



**ERMCO**

# **Europäische Richtlinien für SCC**

**Feststellung, Produktion  
und Anwendung**

**Mai 2005**

**Deutsche Übersetzung, August 2006**



## Vorwort

Diese Richtlinien und Festlegungen wurden von einer Projektgruppe aus fünf europäischen Verbänden erstellt, die sich mit der Förderung von innovativen Materialien und Systemen für die Lieferung und die Verwendung von Beton befassen. Die Europäische SCC-Projektgruppe wurde im Jänner 2004 in der folgenden Zusammensetzung gegründet:

BIBM	Europäischer Verband für Betonfertigteile
CEMBUREAU	Europäischer Verband der Zementproduzenten
ERMCO	Europäischer Verband der Transportbetonerzeuger
EFCA	Europäischer Verband der Hersteller von Betonzusatzmittel
EFNARC	Europäischer Verband der Hersteller von Bauchemikalien

Alle Anmerkungen zu den „Europäischen Richtlinien für SCC“ sind an das Sekretariat der Europäischen Projektgruppe (EPG) zu senden: [www.efca.info](http://www.efca.info) oder [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)

## Dank

Die Europäische Projektgruppe dankt für die Beiträge zur Erstellung dieses Dokuments durch eine Reihe von Experten aus der Beton- und Bauindustrie. Die fünf Arbeitsgruppen haben sich die Erfahrungen mit SCC von mehr als 50 Personen aus 12 europäischen Ländern und die Zusammenarbeit mit der UK Concrete Society (Betonverband des Vereinigten Königreichs) sowie dem EC „TESTING-SCC“-Projekt 2001-2004 zu Nutze gemacht.

Diagramme und Fotos wurden zur Verfügung gestellt von:

Betonsol BV, NL	Price and Myers Consulting Engineers
Degussa	Lafarge
Doka Schalungstechnik GmbH	Sika
Hanson	„SCC-TEST“-Projekt
Holcim	W. Bennenk

Obwohl sich die Projektgruppe nach bestem Wissen bemüht hat, dass alle in diesem Dokument enthaltenen Daten und Informationen zuverlässig sind, soweit sie sich auf Tatsachen bzw. erprobte Praxis oder Meinungen zur Zeit der Veröffentlichung beziehen, übernimmt die SCC-Arbeitsgruppe keine Verantwortung für Fehler bzw. falsche Darstellung von Daten bzw. Informationen oder für Verluste oder Schäden, die sich aus deren Verwendung ergeben oder damit zusammenhängen.

Die Übersetzung der englischen Originalfassung der Richtlinien erfolgte durch den Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB), den Güteverband Transportbeton (GVTB) und die Zement+Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H (Z+B). Es wurde versucht, eine möglichst dem Original entsprechende Übersetzung zu erstellen und auf darüber hinausgehende Textinterpretationen zu verzichten. Daraus folgt auch, dass die Verantwortung für den Inhalt und auch das Wissen zu Details bei den Verfassern des Originals liegt. Der Bereich des SCC ist noch nicht genormt. Deshalb gibt es zu verschiedenen Begriffen noch keine allgemein üblichen Ausdrücke in deutscher Sprache. In der Übersetzung wurde deshalb bei einigen Worten auch das englische Original angeführt.

Der im Vorwort der Verfasser des Originals festgehaltene Haftungsausschluss gilt auch für die Übersetzung. Bei Unklarheiten sollte das Original in englischer Sprache zur Klärung herangezogen werden.

Als „Übersetzer“ hoffen wir, dass wir mit den Richtlinien eine brauchbare Hilfestellung im Bereich „Selbstverdichtender Beton“ bereitstellen können.

Gernot Brandweiner und Paul Kubeczko (VÖB) [www.voeb.org](http://www.voeb.org)

Frank Huber (Z+B) [www.zement.at](http://www.zement.at)

Christoph Ressler (GVTB) [www.gvtb.at](http://www.gvtb.at)

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Veröffentlichung darf wiedergegeben, in einem Datenspeichersystem gespeichert bzw. in irgendeiner Form in elektronischen, mechanischen Aufzeichnungs- oder anderen Medien ohne die vorherige Genehmigung der Europäischen SCC-Projektgruppe übertragen werden.

## Inhalt

1	Einführung	1
2	Anwendungsbereich	1
3	Normative Verweisungen	3
4	Begriffe und Definitionen	3
5	Konstruktive Eigenschaften	5
	5.1 Allgemeines	
	5.2 Druckfestigkeit	
	5.3 Zugfestigkeit	
	5.4 Elastizitätsmodul	
	5.5 Kriechen	
	5.6 Schwinden	
	5.7 Wärmedehnzahl (coefficient of thermal expansion)	
	5.8 Verbund zur Bewehrung, Vorspannung und zu Drähten	
	5.9 Schubkraftübertragung (shear force capacity) zwischen Betonierlagen	
	5.10 Brandwiderstand	
	5.11 Dauerhaftigkeit	
	5.12 Referenzen	
	5.13 Zusätzliche Literatur	
6	Festlegungen (specifying) für SCC-Transport- und Ortbeton	10
	6.1 Allgemeines	
	6.2 Festlegungen	
	6.3 Anforderungen an SCC in frischem Zustand	
	6.4 Klassifikation der Konsistenz	
	6.5 Festlegungsbeispiele	
7	Bestandteile (constituent materials)	15
	7.1 Allgemeines	
	7.2 Zement	
	7.3 Zusatzstoffe	
	7.4 Gesteinskörnungen	
	7.5 Zusatzmittel	
	7.6 Pigmente	
	7.7 Fasern	
	7.8 Anmachwasser	
8	Rezeptur	19
	8.1 Allgemeines	
	8.2 Prinzipien zur Erstellung von Betonrezepturen	
	8.3 Prüfverfahren	
	8.4 Grundrezeptur	
	8.5 Hinweise zur Erstellung einer Betonrezeptur	
	8.6 Robustheit des Frischbetons (robustness)	
9	Herstellung von Transport- und Ortbeton-SCC	24
	9.1 Allgemeines	
	9.2 Lagerung der Bestandteile	
	9.3 Betonmischer und Versuchsmischungen	
	9.4 Mischverfahren im Werk	
	9.5 Produktionskontrolle	
	9.6 Transport und Lieferung	
	9.7 Übernahme auf der Baustelle - Regelungen	

10	Anforderungen und Vorbereitungen auf der Baustelle	28
	10.1 Allgemeines	
	10.2 Kontrolle auf der Baustelle	
	10.3 Anpassung, Korrektur der Mischung	
	10.4 Überwachung und Qualifikationen	
	10.5 Schalungsdruck	
	10.6 Schalungskonstruktion	
	10.7 Schalungsvorbereitung	
	10.8 Schalung für das Pumpen von unten nach oben	
11	Einbau und Nachbehandlung	32
	11.1 Allgemeines	
	11.2 Entladung	
	11.3 Einbauverfahren und -geschwindigkeit	
	11.4 Einbau mit Pumpe	
	11.5 Einbau mittels Betonrutsche oder Kübel	
	11.6 Rütteln	
	11.7 Oberflächenbehandlung von Platten	
	11.8 Nachbehandlung	
12	Betonfertigteile	37
	12.1 Allgemeines	
	12.2 Spezifikation von Betonfertigteilen aus SCC	
	12.3 Rezepturen für Betonfertigteile aus SCC	
	12.4 Schalungen	
	12.5 Herstellung im Werk	
	12.6 Einbau	
	12.7 Endbearbeitung, Nachbehandlung und Entschalung	
13	Aussehen und Oberflächenqualität	40
	13.1 Allgemeines	
	13.2 Lufteinschlüsse	
	13.3 Nesterbildung	
	13.4 Farbgleichheit und Abweichungen in der Oberfläche	
	13.5 Minimierung von Oberflächenrissen	

## Anhang

A	Anforderungen für SCC	43
A.1	Anwendungsbereich	43
A.2	Normative Verweisungen	43
A.3	Definitionen, Symbole und Abkürzungen	43
A.4	Klassifikation	44
A.5	Anforderungen für Beton und Überprüfungsverfahren	45
A.6	Lieferung von Frischbeton	45
A.7	Konformitätskontrolle und Konformitätskriterien	46
A.8	Produktionskontrolle	46
B	Prüfmethoden	47
B.1	Prüfung von Frischbeton – Teil B1: Fließmaß und $T_{500}$ -Zeit für SCC	47
B.2	Frischbetonprüfung – Teil B2: V-Trichter-Test	50
B.3	Frischbetonprüfung – Teil B3: L-Box-Test	53
B.4	Frischbetonprüfung – Teil B4: Siebtest zur Prüfung der Sicherheit gegen Entmischen	57
C	Verbesserung der Oberfläche von SCC	60

## 1 Einführung

Selbstverdichtender Beton, in weiterer Folge mit „SCC“ – Self Compacting Concrete bezeichnet, ist ein innovativer Beton, der für den Einbau keine Verdichtung benötigt. Er fließt bzw. verdichtet sich durch sein eigenes Gewicht, füllt die Verschalung komplett aus und erreicht eine vollständige Verdichtung auch bei sehr dichter Bewehrung. Der erhärtete Beton ist dicht, homogen und hat die gleichen konstruktiven Eigenschaften und die Beständigkeit wie konventioneller Beton.

In Europa ist Beton, der wenig Verdichtung braucht, seit den frühen 70er-Jahren in Verwendung. SCC wurde jedoch erst in den späten 80er-Jahren in Japan entwickelt. In Europa kam er Mitte der 90er-Jahre, wahrscheinlich zuerst in Schweden für Ingenieur- und Infrastrukturbauten, zur Anwendung. Die EU unterstützte ein multinationales, von der Industrie geführtes Projekt „SCC“ von 1997-2000. Seit damals hat SCC in allen europäischen Ländern immer mehr Verwendung gefunden.

SCC bietet einen schnellen Betoneinbau mit kürzeren Bauzeiten sowie bessere Fließigenschaften um sehr dichte Bewehrung. Die Fließfähigkeit und die Sicherheit gegen Entmischung von SCC stellen ein hohes Maß an Homogenität, minimale Betonhohlräume und einheitliche Betondruckfestigkeit sicher. Damit ermöglicht SCC ein hohes Maß an Oberflächenqualität und Dauerhaftigkeit für das Bauwerk. SCC wird zumeist mit einem geringen Wasser-Bindemittel-Wert hergestellt und ermöglicht so hohe Frühfestigkeit, frühere Entschalung und raschere Verwendung der Elemente und Bauten.

Der Verzicht auf Rüttler verbessert das Umfeld auf Baustellen und in Fertigteilwerken, in denen Beton eingebaut wird. Die Arbeiter sind somit weniger Lärm und geringen Vibrationen ausgesetzt.

Die verbesserte Baupraxis und Baueigenschaften, machen zusammen mit den Vorteilen für Gesundheit und Sicherheit aus dem SCC eine sehr attraktive Lösung sowohl für Fertigteile als auch für den Einsatz als Transportbeton.

Im Jahr 2002 veröffentlichte EFNARC die „Spezifikation und Richtlinien für SCC“, welche damals den Stand der Technik für Hersteller und Anwender darstellte. Seit damals sind viele zusätzliche technische Informationen über SCC veröffentlicht worden. Die europäischen Planungs-, Produkt- und Konstruktionsnormen beziehen sich jedoch noch nicht auf SCC. Dadurch war die breite Akzeptanz seitens der Planer und Auftraggeber für Baustellenanwendungen eingeschränkt.

Im Jahre 1994 haben die fünf europäischen Organisationen BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA und EFNARC, die sich alle mit der Förderung von innovativen Materialien und Systemen für die Lieferung und Verwendung von Beton beschäftigen, eine „Europäische Projektgruppe“ gegründet, um die aktuelle „Best Practice“ zu überprüfen und ein neues Dokument zu erstellen, das alle Aspekte über SCC umfasst. Dieses Dokument **„Europäische Richtlinien für SCC“** behandelt insbesondere jene Punkte, die in den europäischen Festlegungen, Normen und akzeptierten Prüfmethode fehlen.

## 2 Anwendungsbereich

Die **„Europäischen Richtlinien für SCC“** stellen ein Dokument nach dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der Publizierung dar, das sich an jene Planer, Konstrukteure, Auftraggeber, Hersteller und Anwender wendet, welche ihr Knowhow über die Verwendung von SCC erweitern wollen. Die Richtlinien wurden unter Verwendung von reicher Erfahrung und Wissen erstellt, das der Europäischen Projektgruppe zur Verfügung stand. Die vorgeschlagenen Festlegungen und entsprechenden Prüfmethode für SCC sind in einer pränormativen Form dargestellt. Sie versuchen, die Normierung bzw. Standardisierung auf europäischer Ebene zu erleichtern. Diese Vorgangsweise soll zu einer erhöhten Akzeptanz und Verwendung von SCC führen.

Die **„Europäischen Richtlinien für SCC“** definieren SCC selbst und viele der technischen Ausdrücke, die zur Beschreibung der Eigenschaften und der Anwendung von SCC verwendet werden. Sie bieten auch Informationen über Normen im Zusammenhang mit der Prüfung von SCC und über Normen zu Bestandteilen, die bei der Herstellung von SCC verwendet werden.

Um Planern in der Einhaltung der EN 1992-1-1 „Planung von Betonbauten“ (Eurocode 2) auch beim Einsatz von SCC Sicherheit zu geben, werden Dauerhaftigkeit und andere konstruktive Eigenschaften des erhärteten Betons behandelt.

Die Richtlinie umfasst Anforderungen an SCC, die sowohl Transportbeton-, Ortbeton- als auch die Betonfertigteilindustrie gemeinsam haben. Abschnitt 12 behandelt die speziellen Anforderungen an Betonfertigteilprodukte.

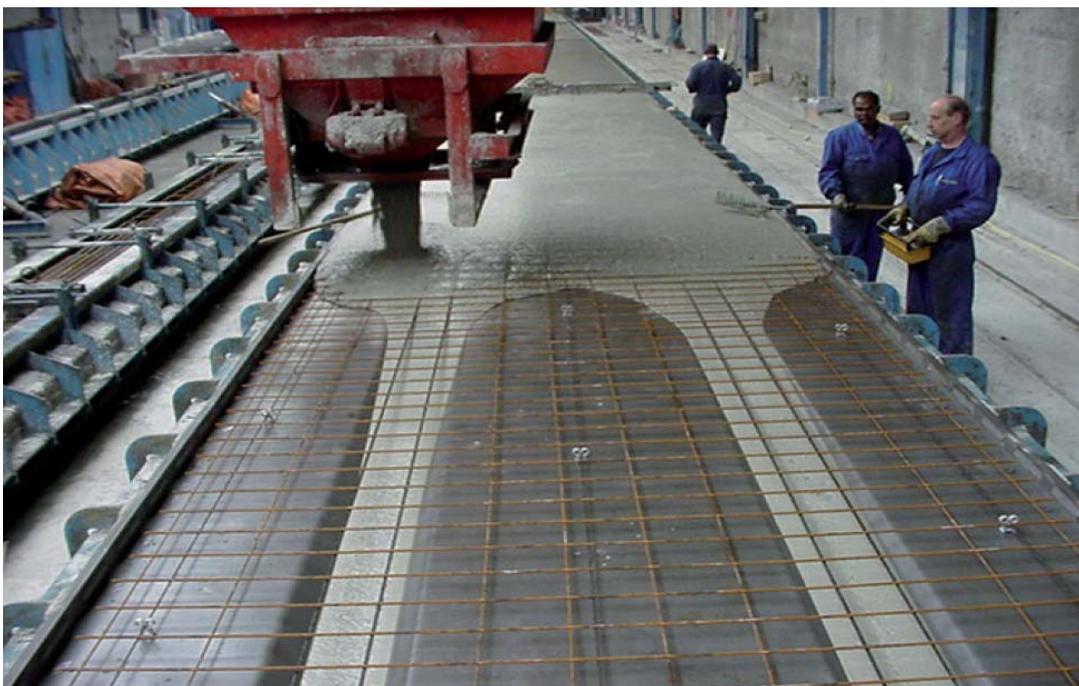
Die Richtlinie ist mit Schwerpunkt auf Transport- und Ortbeton erstellt. In diesen Bereichen werden Anforderungen an die Lieferbedingungen zwischen dem Verarbeiter und dem Lieferanten gestellt, welche die Spezifikation von Frisch- und Festbeton betreffen. Zusätzlich umfasst die Richtlinie spezielle und wichtige Anforderungen für den SCC-Anwender hinsichtlich der Vorbereitung der Baustelle und der Einbaumethoden, da sich diese von konventionell verdichtetem Beton unterscheiden.

Die Festlegung von Beton bei Fertigteilen basiert üblicherweise auf der Qualität des Endprodukts in erhärtetem Zustand gemäß den Anforderungen der entsprechenden Produktnormen auf der Grundlage der EN 13369: „Allgemeine Regeln für Betonfertigteile“. Die EN 13369 bezieht sich nur auf diejenigen Teile der EN 206-1, welche die Anforderungen für den Beton in erhärtetem Zustand betreffen. Die Anforderungen an den Beton in frischem Zustand werden durch interne Spezifikationen des Herstellers definiert.

Die Richtlinie beschreibt die Eigenschaften von SCC in frischem und erhärtetem Zustand und gibt dem Planer und Anwender von Transport- und Ortbeton Hinweise, wie SCC in Bezug auf die derzeitige europäische Norm für Beton, EN 206-1, festgelegt werden soll. Die Richtlinie beschreibt auch die erforderlichen Prüfmethode. Die angeführten Festlegungen und Prüfmethode haben „pränormativen“ Charakter.

Hilfestellung wird dem Hersteller bei der Kontrolle, Anwendung und Wechselwirkungen von Gesteinskörnungen und Zusatzmitteln gegeben. Da es eine Reihe von verschiedenen Möglichkeiten zur Erstellung von SCC-Rezepturen gibt, wird keine spezielle Methode empfohlen. Es wird jedoch eine umfangreiche Literaturliste zur Verfügung gestellt, welche sich auf verschiedene Methoden der Erstellung von Betonrezepturen bezieht.

Hilfestellung wird dem Auftraggeber/Anwender von Transport- und Ortbeton bei der Lieferung und beim Einbau gegeben. Die Richtlinie versucht, spezielle Ratschläge im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Anforderungen aller betroffenen Bereiche zu geben. Zum Beispiel sind frühes Abbinden und frühe Festigkeit für Hersteller für Betonfertigteile wichtig, während bei der Anwendung vor Ort die Beibehaltung der Verarbeitbarkeit wichtiger sein kann.



### 3 Normative Verweisungen

EN 197-1	Zement Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement
EN 206-1	Beton Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
EN 450-1	Flugasche für Beton Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien
EN 450-2	Flugasche für Beton Teil 2: Konformitätsbewertung
EN 934-2	Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel Teil 2: Betonzusatzmittel – Definitionen und Anforderungen
EN 1008	Zugabewasser von Beton: Festlegung für Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton
EN1992-1	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau; Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
EN 12350-1	Prüfung von Frischbeton Teil 1: Probennahme
EN 12350-2	Prüfung von Frischbeton Teil 2: Setzmaß
EN 12620	Gesteinskörnungen für Beton
EN 12878	Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen – Anforderungen und Prüfverfahren
EN 13055-1	Leichte Gesteinskörnungen – Teil 1: Leichte Gesteinskörnungen für Beton, Mörtel und Einpressmörtel
EN 13263-1	Silikastaub für Beton Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien
EN 13263-2	Silikastaub für Beton Teil 2: Konformitätsbewertung
EN 13369	Allgemeine Regeln für Betonfertigteile
EN 13670	Execution of concrete structures
EN 14889	Fasern für Beton Teil 1: Stahlfasern – Begriffe, Festlegung und Konformität Fasern für Beton Teil 2: Polymerfasern – Begriffe, Festlegung und Konformität
EN 15167-1	Hüttensand zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien
EN 15167 -2	Hüttensand zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 2: Konformitätsbewertung
DIN ISO 5725	Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen
ISO 5725	Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results
EN ISO 9001	Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen

Anmerkung: Einige dieser EN-Normen sind noch immer in Vorbereitung; es sollte auf die neueste Ausgabe von undatierten Normen Bezug genommen werden.

### 4 Begriffe und Definitionen

In dieser Publikation finden die folgenden Definitionen Anwendung:

#### Zusatzstoff

Fein verteiltes anorganisches Material, das in Beton verwendet wird, um gewisse Eigenschaften zu verbessern bzw. besondere Eigenschaften zu erreichen. Diese Richtlinie bezieht sich auf zwei Arten von anorganischen Zusatzstoffen, die in EN 206-1 definiert sind:

beinahe inaktive Zusatzstoffe (Typ I); puzzolanische oder latent hydraulische Zusatzstoffe (Typ II).

#### Zusatzmittel

Stoff, der während des Mischvorganges in kleinen Mengen bezogen auf den Zementgehalt zugegeben wird, um die Eigenschaften des Frischbetons oder des Festbetons zu verändern.

#### Bindemittel

Zement, dem ein hydraulischer Zusatzstoff beigegeben werden kann und der die jeweiligen Anforderungen erfüllt.

#### Füllfähigkeit (filling ability)

Die Fähigkeit des Frischbetons, in alle Räume innerhalb der Schalung unter seinem eigenen Gewicht zu fließen und diese auszufüllen.

**Feinstoffe**

Siehe Feinteile.

**Fließfähigkeit (flowability)**

Die Fließeigenschaft von frischem Beton, die durch Schalung bzw. Bewehrung nicht behindert wird.

**Fließfähigkeit (fluidity)**

Die Fließfähigkeit von frischem Beton.

**Mörtel**

Diejenige Betonfraktion, die Zementleim sowie Bestandteile unter 4 mm umfasst.

