

Stefan Kordts und Wolfgang Breit, Düsseldorf

# Kombiniertes Prüfverfahren zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit von SVB – Auslaufkegel

## Combined test method for assessing the workability of SCC – flow cone

### Übersicht

Selbstverdichtender Beton (SVB) ist ein Hochleistungsbeton, dessen besonderes Leistungsvermögen in der Frischbetoneigenschaft „Selbstverdichtung“ besteht. Er weist ein großes Potenzial für die Rationalisierung nicht nur in der Betonfertigteilproduktion, sondern auch des Bauablaufs auf der Baustelle auf. Um diese Vorteile zu nutzen, ist größte Sorgfalt bei der Herstellung und in der Qualitätssicherung zwingend erforderlich. Der Vereinfachung des Betoniervorgangs steht im Vergleich zum herkömmlichen Rüttelbeton unter anderem ein erhöhter Prüfaufwand gegenüber, da die Frischbetoneigenschaften nur durch zwei Prüfkennwerte, das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit, ausreichend beschrieben werden können. Darüber hinaus ist produktionstäglich mindestens einmal die Blockierneigung mit dem Blockiererring, dem Box-Test oder dem L-Kasten zu überprüfen. Insbesondere bereitet die Ermittlung der Trichterauslaufzeit bei selbstverdichtendem Beton als Transportbeton bei Annahmeprüfungen auf der Baustelle Probleme, da der Einbauvorgang durch diese zusätzliche Prüfung und die zeitaufwendige Reinigung des Trichters behindert werden kann. Im folgenden Beitrag wird mit dem „Auslaufkegel“ ein neues, einfaches Prüfverfahren vorgestellt, mit dem sich bei der Übergabe des Betons auf der Baustelle beide relevanten Frischbetonkennwerte, das Setzfließmaß und die Auslaufzeit, bestimmen lassen.

### 1 Einleitung

Selbstverdichtender Beton (SVB) ist ein Beton, der entmischungsfrei unter dem Einfluss der Schwerkraft nahezu bis zum Niveausgleich fließt, dabei entlüftet und die Bewehrungsräume sowie die Schalung vollständig ausfüllt [1]. SVB entspricht im frischen Zustand in guter Näherung rheologisch einem Bingham-Körper mit den Kenngrößen Fließgrenze und Viskosität (Bild 1). Das Bingham'sche Fließgesetz beschreibt das Verformungsverhalten einer Suspension unter Scherspannung. Es setzt sich aus einem konstanten Faktor, der Fließgrenze  $\tau_f$ , und einem variablen Anteil, der vom Verhältnis der aufgetragenen Scherspannung  $\tau$  und der Belastungsgeschwindigkeit  $\dot{\gamma}$  abhängig ist und durch die Viskosität  $\eta$  ausgedrückt wird, zusammen. Die Fließgrenze gibt die Energie an, die von außen aufgebracht werden muss, damit die Suspension zu fließen beginnt. Die Viskosität kennzeichnet den Widerstand gegen Verformung während des Fließens.

Um die rheologischen Eigenschaften von SVB vollständig zu beschreiben, werden im Gegensatz zu herkömmlichen Rüttelbetonen, die durch eines der vier in DIN EN 12350 aufgeführten Prüfverfahren kategorisiert werden können, zwei Kenngrößen – Fließgrenze und Viskosität – benötigt. So ist es bei SVB zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit unerlässlich, zwei Prüfverfahren heranzuziehen, die teils mehr die Fließgrenze und teils eher die Viskosität bewerten. Darüber hinaus müssen Einbaubarkeit (blockierungsfreies Fließen), Stabilität gegen Sedimentation (homogene Grobkornverteilung) und Selbstentlüftung begutachtet werden.

### 2 Ermittlung der rheologischen Eigenschaften von SVB

Zur Ermittlung der rheologischen Eigenschaften selbstverdichtender Betone haben sich das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit

### Abstract

Self compacting concrete (SCC) is a high-performance concrete characterized by the “self compacting” property of the fresh concrete. It has great potential not only for rationalizing the production of precast concrete elements as well as construction work on site. Very great care during production and quality assurance is essential if these advantages are to be utilized. The concreting process is simplified when compared with conventional vibrated concrete, but against this has to be set an increased amount of testing as the fresh concrete properties can only be described adequately by two test parameters, the slump flow and the funnel flow time. In addition to this the tendency to blocking in the face of obstacles must be tested with the J-ring, the box-test or the L-box at least once per day during production. Determination of the V-funnel flow time for self compacting concrete used as ready-mixed concrete as acceptance test causes particular problems on construction sites as this flow test and the time-consuming cleaning of the funnel can interfere with the placement process. The following contribution describes a simple new test method using a “flow cone” with which both relevant fresh concrete parameters, namely the slump flow and the flow time, can be determined when the concrete is delivered to the construction site.

### 1 Introduction

Self compacting concrete (SCC) is a concrete that flows to a virtually uniform level under the influence of gravity without segregation during which it deaerates and completely fills the formwork and the spaces between the reinforcement [1]. In the fresh state SCC corresponds rheologically to a good approximation to a Bingham

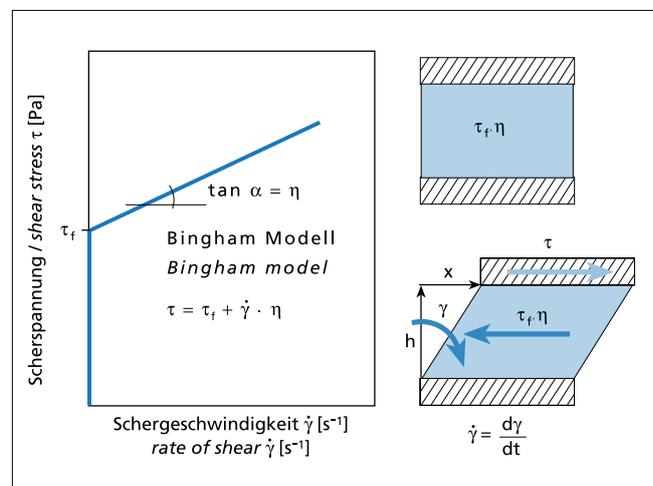


Bild 1: Bingham-Modell zur Beschreibung des Verformungsverhaltens von Suspensionen mit den Kenngrößen Fließgrenze  $\tau_f$  und Viskosität  $\eta$

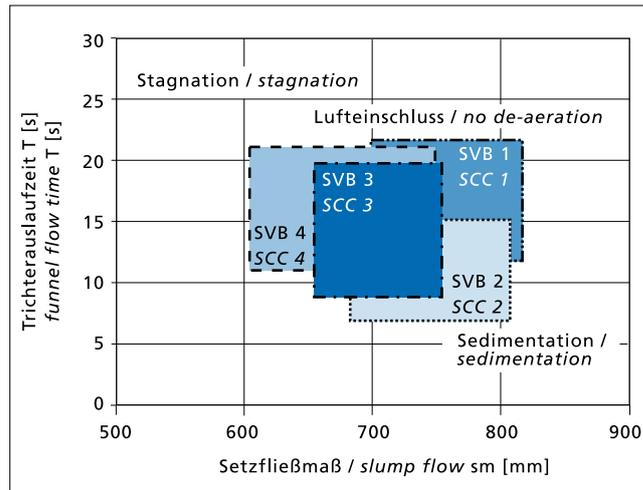
Figure 1: Bingham model for describing the deformation behaviour of suspensions with the parameters yield value  $\tau_f$  and viscosity  $\eta$



**Bild 2:** Durchführung der Setzfließmaßprüfung mit umgedrehtem Setztrichter auf Setzfließplatte (900 x 900 mm) mit 500-mm-Markierung für die Bestimmung der Fließzeit  
*Figure 2:* Carrying out the slump flow test with the inverted slump cone on the slump flow plate (900 x 900 mm) with 500 mm mark for determining the flow time



