

# Fließbeton und seine Anwendungsmöglichkeiten \*)

Von Justus Bonzel und Eberhard Siebel, Düsseldorf

## Übersicht

*Beton mit guten Festbetoneigenschaften wird in der Regel mit nach oben begrenztem W/Z-Wert und mit möglichst geringer Zementleimmenge hergestellt. Er weist dann meist eine steife oder plastische Konsistenz auf und erfordert eine intensive und sorgfältige Verdichtung. Um solche Betone auch mit geringerem Verdichtungsaufwand herstellen zu können, wurden sehr wirksame Betonverflüssiger, sog. Superverflüssiger, entwickelt, die zur Herstellung des sog. Fließbetons verwendet werden.*

*Unter Fließbeton wird ein Beton mit gutem Fließvermögen und mit ausreichendem Zusammenhaltevermögen verstanden. Seine Konsistenz liegt vorwiegend im Bereich oberhalb von K 3, sein Ausbreitmaß ist in der Regel größer als 50 cm, sollte aber 60 cm nicht überschreiten. Er wird aus einem Beton der Konsistenz im oberen Bereich von K 2 oder im unteren Bereich von K 3 durch Zumischen eines Superverflüssigers hergestellt. Die Superverflüssiger werden dem Ausgangsbeton wegen der dann besseren Wirksamkeit und wegen ihrer begrenzten Wirkungsdauer in der Regel kurz vor der Verarbeitung des Betons, bei Transportbeton vor Übergabe an der Verwendungsstelle, nachträglich zugemischt. Die Frischbetoneigenschaften des Fließbetons sind insbesondere von Zusammensetzung und Konsistenz des Ausgangsbetons, von Art und Menge des Superverflüssigers und von der Frischbetontemperatur abhängig. Die Betonzusammensetzung muß stets aufgrund von Eignungsprüfungen festgelegt werden. Die Eigenschaften des erhärteten Fließbetons entsprechen im wesentlichen denen seines Ausgangsbetons.*

*Die Anwendung des Fließbetons bedarf einer besonderen Regelung, da die deutschen Betonbestimmungen die Verwendung von Beton der Konsistenz oberhalb von K 3 und das nachträgliche Zumischen von Betonzusatzmitteln nicht vorsehen. Für die Entscheidung, ob bei gleichen Festbetoneigenschaften im Einzelfall ein üblicher Rüttelbeton, ein Fließbeton oder ein zementleimreicher Beton mit gleicher Konsistenz wie der Fließbeton zweckmäßiger ist, werden technische und wirtschaftliche Überlegungen anzustellen sein.*

\*) Nach einem Vortrag auf der Technisch-wissenschaftlichen Zementtagung am 14. 9. 1973 in München

## 1. Allgemeines

Beton muß für die Anwendung im erhärteten Zustand bestimmte Eigenschaften aufweisen. Das Erreichen dieser Festbetoneigenschaften setzt voraus, daß der Frischbeton mit den vorgesehenen Einrichtungen ohne störende Veränderung befördert und eingebaut werden kann. Die Betonzusammensetzung muß daher sowohl auf die geforderten Festbetoneigenschaften als auch auf die erforderliche Verarbeitbarkeit des Frischbetons abgestimmt werden.

Gute Festbetoneigenschaften, wie z. B. hohe Festigkeit, Wasserundurchlässigkeit, ein hoher Widerstand gegen chemische Einwirkungen oder gegen Frost-Tausalz-Beanspruchungen, erfordern einen vergleichsweise kleinen Wasserzementwert, der in der Regel auch einen begrenzten Wassergehalt zur Folge hat. Die Verarbeitung des Frischbetons erfordert dagegen unter sonst gleichen Verhältnissen mit zunehmendem Wassergehalt einen geringeren Verdichtungsaufwand, da damit der Beton beweglicher und seine Konsistenz weicher wird. DIN 1045 unterscheidet die drei Konsistenzbereiche steif (K 1), plastisch (K 2) und weich (K 3). Früher gab es außerdem noch den flüssigen bzw. Gußbeton, der wasserreich war, in der Regel ein geringes Zusammenhaltvermögen aufwies und wegen einer möglichen Entmischungsgefahr in die neue DIN 1045 nicht mehr aufgenommen wurde.

Für hochwertigen Beton mit kleinem Wasserzementwert und mit begrenztem Zementgehalt wird meist ein steifer bis plastischer Frischbeton (Konsistenzbereiche K 1 und K 2) angestrebt, der durch Rütteln verdichtet werden muß. Mit den heutigen Verdichtungseinrichtungen ist dies technisch einwandfrei möglich. Diese Verdichtung erfordert jedoch Sorgfalt und Zuverlässigkeit, die im Zeitalter des schnellen Bauens und des zunehmenden Mangels an guten Fachkräften nicht immer vorausgesetzt werden kann. Dadurch entstand der Wunsch, die Verarbeitbarkeit auch des hochwertigen Betons zu verbessern, um das Erreichen der Festbetoneigenschaften von der Verdichtung etwas unabhängiger zu machen. Damit können gleichzeitig eine Einsparung an Lohn- und Gerätekosten und eine Lärminderung verbunden sein.

Bisher konnte die Verarbeitbarkeit des Qualitätsbetons durch eine Vergrößerung des Wassergehalts oder der Zementleimmenge verbessert werden. Die alleinige Erhöhung des Wassergehalts führt zu einem wasserreichen, flüssigen Frischbeton, der sich leicht entmischt, sowie zu einer Vergrößerung des Wasserzementwerts und damit zu einer Verschlechterung der Festbetoneigenschaften. Eine deutliche Vergrößerung der Zementleimmenge kann sich, z. B. bei massigen Bauteilen, nachteilig auf bestimmte Betoneigenschaften, wie z. B. auf das Schwinden und auf die Betontemperatur, auswirken. Die Suche nach anderen Möglichkeiten führte zur Entwicklung der sog. Superverflüssiger, mit denen sich Fließbeton herstellen läßt.

## 2. Superverflüssiger und Fließbeton

Unter Superverflüssigern werden besonders wirksame Betonverflüssiger verstanden. Sie müssen, wie alle Betonzusatzmittel, den

Anforderungen der Richtlinien für Betonzusatzmittel [1] entsprechen. Die Zugabemenge darf die dort festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Sie dürfen mit den Betonbestandteilen keine störenden Verbindungen eingehen und den Korrosionsschutz der Bewehrung im Beton nicht beeinträchtigen. Superverflüssiger, die für Beton nach DIN 1045 verwendet werden, müssen ein Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik besitzen, auf Wirksamkeit geprüft und laufend nach den Überwachungsrichtlinien [2] überwacht werden. Ihre verflüssigende Wirkung soll deutlich größer als die normaler Betonverflüssiger sein. Superverflüssiger sollen das Fließvermögen des Frischbetons verbessern, ohne sein Zusammenhaltevermögen wesentlich zu beeinträchtigen. — Außer zur Herstellung von Fließbeton können Superverflüssiger auch dazu verwendet werden, Betone in anderen Konsistenzbereichen mit kleinerem Wasserzementwert herzustellen.

Unter Fließbeton wird ein Frischbeton verstanden, der bei relativ geringem Wassergehalt ein gutes Fließvermögen und ein ausreichendes Zusammenhaltevermögen aufweist. Die Konsistenz des Fließbetons entspricht vorwiegend dem Bereich oberhalb von K 3, sein Ausbreitmaß ist in der Regel größer als 50 cm, sollte aber 60 cm nicht überschreiten. Fließbeton wird wegen der dann besseren Wirksamkeit der Superverflüssiger und ihrer begrenzten Wirkungsdauer (siehe Abschn. 4) in der Regel aus einem Frischbeton der Konsistenz im oberen Bereich von K 2 oder im unteren Bereich von K 3 durch nachträgliches Zumischen des Superverflüssigers hergestellt.

### **3. Eigenschaften des Fließbetons und ihre Beeinflussung**

Diesen Ausführungen liegen orientierende Untersuchungen des Forschungsinstituts der Zementindustrie über den Einfluß der Superverflüssiger auf Wasser und Zementleim, über die Frischbetoneigenschaften von Fließbeton und ihre Beeinflussung sowie über die Druckfestigkeit, die Spaltzugfestigkeit, die Wasserundurchlässigkeit und den Frost-Tausalz-Widerstand von Fließbeton und Veröffentlichungen anderer Stellen, siehe u. a. [3, 4], zugrunde. Über die gesamten Versuche wird nach Vorliegen aller Ergebnisse ausführlich berichtet. Bei den bisherigen Versuchen wurde ein Portlandzement 350 F nach DIN 1164 mit einer mittleren Normdruckfestigkeit von 173 kp/cm<sup>2</sup> nach 2 Tagen und von 440 kp/cm<sup>2</sup> nach 28 Tagen sowie mit einer mittleren spezifischen Oberfläche von 3150 cm<sup>2</sup>/g verwendet. Die bisher verwendeten Betonverflüssiger und einige kennzeichnende Angaben sind in Tafel 1 aufgeführt. Bei den Versuchen wurden die Superverflüssiger dem fertig gemischten Ausgangsbeton in der vom Hersteller größten empfohlenen Menge (siehe Tafel 1) während 3 Minuten im Teller-Zwangsmischer zugemischt. Die Probekörper für die Prüfung der Festbetoneigenschaften (20-cm-Würfel für die Druckfestigkeitsprüfung, Zylinder 15/30 cm für die Spaltzugprüfung und Platten 20 cm x 20 cm x 12 cm für die Wasserundurchlässigkeitsprüfung) wurden in zwei Schichten beim Ausgangsbeton insgesamt 20 Sekunden auf einem Rütteltisch (Frequenz rd. 3000 U/min, Schwingungsbreite rd. 1 mm) und beim Fließbeton durch Stochern verdichtet. Sie wurden bis zur Prüfung nach DIN 1048 Blatt 1 ge-