**Zementleim**

Diejenige Betonfraktion, welche Feinteile, Wasser und Luft sowie, falls vorhanden, Zusatzmittel umfasst.

**Durchgangsfähigkeit (passing ability)**

Die Fähigkeit von frischem Beton, durch enge Öffnungen wie z. B. Räume zwischen Stahlbewehrungsstäben ohne Entmischung oder Verstopfung zu fließen.

**Feinteile**

Material mit einer Partikelgröße von unter 0,125 mm

Anmerkung: Darunter können Zement, Zusatzstoffe und Gesteinskörnung fallen.

**Proprietary concrete**

Beton, für den der Hersteller die Eigenschaften vorbehaltlich einer vorschriftsmäßigen Vorgangsweise bei Einbau, Verdichten und Erhärten garantiert und für den der Hersteller die Zusammensetzung nicht deklarieren muss.

**Robustheit (robustness)**

Die Eigenschaft von Beton, seine Frischbetoneigenschaften beizubehalten, wenn kleine Änderungen der Eigenschaften oder der Mengen der Bestandteile auftreten.

**Selbstverdichtender Beton (SCC)**

Beton, der unter seinem eigenen Gewicht fließt, sich selbst verdichtet und die Schalung auch bei dichter Bewehrung komplett ausfüllt. Er kann dies unter Beibehaltung der Homogenität und ohne Notwendigkeit einer zusätzlichen Verdichtung.

**Sicherheit gegen Entmischung**

Die Fähigkeit von Frischbeton in seiner Zusammensetzung homogen zu bleiben.

**Fließmaß (slump flow)**

Der mittlere Durchmesser der Ausbreitung von Frischbeton unter Verwendung eines herkömmlichen Ausbreitzylinders.

**Thixotropie**

Die Eigenschaft eines Materials (z. B. SCC) seine Fließfähigkeit zu verlieren, wenn es ungestört ruhen kann; Wiedergewinnung der Fließfähigkeit, wenn Energie zugeführt wird.

**Viskosität**

Der Fließwiderstand eines Materials (z. B. SCC)

Anmerkung: Die Viskosität von SCC kann über die Fließgeschwindigkeit T500 bei der Ermittlung des Fließmaßes oder über die Ausflusszeit im V-Trichter-Test angegeben werden.

**Viskosität beeinflussendes Zusatzmittel**

Dem Frischbeton beigemengtes Zusatzmittel, um die Kohäsion und die Sicherheit gegen Entmischung zu erhöhen.

## 5 Konstruktive Eigenschaften

### 5.1 Allgemeines

SCC und herkömmlicher Beton mit ähnlicher Druckfestigkeit haben vergleichbare Eigenschaften. Wenn es Unterschiede gibt, so werden diese üblicherweise durch die Sicherheiten, auf denen die Planungsnormen basieren, abgedeckt. Die Zusammensetzung von SCC unterscheidet sich von jener des herkömmlichen Betons. Informationen über geringfügige Unterschiede, die festgestellt wurden, werden deshalb in den folgenden Abschnitten dargestellt. Soweit möglich, wird auf EN1992-1 und EN206-1:2000 Bezug genommen [1] [2].

Die Dauerhaftigkeit, die Eigenschaft einer Betonkonstruktion, aggressiven Umwelteinflüssen während seiner geplanten Lebensdauer ohne Beeinflussung der geforderten Eigenschaften zu widerstehen, wird üblicherweise durch Festlegung von Umweltklassen abgedeckt. Dies führt zu Grenzwerten in der Betonzusammensetzung und zu Mindestbetondeckungen hinsichtlich der Bewehrung.

Bei der Planung von Betonbauten müssen Ingenieure auf eine Reihe von Betoneigenschaften achten, die nicht immer Teil der Betonspezifikation sind. Am relevantesten sind folgende Eigenschaften:

- Druckfestigkeit
- Zugfestigkeit
- Elastizitätsmodul
- Kriechen
- Schwinden
- Wärmeausdehnungskoeffizient
- Verbindung zur Bewehrung
- Scherfestigkeit (Scherwiderstand) in Arbeitsfugen
- Brandwiderstand

Wenn die Grenzbereiche der Anforderung an eine spezielle Betoneigenschaft erreicht werden, sollten Tests unter Beachtung der Expositionsbedingungen und der Dimensionen des konstruktiven Bauteils durchgeführt werden.

### 5.2 Druckfestigkeit

Im Vergleich zu konventionellem Beton mit einem ähnlichen W/B-Wert hat SCC normalerweise eine leicht höhere Festigkeit. Da zum Verdichten nicht gerüttelt wird, kommt es zu einer verbesserten Verbindung zwischen der Gesteinskörnung und dem gehärteten Zementleim. Die Festigkeitsentwicklung ist ähnlich, sodass eine Prüfung der Erhärtung (**maturity testing**) eine wirksame Möglichkeit zur Festigkeitsprüfung darstellt, unabhängig davon, ob beschleunigendes Heizen angewendet wird oder nicht.

Mehrere Betoneigenschaften hängen mit der Betondruckfestigkeit zusammen, der einzigen konstruktiven Eigenschaft des Betons, die routinemäßig festgelegt und getestet wird.

### 5.3 Zugfestigkeit

SCC kann in jeder festgelegten Druckfestigkeitsklasse geliefert werden. Für eine bestimmte Betonfestigkeitsklasse und einen Erhärtungsgrad kann die Zugfestigkeit dem Normalbeton entsprechend angenommen werden, da das Volumen des Zementleims (Zement + Feinteile + Wasser) keine signifikante Auswirkung auf die Zugfestigkeit besitzt.

Die Biegezugfestigkeit wird in der Planung zur Bewertung folgender Aspekte herangezogen:

- Rissmomente in vorgespannten Elementen
- Bewehrung zur Vermeidung von Rissbildung auf Grund von Temperaturunterschieden
- für die Zeichnung von Momentendeckungslinien

- für die Planung von unbewehrten Betondecken (concrete pavements)
- für die Planung von Faserbeton

Risse aufgrund von Spaltzugspannungen sollten im Allgemeinen vermieden werden. Beim Entspannen von vorgespannten Bauteilen stehen sowohl die Spaltzugspannungen um die Litzen als auch ihre Schlupfrate im Lasteinleitungsbereich im Zusammenhang mit der Druckfestigkeit  $f_{ct}$  zu diesem Zeitpunkt.

#### 5.4 Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul (E-Modul, das Verhältnis zwischen Spannung und Dehnung) wird bei der Berechnung der elastischen Durchbiegung häufig als Kontrollparameter in der Deckenplattenplanung und von vor- oder nachgespannten Elementen verwendet.

Da ein großer Teil des Betonvolumens aus Gesteinskörnung besteht, haben sowohl die Art und die Menge der Gesteinskörnung als auch sein E-Modul den größten Einfluss. Wenn man eine Gesteinskörnung mit einem hohen E-Modul wählt, wird der Elastizitätsmodul von Beton erhöht. Eine Erhöhung des Zementleimvolumens könnte jedoch den E-Modul wieder verringern. Da SCC häufig einen höheren Leimgehalt als konventioneller Beton hat, sind Unterschiede zu erwarten. Der E-Modul kann damit etwas geringer werden. Dieser Unterschied sollte durch die Sicherheitsannahmen, auf denen die in der EN1992-1-1 angegebenen Formeln basieren, genügend abgedeckt sein.

Wenn SCC einen leicht niedrigeren E-Modul als konventioneller Beton aufweist, wirkt sich dies auf die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Überhöhung aufgrund von Vor- und Nachspannen aus. Aus diesem Grund sollte eine sorgfältige Kontrolle der Festigkeit zum Zeitpunkt des Lösens der vor- und nachgespannten Litzen oder Drähte durchgeführt werden.

#### 5.5 Kriechen

Kriechen wird definiert als die allmähliche, zeitabhängige Verformung auf Grund sämtlicher auftretender ständiger Lasten.

Kriechen durch Druckspannungen reduziert die Vorspannkräfte in vorgespannten Betonelementen und verursacht einen langsamen Lastübergang vom Beton auf die Bewehrung. Kriechen durch Zugspannungen kann insofern ein Vorteil sein, als es die durch andere Verformungen induzierten Spannungen teilweise kompensiert, z. B. Schwinden durch Austrocknung und Temperatureinfluss.

Kriechen findet im Zementstein statt. Es wird durch die Porosität beeinflusst, welche direkt mit dem Wasser-Bindemittel-Wert zusammenhängt. Während der Hydratation reduziert sich die Porosität des Zementleims. Deswegen wird beim Beton das Kriechen mit der Zunahme der Festigkeit reduziert. Die Wahl der Zementsorte ist wichtig, wenn das zur Belastung notwendige Alter festgesetzt wird. Zemente, die schneller hydratisieren, haben eine höhere Frühfestigkeit, ein geringeres Spannungs-Festigkeits-Verhältnis und eine geringere Kriechrate. Da die Gesteinskörnungen das Kriechen des Zementleims beschränken, ist bei größerem Rauminhalt der Gesteinskörnung und höherem E-Modul der Gesteinskörnung die Kriechrate niedriger.

Aufgrund des größeren Rauminhaltes des Zementleims kann der Kriechkoeffizient für SCC höher sein, als für normalen Beton gleicher Festigkeit erwartet wird. Die Unterschiede sind jedoch klein und werden durch die Sicherheiten entsprechend den Eurocodes abgedeckt.

#### 5.6 Schwinden

Schwinden ist die Summe aus autogenem Schwinden und aus Schwinden beim Trocknen.

Autogenes Schwinden tritt während des Erstarrens auf und wird durch den internen Verbrauch von Wasser während der Hydratation verursacht. Das Volumen der Hydratationsprodukte ist kleiner als das ursprüngliche Volumen von nicht hydratisiertem Zement und Wasser. Diese Reduktion im Volumen verursacht Zugspannungen und führt zum autogenen Schwinden.

Schwinden durch Trocknung wird durch die Abgabe von Wasser aus dem Beton in die Atmosphäre verursacht. Im Allgemeinen erfolgt dieser Wasserverlust aus dem Zementleim. Es gibt auch Gesteinskörnungen, bei denen ein Wasserverlust aus der Gesteinskörnung erfolgt. Schwinden durch Trocknung erfolgt relativ langsam. Die dadurch induzierten Spannungen werden teilweise durch Zugkriechen ausgeglichen.

Die Gesteinskörnung schränkt das Schwinden des Zementleims ein. Je höher das Volumen der Gesteinskörnung und je höher der E-Modul der Gesteinskörnung ist, umso geringer ist das Schwinden durch Trocknung. Eine Verringerung des Größtkorns, welche zu einem höheren Zementleimvolumen führt, erhöht das Schwinden.

Die im Eurocode für normalen Beton angegebenen Werte und Formeln sind auch im Fall von SCC gültig.

Da die Betondruckfestigkeit mit dem Wasser-Bindemittel-Wert zusammenhängt, verringert sich das Schwinden durch Trocknung im SCC mit geringem W/B-Wert und das autogene Schwinden kann überwiegen.

Tests zum Kriechen und Schwinden mit verschiedenen Arten von SCC und einem Referenzbeton [7] zeigen, dass beim SCC

- die durch Schwinden verursachte Verformung höher sein kann
- die durch Kriechen verursachte Verformung geringer sein kann
- die Werte für die Summe der Verformungen aufgrund von Schwinden und Kriechen ähnlich sind.

Aufgrund des Schwindens des Betons entstehen eine Spannung im Beton und ein Druck auf die Bewehrung.

### 5.7 Wärmedehnzahl (coefficient of thermal expansion)

Die Wärmedehnzahl von Beton beschreibt die im Beton erzeugte Dehnung nach einer Änderung der Temperatur pro °K, wenn die Dehnung nicht behindert wird.

Die Wärmedehnzahl des Betons variiert mit der Zusammensetzung, dem Alter und dem Feuchtigkeitsgehalt. Da ein großer Teil des Betons aus Gesteinskörnung besteht, reduziert die Verwendung einer Gesteinskörnung mit geringerer Wärmedehnzahl auch die Wärmedehnzahl des daraus resultierenden Betons. Die Verringerung der Wärmedehnzahl führt zu einer anteilmäßigen Verringerung der Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung.

Der Bereich der Wärmedehnzahl liegt zwischen  $0,8-1,3 \cdot 10^{-5}/K$ . EN 1992-1-1 führt an, dass, solange keine genauere Information erhältlich ist, diese mit  $1,0-1,3 \cdot 10^{-5}/K$  angenommen werden kann. Dieselbe Annahme gilt auch für SCC.

### 5.8 Verbund zur Bewehrung, Vorspannung und zu Drähten

Bewehrter Beton basiert auf einer wirksamen Verbindung zwischen Beton und den Bewehrungsstäben. Der Verbund sollte ausreichend sein, um ein Versagen der Verbindung zwischen Beton und Bewehrung zu verhindern. Der Verbund ist abhängig von der Lage der Bewehrung und der Qualität des Betons. Eine entsprechende Betondeckung ist notwendig, um den Verbund zwischen Stahl und Beton sicherzustellen.

Geringer Verbund resultiert häufig aus mangelndem Umschließen der Bewehrung durch den Beton während des Einbaus oder aus dem Bluten und der Entmischung des Betons vor dem Härten. Das Fließverhalten und die Haftung von SCC minimieren diese negativen Auswirkungen, insbesondere für oben liegende Bewehrung bei hohen Bauteilen [5].

Beim Vergleich der Verankerungslänge von Spannlitzen unter Verwendung von SCC bzw. von Normalbeton bei gleicher Beanspruchung zeigte sich, dass die Verankerungslänge für die in SCC eingebetteten Litzen auf der sicheren Seite im Vergleich zu den gemäß EN1992-1 und EN206-1 berechneten Werten liegt. Siehe auch [7] [8].

Auch wenn die Verbundwirkung im Allgemeinen bei der Verwendung von SCC besser ist, sollten die in den Normen angeführten Formeln Verwendung finden.

### 5.9 Schubkraftübertragung (shear force capacity) zwischen Betonierlagen

Die Oberfläche von gehärtetem SCC kann ziemlich glatt und undurchlässig sein. Ohne eine Behandlung der Oberfläche nach Einbau der ersten Schicht kann die Schubkraftübertragung zwischen zwei Betonierschichten geringer sein als bei Normalbeton. Eine Oberflächenbehandlung wie z. B.

Oberflächenverzögerer, Bürsten oder Oberflächenaufrauung sollte genügen, um die geforderte Schubkraftübertragung sicherzustellen. [7] [9].

## 5.10 Brandwiderstand

Beton ist nicht brennbar und unterstützt nicht die Ausbreitung der Flammen. Er erzeugt keinen Rauch, toxische Gase oder Emissionen, wenn er Feuer ausgesetzt wird, und er trägt nicht zur Brandlast bei. Beton hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit, was ihn zu einem wirksamen Brandschild zwischen benachbarten Abschnitten macht. Unter typischen Brandbedingungen bleibt der Großteil der Festigkeit des Betons erhalten. Die Europäische Kommission hat Beton die höchstmögliche Brandwiderstandsklasse, nämlich A1, gegeben.

Der Brandwiderstand von SCC ist ähnlich dem von Normalbeton [7]. Im Allgemeinen kann ein gering durchlässiger Beton unter Brandlast mehr Abplatzungen aufweisen, jedoch hängt die Schwere vom Typ der Gesteinskörnung, der Betonqualität und vom Feuchtigkeitsgehalt ab [6]. SCC kann leicht die Erfordernisse für hochfesten, gering durchlässigen Beton erreichen und verhält sich ähnlich wie jeder normale hochfeste Beton unter Brandbedingungen [7].

Die Verwendung von Polypropylenfasern in Beton hat sich als wirksam für die Erhöhung des Abplatzwiderstandes erwiesen. Der Grund liegt darin, dass die in die Zementmatrix eingebetteten Fasern schmelzen. Die dadurch entstandenen Poren bilden dann Ausdehnungskammern für Wasserdampf und reduzieren damit die Gefahr des Abplatzens. Polypropylenfasern wurden erfolgreich bei SCC angewendet.

## 5.11 Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit eines Betonbaus hängt eng mit der Dichtheit der Oberflächenschicht zusammen, d. h. jener Schicht, welche das Eindringen von Substanzen begrenzen soll, die mögliche schädliche Wirkungen auslösen können (CO<sub>2</sub>, Chlorid, Sulfat, Wasser, Sauerstoff, Alkali, Säuren usw.). In der Praxis hängt die Dauerhaftigkeit von der Materialauswahl, der Betonzusammensetzung, aber auch vom Ausmaß der Überwachung während des Einbaus, der Verdichtung und der Nachbehandlung ab.

Hauptursache für eine verminderte Dauerhaftigkeit von bewehrten Betonbauten, die aggressiver Umgebung ausgesetzt sind, ist die mangelnde Verdichtung des Betons an der Oberfläche. Bei Verdichtung mit herkömmlichen Rüttlern tritt dies vor allem bei sehr eng liegender Bewehrung oder bei geringer Überdeckung (auch zu Einbauteilen) auf.

Die Vermeidung dieser Fehlerquellen war ursprünglich einer der Hauptgründe für die Entwicklung von SCC in Japan.

Konventioneller Beton wird durch Rütteln oder Stampfen verdichtet. Dies ist ein unregelmäßiger Prozess. Auch bei richtiger Ausführung einer internen Rüttelung (Tauchrüttler) erhält der Beton nicht einmal innerhalb des Einflussbereichs des Rüttlers durchgehend die gleiche Verdichtungsenergie. Ähnlich ist im Falle einer externen Rüttelung die resultierende Verdichtung im Wesentlichen heterogen und hängt vom Abstand zu den Rüttlern ab.

Das Ergebnis der Verdichtung durch Rütteln ist deshalb ein Beton mit unterschiedlicher Dichtheit, was das selektive Eindringen von aggressiven Substanzen verstärkt. Natürlich haben die Folgen einer schlechten Verdichtung (Nesterbildung, Entmischung, Bluten usw.) eine starke negative Auswirkung auf die Dichtheit und somit auf die Dauerhaftigkeit.

**Ein richtig zusammengesetzter SCC ist frei von diesen Fehlern und führt zu einem Material von hoher und einheitlicher Dichtheit. Er bietet weniger Schwachpunkte für schädliche Umwelteinwirkungen und somit eine bessere Dauerhaftigkeit.** Die Dichtheit von SCC und Normalbeton hängt auch von der Auswahl der Bestandteile und dem wirksamen Wasser-Bindemittel-Wert ab.

Es gibt entweder nationale standardisierte oder von RILEM empfohlene Testmethoden zur Messung der Dichtheit von Beton im Labor und „in situ“ als Indikatoren für die Dauerhaftigkeit. Beide Normen, EN1992-1 und EN206-1, berücksichtigen die Dauerhaftigkeit durch die Festlegung von

Umweltklassen, die zu Grenzwerten bei der Betonzusammensetzung und zur Mindestbetondeckung der Bewehrung führen [1] [2].

## 5.12 Referenzen

- [1] EN1992-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall.
- [2] EN 206-1/2005 Beton Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.
- [3] BROOKS, J.: *Elasticity, shrinkage, creep and thermal movement*. Advanced Concrete Technology – Concrete properties, hrsg. von John Newman und Ban Seng Choo, ISBN 0 7506 5104 0, 2003.
- [4] HARRISON, T.: *A Early-age thermal crack control in concrete*. CIRIA Report 91, überarbeitete Ausgabe 1992, ISBN 0 86017 329 1.
- [5] SONEBI, M., WENZHONG, Z. und GIBBS, J.: *Bond of reinforcement in self-compacting concrete* – CONCRETE July-August 2001.
- [6] CATHER, R.: *Concrete and fire exposure*. Advanced Concrete Technology – Concrete properties, hrsg. von John Newman und Ban Seng Choo, ISBN 0 7506 5104 0, 2003.
- [7] DEN UIJL, J. A.: *Zelfverdichtend Beton, CUR Rapport 2002-4 -Onderzoek in opdracht van CUR Commissie B79 Zelfverdichtend Beton, Stichting CUR, ISBN 90 3760 242 8.*
- [8] VAN KEULEN, D. C.: *Onderzoek naar eigenschappen van Zelfverdichtend Beton, Rapport TUE/BCO/00.07, April 2000.*
- [9] JANMAAT, D., WELZEN M. J. P.: *Schuifkrachtoverdracht in schuifvlakken van zelfverdichtend beton bij prefab elementen, Master Thesis, Rapport TUE/CCO/A-2004-6.*

## 5.13 Zusätzliche Literatur

Macht, J., Nischer, P.: Weiche Betone mit verschiedenem Mehlkorn – Maßnahmen zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit. Betonwerk + Fertigteiltechnik DFT, Heft 8/2006, Gütersloh.

Abb. 5.1: Oberflächendetail eines Fertigteilelementes aus SCC



## 6 Festlegungen (specifying) für SCC-Transport- und Ortbeton

### 6.1 Allgemeines

Die Festlegungen der Eigenschaften und der Konformitätserfordernisse für „konstruktiven“ Beton sind in EN 206-1 angeführt. Einige Frischbetoneigenschaften von SCC sind in dieser Norm nicht ausreichend geregelt. Für die Bestimmung der für SCC zutreffenden Frischbetoneigenschaften ist keine der in der derzeitigen EN-12350-Serie „Prüfung von Frischbeton“ angegebenen Methoden geeignet. Für SCC geeignete Testmethoden werden in Anhang B dieser Richtlinien angegeben. Es ist vorgesehen, dass die EN-Normenserie EN 12350 ausgeweitet wird, um auch die Prüfmethode für SCC abzudecken.