**Bild 3:** Auslauftrichter für SVB zur Bestimmung der Trichterauslaufzeit T ( $b_{oben} = 515$  mm,  $b_{unten} = 65$  mm,  $h_{ges} = 600$  mm, Neigung = 45°)  
*Figure 3:* Flow-funnel for SCC for determining the V-funnel flow time T ( $b_{top} = 515$  mm,  $b_{bottom} = 65$  mm,  $h_{total} = 600$  mm, slope = 45°)



**Bild 4:** Verarbeitbarkeitsfenster für vier verschiedene SVB  
*Figure 4:* Workability windows for four different SCCs

bewährt. Bei der Setzfließmaßprüfung wird die Hohlkegelstumpfform (Setztrichter) aus der Slumpprüfung nach DIN EN 12350-2 mit den Abmaßen  $\varnothing_u = 200$  mm,  $\varnothing_o = 100$  mm,  $h = 300$  mm umgedreht auf eine Setzfließplatte mit einer Kantenlänge von mindestens 800 x 800 mm aufgesetzt und mit dem zu untersuchenden SVB befüllt. Nach dem Ziehen des Setztrichters wird analog zur Ausbreitmaßprüfung der mittlere Durchmesser des sich nach Beendigung des Fließvorgangs ausgebreiteten Betons bestimmt. Das Setzfließmaß  $sm$  ist in erster Linie geeignet, den optimalen Fließmittelgehalt und damit die Fließgrenze zu beurteilen. Bild 2 zeigt die Setzfließmaßprüfung.

Die Trichterauslaufzeit  $T$  wird mithilfe eines Trichters gemäß Bild 3 ermittelt. Dabei wird der Trichter mit dem zu prüfenden SVB befüllt. Nach Öffnen der Verschlussklappe wird die Zeit in Sekunden gemessen, die der Beton benötigt, um aus dem Trichter auszufließen. Die Trichterauslaufzeit erlaubt Rückschlüsse auf die Viskosität des SVB. Da die Viskosität von SVB hauptsächlich vom Wasser-Feststoffvolumenverhältnis und der Gesamtsieblinie abhängt, fließen wasserreiche niedrigviskose SVB schneller aus dem Trichter aus als wasserärmere.

Die Viskosität eines SVB kann bei viskoserem Betonen teilweise auch durch die Fließzeit (früher  $t_{500}$ -Zeit) abgeschätzt werden. Die Fließzeit wird während der Setzfließmaßprüfung ermittelt. Dabei wird die Zeit gemessen, die der SVB benötigt, um auf einen Durchmesser von 500 mm auszufließen.

Die oben genannten Verfahren sind Bestandteil der in Vorbereitung befindlichen DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ [2] und dort im Anhang M beschrieben. Eine Beschreibung und Auflistung zusätzlicher Prüfverfahren ist u.a. in [3] enthalten.

### 3 Beurteilung der Verarbeitbarkeit von SVB

Die Verarbeitungseigenschaften selbstverdichtender Betone lassen sich über Verarbeitbarkeitsbereiche beurteilen. Dazu ist es zweckmäßig, in einem Diagramm die Werte der Trichterauslaufzeit über die zugehörigen, zur selben Zeit ermittelten Setzfließmaße aufzutragen [3, 4]. Der Bereich, in dem ein SVB selbstverdichtende Eigenschaften besitzt, ist stark von den verwendeten Ausgangsstoffen abhängig. Daher können in einer Richtlinie nicht allgemeingültige Grenzen oder Verarbeitungsklassen festgelegt werden. Bild 4 verdeutlicht diese Abhängigkeiten und zeigt die Verarbeitbarkeitsbereiche für vier unterschiedlich zusammengesetzte selbstverdichtende Betone. Je nach Zusammensetzung liegen die entsprechenden Bereiche um die von Okamura angegebenen Zielwerte für Selbst-

ham solid with the characteristic variables of yield value and viscosity (see Fig. 1). The Bingham flow law describes the deformation behaviour of a suspension under shear stress. It is made up of a constant factor, the yield value  $\tau_b$ , and a variable component that depends on the ratio of the applied shear stress  $\tau$  to the rate of loading  $\dot{\gamma}$ , and is expressed by the viscosity  $\eta$ . The yield value gives the energy that must be applied externally for the suspension to start to flow. The viscosity characterizes the resistance to deformation during the flow process.

In contrast to conventional vibrated concretes that can be categorized by one of the four test methods listed in DIN EN 12350, two parameters – yield value and viscosity – are needed for a full description of the rheological properties of SCC. It is therefore essential to use two test procedures for assessing the workability of SCC – one mainly for evaluating the yield value and the other for the viscosity. The placeability (blocking-free flow), stability to sedimentation (homogeneous distribution of coarse particles) and self-deaeration must also be examined.

### 2 Determination of the rheological properties of SCC

The slump flow and the V-funnel flow time have proved useful for determining the rheological properties of self compacting concretes.

For the slump flow test the hollow truncated cone (slump cone) from the slump test defined in DIN EN 12350-2 with a bottom diameter of 200 mm, a top diameter of 100 mm and a height of 300 mm is placed inverted on a slump flow plate with an edge length of at least 800 x 800 mm and filled with the SCC to be tested. After the slump cone has been withdrawn the average diameter of the spread concrete after completion of this flow process is determined in the same way as for the flow diameter test. The slump flow  $sm$  is primarily suitable for assessing the optimum plasticizer content and hence the yield value. Fig. 2 shows the slump flow test.

The V-funnel flow time  $T$  is determined using a funnel of the type shown in Fig. 3. The funnel is filled with the SCC to be tested. After the outlet flap has been opened the time in seconds taken for the concrete to flow from the funnel is measured. The V-funnel flow time provides information about the viscosity of the SCC. The viscosity of SCC depends mainly on the water/solids volumetric ratio and the overall grading curve, so water-rich, low-viscosity SCCs flow more rapidly from the funnel than those with less water.

With more viscous concretes the viscosity can in some cases also be estimated by the flow time (previously  $t_{500}$  time). The flow time is measured during the slump flow test by measuring the time required by the SCC to flow out to a diameter of 500 mm.

The procedures mentioned above form part of the DAfStb guideline “Self compacting concrete” currently in preparation [2]

verdichtung von  $sm = 700 \text{ mm}$  und  $T \sim 15 \text{ s}$  [5]. Die Zusammensetzungen der Betone sind in Tafel 1 enthalten.

Die in der DAfStb-Richtlinie verankerte „Fensterlösung“ für SVB [2, 3] ermöglicht dem Hersteller von selbstverdichtendem Beton, die Verarbeitbarkeitsigenschaften seines SVB in Frisch- und Festbetonuntersuchungen zu ermitteln und in der Erstprüfung zu belegen. Der Hersteller sichert die Eigenschaft „Selbstverdichtung“ zu und gibt die Zielwerte und zulässigen Abweichungen für das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit an. Die Grenzen des Fensters müssen in der laufenden Produktion durch die Eigenüberwachung kontinuierlich überprüft werden, da sie sich durch Schwankungen der Ausgangsstoffe verändern können. Befindet sich mindestens ein Wert z.B. bei der Übergabe vor dem Einbau nicht im Fenster, wird der Beton verworfen oder es müssen geeignete Korrekturmaßnahmen (z.B. Fließmittelnachdosierung) eingeleitet werden, um den SVB wieder in den Verarbeitbarkeitsbereich, d.h. in die Grenzen des nachgewiesenen SVB-Fensters, zu bringen.

Um den Prüfaufwand bei der Übergabe von selbstverdichtendem Beton als Transportbeton auf der Baustelle zu verringern, darf gemäß Abschnitt 5.4.1 der SVB-Richtlinie alternativ zur Trichterauslaufzeit die Fließzeit verwendet werden, wenn in der Erstprüfung ein eindeutiger Zusammenhang zur Trichterauslaufzeit nachgewiesen wird.