Tafel 1 Verwendete Betonverflüssiger

Bezeichnung	Vom Hersteller angegebene Hauptbestandteile		Verflüssigende Wirkung aufgrund orientierender Versuche	Beeinflussung der Oberflächenspannung des Wassers	Verzögerung des Erstarrens nach DIN 1164	
		empfohlene Zusatzmenge cm <sup>3</sup> /kg Zement				
Superverflüssiger	A	Salze von sulfomethylierten Heterozyklen	16	stark	geringfügig entspannend	keine
	B	makromolekulare Salze von sulfonierten Heterozyklen	15	stark	geringfügig entspannend	keine
	C	aromatisches Sulfonsäurederivat	10 bis 15	stark	entspannend	mittel
	D	Kohlehydrate und organische Säuren	10 bis 12	stark	entspannend	stark
	E	makromolekulare Ester	10	mittel	stark entspannend	stark
	F	Derivate der Sulfitablauge	7	mittel	stark entspannend	mittel
	G	Ligninsulfonat	7	mittel	entspannend	mittel
Normale Betonverflüssiger	H	Ligninsulfonat	2	gering, wie normale Betonverflüssiger	entspannend	keine
	I	aromatisches Sulfonsäurederivat	2 bis 3	gering, wie normale Betonverflüssiger	entspannend	geringfügig

lagert. Außerdem wurden 10-cm-Würfel und Platten 30 cm x 30 cm x 8 cm zur Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands entsprechend hergestellt, aber in einer Schicht verdichtet und bis zum 7. Tag unter Wasser und anschließend bis kurz vor Beginn der Frost-Tausalz-Versuche im Alter von 28 Tagen bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte gelagert.

### 3.1. Einfluß der Superverflüssiger auf Wasser und Zementleim

Zur umfassenderen Beurteilung des Einflusses der verwendeten Betonverflüssiger wurde zunächst ihr Einfluß auf die Oberflächenspannung des Wassers sowie auf die Viskosität und das Absetzen

(Wasserabsondern) von Zementleim untersucht. Die Oberflächenspannung des Wassers ohne und mit Verflüssiger (empfohlene Zugabemenge nach Tafel 1 für  $Z = 300 \text{ kg/m}^3$  und  $W/Z = 0,60$ ) wurde mit einem Oberflächenspannungsmesser (Interfacial-Tensiometer K 8600) nach Bild 1 bestimmt. Dabei wirkten die Superverflüssiger C, D und G und die beiden normalen Betonverflüssiger H und I entspannend und die Superverflüssiger E und F stark entspannend (siehe auch Tafel 1). Die Superverflüssiger A und B veränderten die Oberflächenspannung des Wassers praktisch nicht. Aufgrund dieser Ergebnisse und der übrigen Angaben in Tafel 1 ist anzunehmen, daß die verflüssigende Wirkung bei den Superverflüssigern E, F und G und bei den Verflüssigern H und I überwiegend auf das Herabsetzen der Oberflächenspannung des Wassers und eine dadurch bedingte bessere Benetzung und bei

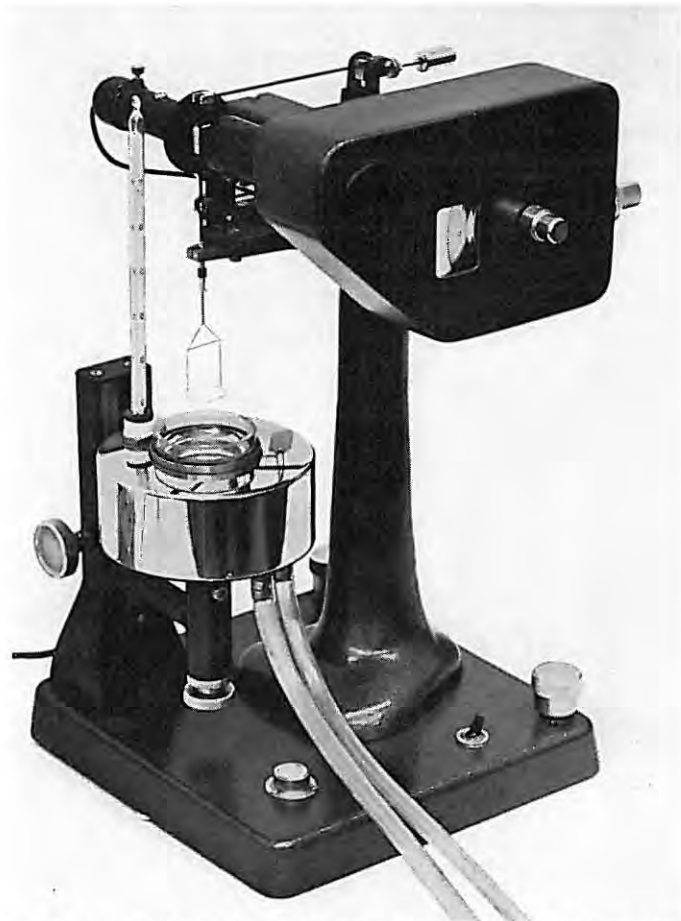


Bild 1 Gerät zur Bestimmung der Oberflächenspannung des Wassers (Interfacial-Tensiometer K 8600)

den Superverflüssigern A und B auf eine Art „Schmierwirkung“ zurückzuführen ist, die durch das zeitweilige Vorhandensein schwerlöslicher Calciumverbindungen bedingt sein kann. Bei den Superverflüssigern C und D können beide Ursachen in etwas geringerem Maße beteiligt sein.

An Zementleimen mit W/Z-Werten von 0,40, 0,50 und 0,60 sowie ohne und mit Verflüssiger wurden die Viskosität in einem Rotationsviskosimeter (Fann-Viskosimeter) nach Bild 2 und das Absetzen (Wasserabsondern) im 1000-cm<sup>3</sup>-Meßzylinder bestimmt. Die scheinbare Viskosität des Zementleims nahm erwartungsgemäß mit wachsendem W/Z-Wert ab und war beim Zementleim mit Superverflüssiger A nach Tafel 1 bei  $W/Z = 0,40$  rd. halb so groß und bei den W/Z-Werten 0,50 und 0,60 rd. zweidrittel so groß wie beim gleichen Zementleim ohne Verflüssiger, siehe Bild 3. Wie auch aus Bild 4 hervorgeht, setzten die Superverflüssiger A, B, C und D die scheinbare Viskosität von Zementleim mit  $W/Z = 0,50$  am stärksten herab. Die Superverflüssiger E und F zeigten etwas geringeres, der Superverflüssiger G und die Verflüssiger H und I deutlich geringeres Herabsetzen der scheinbaren Viskosität. Wenn auch diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf das Verhalten von Beton übertragbar sind (siehe auch Abschn. 3.2.4), so lassen sie doch erwarten, daß die Superverflüssiger A, B, C und D auch die größere verflüssigende Wirkung im Beton aufweisen (siehe auch Tafel 1).