Die Füllfähigkeit und die Stabilität von SCC können am Frischbeton durch vier Schlüsseigenschaften definiert werden. Jede Eigenschaft kann durch eine oder mehrere Prüfmethode geprüft werden:

Eigenschaft	Bevorzugte Prüfmethode(n)
Fließfähigkeit	Fließmaßtest
Viskosität (bestimmt durch Fließrate)	T <sub>500</sub> -Fließmaßtest oder V-Trichter-Test
Durchgangsfähigkeit	L-Box-Test
Entmischung	Siebentmischungstest

Die genannten Prüfmethode für SCC werden in Anhang B beschrieben.

Alle Details für die Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität von SCC, sofern diese EN 206-1 ergänzen, werden in Anhang A beschrieben.

Weitere Hinweise auf die Festlegungen von SCC als Frischbeton werden in den Abschnitten 6.3 und 6.4 behandelt.

### 6.2 Festlegungen

SCC wird normalerweise entweder mit vorgegebenem Rezept oder als „proprietary concrete“ (Definition siehe Abschnitt 4) festgelegt.

Die Methode, ein Rezept vorzugeben, ist am besten dann geeignet, wenn der Planer (specifier) des Betons und Hersteller/Verarbeiter identisch sind, z. B. bei Ortbeton.

Aus wirtschaftlichen Gründen wird der Transportbetonhersteller wahrscheinlich (in Abstimmung zwischen Auftraggeber und Hersteller) die Spezifikationsmethode für „proprietary concrete“ bevorzugen (siehe Anhang A). Die Proprietary-Methode konzentriert sich auf die Eigenschaften des Betons und überträgt dem Hersteller die Verantwortung, die geforderten Eigenschaften zu erreichen. Es ist üblicherweise für den Planer des Betons (specifier) nicht praktikabel, einen eigenen SCC zu entwickeln und die Rezeptur dem Hersteller vorzuschreiben und davon unabhängig auch noch eine Festigkeitsklasse zu verlangen.

Die Festlegung für SCC unter Verwendung der Proprietary-concrete-Methode enthält:

- Grundanforderungen gemäß Abschnitt 6.2.1 dieser Richtlinie
- Bei Notwendigkeit zusätzliche Anforderungen gemäß Abschnitt 6.2.2

#### 6.2.1 Grundanforderungen

Die Festlegung für SCC hat zu enthalten:

- Erfüllung der Anforderungen der Europäischen Richtlinien für SCC, Mai 2005, Anhang A
- Druckfestigkeitsklasse (siehe Anmerkung 1 und EN 206-1: 2000, **4.3.1**)
- Expositionsklasse(n) bzw. Grenzwerte der Zusammensetzung, z. B. maximaler Wasser-Bindemittel-Wert, Mindestzementgehalt (siehe auch: Vorkehrungen am Verwendungsort)
- Größtkorn

- e) Chloridklasse (siehe EN 206-1: 2000, **5.2.7**)
- f) Fließmaß Klasse bzw. in speziellen Fällen einen Zielwert (siehe Anhang A, Tabelle A.6)

Anmerkung 1: In einigen EU-Mitgliedsstaaten werden gemäß den Nationalen Anwendungsdokumenten (NAD) nur spezielle Festigkeitsklassen angewandt.

Anmerkung 2: Es sollte darauf geachtet werden, dass der Produzent ein akkreditiertes Qualitätssicherungssystem umsetzt, das sich an den Erfordernissen von EN ISO 9001 orientiert.

### 6.2.2 Zusätzliche Anforderungen

Zusätzlich zu den Grundanforderungen (Abschnitt 6.2.1) hat die Festlegung für SCC die folgenden zusätzlichen Anforderungen und Bestimmungen zu enthalten, wenn sie als notwendig erachtet werden. Die zusätzlichen Festlegungen können Anforderungen an die Eigenschaften des Betons und die Prüfverfahren festlegen:

- a)  $T_{500}$ -Wert (Wert für Fließgeschwindigkeit - Viskosität) für den Fließmaßtest (siehe Anhang A, Tabelle A.1) oder eine V-Trichter-Klasse (siehe Anhang A, Tabelle A.2)
- b) L-Box-Klasse oder in speziellen Fällen einen Zielwert (siehe Anhang A, Tabelle A.3)
- c) Entmischungssicherheits-Klasse bzw. in speziellen Fällen einen Zielwert (siehe Anhang A, Tabelle A.4)
- d) Anforderungen an die Temperatur von Frischbeton, sofern sie von jenen in EN 206-1: 2000, **5.2.8** abweichen
- e) andere technische Erfordernisse.

Anmerkung 1: Wenn Prüfungen regelmäßig wiederkehrend verlangt werden, muss die Prüfhäufigkeit festgelegt werden.

### 6.3 Anforderungen an SCC in frischem Zustand

Spezielle Anforderungen an den SCC in frischem Zustand hängen von der Art der Anwendung ab, insbesondere von:

- Einschränkungen im Zusammenhang mit der Geometrie der Betonelemente, der Menge, dem Typ und der Lage der Bewehrung, von Einbauteilen, von der Betondeckung und Aussparungen usw.
- der Ausrüstung für die Betoneinbringung (z. B. Pumpe, direkt vom Fahrmischer, Betonkübel, Einbringschlauch, „Schwanenhals“ usw.)
- der Betoneinbringung (z. B. Anzahl und Lage der Einbringstellen)
- der Nachbehandlung

Das in Anhang A detailliert angegebene Klassifizierungssystem ermöglicht eine geeignete Festlegung an den SCC, um die notwendigen Anforderungen an den Beton abzudecken

– Fließfähigkeit (Fließmaß)	Slump-Flow SF	3 Klassen
– Viskosität (Maß der Fließgeschwindigkeit)	Viskosity VS oder VF	2 Klassen
– Durchgangsfähigkeit	Passing Ability - PA	2 Klassen
– Sicherheit gegen Entmischung	Segregation resistance - SR	2 Klassen

Details der Testmethoden für diese Eigenschaften finden Sie in Anhang B.

Informationen zur Auswahl von Parametern und Klassen werden in Abschnitt 6.4 angegeben.

Die Anforderungen an SCC in frischem Zustand sollten aus einer oder mehreren dieser vier Hauptmerkmale gewählt und in weiterer Folge nach der Klasse oder dem Zielwert gemäß Anhang A festgelegt werden.

Für Transport- oder Ortbeton sollten die Eigenschaften nach Klassen sorgfältig ausgewählt und kontrolliert werden. Weiters sollten diese auf Grundlage der Erfahrung des Auftragnehmers und/

oder des Betonherstellers oder durch spezielle Versuche abgesichert werden. Es ist deshalb wichtig, dass der Betonkäufer (Auftraggeber für den Beton) und der Betonhersteller diese Eigenschaften vor dem Beginn des Projekts klar definieren.

Der Betonkäufer sollte nur jene Eigenschaften des Frischbetons verlangen, die für die spezielle SCC-Anwendung notwendig sind, um eine Überspezifikation sowohl der Betoneigenschaften als auch -klassen zu vermeiden. Das Fließmaß wird üblicherweise für jeden SCC festgelegt.

Die Durchgangsfähigkeit, Viskosität und Sicherheit gegen Entmischung beeinflussen die Eigenschaften des erhärteten Betons. Sie sollten jedoch nur dann festgelegt werden, wenn sie speziell benötigt werden.

- Wenn wenig oder gar keine Bewehrung vorhanden ist, kann es sein, dass die Spezifikation „Durchgangsfähigkeit“ als Anforderung nicht festgelegt werden muss.
- Viskosität kann wichtig sein, wenn eine gute Oberflächenqualität erforderlich ist oder die Bewehrung sehr dicht ist. In den meisten anderen Fällen sollte sie jedoch nicht festgelegt werden.
- Sicherheit gegen Entmischung wird bei SCC mit höherem Fließmaß und geringerer Viskosität zunehmend wichtiger. Wenn sie festgelegt werden muss, hat sich Klasse 1 für die meisten Anwendungen als geeignet erwiesen.

Zusätzliche Festlegungen: Siehe Abschnitt 6.4.

Die erforderliche Zeit zur Beibehaltung der Verarbeitbarkeit hängt von Transport- und Einbauzeit ab. Diese sollte festgelegt werden. Es liegt in der Verantwortung des Herstellers, sicherzustellen, dass der SCC die festgelegten Frischbetoneigenschaften während dieses Zeitraums beibehält.

Die Einbringung von SCC sollte kontinuierlich erfolgen. Es sollte daher die Liefergeschwindigkeit mit der Einbaugeschwindigkeit abgestimmt werden, um Unterbrechungen der Betoneinbringung (aus welchem Grund auch immer) zu vermeiden.

## **6.4 Klassifikation der Konsistenz**

### **6.4.1 Fließmaß**

Der Wert des Fließmaßes beschreibt die Ausbreitungsfähigkeit einer frischen Mischung ohne äußere Begrenzung. Es ist dies ein einfacher, aussagekräftiger Test, der normalerweise für jeden SCC festgelegt wird. Der Test ist die grundlegende Kontrolle, dass die Frischbetonkonsistenz die Festlegung erfüllt. Visuelle Beobachtungen während des Tests bzw. die Messung der  $T_{500}$ -Zeit geben zusätzliche Information über die Sicherheit gegen Entmischung und die Gleichmäßigkeit jeder Lieferung.

Nachfolgend sind typische Fließmaßklassen für eine Reihe von Anwendungen angegeben:

SF1 (550-650 mm) ist geeignet für

- nicht bewehrte oder leicht bewehrte Bauteile, bei denen die Betoneinbringung von oben erfolgt; der Beton kann sich von der Befüllungsstelle ungehindert ausbreiten (z. B. Wandplatten)
- Betoneinbringung mittels Pumpen (z. B. Tunnelauskleidungen)
- schlanke Bauteile, die kein langes horizontales Fließen erfordern (z.B. Pfähle und tiefe Gründungen).

SF2 (660-750 mm) ist für viele normale Anwendungen (z. B. Wände, Säulen) geeignet.

SF3 (760-850 mm) wird üblicherweise mit kleinem Größtkorn der Zuschläge hergestellt (weniger als 16 mm). Diese Klasse wird für vertikale Bauteile mit sehr dichter Bewehrung, für Bauteile mit komplexen und komplizierten Formen oder für Bauteile mit oben liegender Schalung verwendet. Für normale „vertikale“ Anwendungen erreicht man mit SF3 häufig eine bessere Oberflächenqualität als mit SF 2, jedoch ist die Gefahr einer Entmischung größer.

Zielwerte für das Fließmaß über 850 mm können in einigen Spezialfällen festgelegt werden, jedoch sollte dann große Aufmerksamkeit auf die Entmischung gelegt werden und das Größtkorn sollte normalerweise unter 12 mm liegen.

#### 6.4.2 Viskosität

Viskosität kann durch die  $T_{500}$ -Zeit während des Fließmaßtests oder durch die V-Trichter-Fließzeit bestimmt werden. Die gemessene Zeit steht mit der Viskosität über das Fließmaß in Zusammenhang, Beton mit einer geringen Viskosität fließt am Anfang sehr schnell und stoppt dann. Beton mit einer hohen Viskosität kann längere Zeit weiterkriechen.

Die Viskosität (gering oder hoch) sollte nur in den speziellen nachfolgend angeführten Fällen festgelegt werden. Sie kann während der Entwicklung der richtigen Mischung nützlich sein. Die Messung und Aufzeichnung der  $T_{500}$ -Zeit kann hilfreich sein, während der Fließmaßtest durchgeführt wird, um die Gleichheit des SCC von einer Charge zur anderen zu bestätigen.

VS1/VF1 hat eine gute Füllfähigkeit auch bei dichter Bewehrung. Dieser Beton ist selbstnivellierend und hat im Allgemeinen die beste Oberflächenqualität. Er „blutet“ und entmischt sich jedoch leichter.

VS2/VF2 hat keine Grenze nach oben. SCC neigt mit zunehmender Fließzeit dazu, thixotropische Effekte aufzuweisen. Diese sind bei der Beschränkung des Schalungsdruckes (siehe Abschnitt 10.5) oder bei der Verbesserung der Sicherheit gegen Entmischung von Vorteil. Negative Auswirkungen sind zu erwarten bezüglich der Oberflächenqualität (Lufteinschlüsse) und der Verbindung zwischen einzelnen Betonierabschnitten (z. B. durch Lieferverzögerungen).

#### 6.4.3 Durchgangsfähigkeit

Die Durchgangsfähigkeit beschreibt die Fähigkeit des Frischbetons zum Fließen durch eng begrenzte Bereiche und schmale Öffnungen, wie z. B. Bereiche mit dichter Bewehrung, ohne dass dabei Entmischung, Verlust der Gleichmäßigkeit bzw. Verstopfung auftreten. Bei der Definition des Fließvermögens um Hindernisse ist es notwendig, die Geometrie und Dichte der Bewehrung, die Fließfähigkeit/Füllfähigkeit und das Größtkorn zu beachten.

Die maßgebliche Abmessung ist die kleinste Öffnung (der Spalt), durch die (den) der SCC kontinuierlich fließen muss, um die Schalung auszufüllen. Diese Öffnung steht üblicherweise im Zusammenhang mit dem Abstand der Bewehrung. Der Raum zwischen Bewehrung und der Schalung ist normalerweise nicht maßgeblich, da der SCC die Stäbe umfließen kann. Bei sehr dichter Bewehrung muss der SCC den Raum zwischen Schalung und der Bewehrung kontinuierlich durchfließen und der Raum ist deshalb in diesem Fall zu beachten.

Beispiele zur Festlegung der Fließfähigkeit um Hindernisse:

PA 1 Bauteile mit Durchflussmöglichkeiten von 80 mm bis 100 mm  
(z. B. Wohnbau, vertikale Bauteile)

PA 2 Bauteile mit Durchflussmöglichkeiten von 60 mm bis 80 mm (z. B. Ingenieurbauten)

Für dünne Platten, in denen die Durchflussmöglichkeit größer als 80 mm ist, und für andere Bauteile, bei denen diese größer als 100 mm ist, muss dieser Wert nicht festgelegt werden.

Für komplexe Bauteile mit einer Mindestöffnung von weniger als 60 mm können spezielle Modellversuche vor der endgültigen Verarbeitung notwendig sein.

#### 6.4.4 Sicherheit gegen Entmischung

Die Sicherheit gegen Entmischung ist eine grundlegende Voraussetzung für die Homogenität und Qualität des SCC auf der Baustelle. SCC kann sich während und auch nach dem Einbau, jedoch vor dem Erhärten, entmischen. Entmischung, die nach dem Einbau erfolgt, ist bei großen Elementen äußerst nachteilig. Aber auch in dünnen Platten kann es zu Oberflächenfehlern wie z. B. Rissbildung oder einer schlechten Oberflächenqualität kommen.

Für den Fall, dass entsprechende Erfahrung fehlt, werden die folgenden allgemeinen Hinweise bezüglich der Sicherheitsklassen gegen Entmischung gegeben:

- Keine Festlegung der Klasse

Sicherheit gegen Entmischung ist ein wichtiger Parameter bei höheren Fließmaßklassen (bzw. geringen Viskositätsklassen) oder auch dann, wenn die Einbaubedingungen die Entmischung fördern. Wenn keine dieser angeführten Voraussetzungen zureffen, ist es normalerweise nicht notwendig, eine Sicherheitsklasse gegen Entmischung festzulegen.

- SR1 ist allgemein anwendbar für dünne Platten und für vertikale Anwendungen mit einer Fließdistanz von weniger als 5 Metern und einer Durchflussöffnung größer als 80 mm.
- SR2 wird in hohen, vertikalen Bauteilen vorgesehen, wenn die Fließdistanz mehr als 5 Meter beträgt (mit einer Durchflussöffnung größer als 80 mm), um die Entmischung während des Fließens zu berücksichtigen.  
 SR2 kann auch für größere vertikale Bauteile mit einer Durchflussöffnung von weniger als 80 mm verwendet werden, wenn die Fließdistanz weniger als 5 Meter beträgt. Wenn jedoch die Fließdistanz mehr als 5 Meter ist, wird ein Ziel-SR-Wert von weniger als 10 % empfohlen.  
 SR2 oder ein Zielwert sollte auch dann festgelegt werden, wenn die Festigkeit und Qualität der Oberfläche besonders kritisch sind.

### 6.5 Festlegungsbeispiele

Die folgende Tabelle führt die wichtigsten Parameter und Klassen an, die für die Festlegung von SCC für verschiedene Anwendungen berücksichtigt werden müssen. Dabei werden spezielle Bedingungen, die Geometrie der Bauelemente, die Einbaumethode oder die Eigenschaften der in der Betonmischung verwendenden Materialien nicht berücksichtigt. Die endgültige Festlegung des Betons sollte normalerweise in Absprache und Zusammenarbeit mit dem Betonhersteller erfolgen.

Viskosität				Sicherheit gegen Entmischung/ Durchgangsfähigkeit
VS 2 VF 2	Rampen			Durchgangsfähigkeit für SF1 & 2 festlegen
VS 1 oder 2 VF 1 oder 2 oder ein Zielwert.	Wände und Stützen		hoch und schlank	Sicherheit gegen Entmischung für SF 3 spezifizieren
VS 1 VF 1	Böden und Decken			Sicherheit gegen Entmischung festlegen für SF 2 & 3
	SF 1	SF 2	SF 3	
	Fließmaß			

**Eigenschaften von SCC für verschiedene Anwendungen auf der Grundlage von Walraven, 2003:** Walraven J.: (2003) Structural applications of self compacting concrete *Proceedings of 3rd RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland*, ed. Wallevik O. and Nielsson I.: RILEM Publications PRO 33, Bagneux, France, August 2003, S. 15-22.

## 7 Bestandteile (constituent materials)

### 7.1 Allgemeines

Die Bestandteile für SCC sind dieselben wie jene, die in herkömmlichem Beton gemäß EN 206-1 Anwendung finden. In den meisten Fällen sind die Anforderungen für Bestandteile individuell durch eigene europäische Normen abgedeckt. Um jedoch eine einheitliche und gleichmäßige Güte für SCC sicherzustellen, muss der ursprünglichen Auswahl und auch der laufenden Überwachung auf Einheitlichkeit der eingehenden Chargen zusätzliche Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Um diese Anforderungen zu erreichen, müssen die Kontrolle der Bestandteile erhöht und die zulässigen Abweichungen beschränkt werden. Damit entfällt in der laufenden Produktion von SCC innerhalb der Konformitätskriterien die Notwendigkeit der Prüfung jeder Charge.

### 7.2 Zement

Alle Zemente gemäß EN 197-1 können für die Produktion von SCC verwendet werden.

### 7.3 Zusatzstoffe

Aufgrund der geforderten Frischbetoneigenschaften an SCC werden üblicherweise inerte und puzzolische/hydraulische Zusatzstoffe verwendet, um sowohl die Kohäsion als auch die Sicherheit gegen Entmischung zu verbessern bzw. beizubehalten. Der Zusatz beeinflusst auch den Zementgehalt, um die Hydratationswärme und das Schwinden zu reduzieren.

Die Zusatzstoffe werden entsprechend der Reaktionseigenschaft mit Wasser klassifiziert.

TYPE I	inert oder semi-inert	– mineralische Füllstoffe (Kalkstein, Dolomit usw.) – Pigmente
TYPE II	puzzolanisch	– Flugasche gemäß EN 450 – Mikrosilica gemäß EN 13263
	hydraulisch	– Hüttensand (wenn der Hüttensand nicht einem Zement gem. EN 197-1 zugemahlen wird, finden nationale Normen Anwendung, bis die neue EN 15167 erscheint)

Andere Zusatzstoffe als jene, die gem. EN 197-1 dem Zement zugemahlen sind, können nicht so gut auf Partikelgrößenverteilung und -zusammensetzung kontrolliert werden wie andere Betonbestandteile. Eine erhöhte Überwachung der Anlieferungen kann notwendig werden.

SCC wird oft wegen seiner hochwertigen Oberflächenqualität gewählt. Es ist jedoch auf die Farbgleichheit aller Bestandteile des Betons zu achten.

#### 7.3.1 Mineralische Füllstoffe

Die Partikelgrößenverteilung, die Form und die Wasseraufnahme von mineralischen Füllstoffen können den Wasserbedarf sowie die Dosiergenauigkeit und dadurch die Eignung für die Verwendung zur Herstellung von SCC beeinflussen. Mineralische Füllstoffe aus Kalziumkarbonat finden häufig Verwendung. Sie bieten ausgezeichnete rheologische Eigenschaften und eine hohe Oberflächenqualität. Die günstigste Fraktion ist kleiner als 0,125 mm. Generell ist ein Anteil von >70 % des Siebdurchganges bei 0,063 mm wünschenswert. Speziell für diese Anwendung gemahlene Füllstoffe bieten den Vorteil von gleichmäßigen Chargen. Die gleichmäßige Korngrößenverteilung führt zur leichteren Kontrolle des Wasserbedarfes. Somit sind eigens gemahlene Füllstoffe für SCC besonders geeignet.

### 7.3.2 Flugasche

Flugasche hat sich als ein wirksamer Zusatzstoff für SCC erwiesen, welcher erhöhte Kohäsion und verringerte Empfindlichkeit gegenüber Änderungen im Wassergehalt zeigt. Jedoch können hohe Flugaschenmengen zu Klumpenbildungen führen, durch die die Fließfähigkeit verloren gehen kann.

### 7.3.3 Mikrosilica

Die Feinheit und die praktisch runde Form von Mikrosilica bewirken eine gute Kohäsion und erhöhte Sicherheit gegen Entmischung. Mikrosilica ist auch sehr wirksam bei der Verringerung bzw. Vermeidung von Bluten. Andererseits kann dies zu Problemen wegen zu rascher Oberflächenaushärtung führen, z. B. bei Unterbrechungen der Betonlieferung (Betonierabschnitte, Arbeitsfugen), oder zu Problemen in der Oberflächenqualität.