Bild 5 zeigt für zwei verschiedene selbstverdichtende Betone SVB 3 und SVB 4 die Fließzeit über der entsprechenden Trichterauslaufzeit. Die Zusammensetzung der Betone ist in Tafel 1 enthalten. Während für SVB 3 eine Korrelation zwischen der Fließzeit und der Trichterauslaufzeit vorhanden ist, kann für SVB 4 eine derartige Abhängigkeit nicht festgestellt werden. Besonders niedrigviskose SVB mit schnellen Auslaufzeiten lassen bei geringen Fließzeiten unter zwei Sekunden kaum einen vernünftigen Rückschluss auf die Trichterauslaufzeit und damit auf die Viskosität zu. Aufgrund der erhöhten Streuung müssen die zulässigen Abweichungen um den Zielwert recht eng gefasst werden, wodurch eine Fehlbewertung der Viskosität nicht ausgeschlossen werden kann.

Ziel dieser Arbeit war es, auf der Basis der bereits etablierten und anerkannten Prüfverfahren ein einfaches, baustellentaugliches Prüfgerät zu entwickeln, mit dem gleichzeitig das Setzfließmaß und ein gut auflösender und messbarer Prüfwert für die Viskosität ermittelt werden kann.

**Tafel 1: Zusammensetzungen der selbstverdichtenden Betone SVB 1 bis SVB 4**  
**Table 1: Concrete compositions of the self compacting concretes SCC 1 to SCC 4**

	SVB 1 SCC 1	SVB 2 SCC 2	SVB 3 SCC 3	SVB 4 SCC 4
Zement/Cement	CEM III/A 32,5 R	CEM III/A 32,5 R	CEM I 32,5 R	CEM III/A 32,5 N
Zementgehalt Cement content [kg/m <sup>3</sup> ]	240	270	285	240
Zusatzstoff Concrete addition	Flugasche 1 Fly ash 1	Flugasche 1 Fly ash 1	Kalksteinmehl Limestone powder	Flugasche 2 Fly ash 2
Zusatzstoffgehalt Concrete addition content [kg/m <sup>3</sup> ]	310	280	265	310
Wassergehalt Water content [kg/m <sup>3</sup> ]	168	173	177	175
Fließmittel (PCE) Plasticizer (PCE) [mass %] w.r.t. cement	PCE 2 0,9	PCE 1 3,0	PCE 2 1,1	PCE 2 1,0
Gesteinskörnung Aggregate [kg/m <sup>3</sup> ]	1566	1561	1607	1543
Luftgehalt Air content [l/m <sup>3</sup> ]	15	15	15	15

and are described there in Appendix M. A description and list of additional test methods are contained in, among others, [3].

### 3 Assessing the workability of SCC

The workability properties of self compacting concretes can be assessed by workability ranges, for which it is helpful to plot the values of the V-funnel flow time in a diagram against the associated slump flow values determined at the same time [3, 4]. The range in which a SCC has self compacting properties is heavily dependent on the constituents used. It is therefore not possible to lay down universally valid limits or workability classes in a guideline. Fig. 4 illustrates these relationships and shows the workability ranges for four self compacting concretes with different compositions. The corresponding ranges depend on the composition and lie around the target values for self compaction specified by Okamura of  $sm = 700 \text{ mm}$  and  $T \approx 15 \text{ s}$  [5]. The compositions of the concretes are listed in Table 1.

The “window solution” for SCC [2, 3] that is incorporated in the DAfStb guideline makes it possible for the producers of self compacting concrete to determine the workability properties of their SCCs in fresh and hardened concrete investigations and to prove them in the initial testing. The producer guarantees the “self compacting” property and specifies the target values and permissible deviations for the slump flow and the V-funnel flow time. The limits of the window must be checked continuously during production by internal monitoring as they can change due to fluctuations in the constituents. If one or more values does not lie within the window, e.g. at delivery before placement, the concrete is rejected or suitable corrective measures (e.g. addition of plasticizer) must be initiated to bring the SCC back into the workability range, i.e. into the limits of the established SCC window.

To reduce the amount of testing when self compacting concrete is delivered as ready-mixed concrete to a building site Section 5.4.1 of the SCC guideline allows the flow time to be used as an alternative to the V-funnel flow time provided a clear relationship to the V-funnel flow time has been demonstrated during the initial testing.

Fig. 5 shows the flow times for two different self compacting concretes, SCC 3 and SCC 4, plotted against the corresponding V-funnel flow times. The compositions of the concretes are listed in Table 1. There is a correlation between the flow time and the

V-funnel flow time for SCC 3, but this relationship cannot be established for SCC 4. SCCs with particularly low viscosities have low flow times of less than 2 seconds and cannot really provide any sensible information about the V-funnel flow time and hence about the viscosity. Because of the increased scatter the permissible deviations from the target value must be defined quite tightly, with the result that incorrect evaluation of the viscosity cannot be ruled out.

The aim of this work was to use the already established and recognized test methods as the basis for developing simple test equipment suitable for a building site with which the slump flow and a measurable test value for the viscosity that provides a good degree of resolution could be determined simultaneously.

### 4 The flow cone

The factors affecting the fresh and hardened concrete proper-

#### 4 Der Auslaufkegel

Im Rahmen eines Gemeinschaftsforschungsvorhabens der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB), Kamp-Lintfort, und des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ), Düsseldorf, werden die Einflüsse auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften selbstverdichtender Betone ermittelt. Dabei ist auch die Möglichkeit untersucht worden, einen Setztrichter so zu modifizieren, dass damit auch reproduzierbar und ausreichend auflösend Auslaufzeiten gemessen werden können. Durch die Verlängerung des Setztrichters auf unterschiedliche Auslaufquerschnitte unter Beibehaltung der Kegelneigung und des zu prüfenden Betonvolumens ließen sich die Auslaufzeiten variieren. Dazu wurde ein handelsüblicher Setztrichter auf eine Halterung mit Stativ montiert, der durch einen Schieber in der Halterung an der Unterseite verschlossen werden konnte. An der Unterseite der Halterung ließen sich verschiedene Auslaufdüsen mit den Durchmessern 50 mm, 60 mm, 70 mm und 80 mm anbringen. Das Stativ war so eingestellt, dass sich der Setztrichter 300 mm über der Ausbreitplatte befand. Bild 6 zeigt den Setztrichter, die Setztrichterhalterung, vier verschiedene Auslaufquerschnitte und den Schieber. Der montierte Auslaufkegel mit dem geringsten Auslaufquerschnitt mit einem Durchmesser von 50 mm ist in Bild 7 dargestellt.

#### 5 Frischbetonuntersuchungen

##### 5.1 Zusammensetzung der Betone

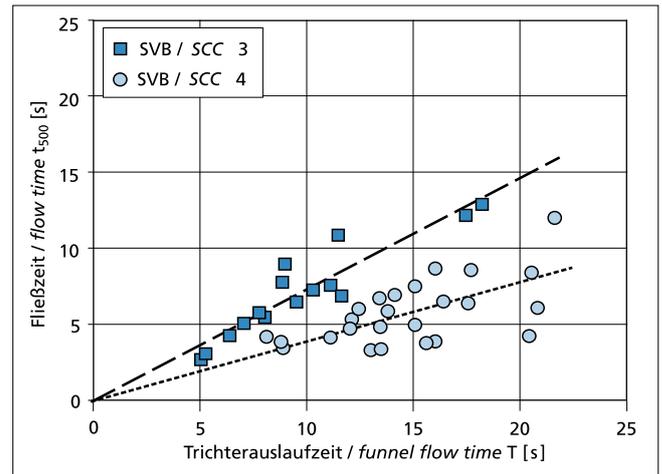
Zur Ermittlung der Auslaufzeiten mit dem Auslaufkegel wurden sechs unterschiedlich zusammengesetzte selbstverdichtende Betone hergestellt. Dabei handelte es sich jeweils um Betone des Mehlkorntyps. Als Zement wurde ein Portlandzement CEM I 32,5 R sowie ein Hochofenzement CEM III/A 32,5 N und als Zusatzstoff Kalksteinmehl sowie Flugasche verwendet. Der Mehlkorngesamt aus Zement und Zusatzstoff betrug  $550 \text{ kg/m}^3$ . Als Zugabewasser kam Leitungswasser der Stadt Düsseldorf zum Einsatz. Der Wassergehalt entsprach dem in Vorversuchen ermittelten optimalen Wassergehalt. Die Gesteinskörnung bestand aus Rheinsand und Rheinkies mit einem Größtkorn von 16 mm. Sie war kernfeucht und oberflächentrocken. Das Leimvolumen und die Sieblinie der Gesteinskörnung waren so gewählt, dass in allen Fällen blockierungsfreies Fließen sichergestellt war. Durch die Kombination der Ausgangsstoffe und deren Proportionierung wurde nahezu der gesamte rheologische Bereich vom niedrigviskosen bis zum höherviskosen selbstverdichtendem Beton abgedeckt. Die Zusammensetzungen der Betone sind in Tafel 2 aufgeführt.