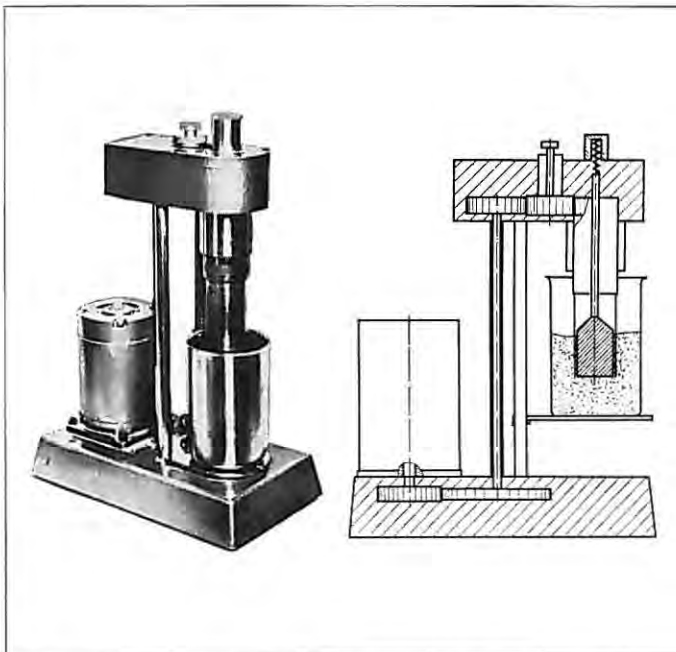
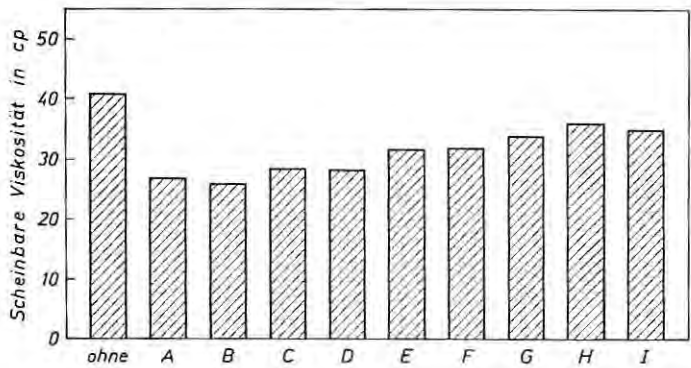
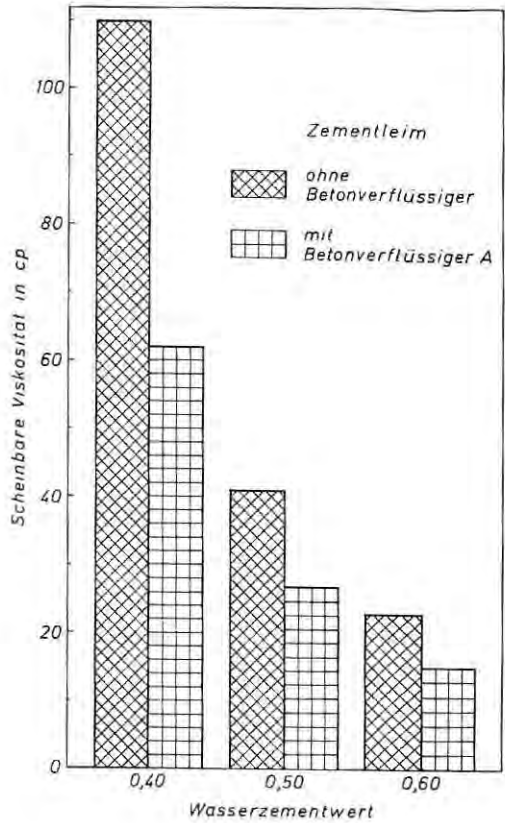


Bild 2 Rotationsviskosimeter (Fann-Viskosimeter) zur Bestimmung der scheinbaren Viskosität von Zementleim

Bild 3  
Scheinbare  
Viskosität von  
Zementleim mit  
W/Z-Werten von  
0,40, 0,50 und 0,60  
sowie ohne und  
mit Super-  
verflüssiger A



Zementleim (W/Z = 0,50) ohne und mit Betonverflüssiger nach Tafel 1

Bild 4 Scheinbare Viskosität von Zementleim (W/Z = 0,50) ohne und mit Superverflüssiger

Die Ergebnisse über das Absetzen (Wasserabsondern) von Zementleim ( $W/Z = 0,50$ ) ohne und mit Verflüssiger sowie von Zementleim ohne Verflüssiger, aber mit  $W/Z = 0,60$ , der etwa gleiche scheinbare Viskosität wie der Zementleim mit  $W/Z = 0,50$  und mit Superverflüssiger A aufwies, sind in Bild 5 aufgetragen. Das Absetzen der Zementleime mit  $W/Z = 0,50$  und mit Verflüssiger war größer als beim reinen Zementleim mit  $W/Z = 0,50$ , aber zum gleichen Zeitpunkt kleiner als beim reinen Zementleim mit  $W/Z = 0,60$ , darüber hinaus aber abhängig von der Art des Verflüssigers. Für die Beurteilung der Verflüssiger im Beton kann von Bedeutung sein, daß sich die Zementleime mit den Superverflüssigern A, B, C und D trotz der stärksten Verflüssigung (siehe Bild 4) bei diesen Absetzversuchen vergleichsweise gut verhielten (siehe Bild 5). Das spricht für ein gutes Zusammenhaltevermögen der Zementleime mit diesen Superverflüssigern. Das geringere Absetzen des Zementleims mit Verflüssiger H war dagegen zu erwarten, da der normale Betonverflüssiger H den Zementleim am wenigsten verflüssigte (siehe Bild 4). In einigen Fällen, insbesondere bei den Zementleimen mit den Verflüssigern D, E und F, dauerte der Absetzversuch wegen der Verzögerungswirkung des Verflüssigers deutlich länger, was zu größeren Endabsetzmaßen führte (siehe auch Bild 5 und Tafel 1).

Bei den Absetzversuchen der Leime mit  $W/Z = 0,50$  und mit Verflüssiger und des Leimes etwa gleicher Viskosität ohne Verflüssiger mit  $W/Z = 0,60$  zeigten sich an den Glaszylinder-Mantelflächen sehr unterschiedliche und teilweise mit der Zeit wech-

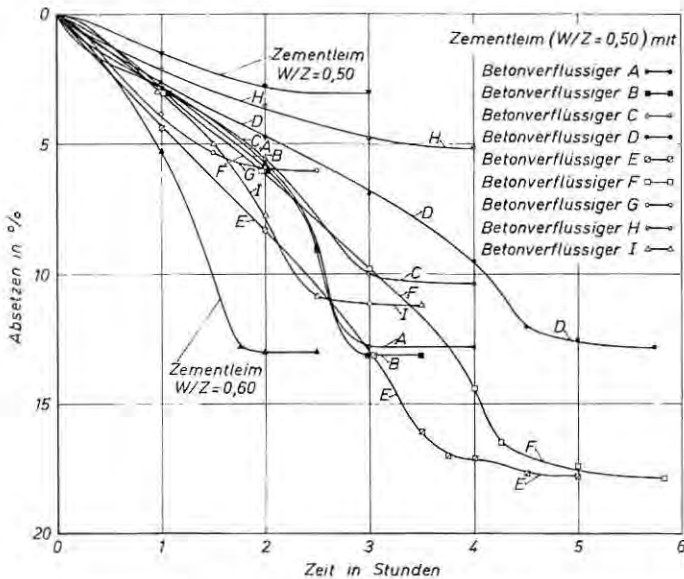


Bild 5 Absetzen (Wasserabsondern) von Zementleim ( $W/Z = 0,50$ ) ohne und mit Superverflüssiger sowie von Zementleim mit  $W/Z = 0,60$  ohne Superverflüssiger (etwa gleicher scheinbarer Viskosität wie Zementleim mit  $W/Z = 0,50$  und Superverflüssiger A)



selnde Verfärbungen, die beim Ausgangsleim ohne Verflüssiger mit  $W/Z = 0,50$  nicht auftraten und am Fließbeton mit  $W/Z$ -Werten bis zu  $0,60$  bisher auch nicht festgestellt wurden. Dieser Feststellung und ihrer Bedeutung wird zur Zeit mit weiteren Versuchen nachgegangen.

### 3.2. Frischbeloneigenschaften

Vom Fließbeton wird erwartet, daß er ohne großen Verdichtungs- aufwand eingebaut werden kann, sich aber bei Transport und Einbau nicht entmischt. Der Frischbeton muß daher ein gutes Fließvermögen und ein ausreichendes Zusammenhaltevermögen aufweisen. Beurteilt man diese Eigenschaften mit dem Ausbreitmaß nach DIN 1048 Blatt 1, so sollte sein Ausbreitmaß in der Regel 50 cm nicht unter- und 60 cm nicht überschreiten, weil sonst nach den bisher vorliegenden Erfahrungen entweder sein Fließvermögen oder sein Zusammenhaltevermögen in der Regel unzureichend sein können. Durch den Ausbreitmaßbereich 50 bis 60 cm ist zwar gutes Fließvermögen ausreichend gekennzeichnet, nicht aber gutes Zusammenhaltevermögen, denn auch der wasserreiche flüssige Beton hatte meist ein Ausbreitmaß zwischen 50 und 60 cm, dabei aber in der Regel kein gutes Zusammenhaltevermögen. Es muß daher auch die Beschaffenheit des Betons beim Ausbreitversuch nach Augenschein beurteilt werden. Der Beton muß homogen und zusammenhängend erscheinen, wie z. B. auf Bild 6. Bei Beton mit gutem Fließvermögen, aber unzureichendem Zusammenhaltevermögen würde sich am Rande des Betonkuchens beim Ausbreitversuch ein Wasser- bzw. Zementleimkranz absondern.

