein Merkblatt erarbeitet, dem der Stand der Erkenntnisse und die Erfahrungen mit dieser Bauweise zugrunde liegen und das die für diese Bauweise erforderlichen Abweichungen von den bestehenden Bestimmungen regelt.

SCHRIFTTUM

- [1] Löwenberg, H.: Fließbeton als neue Anwendungsmöglichkeit im Straßenbau. Straßenbautagung Mainz 1976. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln 1977, S. 179/183.
- [2] Löwenberg, H.: Fließbeton im Straßen- und Wegebau. Hochtief-Nachrichten 49 (1976) Ausgabe Juli/Sept., S. 7/18.
- [3] Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton (TV Beton 72). Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, und Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 5/1972 des Bundesministers für Verkehr vom 18. 2. 1972; ebenso die als ZTV Beton vorgesehene Neufassung der TV Beton 72.
- [4] Engelmann, K. H.: Neuerungen der TV Beton. Tagung der Arbeitsgruppe Betonstraßen am 15. und 16. Juni 1977 in Lübeck. Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Betonstraßen, Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln 1977, H. 13 (erscheint in Kürze).
- [5] Richtlinien für die Herstellung und Verarbeitung von Fließbeton (Fassung Mai 1974), beton 24 (1974) H. 9, S. 342/344; ebenso Betontechnische Berichte 1974, Beton-Verlag, Düsseldorf 1975, S. 143/149.
- [6] Breuckmann, K.: Fließbeton. Betonwerk + Fertigteile-Technik 39 (1973) H. 7, S. 517/519.
- [7] Bonzel, J., und E. Siebel: Fließbeton und seine Anwendungsmöglichkeiten. beton 24 (1974) H. 1, S. 20/24, und H. 2, S. 59/63; ebenso Betontechnische Berichte 1974, Beton-Verlag, Düsseldorf 1975, S. 21/44.
- [8] Wolf, H.: Fließbeton, Technologie und Anwendung. Der Deutsche Baumeister BDB (1974) H. 5, S. 335/337.
- [9] Lewandowski, R., und P. Peterfy: Superverflüssiger und Fließbetonherstellung. Bauwirtschaft 28 (1974) H. 29, S. 1265/1269, und H. 34, S. 1447/1452.
- [10] Aignesberger, A., und A. Tambour: Fließbeton — Herstellung und Verwendung. Zement und Beton 1974, Nr. 77, S. 1/5.
- [11] Weber, R.: Fließbeton. Beton-Informationen des Montanzement-Verbandes 1974, H. 6, S. 75/83.
- [12] Bonzel, J.: Fließbeton. Zement-Taschenbuch 1976/77. Bauverlag GmbH, Wiesbaden/Berlin 1976, S. 327/351.
- [13] Streit, G.: Fließbeton im Straßenbau. beton 26 (1976) H. 5, S. 167/171.
- [14] Schubenz, D.: Dauerhafte Befestigung ländlicher Wege und Hofflächen — Fließbeton, eine neue wirtschaftliche Möglichkeit. Beton-Landbau 13 (1976) H. 1, S. 7/12.
- [15] von Stosch, H.-J.: FrühhoCHFester Fließbeton im Straßenbau. Straße und Autobahn 27 (1976) H. 6, S. 215/219.
- [16] Kern, E., und H. J. Koch: Anwendung von Fließbeton. Beton- und Stahlbetonbau 71 (1976) H. 12, S. 285/289.
- [17] Teubert, J.: Fließbeton als Straßenbeton. Straße und Autobahn 27 (1976) H. 12, S. 480/483.
- [18] Nischer, P.: Einführung von künstlichen Luftporen in Fließbeton. Betonwerk + Fertigteile-Technik 43 (1977) H. 6, S. 285/288.
- [19] Bonzel, J., und E. Siebel: Neuere Untersuchungen über den Frost-Tausalz-Widerstand von Beton. beton 27 (1977) H. 4, S. 153/158, H. 5, S. 205/211, und H. 6, S. 237/244; ebenso Betontechnische Berichte 1977, Beton-Verlag, Düsseldorf 1978, S. 55/104.
- [20] Bonzel, J.: Beton. Beton-Kalender 1977, Teil I, Abschnitt A. Verlag von Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1977, S. 5/95.
- [21] Dahms, J.: Beton hoher Frühfestigkeit. Betonwerk + Fertigteile-Technik 40 (1974) H. 6, S. 402/408.
- [22] Wischers, G., und J. Dahms: Festigkeitsentwicklung des Betons. Zement-Taschenbuch 1976/77. Bauverlag GmbH, Wiesbaden/Berlin 1976, S. 227/249.
- [23] Richtlinien für die Prüfung der Wirksamkeit von Betonzusatzmitteln (Fassung Oktober 1974) und Erläuterungen von K. Walz. Mitteilungen des Instituts für Bautechnik Berlin 6 (1975) Nr. 1, S. 10/14 und S. 19/22.