**Bild 6: Bestandteile des Auslaufkegels: Setztrichter, Setztrichterhalterung, Auslaufdüsen und Schieber**  
*Figure 6: Components of the flow cone: slump cone, slump cone support stand, outlet nozzles and slide*

##### 5.2 Herstellung und Prüfungen

Die Betonausgangsstoffe wurden in der Reihenfolge Gesteinskörnung, Zement und Flugasche, Zugabewasser vorgemischt und nach Zugabe des Fließmittels in einem 250 l fassenden Laborzwangsmischer drei Minuten lang gemischt. Nach dem Mischen wurde das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit gemäß [2] (s. auch Abschnitt 2) sowie einmal die Blockierneigung mit dem Box-Test [3, 5] des Betons ermittelt. Danach wurde an einer einmal hergestellten Betonmischung mit dem Auslaufkegel und den verschiedenen Auslaufdüsen in der Reihenfolge 80 mm, 70 mm, 60 mm und 50 mm die Auslaufzeit und das resultierende Setzfließmaß gemessen. Um auszuschließen, dass die Auslaufzeiten



**Bild 5: Zusammenhang zwischen Trichterauslaufzeit und Fließzeit für zwei verschiedene SVB**  
*Figure 5: Relationship between V-funnel flow time and flow time for two different SCCs*

ties of self compacting concretes are being determined as part of the joint research project between the FTB (Ready-Mixed Concrete Research Association), Kamp-Lintfort and the FIZ (Research Institute of the Cement Industry), Düsseldorf. The possibility was also examined of modifying a slump cone so that it can be used for measuring reproducible flow times with adequate resolution. The



**Bild 7: Montierter Auslaufkegel mit 50-mm-Auslaufdüse**  
*Figure 7: Assembled flow cone with 50 mm outlet nozzle*

flow times can be varied by extending the slump cone to give different outlet cross-sections while retaining the cone angle and the volume of concrete to be tested. A normal commercial slump cone was mounted on a support stand and can be closed off at the bottom by a slide in the support. Different outlet nozzles with diameters of 50 mm, 60 mm, 70 mm and 80 mm can be mounted on the underside of the support. The stand was adjusted so that the slump cone was located 300 mm above the flow plate. Fig. 6 shows the slump cone, the slump cone support stand, four different outlet cross-sections and the slide. The assembled flow cone with the smallest outlet cross-section with a diameter of 50 mm is shown in Fig. 7.

#### 5 Fresh concrete investigations

##### 5.1 Concrete compositions

Six self compacting concretes with different compositions were produced for determining the flow times with the flow cone. They were all concretes of the ultrafines type. A CEM I 32,5 R Portland cement and a CEM III/A 32,5 N blastfurnace cement were used as the cements and limestone powder and fly ash were used as the additions. The ultrafines content, consisting of cement and additions, was  $550 \text{ kg/m}^3$ . The mixing water was tap water from the town of Düsseldorf. The water content corresponded to the optimum water content determined in the preliminary trials. The aggregate consisted of Rhine sand and Rhine gravel with a maximum size of 16 mm. It was moist internally and dry at the surface. The paste volume and the grading curve of the aggregate were chosen to ensure blocking-free flow in all cases. The combination of the constituents and their proportioning ensured that virtually the

Tafel 2: Zusammensetzungen der selbstverdichtenden Betone SVB 5 bis SVB 10  
 Table 2: Concrete compositions of the self compacting concretes SCC 5 to SCC 10

	SVB 5 SCC 5	SVB 6 SCC 6	SVB 7 SCC 7	SVB 8 SCC 8	SVB 9 SCC 9	SVB 10 SCC 10
CEM I 32,5 R [kg/m <sup>3</sup> ]	295	295	295	295	240	–
CEM III/A 32,5 N [kg/m <sup>3</sup> ]	–	–	–	–	–	240
Kalksteinmehl Limestone powder [kg/m <sup>3</sup> ]	255	255	255	–	–	–
Flugasche Fly ash [kg/m <sup>3</sup> ]	–	–	–	255	310	310
Wasser Water [kg/m <sup>3</sup> ]	177	177	177	170	173	170
Gesteinskörnung Aggregate [kg/m <sup>3</sup> ]	1595	1595	1595	1570	1546	1548
Fließmittel (PCE) Plasticizer (PCE) [mass %] w.r.t. cement	PCE 2 1,0	PCE 1 3,0	PCE 1 3,3	PCE 1 2,8	PCE 1 3,0	PCE 1 2,6
Luftgehalt Air content [l/m <sup>3</sup> ]	20	20	20	20	20	20

während der Prüferserie durch ein Ansteifen des selbstverdichtenden Betons beeinflusst wurden, wurden abschließend noch einmal das Setzfließmaß und die Trichterauslaufzeit bestimmt. Die Durchführung der Prüfungen eines einmal hergestellten Betons dauerte für eine Serie rd. 25 min.

Erreichte dieser Beton die Grenze der Fließfähigkeit für Selbstverdichtung, wurde Fließmittel in Höhe von 0,2 M.-% bis 0,4 M.-% bezogen auf den Zementgehalt in den Mischer nachdosiert und 90 s gemischt. Danach wurde an dem so modifizierten Beton (z.B. SVB 6-2 in den Bildern 8 und 9) erneut die Prüferserie im alten Rhythmus durchgeführt.

### 5.3 Ermittlung der Frischbetoneigenschaften mit dem Auslaufkegel

#### 5.3.1 Allgemeines

Im Folgenden wird stellvertretend an den selbstverdichtenden Betonen SVB 6 in der Kombination CEM I und Kalksteinmehl und SVB 9 in der Kombination CEM I und Flugasche die Ermittlung der Frischbetoneigenschaften mit dem Auslaufkegel dargestellt.

#### 5.3.2 Ermittlung der Frischbetoneigenschaften von SVB 6

Die Bilder 8 und 9 zeigen die Frischbetoneigenschaften von SVB 6 in drei hintereinander folgenden Prüferserien. In Bild 8 ist die jeweilige Auslaufzeit über dem verwendeten Auslauftrichter bzw. Auslaufkegel aufgetragen. Dabei ist T die Trichterauslaufzeit nach Abschnitt 2, während die Zahlen 100 bis 50 dem Auslaufdurchmesser des Auslaufkegels in Millimetern entsprechen. In Bild 9 sind die zugehörigen Setzfließmaße über den entsprechenden Auslaufdurchmesser dargestellt. Bild 10 zeigt die Ermittlung der Auslaufzeit und des Setzfließmaßes mit dem Auslaufkegel und dem 60-mm-Durchmesser.

Die Serie SVB 6-1 wurde unmittelbar nach dem Mischungsende durchgeführt. Der Vergleich der Setzfließmaße und Trichterauslaufzeiten zu Beginn der Serie mit den Werten am Ende nach rd. einer halben Stunde ergibt einen Anstieg der Trichterauslaufzeit von  $T_a = 10$  s auf  $T_e = 16$  s (s. Bild 8) sowie einen Abfall des Setzfließmaßes von  $sm_a = 720$  mm auf  $sm_e = 600$  mm (s. Bild 9). Diese Veränderungen der rheologischen Eigenschaften sind auf ein Ansteifen des Betons während der Prüfungen zurückzuführen, sodass die Werte dieser Serie nicht hinreichend geeignet sind, den Einfluss des Auslaufquerschnitts auf die Auslaufzeit und das Setzfließmaß zu bewerten.

entire rheological range from low viscosity to high viscosity self compacting concrete was covered. The compositions of the concretes are listed in Table 2.