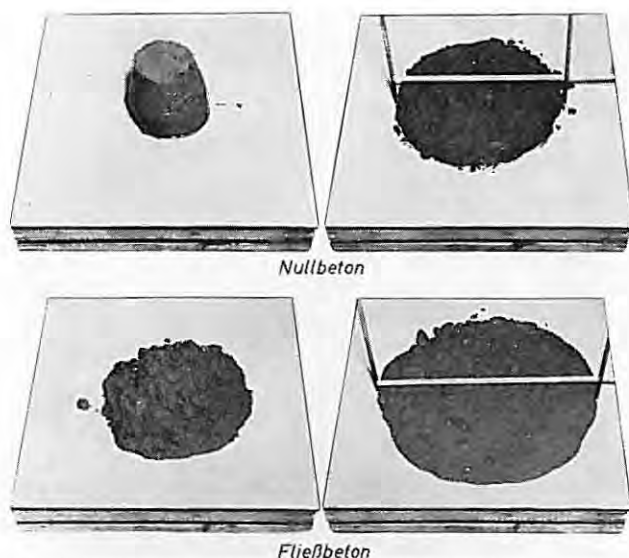
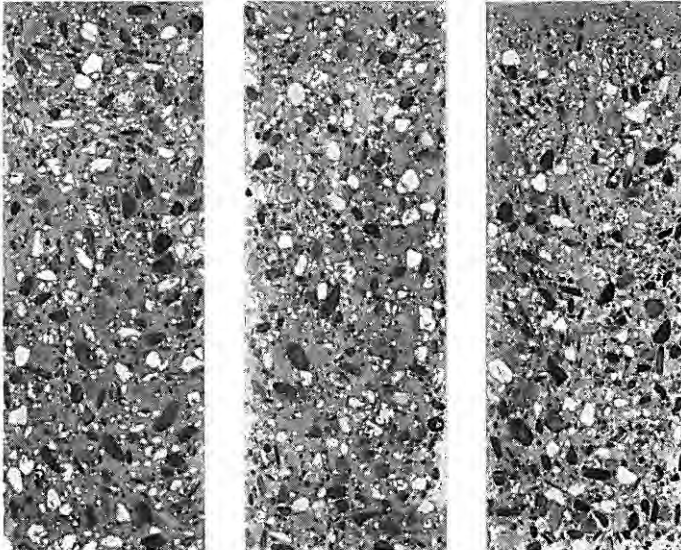


Bild 6 Ausbreitversuch an Fließbeton und zugehörigem Ausgangsbeton

Bild 6 zeigt den Frischbeton nach Ziehen des Trichters und nach dem Ausbreitversuch, und zwar oben einen Rüttelbeton mit einem Ausbreitmaß von 41 cm und unten den aus diesem Rüttelbeton durch Zumischen eines Superverflüssigers hergestellten Fließbeton mit einem Ausbreitmaß von 57 cm. Das sehr gleichmäßige Betongefüge und das Nichtabsondern von Wasser bzw. von Zementleim weisen darauf hin, daß auch der Fließbeton ein ausreichendes Zusammenhaltevermögen aufweist. Auf Bild 7 sind drei halbierte, stehend hergestellte Betonprismen 30 cm x 30 cm x 90 cm dargestellt. Davon wurde das linke Prisma aus Rüttelbeton mit einem Ausbreitmaß von 41 cm, das mittlere



*Rüttelbeton*

*Fließbeton*

*flüssiger Beton*

Bild 7 Sedimentieren von Betonprismen 30 cm x 30 cm x 90 cm aus Rüttelbeton ( $W/Z = 0,57$ , Ausbreitmaß = 41 cm), Fließbeton ( $W/Z = 0,57$ , Ausbreitmaß = 57 cm) und flüssigem Beton ( $W/Z = 0,67$ , Ausbreitmaß = 57 cm)

Prisma aus dem vorher erwähnten Fließbeton mit einem Ausbreitmaß von 57 cm und das rechte Prisma aus einem flüssigen Beton mit einem Ausbreitmaß von 57 cm hergestellt, der wasserreicher war, dessen Betonzusammensetzung sonst aber dem Rüttelbeton entsprach. Wie auch Bild 7 zeigt, war das Absetzen des Fließbetons erwartungsgemäß zwar etwas größer als beim Rüttelbeton, aber – trotz gleichen Fließvermögens – deutlich geringer als beim flüssigen Beton.

Die Frischbetoneigenschaften des Fließbetons sind von einer Reihe von Einflußgrößen abhängig, insbesondere von

Konsistenz des Ausgangsbetons,  
Zement und Zementgehalt,

Zuschlag und Mehlkorngesamt,  
Art und Menge des Superverflüssigers und  
Frischbetontemperatur.

### 3.2.1. Ausgangskonsistenz

Unter Ausgangskonsistenz wird hier die Konsistenz des Betons verstanden, aus dem der Fließbeton durch Zumischen eines Superverflüssigers hergestellt wird. Sie ist eine sehr wesentliche Einflußgröße für die Eigenschaften des Fließbetons. Die Herstellung eines sachgerechten Fließbetons ist nur möglich, wenn der Ausgangsbeton ein gutes Zusammenhaltevermögen aufweist und nicht zu zäh ist. Zu zäher Ausgangsbeton läßt sich mit Hilfe der Superverflüssiger nicht ausreichend verflüssigen. Ausgangsbeton mit nicht gutem Zusammenhaltevermögen wird bei Mangel an Mörtel sich nicht ausreichend verflüssigen lassen und bei zu hohem Wassergehalt einen Fließbeton mit unzureichendem Zusammenhaltevermögen ergeben. Der Ausgangsbeton sollte beim Ausbreitversuch kein Wasser und keinen Zementleim, aber auch keinen Zuschlag absondern.

Das Einhalten eines bestimmten Bereiches für die Ausgangskonsistenz ist daher Voraussetzung für die Herstellung eines sachgerechten Fließbetons. Die Konsistenz des Ausgangsbetons sollte im oberen Bereich von K 2 oder im unteren Bereich von K 3, sein Ausbreitmaß etwa zwischen 38 und 42 cm liegen. Innerhalb dieses Bereiches nimmt das Fließvermögen im allgemeinen mit wachsendem Ausbreitmaß des Ausgangsbetons zu, ohne daß das Zusammenhaltevermögen des Fließbetons unzulässig beeinträchtigt wird. Eine Überschreitung des Ausbreitmaßes bis zu etwa 44 cm kann je nach Ausgangsstoffen und Betonzusammensetzung noch unbedenklich sein oder aber bereits zu einem Fließbeton mit unzureichendem Zusammenhaltevermögen führen. Ausgangsbetone mit noch größerem Ausbreitmaß als 44 cm ergeben in der Regel einen Fließbeton, der kein gutes Zusammenhaltevermögen aufweist, sondern sich entmischt.

Bei Beton mit kleinerem Ausbreitmaß als 38 cm wird die verflüssigende Wirkung durch Superverflüssiger mit abnehmendem Ausbreitmaß geringer, so daß aus diesem Ausgangsbeton mit den zulässigen bzw. empfohlenen Zugabemengen des Superverflüssigers ein Fließbeton in der Regel nicht mehr herstellbar ist. In diesem Bereich kann die Zugabe eines Superverflüssigers zwar nicht mehr zur Herstellung von Fließbeton, wohl aber zur Verringerung des W/Z-Wertes genutzt werden. Bei Beton mit Ausbreitmaßen etwa unter 32 cm ist eine wesentliche verflüssigende Wirkung durch Superverflüssiger in der Regel nicht mehr festzustellen.

### 3.2.2. Zement und Zementgehalt

Zur Herstellung von Fließbeton ist nahezu jeder Zement nach DIN 1164 und bauaufsichtlich als gleichwertig zugelassener Zement geeignet. Bei sehr feingemahlten Zementen kann die verflüssigende Wirkung der Superverflüssiger auf den Frischbeton aller-

dings beeinträchtigt sein. Da Art, Feinheit und Wasserhaltevermögen des Zements die Verarbeitbarkeit des Frischbetons beeinflussen, muß die im Einzelfall für Fließbeton zweckmäßige Betonzusammensetzung, d. h. auch der Zementgehalt, mit Hilfe einer Eignungsprüfung nach DIN 1045 festgelegt werden. Sehr niedrige und sehr hohe Zementgehalte sind für Fließbeton weniger geeignet. Als besonders gut haben sich für Beton mit 32 mm Größtkorn bisher Zementgehalte zwischen 300 und 350 kg/m<sup>3</sup> erwiesen (siehe auch Abschn. 3.2.4).

### 3.2.3. *Betonzuschlag und Mehlkorngelalt*

Für Fließbeton sind eine zweckentsprechende Kornzusammensetzung und ein entsprechender Mehlkorngelalt noch wichtiger als für Beton der übrigen Konsistenzbereiche. Da sich zur Herstellung sachgerechten Fließbetons nur ein Ausgangsbeton eignet, der ein gutes Zusammenhaltevermögen aufweist, aber nicht zu zäh ist, darf der Ausgangsbeton einerseits nicht zu mörtelarm und zu grobkornreich und andererseits nicht zu mehlkornreich sein.

Aus diesen Überlegungen und den Ergebnissen einiger Untersuchungen lassen sich für die Zuschlagkornzusammensetzung und für den Mehlkorngelalt bestimmte Folgerungen ableiten. Ausgeprägte Ausfallkörnungen sind für Fließbeton im allgemeinen nicht zweckmäßig. Besonders geeignet sind aber Korngemische mit stetigen Sieblinien, die etwa zwischen der Sieblinie B und der mittleren Sieblinie des günstigen Bereichs der Sieblinienbilder der DIN 1045 liegen. Dabei ist eine stetige Kornabstufung auch im Sandbereich zweckmäßig und vorteilhaft. Der Mehlkorngelalt darf nicht zu gering, aber auch nicht zu groß sein. Als zweckmäßig hat sich für Fließbeton mit einem Größtkorn von 32 mm ein Mehlkorngelalt etwa zwischen 360 und 420 kg/m<sup>3</sup> erwiesen.

Nicht ohne Einfluß ist auch die Kornform des Zuschlags. Rundkorn ist für Beton mit gutem Fließvermögen geeigneter als gebrochenes Zuschlagkorn.