### 7.3.4 Hüttensand

Hüttensand ist ein reaktionsfähiger Feinstoff mit geringer Hydratationswärme. Hüttensand ist in einigen CEM-II- oder CEM-III-Zementen enthalten. Er ist in einigen Ländern auch als Zusatzstoff nach Typ I verfügbar und kann beim Mischvorgang beigemischt werden. Ein hoher Anteil an Hüttensand kann die Stabilität von SCC beeinträchtigen und zu Problemen in der Konsistenz führen. Umgekehrt kann ein langsames Erstarren auch die Gefahr der Entmischung erhöhen.

### 7.3.5 Andere Zusatzstoffe

Metakaolin, Naturpuzzolan, gemahlene Glas, luftgekühlte Schlacke und andere Füllstoffe können ebenfalls als Zusatzstoffe für SCC verwendet werden. Die Kurz- und Langzeitauswirkungen auf den Beton müssen jedoch sorgfältig untersucht werden.

## **7.4 Gesteinskörnungen**

Normalgesteinskörnungen sollten sowohl EN 12620 als auch den Dauerhaftigkeitsanforderungen gemäß EN 206-1 entsprechen. Leichtgesteinskörnungen sollten EN 13055-1 entsprechen.

Anmerkung: Korngrößen kleiner als 0,125 mm werden dem Mehlkorngesamt des SCC angerechnet.

Um SCC gleichbleibender Qualität zu erzeugen, sollten Feuchtegehalt, Wasseraufnahme, Sieblinien und Abweichungen im Feinstoffgehalt aller Gesteinskörnungen genau und kontinuierlich überwacht und bei der Rezeptur der einzelnen Mischungen berücksichtigt werden. Die Verwendung von gewaschenen Gesteinskörnungen ergibt üblicherweise ein gleichmäßiges Produkt. Eine Änderung der Herkunft der Gesteinskörnungen führt möglicherweise zu einer signifikanten Änderung der Betoneigenschaften und sollte sorgfältig überlegt werden.

Form und Korngrößenverteilung der Gesteinskörnung sind von großer Bedeutung und beeinflussen die Packungsdichte und den Porengehalt. Bei einigen Rezepturen wird der Porengehalt der Gesteinskörnung zur Berechnung der geforderten Menge an Zementleim berücksichtigt. Gesteinskörnungen einer Größe bzw. Ausfallskörnungen werden in einigen Rezepturen verwendet.

### 7.4.1 Grobe Gesteinskörnungen

Grobe Gesteinskörnungen gemäß EN 12620 sind für die Erzeugung von SCC geeignet. Leichtgesteinskörnungen können für SCC eingesetzt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die Gesteinskörner an die Oberfläche steigen können, wenn die Zementleimviskosität zu niedrig ist. Zur verlässlichen Feststellung dieser Eigenschaft von Leichtgesteinskörnungen ist der Siebentmischungstest nicht geeignet.

Die maximale Korngröße wird durch die Abstände der Bewehrungsstäbe und durch die Betondeckung bestimmt. Wenn der SCC um die Bewehrung fließen kann, kann die Bildung von Nestern verhindert werden. Der L-Box-Test ist ein Indikator des Fließvermögens um Hindernisse einer SCC-Mischung. Das maximale Größtkorn sollte auf 12-20 mm beschränkt werden, es kann jedoch auch größeres Größtkorn verwendet werden.

Die Sieblinie und die Form der groben Gesteinskörnung beeinflussen die Fließfähigkeit und das Fließvermögen um Hindernisse des SCC und seinen Zementleimbedarf. Je runder die Gesteinskörnung ist, umso geringer ist die Gefahr der Nesterbildung und umso größer ist die Fließfähigkeit aufgrund der reduzierten inneren Reibung.

#### 7.4.2 Feine Gesteinskörnung / Sande

Der Einfluss feiner Gesteinskörnung auf die Frischbetoneigenschaften des SCC ist wesentlich größer als jener der groben Gesteinskörnung. Die Gesteinskörnung unter 0,125 mm sollte dem Feinteilgehalt des Zementleims angerechnet werden und auch bei der Berechnung des Wasser-Feinteil-Wertes berücksichtigt werden.

Der hohe Zementleimanteil im SCC trägt zur Verringerung der inneren Reibung zwischen den Gesteinskörnern bei, jedoch ist auch eine gute Korngrößenverteilung von Bedeutung. Viele SCC-Rezepturen verwenden Mischsande, um eine optimierte Sieblinie zu erreichen. Dies kann zur Reduktion des Zementleimgehaltes beitragen. Einige Hersteller bevorzugen Ausfallskörnungen.

### **7.5 Zusatzmittel**

Superverflüssiger bzw. Fließmittel, gemäß EN 934-2 Tabelle 3.1 und 3.2, stellen eine wesentliche Komponente des SCC dar. Die Viskosität beeinflussende Zusatzmittel können auch verwendet werden, um die Entmischung und die Anfälligkeit des SCC auf Abweichungen bei den anderen Bestandteilen, insbesondere beim Feuchtegehalt, zu reduzieren. Andere Zusatzmittel wie Luftporenbildner, Erhärtungsbeschleuniger und -verzögerer können genauso verwendet werden wie bei konventionellem Beton. Dabei sollten die Empfehlungen des Zusatzmittelherstellers für die Verwendung und den optimalen Zeitpunkt der Zugabe berücksichtigt werden. Die Zusatzmittel sollten der EN 934-2 entsprechen.

Die Wahl des Zusatzmittels für optimale Eigenschaften kann durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bindemittels beziehungsweise der Zusatzstoffe beeinflusst werden. Faktoren wie z. B. Feinheit, Kohlenstoffgehalt, Alkalien und  $C_3A$ -Gehalt können Auswirkungen haben. Es wird deshalb empfohlen, dass die Verträglichkeit sorgfältig überprüft wird, wenn andere Bestandteile verwendet werden sollen bzw. ein Bestandteil anderer Herkunft eingesetzt wird.

Zusatzmittel haben normalerweise von Charge zu Charge sehr gleichmäßige Eigenschaften. Wenn die Type oder der Hersteller gewechselt werden, kann dies wesentliche Auswirkung auf die SCC-Eigenschaften haben.

#### 7.5.1 Superverflüssiger/Fließmittel

Die meisten Zusatzmittelhersteller bieten eine Reihe von Superverflüssigern an, die auf spezielle Anforderungen und Wechselwirkungen abgestimmt sind.

Das Zusatzmittel sollte die geforderte Wasserreduktion und die Fließfähigkeit bieten, jedoch auch die Anforderungen für den Transport und die Verarbeitung (z. B. dispergierende Wirkung) gewährleisten. Die geforderte Erhaltung der Konsistenz hängt von der Anwendung ab. Fertigteilbeton braucht eine kürzere Verarbeitungszeit als Beton, der zur Baustelle transportiert und dort eingebaut werden muss.

#### 7.5.2 Viskosität beeinflussende Zusatzmittel

Zusatzmittel, welche die Kohäsion des SCC - ohne wesentliche Beeinflussung des Fließvermögens - verändern, werden „Viskosität beeinflussende Zusatzmittel“ genannt.

Diese Zusatzmittel werden im SCC zur Minimierung der Auswirkung von Schwankungen im Feuchtegehalt, im Feinteilgehalt oder der Korngrößenverteilung verwendet. Dadurch werden die Eigenschaften des SCC unempfindlicher auf kleine Abweichungen in den Mischungsverhältnissen. Viskosität beeinflussende Zusatzmittel sollten nicht zum Ausgleich in nicht optimalen Betonrezepturen dienen und können eine sorgfältige Auswahl der SCC-Bestandteile nicht ersetzen.

Derzeit beinhaltet die EN 934-2 Viskosität beeinflussende Zusatzmittel nicht. Diese sollten jedoch den allgemeinen Anforderungen der Tabelle 1 von EN 934-2 entsprechen. Zusätzlich sollte der

Lieferant den Nachweis der Eigenschaften zur Verfügung stellen. Ein Entwurf für die Eignungsanforderungen von Viskosität beeinflussende Zusatzmitteln (auf der Grundlage von EN 934-2) ist der EFCA-Website [www.efca.info](http://www.efca.info) zu entnehmen.

### **7.5.3** Luftporenbildner

Luftporenbildner können bei der Herstellung von SCC verwendet werden, um die Frost-Tau-Beständigkeit zu verbessern. Sie werden auch verwendet, um die Oberflächengüte von Flachdecken zu verbessern. Der Einsatz von Luftporen ist besonders sinnvoll, um einen geringen Feinteilgehalt und SCC mit geringen Festigkeiten zu stabilisieren.

## **7.6** **Pigmente**

Pigmente gemäß EN12878 können auch bei SCC verwendet werden, wobei dieselben Anforderungen und Beschränkungen wie bei herkömmlichem Beton gelten. Sie können die Frischbetoneigenschaften beeinflussen. Bei der Zugabe von Pigmenten zu SCC sollten die Eigenschaften durch Versuche überprüft werden.

Die hohe Fließfähigkeit von SCC begünstigt die Verteilung der Pigmente und es können homogenere Farben, sowohl in als auch zwischen den einzelnen Chargen, erreicht werden. Der höhere Zementleimgehalt bei SCC kann eine höhere Pigmentdosierung notwendig machen, um die geforderte Farbdichte zu erreichen.

## **7.7** **Fasern**

Bei der Herstellung von SCC werden sowohl Stahl- als auch Polymerfasern verwendet. Diese können die Fließfähigkeit und das Fließvermögen um Hindernisse reduzieren. Deswegen sind Versuche notwendig, um optimalen Typ, Länge und Menge herauszufinden, um beim frischen als auch beim gehärteten Beton alle geforderten Eigenschaften zu erfüllen.

Polymerfasern können zur Verbesserung der Stabilität von SCC verwendet werden, da sie Absatzprozesse behindern und Rissbildungen aufgrund der Armierungswirkung der Fasern im Beton hintanhaltend.

Stahlfasern oder lange, strukturierte Polymerfasern werden zur Modifizierung der Duktilität des erhärteten Betons verwendet. Ihre Länge und Menge werden je nach der maximalen Korngröße und den konstruktiven Anforderungen ausgewählt. Wenn nur Fasern zur Aufnahme von Zugkräften verwendet werden, also die normale Bewehrung ersetzt wird, besteht keine Gefahr der Nesterbildung (es gibt ja keine Bewehrungsstäbe). Bei der Verwendung von SCC mit Fasern in Bauteilen mit konventioneller Bewehrung wird dagegen die Gefahr der Nesterbildung erheblich erhöht.

## **7.8** **Anmachwasser**

Wasser für SCC sollte der EN 1008 entsprechen. Bei der Verwendung von rezykliertem Wasser aus der Rückgewinnung von Prozessen im Betonwerk sollten der Typ und der Gehalt der Inhaltstoffe und insbesondere jede Veränderung im Gehalt von gelösten Stoffen berücksichtigt werden, da diese die Eigenschaften der Mischung von Charge zu Charge beeinflussen können.

## 8 Rezeptur

### 8.1 Allgemeines

Die Rezeptur wird zur Erfüllung aller Anforderungen für den Frisch- und Festbeton gewählt. Bei Transportbeton werden diese Anforderungen vom Besteller bekannt gegeben und sollten die in Kapitel 6 dieses Dokuments angeführten Anforderungen erfüllen.

### 8.2 Prinzipien zur Erstellung von Betonrezepturen

Prinzipien zur Erzielung der geforderten Frischbetoneigenschaften von SCC:

- Die Fließfähigkeit und die Viskosität des Zementleims werden durch sorgfältige Auswahl und durch richtige Anteile von Zement und Zusatzstoffen, durch Beschränkung des Wasser-Bindemittel-Wertes und durch Zugabe von Superverflüssiger und wenn erforderlich von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln angepasst und ausgeglichen. Die richtige Kontrolle dieser SCC-Bestandteile, ihre Verträglichkeit und ihre positive Wechselwirkung sind Voraussetzung einer guten Selbstverdichtung, für das Fließvermögen um Hindernisse und für die Sicherheit gegen Entmischung
- Um sowohl die Temperaturerhöhung und Schwindrissbildung als auch die Festigkeit zu steuern, kann der Zementgehalt begrenzt werden, wenn dem Feinteilgehalt ein entsprechender Anteil von Typ-I oder Typ-II Zusatzstoffen zugegeben wird.
- Die Gesteinskörner bewegen sich im Zementleim; deshalb muss das Volumen des Zementleims größer als das Restvolumen zwischen den Gesteinskörnern sein, sodass alle einzelnen Gesteinskörner von Zementleim umgeben sind. Dadurch wird die Fließfähigkeit erhöht und die Reibung zwischen den Gesteinskörnern reduziert.
- Das Verhältnis von grobem zu feinem Korn ist derart abgestuft, dass einzelne grobe Gesteinskörner gänzlich von Zementleim umgeben sind. Dies reduziert Verstopfungen und Nesterbildung, sodass der Beton durch enge Öffnungen oder enge Abstände zwischen der Bewehrung durchfließt. Damit wird das Fließvermögen um Hindernisse erhöht.

Diese Prinzipien für Betonrezepturen ergeben einen Beton (SCC), der im Vergleich zu herkömmlichem Beton normalerweise folgende Kennzeichen aufweist:

- einen geringeren Gehalt an grober Gesteinskörnung
- einen erhöhten Zementleimgehalt
- ein geringes Wasser-Feinteil-Verhältnis
- einen erhöhten Superverflüssigergehalt
- bei Bedarf ein Viskosität beeinflussendes Zusatzmittel

### 8.3 Prüfverfahren

Zur Messung und Bestimmung der Frischbetoneigenschaften von SCC wurde eine Reihe von Prüfverfahren entwickelt. Tabelle 8.1 listet die gebräuchlichsten Prüfungen geordnet nach den zu prüfenden Eigenschaften auf. Details zu fünf dieser Verfahren befinden sich in Anhang B. Diese Verfahren werden in Europa am häufigsten verwendet. Sie ermöglichen eine einigermaßen zuverlässige Einteilung in Klassen, wie sie in Anhang A beschrieben sind. Details zu den meisten anderen Verfahren der Tabelle 8.1 werden in den EFNARC-SCC-Richtlinien angeführt. Diese sind auf der Website [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org) oder im Bericht über das von der EU geförderte „SCC-Prüfungs-Projekt“ unter der Leitung der Paisley University verfügbar.

Projektwebseite: [www.civeng.ucl.ac.uk/research/concrete/Testing-SCC/](http://www.civeng.ucl.ac.uk/research/concrete/Testing-SCC/)

Mit keiner einzigen Prüfung können alle wichtigen Parameter gleichzeitig bestimmt werden. Eine Kombination dieser Prüfungen ist erforderlich, um die Eigenschaften einer SCC-Rezeptur vollständig zu bestimmen. Die europäische Projektgruppe, die diese Richtlinien erstellte, beschloss nur eine geringe Anzahl von Prüfverfahren zur Klassifizierung anzugeben. Diese Prüfverfahren sind detailliert in **Anhang B** angeführt, da sie mit den Klassen lt. Anhang A in Zusammenhang stehen.

Andere Prüfverfahren können für die Entwicklung von SCC-Rezepturen, für spezielle Anwendungsfälle oder für Identitätsprüfungen auf der Baustelle, die zwischen Hersteller und Verwender vereinbart wurden, zweckmäßig sein.

Der J-Ring-Versuch ist ein guter Indikator für die Bewertung des Fließvermögens um Hindernisse, der auf der Baustelle durchgeführt werden kann. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Richtlinien wurde festgestellt, dass weitere Entwicklungsarbeiten notwendig sind, bevor eine Einteilung in Klassen erfolgen kann.

Tabelle 8.1: Prüfeigenschaften und Verfahren zur Klassifizierung von SCC

Eigenschaft	Prüfverfahren	Messgrößen
Fließfähigkeit/Füllfähigkeit	Fließmaß	gesamte Ausbreitung
	Kajima-Box	visuelle Beurteilung der Verfüllung
Viskosität/Fließfähigkeit	T <sub>500</sub>	Fließzeit
	V-Trichter	Fließzeit
	O-Trichter	Fließzeit
	Orimet	Fließzeit
Fließvermögen um Hindernisse	L-Box	Verhältniszahl für den Durchfluss
	U-Box	Höhendifferenz
	J-Ring	Stufenhöhe (step height) Gesamtfluss (total flow)
	Kajima-Box	visuelle Beurteilung des Fließvermögens um Hindernisse
Sicherheit gegen Entmischung	(Durchdringung) penetration	Tiefe (depth)
	Siebtmischungstest	Prozentzahl
	Absetzsäule	Entmischungsverhältnis

Zusätzlich zu den in Tabelle 8.1 angeführten Prüfverfahren wurden im Labor kleinere Konen und Trichter für die Entwicklung von Rezepturen verwendet, um das Fließen des Zementleims und der Mörtelkomponenten von SCC zu bestimmen. Der dabei verwendete kleine stumpfe Kegel ist üblicherweise 60 mm hoch und hat einen Durchmesser von 100 mm an der Basis und 70 mm am oberen Ende. Der kleine V-Trichter hat üblicherweise eine Höhe von 240 mm, eine Breite von 270 mm und eine Tiefe von 30 mm und verjüngt sich auf eine 30 x 30 x 60 mm große Ausflussöffnung. Der Marsh-Konus findet ebenfalls zur Bestimmung der Fließfähigkeit des Zementleims und der Mörtelkomponenten Verwendung.

#### 8.4 Grundrezeptur

Es gibt keine Standardmethode für die Erstellung einer Betonrezeptur von SCC. Viele wissenschaftliche Institutionen, Zusatzmittelproduzenten, Transportbeton-, Betonfertigteile- und Generalunternehmer haben ihre eigenen Verfahren zur Rezepturerstellung entwickelt.

Betonrezepturen verwenden oft das Volumen als Schlüsselparameter. Der Grund ist, dass das Porenvolumen zwischen den Gesteinskörnern überfüllt werden muss. Einige Methoden versuchen mit verfügbaren Bestandteilen eine optimierte Umhüllung bzw. spezifische Oberfläche zu erreichen. Eine weitere Methode zur Rezepturerstellung besteht in der Bewertung und Optimierung des Fließvermögens und der Stabilität, beginnend beim Zementleim und dann der Mörtelfraktionen, bevor die grobe Gesteinskörnung zugegeben und die gesamte SCC-Rezeptur geprüft wird.

Weitere Informationen über Betonrezepturen und Methoden zur Bewertung der Eigenschaften von SCC können in den EFNARC-Richtlinien für SCC nachgelesen werden (verfügbar als freier Download unter [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)).

Einige an wissenschaftlichen oder anderen Institutionen entwickelten Verfahren zur Erstellung von Betonrezepturen wurden veröffentlicht:

Okamura, H. und Ozawa, K.: *Self-compacting high performance concrete*. International Workshop on High Performance Concrete. American Concrete Institute; Detroit. 1994, S. 31-44.

- Ouchi, M., Hibino, M., Ozawa, K. und Okamura, H.: *A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete*. Proceedings of Sixth South-East Asia Pacific Conference of Structural Engineering and Construction. Taipei, Taiwan, 1998. S. 1307-1312.
- Nawa, T., Izumi, T. und Edamatsu, Y.: *State-of -the-art report on materials and design of self-compacting concrete*. Proceedings of International Workshop on Self-compacting Concrete. August 1998; Kochi University of Technology, Japan. S. 160-190.
- Domone, P., Chai, H. und Jin, J.: *Optimum mix proportioning of self-compacting concrete*. Proceedings of International Conference on Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Dundee, September 1999. Thomas Telford; London. S. 277-285.
- Billberg, P.: *Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish Experience*. Swedish Cement and Concrete Research Institute. Report no 2:99. Stockholm, 1999.
- Su, N., Hsu, K.-C. und Chai, H.-W.: *A simple mix design method for self-compacting concrete* Cement and Concrete Research, 31, (2001) S. 1799-1807.
- Gomes, P. C. C., Gettu, R., Agullo, L. und Bernard, C.: *Mixture proportioning of high strength, Self-Compacting Concrete: Performance and Quality of concrete structures*. Third CANMET/ACI Intl Conf. (Recefi, Brazil) Supplementary CD, 2002, 12p.
- Bennenk, H. W. und Van Schiindel, J.: *The mix design of SCC, suiTabelle for the precast concrete industry*. Proceedings of the BIBM Congress, 2002 Istanbul, Turkey.
- Billberg, P.: *Mix design model for SCC (the blocking criteria)*. Proceedings of the first North American conference on the design and use of SCC, Chicago 2002.

Diese Richtlinien geben keine speziellen Hinweise zur Erstellung von Betonrezepturen. Tabelle 8.2 enthält Richtwerte für SCC-Bestandteile nach Masse und Volumen. Diese Werte stellen keine Grenzwerte dar. Viele SCC-Rezepturen bewegen sich mit einzelnen Bestandteilen außerhalb dieser angeführten Bereiche.