### 5.2 Production and testing

The concrete constituents were premixed in the sequence: aggregate, cement and fly ash, mixing water, and then mixed for 3 minutes after addition of the plasticizer in a mechanical laboratory mixer with a capacity of 250 l.

After the mixing, the slump flow and the V-funnel flow time as described in [2] (see also Section 2) of the concrete were determined and the blocking tendency was measured once with the box test [3, 5]. The flow time and the resulting slump flow were then measured on a specially produced concrete mix using the flow cone and the different flow nozzles in the sequence 80 mm, 70 mm, 60 mm and

50 mm. To prevent the cone flow times during the test series from being affected by stiffening of the self compacting concrete the slump flow and the V-funnel flow time were then determined again. The testing of a specially produced concrete lasted for about 25 minutes for one series.

When this concrete reached the limit of flowability for self compaction 0.2 to 0.4 mass % of plasticizer relative to the cement content was added to the mixer and mixed for 90 s. The test series was then carried out again in the original sequence on the modified concrete (e.g. SCC 6-2 in Figs. 8 and 9).

### 5.3 Determination of the fresh concrete properties with the flow cone

#### 5.3.1 General

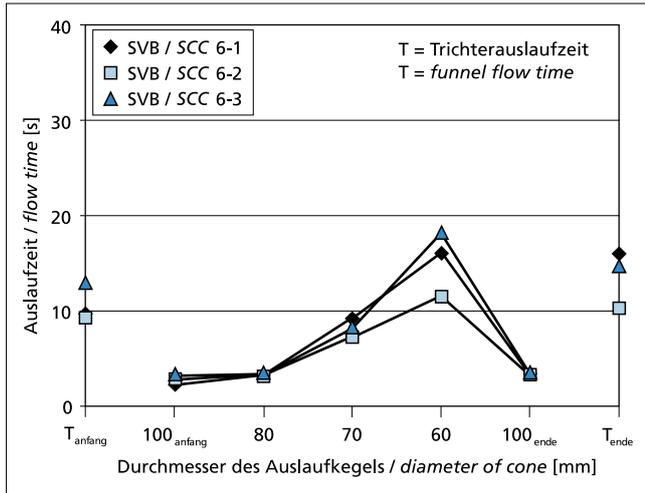
The determination of the fresh concrete properties with the flow cone is described below using the example of self compacting concrete SCC 6 with a combination of CEM I cement and limestone powder, and SCC 9 with a combination of CEM I cement and fly ash.

#### 5.3.2 Determination of the fresh concrete properties of SCC 6

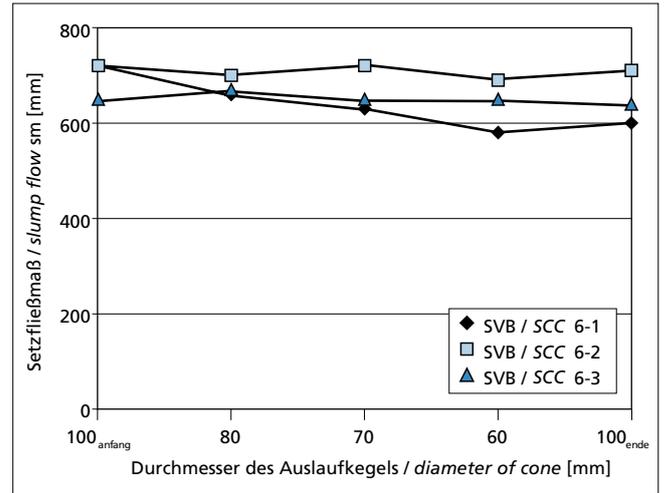
Figs. 8 and 9 show the fresh concrete properties of SCC 6 in three test series carried out one after the other. In Fig. 8 the respective flow time is plotted against the flow funnel or flow cone used. T is the V-funnel flow time as described in Section 2, while the numbers 100 to 50 correspond to the outlet diameters of the flow cone in mm. The associated slump flows are shown in Fig. 9 plotted against the corresponding outlet diameters. Fig. 10 shows the flow time and slump flow being measured with the flow cone and the 60 mm diameter nozzle.

The SCC 6-1 series was carried out immediately after the end of mixing. Comparison of the slump flows and V-funnel flow times at the start of the series with the values at the end of the series after about half an hour shows a rise in the V-funnel flow time from  $T_s = 10$  s to  $T_e = 16$  s (see Fig. 8) and a drop in the slump flow from  $sm_s = 720$  mm to  $sm_e = 600$  mm (see Fig. 9). These changes in the rheological properties can be attributed to the stiffening of the concrete during the test, so the values in this series were not suitable for evaluating the influence of the outlet cross section on the flow time and the slump flow.

The SCC 6-2 series was achieved by subsequent addition of 0.2 mass % of plasticizer relative to the cement after completion of



**Bild 8:** Veränderung der Auslaufzeit in Abhängigkeit vom Durchmesser des Auslaufkegels und zeitliche Entwicklung für SVB 6  
**Figure 8:** Change in flow time as a function of the diameter of the flow cone showing the development with time for SCC 6 (anfang = start; ende = end)



**Bild 9:** Veränderung des Setzfließmaßes in Abhängigkeit vom Durchmesser des Auslaufkegels und zeitliche Entwicklung für SVB 6  
**Figure 9:** Change in slump flow as a function of the diameter of the flow cone showing the development with time for SCC 6

Eine Fließmittelnachdosierung nach Abschluss der Serie SVB 6-1 zum Zeitpunkt 30 Minuten nach Mischungsende in Höhe von 0,2 M.-% v.z führte zur Serie SVB 6-2. Sie brachte den Beton in die anfängliche Fließfähigkeit sowohl im Hinblick auf das Setzfließmaß als auch auf die Trichterauslaufzeit zurück und sorgte für gleich bleibende rheologische Eigenschaften. Dies kann wiederum durch den Vergleich der Werte für die Trichterauslaufzeit und das Setzfließmaß am Anfang und am Ende dieser Serie gesehen werden ( $T_a = 9$  s,  $T_c = 10$  s;  $sm_a = 720$  mm,  $sm_c = 710$  mm). Die Auslaufzeit veränderte sich in Abhängigkeit des Auslaufquerschnitts des jeweiligen Kegels, während das Setzfließmaß kaum beeinflusst wurde. Nach Abschluss der Serie SVB 6-2 wurden die Prüfungen nach einer Pause von weiteren 15 Minuten (75 min nach Herstellungsende) am gleichen Beton in der Serie SVB 6-3 wiederholt. Wiederum veränderten sich die rheologischen Eigenschaften des Betons während des Prüfzeitraums kaum ( $T_a = 13$  s,  $T_c = 15$  s;  $sm_a = 650$  mm,  $sm_c = 640$  mm). Ebenfalls hatte der verwendete Auslaufquerschnitt des jeweiligen Kegels kaum einen Einfluss auf das sich ergebende Setzfließmaß.

Die Serien SVB 6-2 und SVB 6-3 sind geeignet, um Aussagen zum Ausfließverhalten des Betons in Abhängigkeit unterschiedlicher Ausfließquerschnitte zu treffen, da der Einfluss des Verarbeitbarkeitsabfalls nahezu unterdrückt werden konnte.

**5.3.3 Ermittlung der Frischbetoneigenschaften von SVB 9**

Die Bilder 11 und 12 zeigen die Frischbetoneigenschaften von SVB 9 für die drei nacheinander durchgeführten Prüferien. In Bild 11 ist die jeweilige Auslaufzeit über dem verwendeten Auslauftrichter bzw. Auslaufkegel aufgetragen. In Bild 12 sind die zugehörigen Setzfließmaße über den entsprechenden Auslaufdurchmesser dargestellt.