Leichtzuschläge oder Zuschläge für Schwerkorn nach DIN 1045 sollten für die Herstellung von Fließbeton nur verwendet werden, wenn durch entsprechende Versuche nachgewiesen worden ist, daß dabei Schwierigkeiten durch Entmischen nicht entstehen und der Beton sachgerecht transportiert und eingebaut werden kann.

### 3.2.4. *Superverflüssiger*

Auch Art und Menge des Superverflüssigers beeinflussen die Frischbetoneigenschaften. Wie bei anderen Zusatzmitteln nimmt auch die Wirksamkeit der Superverflüssiger zunächst mit wachsender Zugabemenge zu. Dies gilt jedoch nicht unbegrenzt. Eine Erhöhung der Zugabemenge über bestimmte Grenzwerte hinaus bringt keine nennenswerte Verbesserung mehr, sie kann sich u. U. auf andere Eigenschaften des Betons nachteilig auswirken. Daher dürfen die im Prüfbescheid des Instituts für Bautechnik, Berlin, genannten Größtmengen nicht überschritten werden. Während der laufenden Betonherstellung müssen darüber hinaus die auf-

grund der stets notwendigen Eignungsprüfung festgelegten Zugabemengen eingehalten werden.

In den Bildern 8, 9 und 10 ist das Ausbreitmaß verschiedener Fließbetone und des dazugehörigen Ausgangsbetones in Abhängigkeit von der Zeit nach Beendigung des Mischens aufgetragen, und zwar in Bild 8 für Beton mit einem Zementgehalt von  $270 \text{ kg/m}^3$ , in Bild 9 für Beton mit einem Zementgehalt von  $300 \text{ kg/m}^3$  und in Bild 10 für Beton mit einem Zementgehalt von  $350 \text{ kg/m}^3$ . Ein Vergleich des Ausbreitmaßes der drei Ausgangsbetone, das 39 cm, 41 cm bzw. 42 cm betrug, und des Ausbreitmaßes der entsprechenden Fließbetone unmittelbar nach dem Mischen läßt erkennen, daß die verflüssigende Wirkung der Superverflüssiger bei Beton mit einem Zementgehalt von 300 und 350  $\text{kg/m}^3$  deutlich ausgeprägter ist als bei Beton mit einem Zementgehalt von  $270 \text{ kg/m}^3$  (siehe auch Abschnitt 3.2.2). Die verflüssigende Wirkung des Superverflüssigers A erscheint beim Beton des Bildes 8 etwas besser, beim Beton der Bilder 9 und 10 jedoch etwas weniger gut als die Wirkung des Superverflüssigers D. Für eine eingehende Beurteilung der verflüssigenden Wirkung der verschiedenen Superverflüssiger in Betone müssen die Ergebnisse der noch nicht abgeschlossenen Versuche abgewartet werden.

Die Ergebnisse der Bilder 8 bis 10 machen aber deutlich, daß die verflüssigende Wirkung der Superverflüssiger mit der Zeit abnimmt und daß diese Abnahme von der Betonzusammensetzung und von der Art des Verflüssigers abhängt. Besonders ausge-

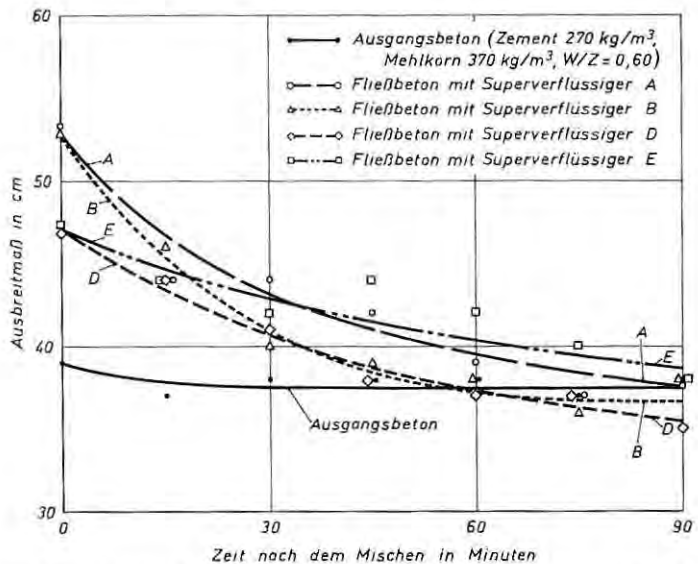


Bild 8 Ausbreitmaß von Fließbeton und zugehörigem Ausgangsbeton in Abhängigkeit von der Zeit ( $Z = 270 \text{ kg/m}^3$ ,  $W/Z = 0,60$ , Mehlkorngehalt =  $370 \text{ kg/m}^3$ )

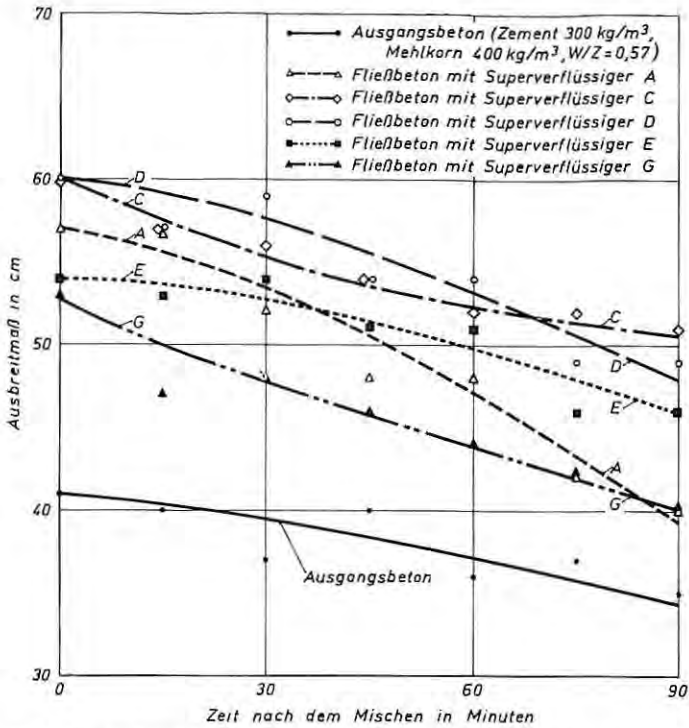


Bild 9 Ausbreitmaß von Fließbeton und zugehörigem Ausgangsbeton in Abhängigkeit von der Zeit ( $Z = 300 \text{ kg/m}^3$ ,  $W/Z = 0,57$ , Mehlkorngehalt =  $400 \text{ kg/m}^3$ )

prägt war diese Abnahme unter den gewählten Versuchsbedingungen beim Beton mit einem Zementgehalt von  $270 \text{ kg/m}^3$ , da teilweise die Vergrößerung des Ausbreitmaßes dieser Fließbetone nach 30 Minuten bereits auf die Hälfte zurückgegangen war und die Fließbetone nach wenig mehr als 1 Stunde schon wieder die Konsistenz des Ausgangsbetons aufwies (siehe Bild 8). Die Ergebnisse der Bilder 9 und 10 lassen darauf schließen, daß die Abnahme des Ausbreitmaßes mit der Zeit bei Fließbeton mit etwas höherem Zementgehalt geringer ist.

Aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse muß daher damit gerechnet werden, daß die Wirksamkeit der Superverflüssiger je nach den vorliegenden Verhältnissen auf etwa 30 bis 60 Minuten begrenzt sein kann. Für den jeweiligen Anwendungsfall sollte dieses Verhalten daher nötigenfalls bei der Eignungsprüfung mit abgeklärt werden.

### 3.2.5. Frischbetontemperatur

Da zu erwarten war, daß die verflüssigende Wirkung der Superverflüssiger und die Dauer ihrer Wirksamkeit auch von der Tem-

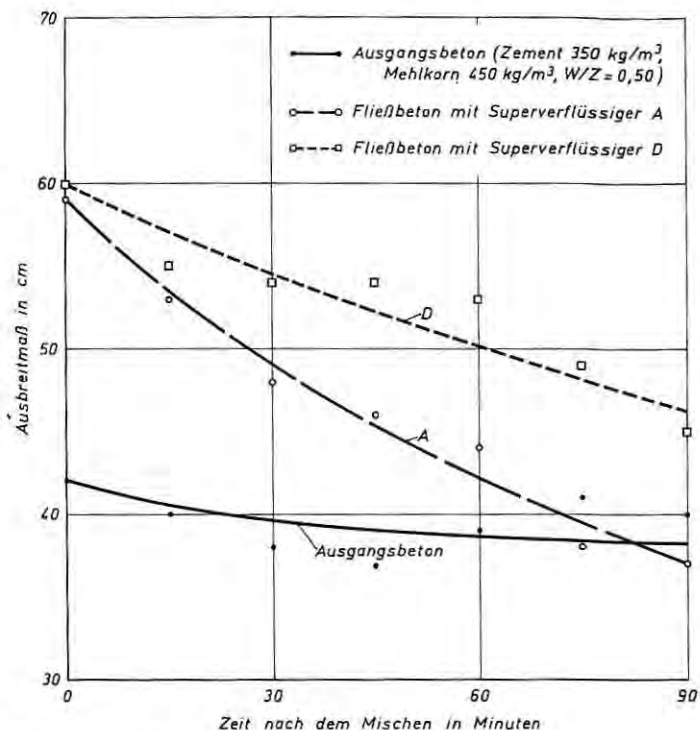


Bild 10 Ausbreitmaß von Fließbeton und zugehörigem Ausgangsbeton in Abhängigkeit von der Zeit ( $Z = 350 \text{ kg/m}^3$ ,  $W/Z = 0,50$ , Mehlkorngehalt  $= 450 \text{ kg/m}^3$ )

peratur abhängig ist, wurden auch Versuche bei Frischbetontemperaturen von 5, 20 und 30 °C durchgeführt. Die Ergebnisse einiger orientierender Versuche sind in Bild 11 aufgetragen. Sie machen deutlich, daß die Abnahme der verflüssigenden Wirkung der Superverflüssiger mit der Zeit mit wachsender Temperatur zunimmt. Bei einer Frischbetontemperatur von 30 °C erreichte der Fließbeton die Konsistenz des Ausgangsbetons bereits nach einer halben Stunde. Es ist daher notwendig, bei der Eignungsprüfung über die Dauer der verflüssigenden Wirkung ggf. auch die zu erwartende Frischbetontemperatur zu berücksichtigen.