Tabelle 8.2: Bereiche der Mischungszusammensetzung von SCC – gemäß angeführter Literatur

Bestandteil	Typischer Bereich nach Masse (kg/m <sup>3</sup> )	Typischer Bereich nach Volumen (Liter/m <sup>3</sup> )
Feinteile	380-600	
Zementleim		300-380
Wasser	150-210	150-210
grobe Gesteinskörnung	750-1.000	270-360
feine Gesteinskörnung (Sand)	Mit diesem Anteil wird das Volumen der anderen Bestandteile ergänzt. Er beträgt üblicherweise 48-55 % der gesamten Gesteinskörnungsmasse.	
Wasser-Feinteil-Verhältnis nach Volumen		0,85-1,10

## 8.5 Hinweise zur Erstellung einer Betonrezeptur

Laborversuche sollten zur Überprüfung der Eigenschaften der Ausgangsrezeptur in Bezug auf die festgelegten Eigenschaften und Klassen dienen. Notwendige Anpassungen der Rezeptur sollten durchgeführt werden, wenn dabei die Anforderungen nicht erfüllt werden. Wenn alle Anforderungen erfüllt sind, sollte die Rezeptur im Maßstab 1:1 im Betonwerk geprüft werden. Wenn erforderlich, sind die Frisch- und Festbetoneigenschaften auch an der Einbaustelle zu überprüfen.

Die Erstellung der Betonrezeptur erfolgt im Allgemeinen nach folgendem Ablauf:

- Abschätzung des Wasserbedarfs; Optimierung des Fließvermögens und der Stabilität des Zementleims
- Festlegung des Sandanteils und Dosierung der Zusatzmittel, um die geforderte Stabilität zu erhalten

- Prüfung der Änderungen der Eigenschaften bei kleinen Abweichungen der Mengen („Robustheit“)
- Zugabe einer entsprechenden Menge von grober Gesteinskörnung
- Herstellung des Frischbetons im Labormischer, Durchführung der geforderten Prüfungen
- Prüfung der Eigenschaften von SCC am Festbeton
- Herstellung von Probemischungen im Werksmischer

Graphische Darstellung zur Erstellung einer Betonrezeptur Abbildung 8.3

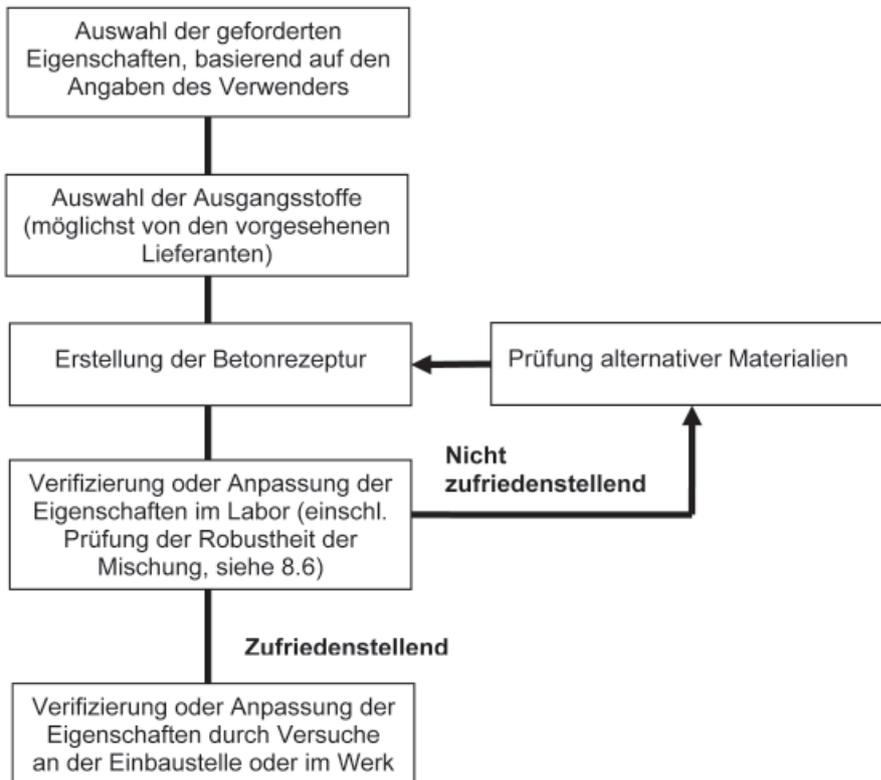


Abbildung 8.3: Erstellung einer Betonrezeptur

Falls die Anforderungen nicht erfüllt werden können, sollte eine grundlegende Überarbeitung der Betonrezeptur durchgeführt werden. Dazu sind folgende Maßnahmen möglich:

- Anpassung des Zement-Feinteil-Verhältnisses und des Wasser-Feinteil-Verhältnisses und Überprüfung des Fließvermögens und der anderen Eigenschaften des Zementleims
- Prüfen von verschiedenen Zusatzstoffen (falls verfügbar)
- Anpassung der Anteile der feinen Gesteinskörnung und Anpassung der Dosierung des Superverflüssigers
- eventuell Verwendung eines die Viskosität beeinflussenden Zusatzmittels zur Erhöhung der Robustheit
- Anpassung des Anteils bzw. der Sieblinie der groben Gesteinskörnung

Weitere Hinweise im Fall der Nichterfüllung der Anforderungen können dem Anhang C zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit von SCC entnommen werden.

## 8.6 Robustheit des Frischbetons (robustness)

Die Betonrezeptur von SCC versucht eine Ausgewogenheit der Frischbetoneigenschaften zu erreichen. Jede Veränderung der Ausgangsstoffe kann diese Ausgewogenheit beeinflussen und die Fließfähigkeit und das Fließvermögen um Hindernisse stören oder zur Entmischung führen. Veränderungen der Eigenschaften der Bestandteile können meistens durch Änderung der Wasserzugabe ausgeglichen werden. Die Veränderungen in den Bestandteilen ergeben sich aus Änderungen im Feuchtigkeitsgehalt der Ausgangsstoffe oder aus Änderungen der Sieblinie bzw. der spezifischen Oberfläche.

Bei einer ausgewogenen Betonrezeptur können geringe Abweichungen der Bestandteile in der täglichen Produktion toleriert werden. Dies erleichtert die Produktionskontrolle und verringert mögliche Probleme bei der Verarbeitung. Diese Toleranz wird üblicherweise „Robustheit“ genannt. Robustheit wird durch Erfahrung in der Auswahl, der Lagerung und dem Umgang mit den Bestandteilen sowie durch einen geeigneten Anteil an Feinteilen bzw. die Verwendung von die Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln geregelt.

Eine ausgewogene SCC-Rezeptur kann üblicherweise eine Änderung im Wassergehalt von 5 bis 10 Liter/m<sup>3</sup> aufnehmen, ohne außerhalb der festgelegten Frischbetoneigenschaften zu liegen. Bei Erstellung einer SCC-Rezeptur kann es hilfreich sein, eine Änderung des Wassergehaltes von +/-5 und 10 Liter Wasser im Vergleich zum optimalen Wassergehalt zu testen und die Änderung der Eigenschaften des Frischbetons zu prüfen. Dies bestätigt die Robustheit der Rezeptur oder weist darauf hin, dass eine Anpassung der Rezeptur erforderlich ist.



Abb. 8.4: Siebtest zur Prüfung der Sicherheit gegen Entmischung

## 9 Herstellung von Transport- und Ortbeton-SCC

### 9.1 Allgemeines

SCC ist anfälliger gegenüber Änderungen der Eigenschaften und der Mengen der Bestandteile als herkömmlicher Beton. Daher ist es notwendig, dass alle Aspekte der Herstellungs- und Einbauprozesse sorgfältig überwacht werden.

SCC sollte in Betonwerken hergestellt werden, in denen die Maschinen, der Betrieb und die Materialien einer Qualitätsüberwachung unterliegen. Es wird empfohlen (und ist in einigen EU-Mitgliedsstaaten ein Erfordernis), dass der Hersteller ein Qualitätsmanagementsystem anwendet (z. B. ISO 9001).

Zur Herstellung und zur Lieferung von SCC sollte geschultes Fachpersonal eingesetzt werden. Die Schulung sollte auch die Herstellung und Prüfung von Versuchschargen beinhalten.

### 9.2 Lagerung der Bestandteile

Für die Lagerung der Bestandteile für SCC gelten dieselben Anforderungen wie für herkömmlichen Beton. Aufgrund der Empfindlichkeit auf Abweichungen bei den Bestandteilen sollten folgende Punkte besonders beachtet werden:

**Gesteinskörnungen:** sollten in Fraktionen, getrennt nach Typen und Korngrößen, gelagert werden, um gegenseitige Vermischung zu vermeiden. Das Lager sollte vor Witterungseinflüssen geschützt sein, um die Schwankungen des Oberflächenfeuchtigkeitsgehalts und die Verfrachtung von Feinteilen zu minimieren. Das Material sollte so gelagert sein, dass übermäßige Feuchtigkeit bzw. Regenwasser abfließen kann.

Es muss eine entsprechende Lagerkapazität für Gesteinskörnungen vorhanden sein, da eine Unterbrechung in der Lieferung von Gesteinsmaterial zu Kapazitäts- und Lieferproblemen führen kann. Es wird empfohlen, dass alle Materialsilos gefüllt sind, bevor mit der Herstellung von SCC begonnen wird.

**Zemente, Zusatzstoffe und Zusatzmittel:** Die Lagerung dieser Bestandteile ist analog wie bei herkömmlichem Beton. Die Empfehlungen des Herstellers zur Lagerung sollten immer eingehalten werden. Es wird empfohlen, dass alle Materialbestände aufgefüllt sind, bevor mit der Herstellung von SCC begonnen wird, um mögliche Schwankungen bei späteren Zulieferungen zu vermeiden.

### 9.3 Betonmischer und Versuchsmischungen

SCC kann mit jedem gängigen Betonmischer wie Schaufelmischern, Freifallmischern und Fahrmischern hergestellt werden, jedoch sind Zwangsmischer im Allgemeinen vorzuziehen. Bei SCC ist es besonders wichtig, dass der Mischer in einem guten mechanischen Zustand ist und dass er vollständiges und einheitliches Mischen der festen Bestandteile mit genügend Mischwirkung zur Verteilung und Aktivierung des Superverflüssigers sicherstellen kann.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Mischzeit von SCC aufgrund der reduzierten Reibungskräfte und der notwendigen vollen Aktivierung des Superverflüssigers länger als bei herkömmlichen Beton sein kann. Es sollten Vorversuche durchgeführt werden, um die Effizienz des jeweiligen Mixers zu testen und den optimalen Ablauf für die Zugabe der Bestandteile festzustellen. Das Betonvolumen in den Vorversuchen sollte nicht geringer sein als das halbe Fassungsvermögen des Mixers.

Es wird empfohlen, dass vor Beginn der Lieferung Prüfungen im Werk unter vollen Produktionsbedingungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass auch unter diesen Bedingungen die Anforderungen an den Frisch- und Festbeton erfüllt werden.

## 9.4 Mischverfahren im Werk

Der hohe Zementleimgehalt und die Fließfähigkeit von SCC können im Gegensatz zu Normalbeton das Erreichen einer homogenen Mischung erschweren. Das Hauptproblem besteht in der möglichen Klumpenbildung von einzelnen Bestandteilen, die schwer wieder aufgelöst werden kann. „Klumpenbildung“ kommt eher in Freifallmischern (insbesondere Fahrmischern) als in Zwangsmischern vor. Dieses Problem kann vermieden werden, indem der Beton zuerst in einer steiferen Konsistenz gemischt wird, bis er homogen ist, und anschließend die geforderte Konsistenz eingestellt wird. Die Zugabe von weiterem Wasser und Superverflüssiger stellt die Konsistenz auf das geforderte Maß ein und verhindert gleichzeitig die „Klumpenbildung“.

Der Zeitpunkt der Zugabe der Zusatzmittel ist wichtig, da er die Wirksamkeit beeinflussen kann. Bei Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln ist eine späte Zugabe empfehlenswert. Ein standardisiertes Verfahren sollte in Werksversuchen gefunden werden. Dieses sollte bei jeder Mischung eingehalten werden, um mögliche Schwankungen zwischen den Chargen zu reduzieren.

Zusatzmittel sollten gemeinsam mit dem Anmachwasser oder direkt in das Anmachwasser eingemischt werden. Unterschiedliche Zusatzmittel sollten nicht vor dem Mischvorgang zusammen gemischt werden, außer der Zusatzmittelhersteller erlaubt dies explizit. Gleiches gilt für die Mischbarkeit der verschiedenen Zusatzmittel in den Verteilungs- oder Dosieranlagen. Wenn Luftporenbildner verwendet werden, sollten diese vor der Zugabe des Superverflüssigers und bei niedriger Konsistenz des Betons eingemischt werden.

Aufgrund der hohen Wirksamkeit moderner Superverflüssiger ist es wichtig, dass die Dosierrichtungen regelmäßig geeicht werden. Bei manueller Zugabe der Zusatzmittel hat die Dosierung in geeichten Behältern oder mit entsprechender Abgabeausrüstung zu erfolgen. Bei mehrmaliger Dosierung innerhalb einer Charge sind die zugegebenen Mengen zu addieren.

Während der Produktion kann es eine Reihe von Faktoren geben, welche einzeln oder im Zusammenspiel zu Schwankungen in der Gleichmäßigkeit der Mischungen führen. Haupteinflussfaktoren sind Änderungen der Oberflächenfeuchte der Gesteinskörnung, Änderungen der Sieblinie und Änderungen im Mischablauf. Änderungen der Betoneigenschaften können auch festgestellt werden, wenn Betonausgangsstoffe aus verschiedenen Chargen verwendet werden. Da es oft schwierig ist, die Ursache für Abweichungen unverzüglich herauszufinden, wird empfohlen, die Konsistenz durch die Dosierung des Superverflüssigers einzustellen.

Es gibt zahlreiche Methoden, die Mischer zu beschicken. Bei den folgenden Beispielen konnten gute Erfahrungen gesammelt werden.

### 9.4.1 Freifallmischanlage und Fahrmischer

Zuerst werden rund zwei Drittel des Mischwassers in den Mischer gefüllt. Danach werden die Gesteinskörnungen und der Zement zugegeben. Wenn eine homogene Mischung erreicht ist, werden das übrige Mischwasser und der Superverflüssiger beigegeben. Wenn Viskosität beeinflussende Zusatzmittel verwendet werden, sollten diese nach dem Superverflüssiger und erst knapp vor der endgültigen Konsistenzanpassung mit dem verbleibenden Wasser beigegeben werden.

Fahrmischer haben eine schlechtere Mischleistung als stationäre Mischer und benötigen deshalb eine längere Mischzeit für SCC. Kleinere Chargen verbessern die Mischungseffizienz. Der Zustand der Fahrmischertrommel und die Mischblätter sind von entscheidender Bedeutung für SCC und sollten regelmäßig kontrolliert werden. Die Rotationsgeschwindigkeit der Trommel während des Mischvorganges sollte den Empfehlungen des Herstellers entsprechen. Die Mischgeschwindigkeit für SCC liegt üblicherweise im Bereich von 10-15 U/min.

### 9.4.2 Zwangsmischer

Im Allgemeinen wird zuerst die Gesteinskörnung mit dem Zement in den Mischer gefüllt. Danach folgen sofort der Großteil des Mischwassers und der Superverflüssiger. Falls erforderlich, wird Viskosität beeinflussendes Zusatzmittel mit dem restlichen Wasser beigegeben. Die gute Mischleistung des Zwangsmischers erhöht die Fließfähigkeit. Das kann zu einer Einsparung von Superverflüssiger führen.

Aufgrund der großen Vielfalt an verfügbaren Mischern sollte die spezifische Mischmethode vor Beginn der Herstellung durch Versuche bestimmt werden.

## **9.5 Produktionskontrolle**

### **9.5.1 Bestandteile**

SCC ist empfindlicher als herkömmlicher Beton auf Schwankungen der physikalischen Eigenschaften der Bestandteile, insbesondere auf Änderungen im Feuchtigkeitsgehalt, der Sieblinie und der Kornform. Dadurch sind häufige Kontrollen während der Herstellung notwendig.

Es wird empfohlen, die Gesteinskörnungen täglich zu überprüfen. Zusätzlich sollte auch eine visuelle Überprüfung jeder Gesteinskörnungslieferung durchgeführt werden. Jede offensichtliche Änderung sollte vor der Annahme oder Zurückweisung der Lieferung bewertet werden. Der Feuchtigkeitsgehalt der Gesteinskörnungen sollte kontinuierlich überwacht und die Rezeptur bei jeder Veränderung angepasst werden.

Bei der Lieferung neuer Chargen von Zement, Zusatzstoffen oder Zusatzmitteln können zusätzliche Kontrollen notwendig sein, um signifikante Änderungen oder Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen zu überwachen.

### **9.5.2 Produktion**

Die Produktion und Lieferung von SCC unterliegt der normgemäßen Produktionskontrolle in der Verantwortung des Herstellers. Im Falle von Transportbeton erfolgt diese in Übereinstimmung mit den Vertragsvereinbarungen zwischen Käufer und Hersteller und den Anforderungen der EN 206-1: 2000, Abschnitt 9.

Die festzulegenden Eigenschaften und Klassen, die der Käufer dem Hersteller mitteilen muss, werden durch die Art der Anwendung bestimmt. Die Produktionskontrolle muss sicherstellen, dass diese Anforderungen während der Produktion erfüllt werden und jede Abweichung außerhalb der zulässigen Grenzwerte sofort registriert wird.

Bei fehlenden Erfahrungswerten mit speziellen Betonrezepturen kann zusätzlicher Aufwand für die Erstprüfung des SCC nötig sein.

Um gleichmäßige SCC-Eigenschaften sicherzustellen, wird empfohlen, dass der Hersteller bei jeder Mischung das Fließmaß prüft, bis gleichmäßige Ergebnisse erreicht werden. Zur Einhaltung der vertraglich festgelegten Anforderungen können auch weitere Prüfungen notwendig sein. In der Folge sollten vor dem Transport zur Baustelle oder zum Einbauort bei jeder Lieferung eine Sichtkontrolle und Standardtests entsprechend der geforderten Häufigkeit lt. Anhang A durchgeführt werden. Besondere Sorgfalt sollte jeder Lieferung der Betonbestandteile beigemessen werden, insbesondere der Gesteinskörnungen. Es kann z. B. eine Anpassung des Wassergehaltes notwendig sein, um eine Veränderung in der Feuchtigkeit der Gesteinskörnung auszugleichen.

## **9.6 Transport und Lieferung**

Einer der Hauptvorteile von SCC besteht in einer kürzeren Einbauzeit. Eine Ausgewogenheit zwischen Produktionskapazität des Werks, Fahrzeit und Einbauleistung vor Ort ist notwendig, um sicherzustellen, dass der Beton auf der Baustelle ohne Unterbrechung der Zulieferung und innerhalb der Verarbeitungszeit eingebaut werden kann. Produktionsunterbrechungen können zum Ansteifen des bereits eingebauten Betons führen. Dies kann die Verarbeitung beim weiteren Einbau beeinflussen bzw. zu sichtbaren Arbeitsfugen (Fugen zwischen den eingebauten Betonlagen) führen.

## **9.7 Übernahme auf der Baustelle - Regelungen**

Bei Transportbeton ist es erforderlich, dass es vereinbarte und dokumentierte Lieferbedingungen für die Übernahme des SCC auf der Baustelle gibt. Der Hersteller und der Abnehmer sollten das Verfahren zur Übernahme im Vertrag vereinbaren. Darin sollten die Sichtkontrolle jeder Betoncharge und alle speziellen Prüfungen und Anforderungen enthalten sein.

Nach EN 206-1 wird vom Hersteller gefordert, die Konsistenz, Festigkeit und andere Eigenschaften des Betons entsprechend der Konformitätsprüfung zu prüfen.

Für Prüfzwecke kann der Hersteller die Betone in „Familien“ gruppieren. Es wird empfohlen, den SCC nicht in Familien mit normalen Betonen zusammenzufassen, bis man mehr Erfahrung mit SCC gewonnen hat.

Anhang A legt Mindestwerte für die Frischbetonprüfung des SCC fest und verwendet die in der EN 206-1 festgelegten Anforderungen zur Prüfung der Festbetoneigenschaften. Wenn zusätzliche Prüfungen erforderlich sind, wie z. B. die Konsistenzprüfung jeder Mischung (siehe 9.5.2) bis die geforderte Gleichmäßigkeit in der Lieferung erreicht wird, sollte dies im Liefervertrag vereinbart werden.

Alternativ dazu kann der Planer „Identitätsprüfungen“ veranlassen. Die Kriterien für die Übernahme oder die Zurückweisung von SCC werden in Anhang A angegeben.

Der Liefervertrag sollte Details der Zuständigkeit für die Prüfung und Maßnahmen im Falle der Nichterfüllung von Anforderungen beinhalten:

- Der Planer (specifier) muss sicherstellen, dass die gesamte Identitätsprüfung von kompetentem, geschultem Personal in einer vibrationsfreien und gegen die Witterung geschützten Umgebung durchgeführt wird. Die Prüfausrüstung muss geeicht und gut gewartet sein. Zur Durchführung der Prüfung muss eine feste, ebene Fläche zur Verfügung stehen.
- Beton muss im Fahrmischer mindestens eine Minute (bei hoher Drehzahl) aufgemischt werden, bevor eine repräsentative Probe entnommen wird.
- Die Probenahme muss gemäß EN 12350-1 durchgeführt werden. Der erste SCC aus einem Fahrmischer muss nicht unbedingt repräsentativ sein. (ANMERKUNG: Wenn keine repräsentative Probe genommen werden kann, kann es erforderlich sein, die in Anhang A angeführten Toleranzen zu erhöhen.)
- Bei Druckfestigkeits- und anderen Prüfungen von SCC muss der Beton in einer einzigen Lage und ohne Verdichtung in die Prüfform eingebracht werden.

Die aussagekräftigste Prüfung von SCC auf der Baustelle ist das Fließmaß. Das Fließmaß ist ein guter Indikator für die Gleichmäßigkeit der Betonlieferung. Das Fließmaß ist ein Maß für die Fließfähigkeit und die Durchgangsfähigkeit. Eine visuelle Kontrolle auf Trennung des Zementleims im Randbereich und auf Trennung der Gesteinskörnung im Zentrum der Probe gibt zusätzlich einen Hinweis auf die Sicherheit gegen Entmischung.