Die Serie SVB 9-1 wurde unmittelbar nach dem Mischungsende durchgeführt. Der Vergleich der Trichterauslaufzeiten und Setzfließmaße zu Beginn und nach etwa 25 Minuten am Ende der Serie ergibt einen überproportionalen Anstieg der Trichterauslaufzeit ( $T_a = 12$  s,  $T_c = 19$  s, s. Bild 11) sowie einen starken Abfall des Setzfließmaßes ( $sm_a = 710$  mm,  $sm_c = 500$  mm, s. Bild 12). Die Veränderungen der rheologischen Eigenschaften sind, wie bereits bei Mischung SVB 6-1 beobachtet, auf eine Reagglomeration der Feinstoffe im Beton zurückzuführen, sodass die Werte dieser Serie ebenfalls nicht geeignet sind, um den Einfluss des Auslaufquerschnitts auf die Auslaufzeit und das Setzfließmaß zu bewerten.

Eine Fließmittelnachdosierung in Höhe von 0,4 M.-% v.z 30 Minuten nach Mischungsende führte zur Serie SVB 9-2. Sie erhöhte die Fließfähigkeit sowohl im Hinblick auf das Setzfließmaß

the SCC 6-1 series at a time 30 minutes after the end of mixing. The concrete was restored to its initial flowability both in respect of the slump flow and of the V-funnel flow time, ensuring uniform rheological properties. This can be seen by comparing the values for the V-funnel flow time and slump flow at the start and end of the series ( $T_s = 9$  s,  $T_c = 10$  s;  $sm_s = 720$  mm,  $sm_c = 710$  mm). The flow time changed as a function of the outlet cross-section of the particular cone, while the slump flow was hardly affected. When the SCC 6-2 series had been completed the tests were repeated after a pause of a further 15 min (75 minutes after the end of production) on the same concrete for the SCC 6-3 series. Again there was hardly any change in the rheological properties of the concrete during the test period ( $T_s = 13$  s,  $T_c = 15$  s;  $sm_s = 650$  mm,  $sm_c = 640$  mm). Once again the outlet cross section of the particular cone had hardly any influence on the resulting slump flow.

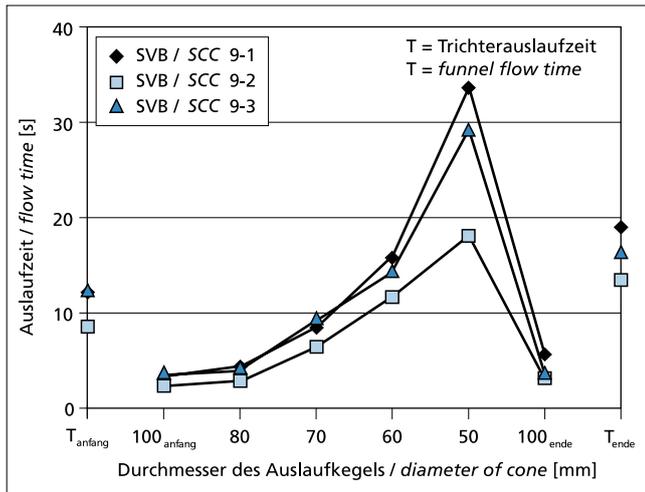
The SCC 6-2 and SCC 6-3 series were therefore suitable for providing information about the flow behaviour of the concrete as a function of different outlet cross-sections as the influence of loss of workability had been almost completely suppressed.

**5.3.3 Determination of the fresh concrete properties of SCC 9**

Figs. 11 and 12 show the fresh concrete properties of SCC 9 for the three test series carried out one after the other. The respective flow



**Bild 10:** Ermittlung der Auslaufzeit und des Setzfließmaßes für SVB 6 mit dem Auslaufkegel und montierter 60-mm-Auslaufdüse  
**Figure 10:** Determination of the flow time and the slump flow for SCC 6 with the flow cone using the 60 mm outlet nozzle



**Bild 11:** Veränderung der Auslaufzeit in Abhängigkeit vom Durchmesser des Auslaufkegels und zeitliche Entwicklung für SVB 9  
**Figure 11:** Change in flow time as a function of the diameter of the flow cone showing the development with time for SCC 9

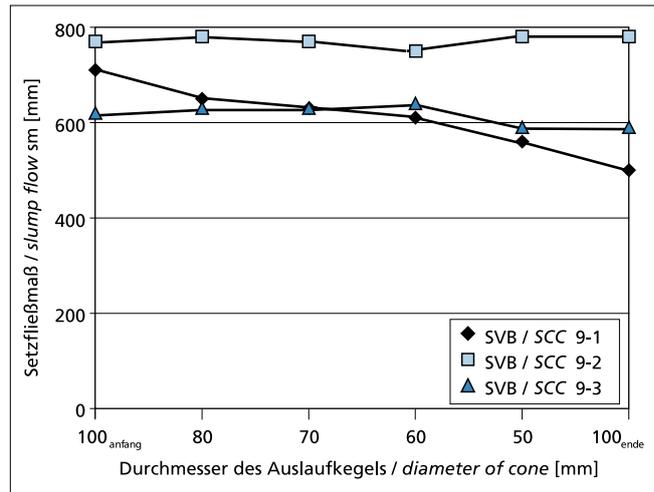
als auch auf die Trichterauslaufzeit und sorgte für gleich bleibende rheologische Eigenschaften. Dies wird wiederum durch den Vergleich der Werte für die Trichterauslaufzeit und das Setzfließmaß am Anfang und am Ende der Serie bestätigt ( $T_a = 9$  s,  $T_e = 13$  s;  $sm_a = 770$  mm,  $sm_e = 780$  mm). Die Auslaufzeit veränderte sich in Abhängigkeit des Auslaufquerschnitts des jeweiligen Kegels, während das Setzfließmaß kaum beeinflusst wurde. Nach Abschluss der Serie SVB 9-2 wurden die Prüfungen nach einer Pause von weiteren 30 Minuten (90 min nach Herstellungsende) in der Serie SVB 9-3 wiederholt. Auch hier veränderten sich die rheologischen Eigenschaften des Betons während des Prüfzeitraumes kaum ( $T_a = 12$  s,  $T_e = 16$  s;  $sm_a = 620$  mm,  $sm_e = 590$  mm). Der verwendete Auslaufquerschnitt des jeweiligen Kegels hatte wie bei SVB 9-2 wiederum kaum einen Einfluss auf das resultierende Setzfließmaß.

Die Serien SVB 9-2 und SVB 9-3 waren somit ebenfalls geeignet, um Aussagen zum Ausfließverhalten des Betons in Abhängigkeit unterschiedlicher Ausfließquerschnitte zu treffen, da der Einfluss des Verarbeitbarkeitsabfalls nahezu unterdrückt werden konnte.

## 6 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Frischbetonuntersuchungen an den sechs Betonen SVB 5 bis SVB 10 gemäß Abschnitt 5 sind in Bild 13 zusammengefasst. Für die Auswertung wurden die Serien verwendet, in denen kein relevanter Verarbeitbarkeitsabfall auftrat. Die Veränderungen der Auslaufzeiten der verschiedenen Auslaufkegel im Vergleich zur Auslaufzeit des Trichters sind daher allein auf die unterschiedlichen Querschnitte zurückzuführen.

Bild 13 zeigt die Auslaufzeiten der Kegel mit den Auslaufdurchmessern 80 mm, 70 mm und 60 mm über der Trichterauslaufzeit nach [2] für die untersuchten Betone. Es ergab sich in allen Fällen eine lineare Abhängigkeit zwischen der jeweiligen Kegelauslaufzeit und der Trichterauslaufzeit mit einem Bestimmtheitsmaß von über 90 %. Während sich die Ausfließzeiten der Auslaufkegel mit einem Durchmesser von 80 mm und 70 mm unterproportional zur Trichterauslaufzeit verhielten, wies der Auslaufkegel mit dem Durchmesser von 60 mm ein leicht überproportionales Auslaufverhalten auf. Der Auslaufkegel mit dem 50-mm-Durchmesser besaß zwar eine lineare Abhängigkeit mit den Trichterauslaufzeiten für die untersuchten Betone. Er führte aber zu sehr hohen Auslaufzeiten, die baupraktisch als ungünstig angesehen werden können. Daher wurde der 50-mm-Auslaufquerschnitt aus der weiteren Betrachtung ausgenommen. Zusätzlich ist zu beachten, dass bereits bei dem 50-mm-Durchmesser die Sieblinie und die Blockierneigung des SVB einen Einfluss auf die Kegelauslaufzeit ausüben können.