### 3.3. Festbetoneigenschaften

#### 3.3.1. Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit

Zur Abschätzung dieser Festigkeiten wurden einige orientierende Vergleichsversuche an Fließbeton und zugehörigem Ausgangsbeton durchgeführt; über die Herstellung der Probekörper siehe Abschn. 3, Abs. 1. Die Betonzusammensetzung und die bisher vorliegenden Ergebnisse (Mittelwerte) gehen aus Tafel 2 hervor.



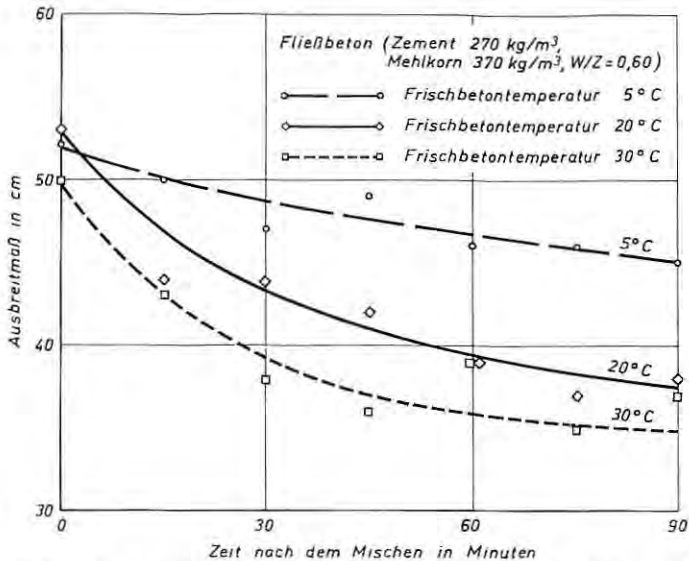


Bild 11 Ausbreitmaß von Fließbeton in Abhängigkeit von der Zeit für verschiedene Frischbetontemperaturen

Insgesamt lag die Belondruckfestigkeit

im Alter von 7 Tagen

beim Ausgangsbeton zwischen 259 und 357 kp/cm<sup>2</sup>,  
beim Fließbeton zwischen 287 und 354 kp/cm<sup>2</sup> und

im Alter von 28 Tagen

beim Ausgangsbeton zwischen 376 und 460 kp/cm<sup>2</sup>,  
beim Fließbeton zwischen 417 und 469 kp/cm<sup>2</sup>.

Die 7-Tage-Druckfestigkeit des Fließbetons betrug somit 88 bis 120 %, im Mittel 105 %, und die 28-Tage-Druckfestigkeit des Fließbetons 93 bis 111 %, im Mittel 104 %, der entsprechenden Druckfestigkeit des Ausgangsbetons. Wegen der wenigen Versuche und der Abweichungen nach oben und unten, die im Bereich möglicher Streuungen liegen, können daraus keine systematischen Druckfestigkeitsunterschiede zwischen Fließbeton und Ausgangsbeton abgeleitet werden.

Die 28-Tage-Spaltzugfestigkeit lag beim Ausgangsbeton insgesamt zwischen 31 und 33 kp/cm<sup>2</sup> und beim Fließbeton insgesamt zwischen 30 und 32 kp/cm<sup>2</sup>. Diese Festigkeitsunterschiede liegen im Bereich üblicher Streuungen und sind so gering, daß die Spaltzugfestigkeit von Ausgangsbeton und zugehörigem Fließbeton als etwa gleich angenommen werden kann.

Insgesamt kann aus diesen Festigkeitsuntersuchungen und aus den bisher bekanntgewordenen Ergebnissen anderer Stellen, siehe u. a. [3, 4], gefolgert werden, daß die Druckfestigkeit und die Spaltzugfestigkeit von Fließbeton praktisch ebenso groß sind



Tafel 2 Zusammensetzung und Festigkeit von Ausgangsbeton und von Fließbeton

Superverflüssiger	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup>	W/Z	Mehlkorngehalt kg/m <sup>3</sup>	Sieblinie nach DIN 1045	Ausbreitmaß in cm		Frischbeton- rohddichte in kg/m <sup>3</sup>		Druckfestigkeit in kp/cm <sup>2</sup>				Spaltzug- festigkeit in kp/cm <sup>2</sup>	
					Aus- gangs- beton	Fließ- beton	Aus- gangs- beton	Fließ- beton	7 Tage		28 Tage		28 Tage	
									Aus- gangs- beton	Fließ- beton	Aus- gangs- beton	Fließ- beton	Aus- gangs- beton	Fließ- beton
A	260	0,60	300	A/B32*	44	54	2,43	2,39	293	287	402	402	33	31
A	270	0,60	370	A/B32**	39	53	2,40	2,40	280	287	391	412	33	32
A	290	0,60	440	B32	38	48	2,40	2,36	333	292	430	400	32	32
A	300	0,57	400	A/B32**	41	60	2,38	2,39	259	308	376	417	31	31
A	325	0,50	425	A/B32**	37	49	2,41	2,40	357	354	460	469	—	—
B	270	0,60	370	A/B32**	39	53	2,40	2,39	280	309	391	415	33	31
D	270	0,60	370	A/B32**	39	47	2,40	2,40	280	295	391	430	—	—
D	300	0,57	400	A/B32**	41	60	2,38	2,40	259	310	376	400	31	31
E	270	0,60	370	A/B32**	39	47	2,40	2,40	280	291	391	402	33	30

\* mit 2 Gew.-% bei 0,25 mm

\*\* mit 5 Gew.-% bei 0,25 mm

wie die entsprechende Festigkeit des Ausgangsbetons, aus dem der Fließbeton durch Zumischen eines Superverflüssigers hergestellt worden ist.

### 3.3.2. Wasserundurchlässigkeit

Zur Beurteilung der Wasserundurchlässigkeit von Fließbeton wurden einige orientierende Versuche nach DIN 1048 Blatt 1 durchgeführt. Die bisher vorliegenden Ergebnisse sind in Tafel 3 zusammengestellt. Nach diesen Ergebnissen wie auch den Ergeb-

Tafel 3 Wassereindringtiefe von Fließbeton und von Ausgangsbeton nach der Prüfung auf Wasserundurchlässigkeit gemäß DIN 1048 Bl. 1 (Zementgehalt rd. 300 kg/m<sup>3</sup>, W/Z-Wert 0,57, Mehlkorngelalt rd. 400 kg/m<sup>3</sup>)

Beton	Ausbreitmaß in cm	Wassereindringtiefe in mm (Mittelwert von 3 Proben)	
		mittlere	größte
Ausgangsbeton	41	8	16
Fließbeton mit Superverflüssiger A	60	7	15
Fließbeton mit Superverflüssiger D	60	6	13

nissen der Untersuchungen anderer Stellen kann von sachgerechtem Fließbeton praktisch der gleiche Grad der Wasserundurchlässigkeit erwartet werden wie von zugehörigem Ausgangsbeton.

### 3.3.3. Chemische Widerstandsfähigkeit

Über den Widerstand von Fließbeton gegenüber chemisch angreifenden Stoffen nach DIN 4030 sind Versuche bisher nicht bekanntgeworden. Da sachgerechter Fließbeton jedoch den gleichen Grad der Wasserundurchlässigkeit aufweist wie der zugehörige Ausgangsbeton (siehe Abschnitt 3.3.2), kann von ihm auch praktisch der gleiche Grad der chemischen Widerstandsfähigkeit erwartet werden wie vom Ausgangsbeton, aus dem er hergestellt worden ist. Dabei wird vorausgesetzt, daß die gegebenenfalls in sehr geringer Menge im Beton verbleibenden Bestandteile des Superverflüssigers bzw. die gegebenenfalls dadurch entstandenen Verbindungen die chemische Widerstandsfähigkeit des Betons nicht beeinträchtigen, was nach bisherigen Erfahrungen angenommen werden kann.