Der eingebaute Beton sollte regelmäßig überprüft werden, um die Verdichtung zu überwachen und um alle Hinweise auf Nesterbildung, Entmischung oder das Absetzen von Bestandteilen zu erkennen.

Abb. 9.1: Fließmaßtest



## **10 Anforderungen und Vorbereitungen auf der Baustelle**

### **10.1 Allgemeines**

Vor der Lieferung des Betons muss der Verwender sicherstellen, dass entsprechende Vorbereitungen auf der Baustelle durchgeführt wurden. Diese sollten Folgendes bestätigen:

- dass die geforderte SCC-Rezeptur für die Anwendung geeignet ist (siehe Kapitel 6)
- dass der Einbau des Betons entsprechend den vereinbarten Lieferleistungen erfolgen kann
- dass die Übernahmebedingungen für den SCC vereinbart und dokumentiert werden
- dass das Personal auf der Baustelle für die speziellen Anforderungen des Einbaus von SCC geschult ist
- dass die Schalung ordnungsgemäß vorbereitet ist.

### **10.2 Kontrolle auf der Baustelle**

Ein Verfahren zur Qualitätskontrolle muss für die Übernahme vor Ort dokumentiert und eingehalten werden (siehe Abschnitt 9.7).

Es wird empfohlen, dass das Fließmittel so lange bei jeder Charge des gelieferten SCC geprüft wird, bis die Gleichmäßigkeit der Lieferungen bestätigt ist. Nachfolgend ist üblicherweise die Sichtkontrolle durch eine geschulte Person ausreichend, außer es treten Unsicherheiten auf. Da der Hersteller eine Konformitätsprüfung durchzuführen hat, ist eine generelle zusätzliche Identitätsprüfung vor Ort nicht notwendig und sollte auf spezielle Anwendungen beschränkt sein.

### **10.3 Anpassung, Korrektur der Mischung**

Generell ist eine Modifikation des SCC vor Ort nicht zielführend, da der Hersteller die vorgegebene Qualität entsprechend den Anforderungen liefern muss. Wenn die Notwendigkeit besteht oder wenn gewisse Versuche erwartet werden bzw. geplant sind, um die Mischung für spezielle Schalungsanforderungen und Oberflächengestaltungen zu optimieren, ist es zielführend, ein festgelegtes Verfahren für geringe Modifikationen des Betons unter Überwachung vor Ort zu vereinbaren.

Die Modifikation sollte von einem Betontechnologen des Herstellers kontrolliert und bewertet werden. Alle Modifikationen müssen aufgezeichnet werden.

- Zusatzmittel können vor Ort vor dem Einbau zugegeben werden, unter der Voraussetzung, dass die Auswirkungen genauestens bewertet und damit bekannt sind.
- Betone mit einem Fließmaß außerhalb der Konformitätskriterien (siehe Anhang A, Tabelle A.6) sollten nur unter der Voraussetzung angepasst werden, dass das Verfahren zur Anpassung vereinbart und dokumentiert ist.
- Jede Zugabe von Bestandteilen in den Fahrmischer erfordert eine vereinbarte Mindestmischzeit für den Beton (z. B. 1 Minute pro Kubikmeter, Minimum 4 Minuten).

### **10.4 Überwachung und Qualifikationen**

Der Einbau von SCC muss von entsprechend geschultem Personal durchgeführt werden.

Für das Baustellenpersonal zur Verarbeitung von SCC finden sich Hinweise in Kapitel 10 und 11 dieser Richtlinien. Besonders zu beachten sind

- Auswirkungen von Vibrationen auf die Mischungsstabilität
- Einbaugeschwindigkeit
- die Auswirkung einer Unterbrechung während des Einbaus
- Maßnahmen bei einer Unterbrechung
- Nesterbildungen, Entmischung oder Luftblasen

- Anforderungen für den Einbau mittels Pumpe, Förderkübel oder Rutsche, einschließlich deren Positionierung, um das Fließen des SCC sicherzustellen
- die Nachbehandlung der Oberflächen und die Erhärtung.

## 10.5 Schalungsdruck

Der Schalungsdruck hängt von der Fließfähigkeit und der Kohäsion des SCC, der Betonierhöhe und der Einbaumethode (von oben/von unten) ab. Die Schalungskonstruktion, einschließlich der Unterstellungs-, Stütz- und Befestigungssysteme, sollte auf den hydrostatischen Betondruck auf die Schalung ausgelegt sein. Wenn der SCC von unten eingepumpt wird, kann der Druck im Bereich der Einfüllöffnung über dem hydrostatischen Druck sein, insbesondere bei wiederholtem Start der Pumpe nach einer Unterbrechung im Betoniervorgang.

Versuche haben gezeigt, dass bei einer entsprechenden Konsistenz des SCC der Schalungsdruck unter dem hydrostatischen Druck liegt, wenn der Beton von oben eingefüllt wird. Diese Einbaumethode kann nur auf der Grundlage von Versuchen und nach Vereinbarung zwischen dem Auftraggeber, Betonhersteller und Schalungslieferanten durchgeführt werden.

### Literaturhinweise:

Andreas Leeman, Cathleen Hoffman. *Pressure of self-compacting concrete on the formwork*. EMPA, Swiss Federal Laboratories of Materials Testing and Research, Switzerland.

Peter Billberg. *Formwork pressure generated by self-compacting concrete*. Swedish Cement Research Institute, CBI.

Wolfgang Brameshuber, Stephan Uebachs. *Investigations on the formwork pressure using self-compacting concrete*. Institute of Building Materials Research (ibac) Aachen University.

## 10.6 Schalungskonstruktion

Das Wegfallen des Rüttelns bietet einige neue Möglichkeiten der Schalungstechnik, wie z. B. magnetisch fixierte Schalungsleisten für Metallschalung. Dies kann bei Fertigteilen aus SCC genutzt werden. Teile mit detailreicher Gestaltung und mit komplizierten Oberflächendetails können hergestellt werden. Mit SCC können auch feingliedrige Formen umgesetzt werden.

Die hohe Fließfähigkeit von SCC kann zum Aufschwimmen von Schalungselementen, Abschaltungen oder Einbauteilen führen, wenn diese nicht entsprechend fixiert sind. Aufgrund des Auftriebes sollten der Verankerung und der Dichtheit der Schalung zum Untergrund besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Undichtheiten an Fugen können die Sichtbetonqualität reduzieren, jedoch leckt SCC im Allgemeinen weniger als Beton, der gerüttelt werden muss.

Bei SCC sollte der volle hydrostatische Betondruck angenommen werden. Besondere Aufmerksamkeit ist auf Unterstellungen, Abstützungen, das Spannstangensystem und dessen Anordnung zu widmen, um eine Verformung der Schalung während des Einbaus zu verhindern.

## 10.7 Schalungsvorbereitung

SCC hat eine hohe Sichtbetonqualität und erzeugt ein Spiegelbild der Schalung. Dies bietet gestalterische Möglichkeiten. Wenn dies aber nicht bedacht wird, zeigt SCC alle Unebenheiten im Schalungsmaterial auf. Die Oberflächennachbehandlung oder das Entschalungsmittel beeinflussen die Qualität der Oberfläche. Bewegungen an Fugen oder Verformung der Schalung unter dem Druck des Betons werden bei SCC deutlich sichtbar.

Eine gute Schalungsvorbereitung, wie sie im Folgenden angeführt wird, ist für alle Sorten von Beton erforderlich. Bei SCC ist sie zur Optimierung der Oberflächenqualität besonders wichtig.

### 10.7.1 Entschalungsmittel

SCC stellt aufgrund seiner hohen Oberflächenqualität spezielle Anforderungen an die Art und die Menge des Entschalungsmittels. Für SCC verwendete Schalungen bestehen aus Stahl oder oberflächenbehandeltem Schalungsholz. Die Oberflächen der Schalung sind nicht bzw. nur wenig wassersaugend. Übermäßiges Entschalungsmittel an der Schalungsoberfläche kann zu Flecken, Luftblasen und anderen Qualitätsmängeln führen.

Entschalungsmittel auf pflanzlicher, mineralischer oder Wasserbasis müssen extrem dünn aufgetragen werden. Die Entschalungsmittel sollen nicht verdünnt oder mit anderen Mitteln vermischt werden.

Bei SCC kann die eingeschlossene Luft zwischen dem Beton und der Schalung entweichen. Daher muss das Entschalungsmittel das kontrollierte Entweichen der Luft ermöglichen.

Gewisse Entschalungsmittel sind in Kombination mit undurchlässiger Schalung zu viskos, um ein effektives Entweichen der Luft zu ermöglichen. Dies kann zu Luftporen führen, die an der Oberfläche der Schalung haften und Löcher in der Betonoberfläche verursachen. Ohne vorherige Versuche sollten Entschalungsmittel nur bei durchlässiger oder halbdurchlässiger Schalung verwendet werden, um die Oberflächenqualität zu gewährleisten.

Die Art der Schalung bestimmt die Vorbehandlung der Schalung, die Art des Entschalungsmittels und dessen Anwendung.

### 10.7.2 Unbeschichtete Holzschalung

Bei hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität sind trockene oder frisch geschnittene Holzschalungen zu vermeiden. Diese Schalungen können stark saugen, eine chemische Reaktion auslösen und zu Flecken oder zu einer Verzögerung der Erhärtung der Betonoberfläche führen. Oberflächenfehler und die Holzmaserung können auf der Betonoberfläche sichtbar werden.

Bei frischen Holzschalungen sollte deren Oberfläche gut vorbereitet und versiegelt sein. Ein hoch wirksames Entschalungsmittel ist zu verwenden. Unbehandeltes Holz sollte feucht sein und mit verdünntem Zementleim vorbehandelt werden, wodurch die Oberfläche versiegelt und die Gefahr der Fleckenbildung oder der verzögerten Erhärtung aufgrund des Zuckers im Holz verringert wird.

Bei gebrauchten Holzschalungen, kann die Menge des Entschalungsmittels reduziert werden, um Fleckenbildung an der Oberfläche zu vermeiden.

### 10.7.3 Synthetisch beschichtetes oder oberflächenbehandeltes Schalungsholz und Stahlblechschalung

Diese Materialien sind nicht oder sehr gering saugend. Wichtig ist eine sparsame, dünne, jedoch ganzflächige Aufbringung eines hochwertigen Entschalungsmittels. Entschalungsmittel mit erhöhter Haftfähigkeit sind bei extrem glatten Schalungen und bei Schalungen für extrem hohe Bauteile (Wände) einzusetzen. Für optimale Oberflächenqualitäten sind die Herstellerinformationen einzuhalten.

## **10.8 Schalung für das Pumpen von unten nach oben**

SCC ermöglicht neue Methoden des Betoneinbaus, wie das Pumpen von Beton in der Schalung von unten nach oben. Dabei wird die Pumpe über ein spezielles Verbindungsstück mit Schiebeventilen an der Schalung befestigt. Die Schalung muss dem hydrostatischen Betondruck widerstehen.

Optimal ist die Anschlussstelle für die Pumpe in der Wandmitte um die Fließwege zur horizontalen Verteilung des Betons zu minimieren. Die horizontale Anordnung der Pumpstellen hängt von der Bewehrung und der Fließfähigkeit des SCC ab und muss mit dem Betonlieferanten vereinbart werden.

Die vertikale Anordnung der Pumpenstellen hängt vom maximal von der Schalung aufnehmbaren Druck ab und muss mit dem Schalungslieferanten geklärt werden.

Nach dem Pumpen von unten muss das Ventil geschlossen und verriegelt werden. Danach kann der hervorstehende Beton bündig mit der inneren Oberfläche der Schalung mittels einer Spezialspindel angepasst werden. (Siehe Abbildung 10.1.) Andernfalls muss hervorstehender Beton entfernt und die Oberfläche nach Entfernung der Schalung ausgebessert werden.

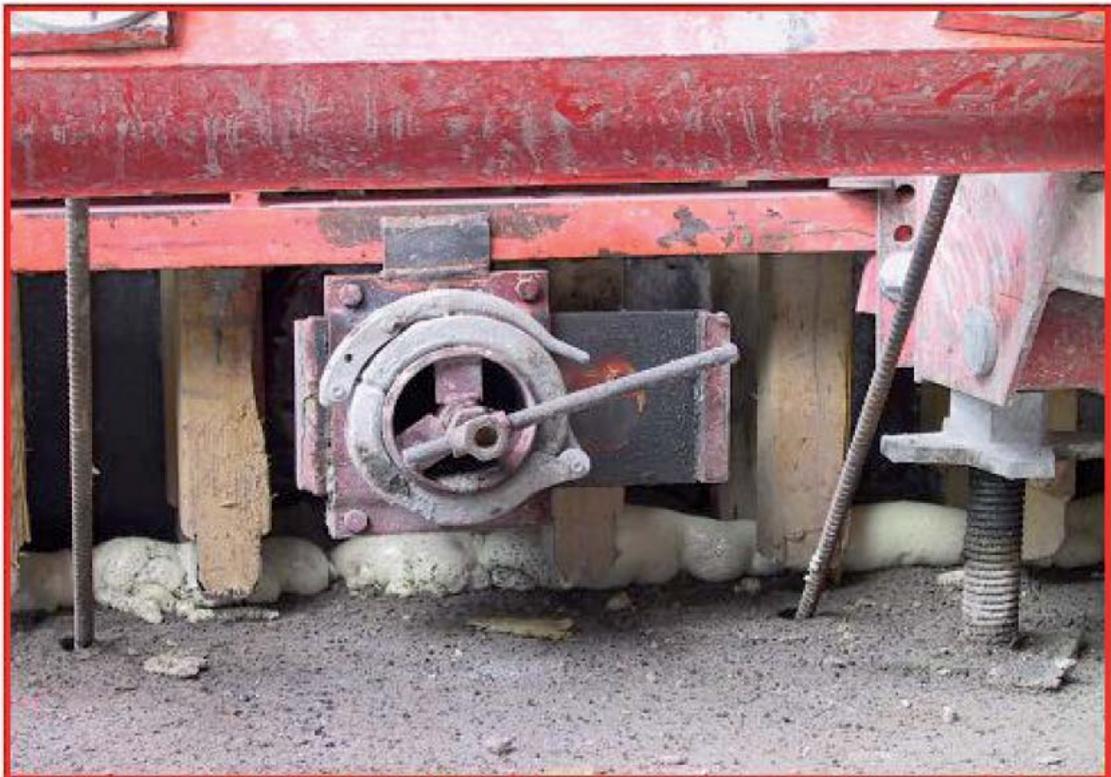
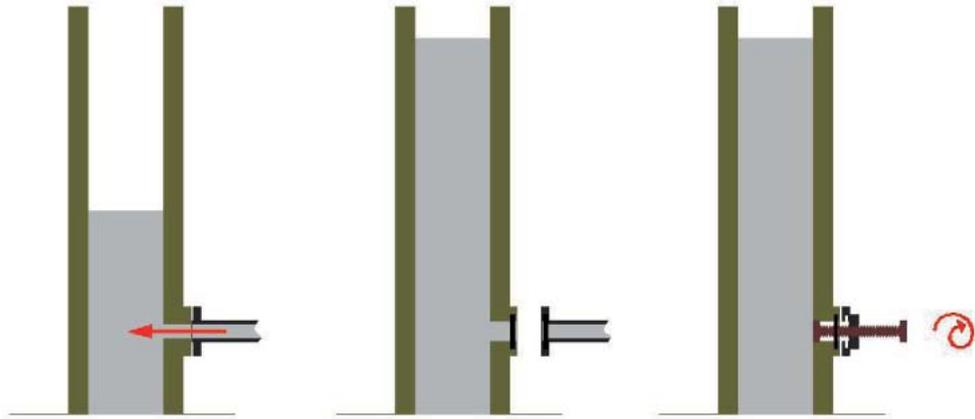


Abb. 10.1: Nach dem Pumpen von unten kann hervorstehender Beton bündig mit der inneren Oberfläche der Schalung mittels einer Spezialspindel angepasst werden oder die Oberfläche muss nach der Entfernung der Schalung ausgebessert werden.

## **11 Einbau und Nachbehandlung**

### **11.1 Allgemeines**

Die Merkmale von SCC sind einerseits die hohe Fließfähigkeit und andererseits die Kohäsionseigenschaften. Damit wird sichergestellt, dass die Gesteinskörnungen gleichmäßig in Schwebe gehalten werden und es zu keiner Entmischung kommt. Die Verwendung von Rüttlern hingegen führt üblicherweise zu Entmischung. Aus diesem Grund sollten bei der Anwendung von SCC keine Rüttler verwendet werden, außer unter den besonderen, in Abschnitt 11.6. beschriebenen Umständen. Besonders zu achten ist auf mögliche unbeabsichtigte externe Rüttelquellen (z. B. Maschinen in der Nähe, die Vibrationen erzeugen).

Während des Einbaus sollte der Beton regelmäßig überprüft werden, um sicherzustellen, dass es zu keinen Entmischungen kommt. Der Beton sollte mit einer entsprechenden gleichmäßigen Geschwindigkeit, ohne Luftblasen zu bilden, in die Schalung eingebracht werden. Es sollten keine großen Luftblasen austreten. Das würde darauf hinweisen, dass Luft beim Einbauprozess eingeschlossen wurde. Die Schalung muss auf Anzeichen von Undichtigkeiten überprüft werden.

Nach Fertigstellung des ersten Betonierabschnitts sollte die Qualität des gehärteten Betons geprüft und sowohl vom Hersteller als auch vom Planer evaluiert werden. Unerwünscht sind Zementmilch an der Betonoberfläche, eine nicht gleichmäßige Oberflächenfarbe, Lufteinschlüsse und sonstige nicht erwünschte sichtbare Effekte.

Ein Merkmal von SCC ist die hohe Oberflächenqualität. Eine Oberfläche ohne Luftlöcher, Fehler oder Verfärbung verlangt jedoch nicht nur ein gutes Betonrezept und eine hohe Betonqualität. Derzeit gibt es noch wenig Erfahrungswerte, wie man verlässlich eine hohe Oberflächenqualität mit SCC erreicht. Voraussetzung ist eine fehlerlose Schalungsoberfläche. Das Einbringen des Betons und die Nachbehandlung müssen sorgfältig durchgeführt werden.

Das für den Einbau von SCC eingesetzte Personal muss entsprechend geschult und mit den speziellen Anforderungen des Einbaus von SCC vertraut sein.

### **11.2 Entladung**

Die Entladung des Betons sollte nicht vor der Durchführung der Kontrollprüfungen erfolgen (siehe Abschnitt 9.7).

SCC kann direkt vom Transportmischer mittels einer Rinne eingebracht werden. Als Alternative dazu kann die Einbringung mit einem Kübel (mit Trichterrohr) oder mit einer Pumpe erfolgen. Wenn notwendig, kann ein Behälter mit einem Rührwerk für eine Zwischenlagerung verwendet werden, wenn der SCC auf der Baustelle eine Zeit lang vorgehalten werden muss.

### **11.3 Einbauverfahren und -geschwindigkeit**

Vor dem Einbau von SCC ist sicherzustellen, dass die Bewehrung und die Schalung plangemäß angeordnet sind und die Schalung frei von Wasser (und Eis) oder Feststoffen ist.

Die Betoneinbringung muss in Abstimmung mit der Dichte der Bewehrung, den Fließeigenschaften des Betons und möglichen Lufteinschlüssen erfolgen.

Eine entsprechende Fließstrecke des Betons fördert das Entweichen von Luft. Ab einer Fließstrecke von mehr als 10 Metern besteht die Gefahr von Entmischung oder der Bildung von Poren.

Eine zu schnelle vertikale Betoneinbringung kann zum Einschluss von Luftporen im Beton und zu Luftlöchern an der Oberfläche führen.

Der Betoneinbau sollte kontinuierlich und ohne Unterbrechung erfolgen, um Oberflächenflecken und Farbänderungen zu reduzieren.

Gewisse SCC-Sorten, insbesondere jene mit einer niedrigen Fließrate (hoher  $T_{500}$  oder hohe V-Trichterzeit), neigen zu thixotropischer Gelbildung. Sie gewinnen jedoch bei entsprechendem Rühren wieder an Fließvermögen. Thixotropische Erscheinungen können vermieden werden, indem der Beton auf dem Weg zur Baustelle und vor dem Einbau aufgerührt wird. Der Einbau sollte ohne

Unterbrechungen erfolgen und die Einbringstellen sollten so angebracht sein, dass der gesamte frisch betonierte Bereich immer in Fluss bleibt. Die Thixotropie kann nach Abschluss der Betoneinbringung von Vorteil sein, da das Austreten von SCC an Fugen und der Schalungsdruck reduziert werden.

SCC ist üblicherweise weniger anfällig für Entmischung als normaler Beton. Die Einbringung im freien Fall sollte vermieden werden, da damit die Gefahr von Entmischung und Lufteinschlüssen besteht. Wenn es sich nicht vermeiden lässt, sollte die freie Fallhöhe begrenzt sein und dazu vorab Tests ausgeführt werden.

Beim Betonieren von großen horizontalen Flächen, bei denen ein Teil der Gesamtfläche vor dem Betonieren des folgenden Abschnittes fertig gestellt sein muss, sind permanente Abschaltungen erforderlich. Metallatten wurden erfolgreich mit SCC für diese Anwendung verwendet.

Abb. 11.1: Betonieren einer SCC-Platte. Handelszentrum, Ferrara, Italien



## 11.4 Einbau mit Pumpe

Die Einbringung des Betons mittels Pumpe ist die gebräuchlichste Einbaumethode von SCC und daher gibt es diesbezüglich auch die meisten Erfahrungswerte.