**Bild 12:** Veränderung des Setzfließmaßes in Abhängigkeit vom Durchmesser des Auslaufkegels und zeitliche Entwicklung für SVB 9  
**Figure 12:** Change in slump flow as a function of the diameter of the flow cone showing the development with time for SCC 9

times are plotted in Fig. 11 against the flow funnel or flow cone used. The associated slump flows are shown in Fig. 12 against the corresponding outlet diameters.

The SCC 9-1 series was carried out directly after the end of mixing. Comparison of the V-funnel flow times and slump flows at the start and after about 25 minutes at the end of the series shows a disproportionately large rise in the V-funnel flow time ( $T_s = 12$  s,  $T_e = 19$  s, see Fig. 11) and a sharp drop in the slump flow ( $sm_s = 710$  mm,  $sm_e = 500$  mm, see Fig. 12). The changes in the rheological properties can, as already observed with the SCC 6-1 mix, be attributed to re-agglomeration of the fines in the concrete, with the result that the values from this series were also unsuitable for evaluating the influence of the outlet cross-section on the flow time and the slump flow.

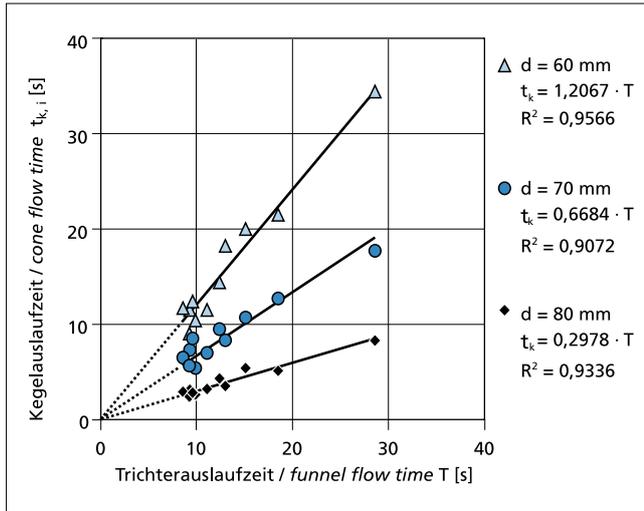
Subsequent addition of 0.4 mass % of plasticizer relative to the cement 30 minutes after the end of mixing led to the SCC 9-2 series. It increased the flowability both with respect to the slump flow and also to the V-funnel flow time and ensured uniform rheological properties. This was again confirmed by comparing the values for the V-funnel flow time and the slump flow at the start and the end of the series ( $T_s = 9$  s,  $T_e = 13$  s;  $sm_s = 770$  mm,  $sm_e = 780$  mm). The cone flow time varied as a function of the outlet cross section of the particular cone while the slump flow was hardly affected. After completion of the SCC 9-2 series the tests were repeated after a pause of a further 30 minutes (90 minutes after the end of production) in the SCC 9-3 series. Here again there was hardly any change in the rheological properties of the concrete during the test period ( $T_s = 12$  s,  $T_e = 16$  s;  $sm_s = 620$  mm,  $sm_e = 590$  mm). As with SCC 9-2, the outlet cross-section of the particular cone used had hardly any effect on the resulting slump flow.

The SCC 9-2 and SCC 9-3 series were therefore also suitable for obtaining information about the flow behaviour of the concrete as a function of different flow cross-sections as the effect of the drop in workability had been almost completely suppressed.

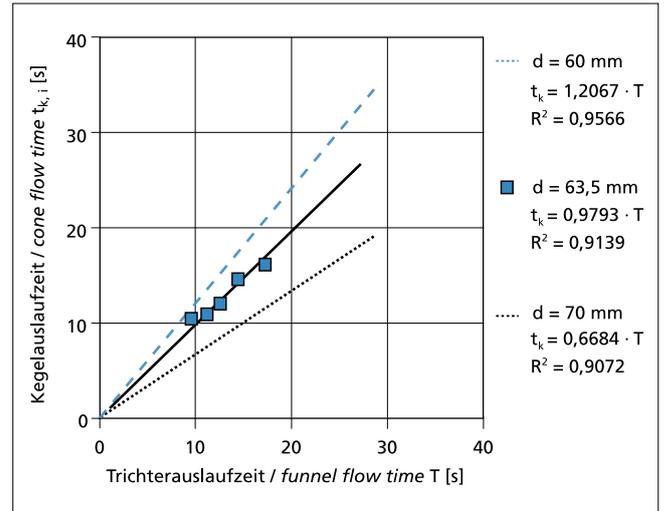
## 6 Representation of the results

The results of the fresh concrete investigations on the six concretes SCC 5 to SCC 10 as described in Section 5 are summarized in Fig. 13. The series in which there was no relevant drop in workability were used for the evaluation. The changes in flow times for the different flow cones when compared to the V-funnel flow time are therefore due entirely to the different cross sections.

Fig. 13 shows the flow times for the cones with outlet diameters of 80, 70 and 60 mm plotted against the V-funnel outlet time as described in [2] for the concretes investigated. In all cases this resulted in a linear relationship between the respective cone flow time



**Bild 13: Zusammenhang zwischen Trichterauslaufzeit und Kegelauslaufzeit in Abhängigkeit vom Auslaufquerschnitt für alle untersuchten SVB**  
 Figure 13: Relationship between V-funnel flow time and cone flow time as a function of the outlet cross-section for all SCCs examined



**Bild 14: Zusammenhang zwischen Trichterauslaufzeit und Kegelauslaufzeit mit 63,5-mm-Auslaufdüse**  
 Figure 14: Relationship between V-funnel flow time and cone flow time with the 63.5 mm outlet nozzle

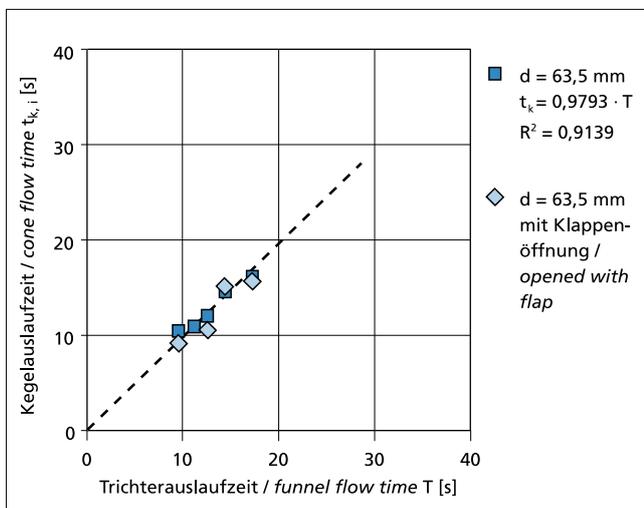
Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurde ein Kegel-Auslaufquerschnitt mit einem Durchmesser von 63,5 mm berechnet, der zu einer nahezu direkten Korrelation mit der Trichterauslaufzeit nach [2] führte. Bild 14 zeigt die Abhängigkeit zwischen den ermittelten Auslaufzeiten mit einem Steigungsmaß von 0,98 bei einem Bestimmtheitsmaß von rd. 91 %.