### 3.3.4. Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand

Auch über den Widerstand von Fließbeton gegenüber Frosteinwirkungen (ohne Taumittel) sind Versuche nicht bekannt. Aufgrund der Wasserundurchlässigkeitsversuche, der nachfolgend beschriebenen Versuche mit Frost-Tausalz-Einwirkungen und des allgemeinen Standes der Erkenntnisse kann jedoch von Fließ-

beton praktisch der gleiche Frostwiderstand erwartet werden wie vom zugehörigen Ausgangsbeton. Auch Fließbeton dürfte daher einen hohen Frostwiderstand im Sinne von DIN 1045 aufweisen, wenn als Ausgangsbeton ein wasserundurchlässiger Beton nach DIN 1045 mit frostbeständigem Betonzuschlag und mit einem Wasserzementwert nicht über 0,60 verwendet und der Fließbeton sachgerecht hergestellt und eingebaut worden ist.

Über den Frost-Tausalz-Widerstand von Fließbeton findet man unterschiedliche Angaben. Teilweise wird behauptet, daß Fließbeton ohne Luftporenbildner gegenüber Frost-Tausalz-Einwirkungen ausreichend widerstandsfähig ist. Zur Klärung dieser Frage wurden einige Versuche durchgeführt. Dabei wurden u. a. 10-cm-Würfel aus dem Ausgangsbeton ( $Z = 350 \text{ kg/m}^3$ ;  $W/Z = 0,51$ ; Mehlkorngelalt =  $450 \text{ kg/m}^3$ ; Sieblinie A/B 32), aus einem diesem Ausgangsbeton entsprechenden Fließbeton mit Superverflüssiger D und aus dem gleichen Fließbeton, jedoch mit einem durch LP-Mittel erzeugten Luftporengehalt von 4,5% geprüft; über die Herstellung der Würfel siehe Abschn. 3, Abs. 1. Die Würfel wurden im Alter von 28 Tagen in Behälter mit 3%iger NaCl-Lösung eingelegt und 50 Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt (Behälter 16 Stunden an Luft bei  $-15^\circ\text{C}$  und 8 Stunden in Wasser bei  $20^\circ\text{C}$ ). Der Ausgangsbeton und der Fließbeton ohne LP-Mittel zeigten bereits nach 5 Frost-Tau-Wechseln erhebliche Abwitterungen. Den Zustand der Würfel aller 3 untersuchten Betone nach 50 Frost-Tau-Wechseln gibt Bild 12 wieder. Während der Ausgangsbeton und der Fließbeton ohne LP-Mittel durch die Frost-Tausalz-Beanspruchungen sehr stark geschädigt wurden, wies der Fließbeton mit 4,5% Luftporen auch nach 50 Frost-Tau-Wechseln nennenswerte Schäden nicht auf.

Auch wenn eine solche Frost-Tausalz-Beanspruchung ungünstiger als die Beanspruchung in der Praxis sein kann und daher nicht ohne weiteres auf das praktische Verhalten des Betons übertragbar ist, so kann mit ihr doch die Größenordnung des Betonverhaltens bei Frost-Tausalz-Einwirkungen aufgezeigt werden.



Bild 12 10-cm-Würfel aus Ausgangsbeton (ohne LP-Mittel), aus Fließbeton (ohne LP-Mittel) und aus Fließbeton mit LP-Mittel nach 50 Frost-Tau-Wechseln in 3%iger NaCl-Lösung

Aufgrund dieser Ergebnisse und entsprechender Ergebnisse an Betonplatten (siehe auch Abschn. 3, Abs. 1) mit einseitiger Frost-Tausalz-Banspruchung kann auch von Fließbeton nur bei ausreichendem Mikroluftporengehalt ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand erwartet werden. Erfahrungen anderer Stellen bestätigen dies. Auch in dieser Frage verhält sich Fließbeton praktisch wie der zugehörige Ausgangsbeton.

Bei den weiteren Untersuchungen über den Frost-Tausalz-Widerstand von Fließbeton, die noch nicht abgeschlossen sind, wird auch der Frage nachgegangen, ob Größe und Verteilung der Mikroluftporen durch Superverflüssiger nachteilig verändert werden und ob dadurch und durch die flüssige Konsistenz der Frost-Tausalz-Widerstand beeinträchtigt werden kann.

#### **4. Herstellen, Einbringen und Verdichten**

Die für Fließbeton geeignete Zusammensetzung (siehe Abschnitt 3) muß unter Berücksichtigung der jeweiligen Verhältnisse stets aufgrund einer Eignungsprüfung festgelegt werden. Gegebenenfalls müssen dabei auch größere Schwankungen der Frischbetontemperatur (siehe auch Abschnitt 3.2.5) berücksichtigt werden.

Der Superverflüssiger kann bei der Betonherstellung wie übliche Zusatzmittel dem Anmachwasser zugegeben werden. Nach bisherigen Erfahrungen ist seine verflüssigende Wirkung jedoch am größten, wenn er dem bereits vorgemischtem Beton (Ausgangsbeton) zugemischt wird. Da Superverflüssiger die Verarbeitbarkeit des Betons nur für eine begrenzte Zeit (siehe Abschnitt 3.2.4) verbessern, ist ein Zumischen bei Transportbeton in der Regel unmittelbar vor Übergabe an der Verwendungsstelle notwendig. Voraussetzung für ein nachträgliches Zumischen von Zusatzmitteln zum fertig gemischtem Beton ist aber, daß das Zusatzmittel noch gut und gleichmäßig untermischt werden kann. Das ist heute technisch möglich, wenn u. a. die zuzugebende Flüssigkeitsmenge nicht zu klein ist, wirksame Mischer mit gut eingestellten und nicht bereits zu stark abgenutzten Mischwerkzeugen verwendet werden und ausreichend lange gemischt wird. Wie Erfahrungen gezeigt haben, siehe auch Bild 13, reicht dafür eine Mischzeit von 2 Minuten manchmal nicht aus. Auf Bild 13 ist das Ausbreitmaß eines Fließbetons zu sehen, bei dem der Superverflüssiger während 2 Minuten offenbar nicht ausreichend untermischt wurde und der aus diesem Grunde kein ausreichendes Zusammenhaltevermögen aufwies. Ein nochmaliges Mischen ergab einen Fließbeton mit ausreichendem Zusammenhaltevermögen. Nach bisherigen Erfahrungen sollte die Mischzeit, insbesondere bei Transportbetonmischern, mindestens 3 Minuten nach Zugabe des Superverflüssigers betragen.

Wegen der begrenzten Wirkungsdauer der Superverflüssiger (siehe Abschnitt 3.2.4) sollte der Fließbeton zügig eingebaut werden. Eine Unterbrechung der Verarbeitung des fertig gemischtem Fließbetons muß daher möglichst vermieden werden. Während des Einbaus sollte die Konsistenz des Fließbetons laufend überprüft werden, z. B. mit dem Ausbreitversuch nach DIN 1048 Blatt 1.

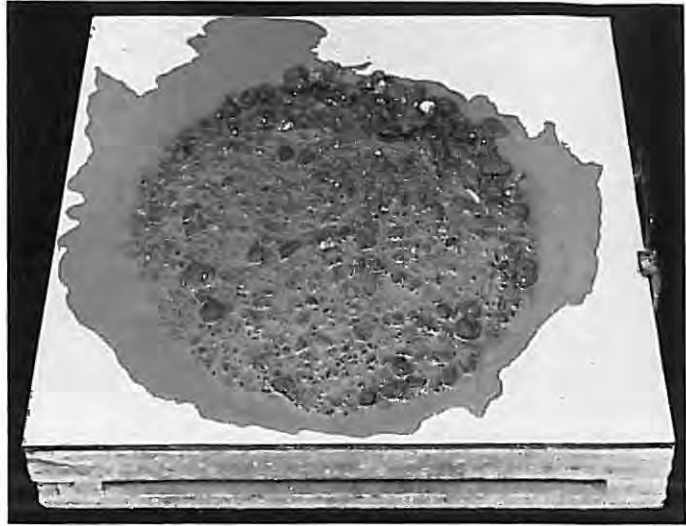


Bild 13 Ausbreitmaß eines Fließbetons mit schlecht untergemischtem Superverflüssiger

Noch nicht geklärt ist die Frage, ob in Sonderfällen, wenn die verflüssigende Wirkung des Superverflüssigers wegen einer nicht vorhersehbaren Unterbrechung bereits vor Einbau des Fließbetons weitgehend abgebaut worden ist, eine weitere Zugabe (ein Nachdosieren) des Superverflüssigers gestattet werden kann. Allerdings würde die Gesamtzugabemenge des Superverflüssigers auch in solchen Fällen die Grenzwerte der Zusatzmittelrichtlinien [1] nicht überschreiten dürfen.

Ein sachgerechter Fließbeton mit gutem Fließvermögen und ausreichendem Zusammenhaltevermögen müßte gut durch Pumpen zu fördern sein, was die bisherigen Erfahrungen auch bestätigen. Beim Abstürzen in Stützen- und Wandschalungen sollte der Fließbeton, z. B. durch Fallrohre, zusammengehalten werden.

Auch Fließbeton benötigt eine auf die Konsistenz abgestimmte Verdichtung. Es ist zwar richtig, daß nicht ebenso schwerwiegende Fehler wie bei Rüttelbeton entstehen, wenn Fließbeton nicht an allen Stellen mit der gleichen Sorgfalt verdichtet wird. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß auch Fließbeton in der Regel durch leichtes Rütteln oder Stochern verdichtet werden sollte. Dies gilt ganz besonders für schmale, hohe und engbewehrte Bauteile.