Am Beginn des Pumpens sollte der erste Teil der Ladung (100-150 Liter) durch die Pumpe laufen und zurück in den Mischer geführt werden. Dies „schmiert“ die Pumpleitungen. Die dabei verbleibende grobe Gesteinskörnung wird damit wieder in den Beton rückgeführt.

SCC lässt sich gut durch ein Ventil vom Boden der Schalung nach oben pumpen – unter der Voraussetzung, dass der SCC eine gute Sicherheit gegen Entmischung aufweist. Diese Methode führt zu einer glatten und sauberen Betonoberfläche und hat sich beim Betonieren von Wänden, bei Systemschalungen, bei Tunnelauskleidungen und bei Säulen als erfolgreich erwiesen. SCC wird auch zur Verstärkung von bestehendem Beton bzw. für den Einbau von neuem Beton innerhalb bestehender Bauteile verwendet.

Pumpen durch ein Ventil vom Boden einer Schalung nach oben ergibt normalerweise die beste Oberfläche für vertikale Bauteile. Es kommt weniger Luft in den Beton und eine, gegenüber dem Einbringen von oben, schnellere Betoneinbringung wird ermöglicht. Der Einfülltrichter und die Pumpleitung müssen komplett voll mit Beton sein, um sicherzustellen, dass nicht Luft am Boden eingeführt wird. Man muss auch bedenken, dass das neuerliche Starten nach einem Stopp zu einer Druckerhöhung auf die Schalung führen kann.

Nach dem Pumpen von unten in die Schalung wird das Ventil geschlossen und verriegelt. Überschüssiger Beton kann nach dem Entschalen entfernt werden. Es gibt jedoch auch spezielle Geräte, um eine glatte Betonoberfläche auch im Bereich des Einbringventils ohne weitere Maßnahmen nach dem Entschalen zu erhalten (siehe Abschnitt 10.8).

Wenn der Beton von oben eingebracht wird und die Betonoberfläche optimiert werden muss, sollte SCC mit einem im bereits eingebrachten Beton eingetauchten Schlauch eingebaut werden, um die Möglichkeit von Lufteinschlüssen zu minimieren. Mit dem Betonieren sollte am untersten Teil der Schalung begonnen werden und der Pumpschlauch sollte sich möglichst nahe am Boden der Schalung befinden, um die freie Fallhöhe des Betons gering zu halten. Sobald der eingebrachte Beton eine entsprechende Höhe erreicht hat, sollte der Schlauch in den Beton eingetaucht werden. Das Ende des Pumpschlauchs sollte immer unter der Betonoberfläche gehalten werden, sodass nie Luft in den Schlauch eindringen kann.

Das Pumpen sollte ständig überwacht werden, um eine kontinuierliches und gleichmäßiges Ansteigen des Betons in der Schalung zu erreichen. Es sollten bei der Einbringung so wenig Unterbrechungen wie möglich erfolgen.

## 11.5 Einbau mittels Betonrutsche oder Kübel

Die Betoneinbringung sollte mittels Pumpe erfolgen, es können aber auch eine Betonrutsche oder ein Kübel verwendet werden. Bei Einbringung mittels Rutsche sollte am entferntesten Punkt mit dem Betonieren begonnen werden und die Rutsche mit dem Betonierfortschritt zurückgezogen werden.

Bei Betonieren von SCC mittels Kran und Kübel sollten die folgenden Punkte beachtet werden:

- Die Einbringung mittels Kübel sollte nur bei relativ kleinen Bauteilen oder kurzen Wänden erfolgen. Der Grund hierfür ist die relativ geringe Einbringkapazität (typischerweise 12-20 m<sup>3</sup>/Stunde), die selbstverständlich auch von der Größe des Kübels und der Leistungsfähigkeit des Krans abhängt.
- Der Kübel muss „dicht“ sein, um den Verlust von Mörtel oder Leim während des Transports zu verhindern.
- Der Kübel sollte nicht gerüttelt oder übermäßig geschüttelt werden, um die Entmischung des Betons zu verhindern.
- Ein zu langes Verweilen des Betons im Kübel kann thixotrope Aushärtung verursachen, sodass es zu Schwierigkeiten bei der Entleerung des Kübels kommen kann.

- Eine zu langsame Betoniergeschwindigkeit kann zu einer Oberflächenverkrustung oder thixotropen Aushärtung des bereits eingebrachten Betons führen. Dies kann zu sichtbaren horizontalen Flecken zwischen den eingebauten Betonchargen führen.
- Wenn hohe oder dünne Wände hergestellt werden, sollte die Betoneinbringung mittels Trichterrohr oder Strumpf (zusammenlegbarer Schlauch) aus dem Kübel erfolgen. Die Verwendung eines Strumpfes statt eines starren Schlauches trägt dazu bei, den Strumpf voll zu halten und verhindert, dass Luft in den Beton eingetragen wird. Dies ist besonders bei Sichtbeton wichtig. Wenn ein starres Trichterrohr verwendet wird, sollte das Ende immer unter der Betonoberfläche gehalten werden, um sicherzustellen, dass keine Luft in den Beton eingetragen wird.

## 11.6 Rütteln

Rütteln von SCC sollte generell vermieden werden, da es möglicherweise zum Absetzen der groben Gesteinskörnung kommen kann. Wird die gewünschte Verdichtung nicht erreicht, so ist der Beton auf Übereinstimmung mit der gewählten Rezeptur zu überprüfen. Bei einer Übereinstimmung des Betons mit der Rezeptur und Nichterreichen der Verdichtung ist die Rezeptur entsprechend abzuändern.

In einigen Fällen kann ein kontrolliertes und leichtes Rütteln notwendig sein:

- Bei gewissen Bauteilen kann der Einschluss von Luft an gewissen Stellen durch die Schalungsform bedingt sein. Dieser Lufteinschluss kann normalerweise durch gezieltes Anbohren der Schalung oder durch einfaches Stochern in der betroffenen Zone entfernt werden.
- Besonders bei Platten, die aus SCC mit geringerer Fließmaßklasse hergestellt werden, kann leichtes Stampfen oder ein leicht vibrierender Glättstab erforderlich sein, um eine ebene Oberfläche, die keine herausstehenden groben Gesteinskörnungen aufweist, zu erhalten.
- Nach einer Unterbrechung des Betonierens, wenn die Oberfläche schon verkrustet oder etwas ausgehärtet ist, kann kontrolliertes leichtes Rütteln erforderlich sein.

## 11.7 Oberflächenbehandlung von Platten

Platten erfordern im Allgemeinen eine niedrigere Fließmaßklasse des SCC als Wände und Säulen. Bei dieser Konsistenz, in Verbindung mit der Tendenz zur thixotropischen Aushärtung und dem Fehlen des Blutens, kann sich der Beton klebrig anfühlen und die Oberflächenbehandlung schwierig sein. Die Oberflächenbehandlung muss so bald wie möglich durchgeführt werden, noch bevor die thixotropische Aushärtung beginnt und bevor eine Oberflächentrocknung (Verkrustung) stattgefunden hat.

Vibrierende Betonglätter und leichte vibrierende Richtleisten haben sich beim Abziehen von SCC, unter der Voraussetzung, dass die Platte nicht geneigt ist, bewährt. Das Abziehen sollte händisch erfolgen, falls die Gefahr einer Entmischung besteht. Betonglätter aus Stahl funktionieren besser als jene aus Holz oder Polyurethanzellschaum.

Bei einer Oberflächenneigung der Platte von mehr als 2-3 % ist eventuelles (leichtes) Rütteln besonders vorsichtig durchzuführen, da es zu unerwünschten Bewegungen des noch frischen Betons kommen kann.

Das Abziehen von Platten wird am besten mittels Abziehbrett (siehe Abbildung 11.1) durchgeführt. Dies bewegt den Oberflächenbeton und es erfolgt eine genügend große Verdichtung, ohne eine unerwünschte Entmischung zu verursachen. Eine richtige Konsistenz und Ausführung des Betoniervorganges führt zu einer ebenen und glatten Oberfläche, ohne an der Oberfläche ein Absetzen des Zementleims zu verursachen. Die Verwendung von entsprechenden Zusatzmitteln hat sich in einigen Fällen als vorteilhaft zur Erzielung von guten Eigenschaften für die Endbearbeitung erwiesen.



Abbildung 11.2: Abziehen von SCC mit einem Abziehbrett

Die Nachbehandlung wie z. B. die Endbearbeitung mittels Stahlrechens oder schwimmende Endbearbeitung („float finishing“) kann wie bei herkömmlichen Beton ausgeführt werden. Wenn jedoch der SCC zu thixotropischer Aushärtung neigt, ist es schwierig den richtigen Zeitpunkt für die Oberflächenbehandlung zu finden.

### **11.8 Nachbehandlung**

Eine entsprechende Nachbehandlung ist für Beton generell wichtig, ganz besonders jedoch für Sichtbeton aus SCC. Aufgrund der erhöhten Zementleimmenge, des geringen Wasser-Feinteilverhältnisses und des Fehlens von Wasser durch Bluten an der Oberfläche kann diese schnell austrocknen. Die Nachbehandlung sollte deshalb so bald als möglich nach dem Einbau erfolgen, um die Gefahr der Oberflächenverkrustung und der Schwundrissbildung durch zu schnelles Austrocknen zu minimieren.

## 12 Betonfertigteile

### 12.1 Allgemeines

Die Betonfertigteilindustrie liefert ihren Kunden Betonprodukte, welche vor Ort eingebaut werden und je nach Baukonstruktion mit Ortbeton kombiniert werden können. Der Prozess beginnt, sobald der Kunde die erforderlichen Leistungseigenschaften an den Betonfertigteilbau bzw. an das Betonfertigteilprodukt festlegt.

### 12.2 Festlegung von Betonfertigteilen aus SCC

Für Fertigteile sollte die Festlegung entweder gemäß der entsprechenden harmonisierten Produktnorm (auf der Grundlage von EN 13369: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile) oder, falls zutreffend, direkt gemäß EN 13369 erfolgen, welche sich auf die relevanten Teile von EN 1992-1 (Eurocode 2) und EN 206-1 bezieht.

Die Eigenschaften des Frischbetons werden vom Hersteller je nach Erfordernissen des Produkts und der Eigenschaften des Produktionsprozesses definiert.

Wenn die Frischbetoneigenschaften von SCC für Betonfertigteile für eine spezielle Anwendung festgelegt werden müssen, sollte SCC gemäß Kapitel 6 dieses Dokuments und dem in Anhang A detaillierten Klassifikationssystem beschrieben werden.

Die Erfordernisse für die Dauerhaftigkeit und für die Betondeckung sind die gleichen wie für konventionellen Beton und werden in den entsprechenden Produktnormen bzw. EN 13369 definiert.

### 12.3 Rezepturen für Betonfertigteile aus SCC

Das primäre Ziel der Anwendung von Betonfertigteilen besteht üblicherweise darin, dass die Expositionsklasse und die charakteristische Druckfestigkeit nach 28 Tagen erreicht ist. Für den Hersteller kann aber auch die Grünstandsfestigkeit des Betons für die Produktion ausschlaggebend sein.

Die Bestandteile sollten gemäß Kapitel 7 und gemäß den Erfordernissen in den relevanten Produktnormen bzw. EN 13369 ausgewählt werden.

Die Rezeptur muss die zuvor definierten Erfordernisse für SCC erfüllen. Dabei sind auch die erforderlichen Eigenschaften für SCC im frischen Zustand, wie z. B. Fließfähigkeit, Viskosität und Stabilität, je nach den Einbaubedingungen und der vorgesehenen Nachbehandlung zu berücksichtigen.

Die gegenüber Transportbeton für Transport und Einbau reduzierte Zeitspanne (üblicherweise nicht mehr als 30 Minuten) bedeutet, dass eine lange Konsistenzbeibehaltung nicht notwendig ist. Daher ist die Verwendung eines SCC möglich, der seine Konsistenz nur kurz beibehält und eine schnelle Erstarrung sowie eine hohe Frühfestigkeitsentwicklung aufweist. Dieser schnellere Beginn des Härtungsprozesses ist vorteilhaft für hohe Frühfestigkeit, typischerweise nach  $14 \pm 2$  Stunden. Diese ist für die Aufrechterhaltung des Produktionszyklus erforderlich.

SCC mit hoher Frühfestigkeit kann durch die Betonrezeptur bzw. durch kontrollierte Wärmenachbehandlung erreicht werden.

Betonfertigteilwerke entwickeln normalerweise eine Reihe von Standardbetonrezepten, um die allgemeinen Erfordernisse für jeden Produkttyp zu erfüllen. Diese Standardrezepte können dann für spezielle Erfordernisse abgeändert werden. Das SCC-Rezept für die Fertigteilprodukte basiert im Allgemeinen auf der in Kapitel 8 beschriebenen Methode.

### 12.4 Schalungen

Schalungen, egal ob Stahlschalungen für wiederholte Verwendung oder Holzschalungen für beschränkte Anwendung, unterscheiden sich für die meisten Betonfertigteile nicht wesentlich von Schalungen für herkömmlichen Beton.

Da nicht gerüttelt werden muss, werden neue Schalungsdetails, wie z. B. magnetisch fixierte Formvorrichtungen bei Metallschalungen, möglich. Ungewöhnliche, komplizierte bzw. komplexe Schalungen können eingesetzt werden, die bei Verwendung von konventionellem gerütteltem Beton nicht möglich wären.

Durch die Verwendung von SCC ist es z. B. möglich Bauteile in einem Arbeitsgang herzustellen, bei denen für konventionellen Beton eine eintägige Arbeitsunterbrechung bei der Herstellung erforderlich wäre.

Obwohl der Verschleiß aufgrund des Fehlens von Außenrüttlern bzw. des Kontaktes von Rüttelflaschen mit der Schalungsoberfläche geringer ist, sind die Steifheit und die Festigkeit der Schalung auf den Betondruck während der Herstellung zu bemessen. Dabei ist der volle hydrostatische Druck in Rechnung zu stellen (siehe Abschnitt 10.5).

Weitere Informationen über Schalungen, Oberflächenvorbereitung und Schalöl werden in Abschnitt 10.6 und 10.7 angegeben.

## 12.5 Herstellung im Werk

Vorgefertigte Betonfertigteile sind gemäß den allgemeinen Richtlinien für die Produktion, wie in Abschnitt 9 ausgeführt, herzustellen. Der Betonfertigteiltersteller sollte auch die folgenden Erfordernisse beachten.

Der Beton muss einer Sichtprüfung auf Homogenität und Konsistenz vor dem Einbau unterzogen werden. Stichprobenartig sollte auch das Fließmaß überprüft werden. Im Zweifel können noch andere Prüfungen zusätzliche Informationen über die Eigenschaften des frischen SCC liefern.

Es wird empfohlen (in einigen EU-Mitgliedsländern vorgeschrieben), dass der Hersteller eine werkeigene Produktionskontrolle (WPK) gemäß den Erfordernissen der entsprechenden Produktnormen bzw. EN 13369, Anhang D, durchführt. Die Produktionskontrolle beinhaltet:

- Überprüfung der Ausrüstung
- Überprüfung der Materialien
- Überprüfung der Herstellungsprozesse
- Überprüfung des fertigen Produktes
- Überprüfung von sich ändernden Produktionsbedingungen

Wenn eine Zwischenlagerung von frischem Beton aufgrund der Mischerleistung bzw. der Produktionsgeschwindigkeit erforderlich ist, kann ein mit einem Rührwerk ausgestatteter Behälter eingesetzt werden, um dann den kontinuierlichen Einbau von SCC zu ermöglichen.



Abb. 12.1: Verwendung eines Behälters mit Rührwerk, um den SCC genau vor dem Einbau zu aktivieren

## 12.6 Einbau

Beim Einsatz von SCC in Fertigteilwerken ist es, so wie beim Einsatz von SCC auf der Baustelle, erforderlich, dass das gesamte Personal, das mit SCC zu tun hat, eine entsprechende Schulung erhält.

Es finden die Einbauanweisungen aus Abschnitt 11 und insbesondere aus den Abschnitten 11.1 bis 11.3 und 11.6 Anwendung. Es ist wichtig, die Betoniergeschwindigkeit dahingehend abzustimmen, dass das Entweichen von Luft aus dem Beton ermöglicht wird. Die Betoneinbringung sollte kontinuierlich durchgeführt werden, da vorübergehende Pausen unerwünschte Fugen zwischen den Betonierschichten verursachen können, die sich auf die Festigkeit, Haltbarkeit und das Aussehen auswirken können. Wenn es zu einer Unterbrechung bei der Betoneinbringung kommt, sollte die Kontaktenergie des frisch eingebrachten Betons erhöht werden (z. B. durch Erhöhung der Gießhöhe), sodass die Oberfläche der ersten Schicht aufgebrochen und die Bildung einer Fuge vermieden wird.

Einige Betonbehälter auf den Fertigungsanlagen haben Auslässe mit einer reduzierten Größe, um die Energie des SCC beim Einbringen zu erhöhen.

Geeignete (z. B. vorgebogene) Hebeanker, Verbindungselemente (z. B. zur Verbindung der Fertigteile mit dem Mauerwerk) und dergleichen können in den bereits betonierten Fertigteil eingesetzt werden.

## 12.7 Endbearbeitung, Nachbehandlung und Entschalung

Wenn der SCC nicht vollständig selbstnivellierend ist, kann die Oberfläche leicht mit einem Rechen oder einer Glättkelle behandelt werden, um eine ebene Oberfläche zu erzeugen. Mechanisches Rütteln sollte nur nach entsprechenden Versuchen zur Abklärung von Entmischungstendenzen angewendet werden (siehe Abschnitt 11.6).

Die Nachbehandlung ist ähnlich jener für normalen Beton, beginnt jedoch im Allgemeinen später, je nach Betonzusammensetzung, Betoneigenschaft und der Umgebungs- bzw. Betontemperatur.

Frische Betonoberflächen von Fertigteilprodukten aus SCC sollten auf dieselbe Art nachbehandelt werden wie normaler Beton (siehe Abschnitt 11.8).

Die Verwendung von Wärme zur Beschleunigung der Festigkeitsentwicklung des Fertigteillements aus SCC ist genauso effektiv wie für normalen Beton. Die Prüfung des Erhärtingsgrades wird zur Steuerung und Kontrolle der Festigkeitsentwicklung verwendet.

Wenn eine Wärmebehandlung bei SCC angewendet wird, um das Aushärten zu beschleunigen, sollten die Eigenschaften und die Ausführung der Wärmebehandlung die Anforderungen von EN 13369, Abschnitt 4.2.1.4 erfüllen.

## 13 Aussehen und Oberflächenqualität

### 13.1 Allgemeines

Oberflächen von hoher Qualität sind eine Eigenschaft von SCC. Um diese hohe Qualität zu erreichen, ist jedoch eine sorgfältige Planung der Mischung und eine entsprechende Erfahrung erforderlich.



Abb. 13.1: Oberflächenqualität Baustelle London Piccadilly, Lincoln und Loughborough UK



Das Aussehen eines mit SCC hergestellten Bauteiles hängt vornehmlich ab von

- der Art des verwendeten Zementes und Zusatzmittels
- der Mischungszusammensetzung des SCC
- der Qualität der Schalung und des Entschalungsmittels
- dem Einbauverfahren.

Das Aussehen ist üblicherweise besser als bei herkömmlichem Beton, weil

- die Farbe im Allgemeinen einheitlicher ist
- es leichter ist, Fehler zu vermeiden, die aufgrund von Leckagen in der Schalung oder auch bei Öffnungen für Schalungsverbindungselemente auftreten können
- bei hochwertigen und gut gewarteten Schalungen die Kanten schärfer ausgebildet werden können
- die Anzahl und Größe von Lufteinschlüssen verringert wird
- Luftporen unter horizontalen Schalungsflächen in Größe und Anzahl beschränkt werden können, wenn die Schalung sorgfältig gefüllt wird.

Folgende Mängel treten bei allen Betonsorten auf. Bei sorgfältiger Herstellung und Anwendung lassen sich mit SCC bessere Oberflächen erzielen als mit herkömmlichem Beton:

- Lufteinschlüsse
- Nesterbildung
- vertikale Streifen und Farbunterschiede
- plastische Rissbildung oder Rissbildung durch Trocknung

Eine Checkliste von möglichen Fehlerquellen und deren Vermeidung ist dem Anhang C zu entnehmen.

In den nachfolgenden Abschnitten sind einige Fehlerquellen beschrieben.

### 13.2 Lufteinschlüsse

Luft wird in den Beton während des Mischprozesses, aber auch während des Transports und des Einbringens eingetragen. Das Ausmaß, mit dem Luft entweder innerhalb des SCC stabilisiert wird oder während des Einbaus verloren geht, hängt von der Kohäsion der Mischung ab. Eine hohes Fließmaß SF3 und geringe plastische Viskosität VS/VF1 sind vorteilhaft, um perfekte Oberflächen zu erreichen, da sie es der Luft erleichtern, aus dem Beton zu entweichen. Eine Rezeptur nahe der Entmischungsgrenze ergibt üblicherweise die beste Oberfläche.

Lufteinschlüsse bilden sich, wenn kleine Luftblasen eingeschlossen werden oder an der Schalungsoberfläche anhaften. Zusätzlich zu den oben angeführten Faktoren können Lufteinschlüsse auch aufgrund der Oberflächenqualität der Schalung und des verwendeten Typs bzw. der Menge des verwendeten Entschalungsmittels entstehen. Es wird eine Abstimmung zwischen dem Schalöllieferanten und dem Betonhersteller empfohlen.