Für die Untersuchungen wurde der Prototyp des Auslaufkegels mit einem Trennschieber versehen, um mit einem Kegel bei konstantem Betonvolumen die verschiedenen Auslaufquerschnitte zu untersuchen. Baupraktisch erweist sich ein Trennschieber jedoch als nachteilig, sodass der endgültige Auslaufkegel mit einer leicht zu handhabenden und reinigenden Klappe am Kegelauslauf verschlossen werden sollte. Bei den bisherigen Untersuchungen rutschte der Beton nach dem Ziehen des Trennschiebers erst in die Düse nach und floss dann aus. Um den Einfluss des „Nachrutschens“ auf die Auslaufzeit zu ermitteln, wurde der Auslaufkegel mit dem Auslaufdurchmesser von 63,5 mm zusätzlich an der Auslaufdüse verschlossen. Dann wurde der Setztrichter wie

and the V-funnel flow time with a coefficient of determination of over 90 %. The flow times from the flow cones with diameters of 80 mm and 70 mm were shorter than the V-funnel flow times but the flow cone with a diameter of 60 mm proved to have slightly longer flow times. The flow cone with a 50 mm diameter did in fact also have a linear relationship with the V-funnel flow times for the different concretes. However, it led to very high flow times that can be considered a disadvantage from the point of view of building practice. The 50 mm outlet cross-section was therefore excluded from further consideration. It should also be borne in mind that with the 50 mm diameter the cone flow time can also be affected by the grading curve and the blocking tendency of the SCC.

A cone outlet cross-section with a diameter of 63.5 mm, which led to a virtually direct correlation with the V-funnel flow time as described in [2], was calculated from the results of the investigation. Fig. 14 shows the relationship between the measured flow times with a slope of 0.98 and a coefficient of determination of about 91 %.

The prototype of the flow cone had been fitted with a separating slide for the investigations so that the different outlet cross-sections could be investigated with a cone containing a constant volume of concrete. However, a separating slide proved a disadvantage from the practical point of view, so the final flow cone will be closed with a flap at the cone outlet that is easy to operate and to clean. In the previous investigations the concrete first slid down into the nozzle after the separating slide was removed and then flowed out. To determine the influence of the “slippage” on the flow time the flow cone with an outlet diameter of 63.5 mm was also closed off at the outlet nozzle. The slump cone was then filled with SCC as before with the slide closed. After the slide had been withdrawn the same test volume of concrete was then able to flow into the outlet nozzle. The flap was then opened and the flow time measured. The influence of the flap opening was investigated on a spot sample basis with SCC 7. The results are compared in Fig. 15 with the flow times without flap opening and no appreciable effect could be detected.



**Bild 15: Einfluss des ungehinderten Ausfließens aus dem Auslaufkegel auf das Messergebnis**  
 Figure 15: Influence on the test result of unrestricted flow from the flow cone

**7 Summary**

In order to assess the workability of self compacting concretes the recently issued DAfStb guideline “Self compacting concrete” [2] requires the slump flow and the V-funnel flow time as defined in [2] to be determined in the initial testing, during the internal production checks by the producer and on delivery of the concrete to the construction site. Determination of the V-funnel flow time

bisher bei geschlossenem Schieber mit SVB befüllt. Nach Ziehen des Schiebers konnte der Beton bei gleichem Prüfvolumen in die Auslaufdüse fließen. Danach wurde die Klappe geöffnet und die Auslaufzeit gemessen. Der Einfluss der Klappenöffnung wurde stichprobenartig mit SVB 7 untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 15 den Auslaufzeiten ohne Klappenöffnung gegenübergestellt. Ein maßgeblicher Einfluss konnte nicht festgestellt werden.

## 7 Zusammenfassung

Zur Beurteilung der Verarbeitbarkeit selbstverdichtender Betone fordert die kürzlich verabschiedete DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ [2] in der Erstprüfung, während der werkseitigen Produktionskontrolle des Herstellers und bei der Übergabe des Betons auf der Baustelle die Ermittlung des Setzfließmaßes und der Trichterauslaufzeit nach [2]. Dabei bereitet die Ermittlung der Trichterauslaufzeit bei der Übergabe von SVB als Transportbeton unter Baustellenbedingungen häufig Probleme. Um den Prüfaufwand bei der Übergabe von selbstverdichtendem Beton als Transportbeton zu vereinfachen, wurde mit dem „Auslaufkegel“ ein baustellentaugliches Prüfgerät entwickelt, mit dem die beiden maßgeblichen Prüfwerte – Setzfließmaß und Trichterauslaufzeit – zur Beschreibung der geforderten Frischbetoneigenschaften eines SVB – Fließgrenze und Viskosität – in einem einzigen Versuch zuverlässig ermittelt werden können.

- Bei dem Auslaufkegel wurde ein handelsüblicher Setztrichter auf eine entsprechende Stativhalterung montiert und an der Unterseite über einen Schieber verschlossen.
- Die an der Unterseite der Halterung angebrachte Auslaufdüse mit einem Auslaufdurchmesser von 63,5 mm führte in diesem Fall sowohl bei niedrigviskosen als auch bei höherviskosen selbstverdichtenden Betonen zu gleichen Auslaufzeiten, wie sie mit dem bisherigen Auslauftrichter nach [2] erzielt werden.
- Das gleichzeitig gemessene Setzfließmaß wird im Vergleich zum herkömmlichen Setztrichter nach [2] durch die verjüngte Form nicht beeinflusst.

Der Auslaufkegel stellt somit eine Alternative zur Ermittlung der Viskosität selbstverdichtender Betone dar, die besonders bei der Annahmeprüfung auf der Baustelle vorteilhaft eingesetzt werden kann.

*Die Autoren danken der Firma Testing – Bluhm & Feuerherdt, Berlin, für die Unterstützung bei der Herstellung des Auslaufkegels. Die Ergebnisse stammen aus einem Gemeinschaftsforschungsvorhaben der Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB), Kamp-Lintfort, und des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ), Düsseldorf, das durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft gefördert wird.*

## Literatur / Literature

- [1] Grube, H.; Rickert, J.: Selbstverdichtender Beton – ein weiterer Entwicklungsschritt des 5-Stoff-Systems Beton. beton 49 (1999) Nr. 4, S. 239–244
- [2] DAfStb-Richtlinie für selbstverdichtenden Beton: Ergänzungen zu DIN 1045-2: 2001 und DIN EN 206-1:2001 sowie DIN 1045-3:2001. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, DAfStb (Hrsg.), 2003, Beuth, Berlin (in Vorbereitung)
- [3] Kordts, S.; Breit, W.: Beurteilung der Frischbetoneigenschaften von selbstverdichtendem Beton. beton 53 (2003) Nr. 11, S. 565–571
- [4] Kordts, S.; Grube, H.: Steuerung der Verarbeitbarkeitseigenschaften von selbstverdichtendem Beton als Transportbeton. beton 52 (2002) Nr. 4, S. 217–223
- [5] Okamura, H.; Ozawa, K.: Mix Design for Self-compacting Concrete. Concrete Library of JSCE, Nr. 25, Juni 199

when SCC is delivered as ready-mixed concrete often causes problems under construction site conditions. A piece of test equipment in the form of the “flow cone” that is suitable for site conditions, with which the two decisive test values – slump flow and V-funnel flow time – for describing the required fresh concrete properties of an SCC – yield value and viscosity – can be determined reliably in a single test, was developed in order to simplify the amount of testing when self compacting concrete is delivered as ready-mixed concrete.

- The “flow cone” is a normal commercial slump cone mounted on an appropriate supporting stand and closed off at the bottom by a slide.
- The flow nozzle with an outlet diameter of 63.5 mm attached to the underside of the support gives in this case the same flow times as those obtained with the former V-funnel as described in [2] both with low-viscosity and with higher-viscosity self compacting concretes.
- The slump flow measured at the same time is not affected by the tapered shape when compared with the conventional slump cone as described in [2].

The flow cone therefore represents an alternative way of determining the viscosity of self compacting concretes that can be used particularly advantageously for acceptance testing on site.

*The authors would like to thank Testing – Bluhm & Feuerherdt, Berlin, for their assistance in the production of the flow cone. The results come from a joint research project of the FTB (Ready-mixed Concrete Research Association), Kamp-Lintfort, and the FIZ (Research Institute of the Cement Industry), Düsseldorf, that was supported by the AiF (Federation of Industrial Research Associations) with funds provided by the Federal Ministry for Economic Affairs.*