## 5. Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendungsmöglichkeiten des Fließbetons lassen sich aus seinen Frischbeton- und Festbetoneigenschaften ableiten. Da Fließbeton leicht verarbeitbar ist und seine Festbetoneigenschaften denen des Ausgangsbetons, der in der Regel ein hochwertiger Beton ist, weitgehend entsprechen, ist er nach den bisher vorlie-

genden Erkenntnissen wie sein Ausgangsbeton für Anwendungen im Hoch- und Tiefbau durchweg geeignet. Vorteile bietet er besonders beim Betonieren schmalere und hoher oder engbewehrter Bauteile, da hier mit Fließbeton ein geschlossenes Betongefüge und die geforderten Eigenschaften mit geringerem Aufwand und sicherer erreicht werden können als mit Beton steiferer Konsistenz.

Eine Einschränkung in der Anwendung kann aus technischen Gründen in folgenden Fällen notwendig sein. Fließbeton dürfte beim Betonieren geneigter Flächen nicht brauchbar sein, wenn die Neigung etwa 2 bis 3 % überschreitet und die obere Fläche nicht geschalt wird, wie z. B. bei Platten und Schalen. Eine gewisse Zurückhaltung in der Anwendung des Fließbetons scheint bis zur weiteren Klärung auch bei bestimmten besonderen Eigenschaften nach DIN 1045, wie z. B. bei hohem Frost-Tausalz-Widerstand und bei hohem Abnutzwidestand, angebracht.

Die Anwendung des Fließbetons kann zur Lärminderung und zu einer Einsparung an Lohn- und Gerätekosten beitragen. Für die Entscheidung, ob im Einzelfall ein Rüttelbeton, ein Fließbeton oder wie z. B. bei nichtmassigen Bauteilen auch ein zementleimreicherer Beton mit gleicher Konsistenz wie der Fließbeton zweckmäßig ist, werden technische und wirtschaftliche Überlegungen anzustellen sein.

## **6. Behandlung in Betonbestimmungen**

Nach den neuen deutschen Betonbestimmungen darf Fließbeton nicht angewendet werden, da die Neufassung von DIN 1045 nur die Konsistenzbereiche steif (K 1), plastisch (K 2) und weich (K 3) kennt und einen Beton mit einem Ausbreitmaß von 50 bis 60 cm nicht vorsieht. Die Neufassung von DIN 1045 erlaubt auch nicht das nachträgliche Zumischen eines Zusatzmittels, das für die Superverflüssiger wegen der dann besseren Wirksamkeit aber zweckmäßig und bei Transportbeton wegen der begrenzten Wirkungsdauer der Superverflüssiger in der Regel auch notwendig ist.

Die Anwendung des Fließbetons bedarf daher einer Sonderregelung, die die obenerwähnten Abweichungen von DIN 1045 gestattet. Sie wird auch die wegen der Abweichung von DIN 1045 bei Anwendung von Fließbeton zusätzlich zu beachtenden Grundsätze und Anforderungen regeln, die sicherstellen sollen, daß nach dieser Sonderregelung nur Beton mit gutem Fließvermögen und ausreichendem Zusammenhaltevermögen und nicht wasserreicher flüssiger Beton mit schlechtem Zusammenhaltevermögen angewendet werden kann. Um die insgesamt positive Entwicklung nicht zu behindern, werden beim Deutschen Ausschuß für Stahlbeton Richtlinien für die Anwendung von Fließbeton erarbeitet, die Grundlage der Sonderregelung werden sollen.

## **7. Zusammenfassung**

Aufgrund von orientierenden Versuchen, des Standes der Erkenntnisse und der deutschen Betonbestimmungen kann für Fließbeton

und das Verwenden von Superverflüssigern folgendes festgestellt werden:

7.1. Mit geeigneten Superverflüssigern kann Fließbeton, d. h. ein Beton mit gutem Fließvermögen und ausreichendem Zusammenhaltvermögen, hergestellt werden.

7.2. Die verflüssigende Wirkung der Superverflüssiger dürfte auf das Herabsetzen der Oberflächenspannung des Wassers und eine dadurch bedingte bessere Benetzung oder/und auf eine Art „Schmierwirkung“ zurückzuführen sein. Sie ist abhängig von der Art des Superverflüssigers und nimmt meist mit der Zeit nach dem Zumischen des Superverflüssigers ab, insbesondere bei höheren Betontemperaturen. Die Wirkungsdauer kann auf 30 bis 60 Minuten begrenzt sein. Einige Superverflüssiger wirken gleichzeitig verzögernd.

7.3. Superverflüssiger werden dem Ausgangsbeton wegen der dann besseren Wirksamkeit und wegen der begrenzten Wirkungsdauer nachträglich zugemischt. Dafür sind wirksame Mischer und im allgemeinen eine Mischzeit von wenigstens 3 Minuten erforderlich. Die Frage des Nachdosierens von Superverflüssigern, das in Sonderfällen bei Einbauunterbrechungen erwünscht sein kann, ist noch nicht genügend abgeklärt. Auch Fließbeton bedarf einer auf die Konsistenz abgestimmten Verdichtung.

7.4. Der Ausgangsbeton für die Herstellung von Fließbeton muß ein gutes Zusammenhaltvermögen haben, darf aber nicht zu zäh sein. Seine Frischbetonkonsistenz sollte im oberen Bereich von K 2 oder im unteren Bereich von K 3 liegen, sein Ausbreitmaß vorwiegend im Bereich zwischen 38 und etwa 42 cm.

7.5. Die Frischbetoneigenschaften des Fließbetons sind insbesondere von Konsistenz und Zusammensetzung des Ausgangsbetons, von Art und Menge des Superverflüssigers und von der Frischbetontemperatur abhängig. Seine Konsistenz liegt vorwiegend im Bereich oberhalb von K 3. Sein Ausbreitmaß ist in der Regel größer als 50 cm, sollte aber 60 cm nicht überschreiten.

7.6. Die Zusammensetzung von Fließbeton muß stets aufgrund von Eignungsprüfungen festgelegt werden. Als besonders geeignet haben sich bisher für Beton mit 32 mm Größtkorn ein Zementgehalt etwa zwischen 300 und 350 kg/m<sup>3</sup>, eine gut abgestufte Kornzusammensetzung auch im Sandbereich (Sieblinie zwischen der Sieblinie B und der Mitte des günstigen Sieblinienbereichs nach DIN 1045) und ein Mehlkorngesamtgehalt etwa zwischen 360 und 420 kg/m<sup>3</sup> erwiesen.

7.7. Die Festigkeit, die Wasserundurchlässigkeit, die chemische Widerstandsfähigkeit und der Frostwiderstand von Fließbeton dürften den Eigenschaften des Ausgangsbetons entsprechen. Ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand kann nur erwartet werden, wenn dem Fließbeton auch ein LP-Mittel zugegeben wird und er einen auf die Feinmörtelmenge abgestimmten Gehalt an Mikroluftporen aufweist. Zu dieser Frage und zu weiteren Eigenschaften sind die Untersuchungen jedoch noch nicht abgeschlossen.

7.8. Fließbeton ist für Bauteile des Hoch- und Tiefbaus, auch im Fertigteilbau, durchweg geeignet. Eine Einschränkung in der



Anwendung von Fließbeton kann aus technischen Gründen bei Bauteilen mit geneigter freier Oberfläche und bis zur weiteren Klärung auch bei bestimmten besonderen Eigenschaften, wie z. B. bei hohem Frost-Tausalz-Widerstand und bei hohem Abnutzwiderstand, notwendig bzw. angebracht sein.

7.9. Die Anwendung des Fließbetons bedarf einer besonderen bauaufsichtlichen Regelung, da die deutschen Betonbestimmungen die Verwendung von Beton der Konsistenz oberhalb von K 3 und das nachträgliche Zumischen von Betonzusatzmitteln nicht vorsehen.

7.10. Für die Entscheidung, ob im Einzelfall ein Rüttelbeton, ein Fließbeton oder ein zementleimreicherer Beton mit gleicher Konsistenz wie der Fließbeton zweckmäßiger ist, werden technische und wirtschaftliche Überlegungen anzustellen sein.

#### SCHRIFTTUM

- [1] Richtlinien für die Zuteilung von Prüfzeichen für Betonzusatzmittel. Fassung März 1973. Herausgegeben vom Institut für Bautechnik Berlin. Mitteilungen des Instituts für Bautechnik Berlin 4 (1973) H. 3, S. 86/88.
- [2] Richtlinien für die Überwachung von Betonzusatzmitteln. Fassung März 1973. Herausgegeben vom Institut für Bautechnik Berlin. Mitteilungen des Instituts für Bautechnik Berlin 4 (1973) H. 3, S. 88/90.
- [3] Breuckmann, K.: Fließbeton. Betonwerk und Fertigteil-Technik 39 (1973) H. 7, S. 517/519.
- [4] Freese, D., und E. B. Grunau: Beton in Abhängigkeit von der Verwendungsart. Das Baugewerbe 53 (1973) H. 13, S. 48/59.