Luft kann leichter entweichen, wenn die Einbringgeschwindigkeit des Betons in die Schalung nicht zu hoch ist und wenn der Beton sich seitlich in der Schalung über einige Meter ausbreiten kann.

Das Pumpen vom Boden der Schalung aus ergibt im Allgemeinen die beste Oberflächenqualität. Wenn das nicht möglich ist, sollte das Ende des Schlauches für die Betoneinbringung immer unter der Betonoberfläche gehalten werden. Wenn der Beton in freiem Fall eingebracht wird, kann dies die Anzahl der größeren eingeschlossenen Luftporen sowohl an der Oberfläche als auch innerhalb des Betonkörpers erhöhen.

### 13.3 Nesterbildung

Nesterbildung kann durch eine Undichtigkeit in der Schalung hervorgerufen werden. Meistens sind jedoch zu geringe Fließfähigkeit und zu dicht verlegte Bewehrung die Gründe für die Nesterbildung.

Schlechte Fließfähigkeit von SCC wird üblicherweise verursacht von

- zu geringer Fließmaßklasse
- zu hoher Viskosität
- zu großem Größtkorn
- zu wenig Bindemittel oder zu grober Gesteinskörnung.

Wenn eine Nesterbildung auftritt und diese nicht auf Undichtigkeit der Schalung zurückzuführen ist, sollte die Übereinstimmung des verwendeten Betons mit der vorgesehenen Rezeptur überprüft werden. Bei Übereinstimmung des Betons mit der Rezeptur sollte diese überprüft bzw. entsprechend abgeändert werden.

### **13.4 Farbgleichheit und Abweichungen in der Oberfläche**

Vertikale Streifen auf der Betonoberfläche sind selten und werden üblicherweise durch Bluten des Betons verursacht. Jedes Wasser neigt dazu, sich an der vertikalen Schalungsoberfläche anzusammeln und nach oben zu fließen. Dabei hinterlässt es sichtbare Streifen auf der Betonoberfläche aufgrund von Auswaschungen und/oder durch Fließen des Schalungsöls.

Es gibt verschiedene Gründe für das Bluten:

- hoher Wasser-Bindemittelwert
- zu niedrige Viskosität
- zu geringe Temperatur
- verzögerte Erstarrung

Andere Gründe für Farbungleichheiten sind

- ungleiches Trocknen der Oberfläche (z. B. verursacht durch neue oder trockene Schalungen oder durch in die Schalung eingelegte Kunststofffolien)
- Verwendung von zu viel oder ungeeignetem Schalöl
- Verwendung unterschiedlicher Ausgangsstoffe bei den Betonchargen.

### **13.5 Minimierung von Oberflächenrissen**

SCC sollte nicht zur Entmischung neigen. Es kann jedoch, wie bei konventionellem Beton, zu einer Setzungsrissbildung über den Bewehrungsstäben kommen, wenn eine Setzung der Gesteinskörnung erfolgt. Einige SCC-Rezepte, insbesondere jene, bei denen eine sehr hohe Qualität der Oberfläche gefordert ist, können sehr nahe der Entmischungsgrenze liegen, bei der sich die groben Gesteinskörnungen absetzen. Eine zusätzliche Kontrolle kann daher erforderlich sein. Die Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln und von einem entsprechenden Bindemittelgehalt verringert die Gefahr von Rissbildungen an der Oberfläche aufgrund der Setzung der Gesteinskörnungen.

Diese Setzungsrisse können breit sein, normalerweise sind sie jedoch nicht sehr tief, sodass die Oberfläche häufig durch Glätten vor dem Erstarren des Betons repariert werden kann.

Da der SCC wenig oder kein Bluten aufweist, kann die Oberfläche rasch austrocknen. Dies kann zu Schwindrissen führen, wenn mit der Nachbehandlung nicht rechtzeitig begonnen wird.

## Europäischen Richtlinien für SCC

### Anhang A: Anforderungen für SCC

#### Einführung

SCC sollte als Erweiterung von normalem hoch konsistentem Beton betrachtet werden.

Eine Festlegung auf der Grundlage von Eigenschaften wird unter Verwendung der Methode zur Festlegung für „proprietary concrete“ gegeben. Für Eigenschaften und Anforderungen, die nicht mit Selbstverdichtung zusammenhängen, wird EN 206-1 angeführt bzw. im Fall von Betonfertigteilprodukten EN 13369.

#### A.1 Anwendungsbereich

Dieser Anhang führt die Anforderungen und Konformitätskriterien für SCC an.

#### A.2 Normative Verweisungen

Dieser Anhang beinhaltet datierte oder undatierte Verweise und Bestimmungen von anderen Veröffentlichungen. Die Normenverweise werden an entsprechender Stelle im Text zitiert und die Publikationen sind in der Folge aufgelistet. Für datierte Verweise finden darauf folgende Abänderungen oder Überarbeitungen dieser Veröffentlichungen auf diesen Anhang nur Anwendung, wenn sie darin durch Abänderung oder Überarbeitung enthalten sind. Für undatierte Verweise ist die letzte Ausgabe der angeführten Publikation maßgeblich.

EN 206-1 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

EN 13369 Allgemeine Regeln für Betonfertigteile

Anhang B, Frischbetonprüfung – Teil 1: Fließmaßtest

Anhang B, Frischbetonprüfung – Teil 2: V-Trichter-Test

Anhang B, Frischbetonprüfung – Teil 3: L-Box-Test

Anhang B, Frischbetonprüfung – Teil 4: Entmischungssicherheits-(Sieb-)Test

Anmerkung: Diese Prüfmethode werden für die Standardisierung auf europäischer Ebene empfohlen.

#### A.3 Definitionen, Symbole und Abkürzungen

In diesem Anhang kommen die Ausdrücke und Definitionen lt. EN 206-1 sowie die in der Folge angeführten Ausdrücke und Definitionen zur Anwendung:

##### A.3.1 Definitionen

###### A.3.1.1 „Proprietary concrete“

Beton, für den der Hersteller die Eigenschaften vorbehaltlich einer vorschriftsmäßigen Vorgangsweise bei Einbau, Verdichten und Erhärten garantiert und für den der Hersteller die Zusammensetzung nicht deklarieren muss.

###### A.3.1.2 SCC (self-compacting concrete)

Beton, der unter seinem eigenen Gewicht fließt, sich selbst verdichtet und die Schalung auch bei dichter Bewehrung komplett ausfüllt. Er kann dies unter Beibehaltung der Homogenität und ohne Notwendigkeit einer zusätzlichen Verdichtung.

###### A.3.1.3 Füllfähigkeit (filling ability)

Die Fähigkeit des Frischbetons, in alle Räume innerhalb der Schalung unter seinem eigenen Gewicht zu fließen und diese auszufüllen.

###### A.3.1.4 Viskosität (viscosity)

Der Fließwiderstand von Frischbeton, sobald das Fließen begonnen hat.

Anmerkung: Diese Eigenschaft von SCC wird indirekt durch die Messung der Fließzeit vom V-Trichter-Wert oder durch den  $T_{500}$ -Wert bestimmt.

#### A.3.1.5 Durchgangsfähigkeit (passing ability)

Die Fähigkeit von Frischbeton, durch enge Öffnungen wie z. B. die Räume zwischen Stahlbewehrungsstäben ohne Entmischung oder Verstopfung zu fließen.

#### A.3.1.6 Sicherheit gegen Entmischung (segregation resistance)

Die Fähigkeit von Frischbeton in seiner Zusammensetzung homogen zu bleiben.

### A.3.2 Symbole und Abkürzungen

In diesem Anhang kommen die Symbole und Abkürzungen lt. EN 206-1 sowie die in der Folge angeführten Symbole und Abkürzungen zur Anwendung:

- SCC            Abkürzung für selbstverdichtenden Beton (self-compacting concrete)
- SF1 bis SF3    Konsistenzklassen, ausgedrückt durch das Fließmaß
- VS1 und VS2   Viskositätsklassen, ausgedrückt durch den  $T_{500}$ -Wert
- VF1 und VF2   Viskosität, ausgedrückt durch die V-Trichterzeit
- PA1 und PA2   Durchgangsfähigkeitsklassen (L-Box-Test)
- SR1 und SR2   Entmischungssicherheitsklassen, ausgedrückt durch den Siebentmischungstest

### A.4 Klassifikation

#### A.4.1 Allgemeines

Die in EN 206-1: 2000, Abschnitt 4 angegebenen Klassifikationen finden Anwendung.

#### A.4.2 In der Festlegung von SCC verwendete Klassifikation

Wo die Eigenschaften von SCC klassifiziert werden, findet Tabelle A.1 bis A.4 Anwendung.

Anmerkung: Es ist üblich, nur eine Fließmaßklasse festzulegen. In einigen Situationen ist es auch notwendig, als Anfangstest eine L-Box-Klasse bzw. Entmischungssicherheitsklasse bzw. entweder den  $T_{500}$ -Wert oder eine V-Trichter-Klasse festzulegen.

Tabelle A.1: Fließmaßklassen

Klasse	Fließmaß in mm
SF1	550 bis 650
SF2	660 bis 750
SF3	760 bis 850

Tabelle A.2: Viskositätsklassen

Klasse	$T_{500}$ s	V-Trichterzeit in s
VS1/ VF1	$\leq 2$	$\leq 8$
VS2/ VF2	$> 2$	9 bis 25

Tabelle A.3: Durchgangsfähigkeitsklassen (L-Box)

Klasse	Durchgangsfähigkeit
PA1	$\geq 0,80$ mit 2 Bewehrungsstäben
PA2	$\geq 0,80$ mit 3 Bewehrungsstäben

Tabelle A.4: Entmischungssicherheitsklassen (Siebentmischungstest)

Klasse	Entmischungssicherheit in %
SR1	$\leq 20$
SR2	$\leq 15$

Anmerkung: Die bevorzugte Methode zur Festlegung besteht darin, die oben angeführte Klassifikation zu verwenden, jedoch können in Sonderfällen Zielwerte festgelegt werden.

## **A.5 Anforderungen für Beton und Überprüfungsmethoden**

### **A.5.1 Grundlegende Anforderungen für die Bestandteile**

EN 206-1: 2000, Abschnitt 5.1 findet Anwendung;  
für Betonfertigteile die entsprechende Produktnorm und/oder EN 13369: 2004, Abschnitt 4.1.

### **A.5.2 Grundlegende Anforderungen für die Betonzusammensetzung**

EN 206-1: 2000, Abschnitt 5.2 findet Anwendung;  
für Betonfertigteile die entsprechende Produktnorm und/oder EN 13369: 2004, Abschnitt 4.2.1.

### **A.5.3 Anforderungen bezüglich der Expositionsklasse**

Der Beton muss die Anforderungen erfüllen, die am Ort der Verwendung im Hinblick auf die Expositionsklassen erforderlich sind und/oder die festgelegten Grenzwerte einhalten. Bei Betonfertigteilen sind die in den jeweiligen Produktnormen festgelegten Anforderungen einzuhalten.

### **A.5.4 Anforderungen an den Frischbeton**

Wo die Eigenschaften von SCC bestimmt werden müssen, werden sie mittels der folgenden Tests gemessen:

- Fließmaß- und  $T_{500}$ -Test gemäß Anhang B.1
- V-Trichter-Test gemäß Anhang B.2
- L-Box-Test gemäß Anhang B.3
- Siebentmischungstest gemäß Anhang B.4

Bei direkter oder indirekter Festlegung über die Expositionsklassen muss der Beton die entsprechenden Anforderungen gemäß EN 206-1: 2000, 5.4.2 bis 5.4.4 oder gemäß der entsprechenden Produktnorm für Fertigteile und/oder EN 13369: 2004, Abschnitt 4.2.2 erfüllen.

### **A.5.5 Anforderungen an den Festbeton**

EN 206-1: 2000, Abschnitt 5.5 findet Anwendung;  
für Betonfertigteile die entsprechende Produktnorm und/oder EN 13369.

## **A.6 Lieferung von Frischbeton**

### **A.6.1 Information des Betonverwenders an den Hersteller**

EN 206-1: 2000, 7.1 findet Anwendung.

### **A.6.2 Information des Betonherstellers an den Verwender**

Nach Aufforderung hat der Hersteller die folgenden Informationen zu liefern:

- a) Ergebnisse der relevanten vorhergehenden Betontests
- b) Festigkeitsentwicklung

### **A.6.3 Lieferschein für den Transportbeton**

Die allgemeinen Informationen in EN 206-1: 2000, 7.3 sind auf dem Lieferschein durch die folgenden zu ergänzen:

- Festigkeitsklasse
- Expositionsklassen

- Chloridgehaltklasse
- Klasse oder Zielwert für die Eigenschaft der Selbstverdichtung
- Grenzwerte der Betonzusammensetzung, falls festgelegt
- Größtkorn der Gesteinskörnung
- alle zusätzlich festgelegten Eigenschaften

### A.7 Konformitätskontrolle und Konformitätskriterien

**Anmerkung:** Im Falle von Transportbeton ist eine Konformitätskontrolle vorzunehmen. Damit wird überprüft, ob die auf dem Lieferschein angegebenen Eigenschaften eingehalten werden.

Wenn Anwender und Hersteller ident sind, werden sowohl bei Anwendung von Fertigteilen als auch bei Verwendung von Ortbeton Tests und Überprüfungen als Teil der Produktionskontrolle mit der gleichen Prüfhäufigkeit und unter Verwendung derselben Konformitätskriterien vorgenommen. In diesem Fall führt die Nichterfüllung der Kriterien nicht zu einer Erklärung der Nichtkonformität, sondern zu einer internen Untersuchung, um festzustellen, ob dies auf eine Nichtkonformität mit den Anforderungen des Festbetons hinweist.

Als Prüfhäufigkeit für den Fließmaßtest ist jene anzuwenden, die in EN 206-1 bzw. im Fall von Fertigteilprodukten in EN 13369 bzw. in anderen relevanten Produktnormen für die Überprüfung der Konsistenz angegeben ist. Der  $T_{500}$ -Wert-, V-Trichter-Zeit-, L-Box-Test und Siebentmischungstest müssen nur vorgenommen werden, wenn diese festgelegt wurden.

Mit der Einhaltung der in Tabelle A.5 angegebenen Grenzwerte ist die Konformität der festgelegten Eigenschaften von SCC bestätigt.

Tabelle A.5: Konformitätskriterien von SCC

Eigenschaft	Kriterien
Fließmaßklasse SF1	$\geq 520 \text{ mm}, \leq 700 \text{ mm}$
Fließmaßklasse SF2	$\geq 640 \text{ mm}, \leq 800 \text{ mm}$
Fließmaßklasse SF3	$\geq 740 \text{ mm}, \leq 900 \text{ mm}$
Fließmaßklasse festgelegt als Zielwert	$\pm 80 \text{ mm}$ des Zielwerts
V-Trichter-Klasse VF1	$\leq 10 \text{ s}$
V-Trichter-Klasse VF2	$\geq 7 \text{ s}, \leq 27 \text{ s}$
V-Trichter festgelegt als Zielwert	$\pm 3 \text{ s}$
L-Box-Klasse PA1	$\geq 0,75$
L-Box-Klasse PA2	$\geq 0,75$
L-Box festgelegt als Zielwert	nicht mehr als 0,05 unter dem Zielwert
Siebentmischungssicherheits-Klasse SR1	$\leq 23$
Siebentmischungssicherheits-Klasse SR2	$\leq 18$

Für die anderen festgelegten Eigenschaften und Anforderungen finden die Prüfhäufigkeit und die Konformitätskriterien in EN 206-1 Anwendung bzw. im Fall von Betonfertigteilprodukten die relevanten Produktnormen und/oder die EN 13369.

### A.8 Produktionskontrolle

Die Grundlagen der Produktionskontrolle von Frischbeton in EN 206-1: 2000, Abschnitt 9 finden auf die festgelegten Eigenschaften von SCC Anwendung.

Im Falle von Betonfertigteilprodukten finden für andere Produktionsaspekte EN 13369: 2004, Abschnitt 6.3 und/oder andere relevante Produktnormen Anwendung.

## Anhang B: Prüfmethode

### Anhang B.1

#### Prüfung von Frischbeton – Teil B1: Fließmaß und $T_{500}$ -Zeit für SCC

##### Einführung

Das Fließmaß und die  $T_{500}$ -Zeit sind ein Test, um die Fließfähigkeit und die Fließrate von SCC ohne Hindernisse zu bestimmen. Er basiert auf der – in EN 12350 2 beschriebenen – Fließmaßprüfung. Das Ergebnis ist ein Hinweis auf die Füllfähigkeit von SCC. Die  $T_{500}$ -Zeit ist auch ein Maß für die Fließgeschwindigkeit und somit für die Viskosität des SCC.

##### 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt das Verfahren für die Bestimmung des Fließmaßes und der  $T_{500}$ -Zeit für SCC. Der Test ist bei einem Größtkorn über 40 mm nicht geeignet.

##### 2 Normative Verweisungen

Dieses Dokument beinhaltet datierte oder undatierte Verweise und Bestimmungen von anderen Veröffentlichungen. Diese Normenverweise werden an den entsprechenden Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind in der Folge aufgelistet. Für datierte Verweise finden darauf folgende Abänderungen oder Überarbeitungen dieser Veröffentlichungen auf dieses Dokument nur Anwendung, wenn sie darin durch Abänderung oder Überarbeitung enthalten sind. Für undatierte Verweise ist die letzte Ausgabe der angeführten Publikation (einschließlich aller Abänderungen) maßgeblich.

EN 12350-1 Prüfung von Frischbeton – Teil 1: Probennahme

EN 12350-2 Prüfung von Frischbeton – Teil 2: Setzmaß

ISO 5725:1994, *Precision of test methods – Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.*

##### 3 Prinzip

Der Frischbeton wird in einen Kegel gegossen, wie er für die EN-12350-2-Fließmaßprüfung verwendet wird. Wenn der Kegel nach oben abgezogen wird, wird jene Zeit gemessen, die vom Beginn der Aufwärtsbewegung des Kegels bis zu dem Zeitpunkt vergeht, zu dem sich der Beton auf einen Durchmesser von 500 mm ausgebreitet hat. Diese Zeit wird als  $T_{500}$ -Zeit bezeichnet. Das Fließmaß ist der Mittelwert aus größtem Durchmesser des ausgebreiteten Betons und dem dazu rechtwinkligen Durchmesser.

Anmerkung: Die Messung der  $T_{500}$ -Zeit kann unterlassen werden, wenn dies nicht gefordert wird.

##### 4 Prüfvorrichtung

Die Vorrichtung muss mit EN 12350-2 übereinstimmen, mit Ausnahme der unten angeführten Details:

- 4.1 Grundplatte** – besteht aus einer flachen Platte mit einer ebenen Fläche von mindestens 900 mm x 900 mm, auf die der Beton aufgebracht wird. Die Platte muss eine flache, glatte und nicht absorbierende Oberfläche und eine Mindestdicke von 2 mm haben. Die Oberfläche darf nicht von Zementleim angegriffen werden und nicht rosten. Die Konstruktion der Platte muss verwindungsfrei ausgeführt sein. Die Abweichung von der ebenen Fläche darf an keinem Punkt 3 mm überschreiten, wenn ein Lineal zwischen die Mittelpunkte der gegenüberliegenden Seiten gesetzt wird. Der Mittelpunkt der Platte wird mit einem Kreuz, dessen Linien parallel zu den Kanten der Platte verlaufen, und mit konzentrischen Kreisen von 200 mm und 500 mm Durchmesser markiert. Siehe Abbildung 1.

- 4.2** Lineal mit Millimeterteilung von 0 mm bis 1000 mm.
- 4.3** Stoppuhr mit einer Messgenauigkeit von 0,1 s.
- 4.4** Ring (optional) mit einer Masse von mindestens 9 kg.  
Anmerkung: Der Ring ermöglicht die Durchführung des Tests durch eine Person.

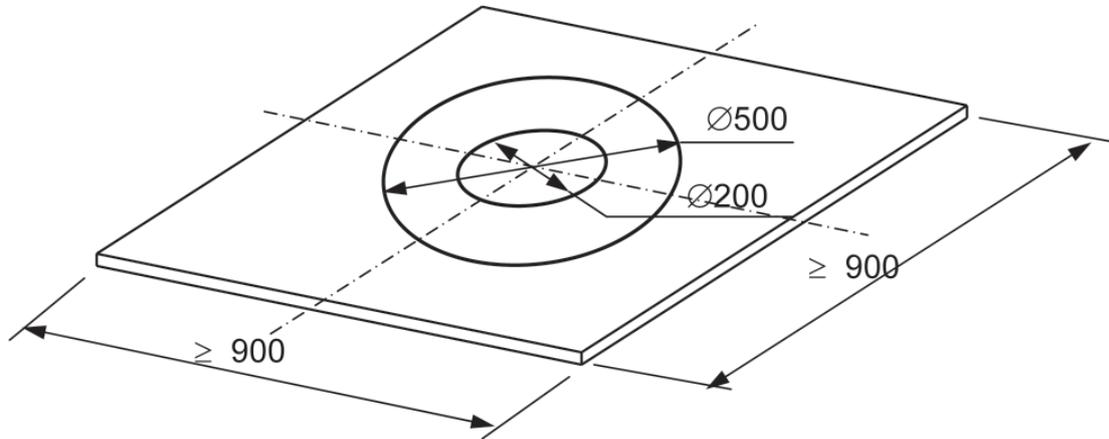


Abb. 1: Grundplatte gemäß Abschnitt 4.1

## 5 Prüfprobe

Die Probe wird gemäß EN 12350-1 genommen.

## 6 Verfahren

Bereiten Sie den Kegel und die Grundplatte vor wie in EN 12350-2 beschrieben.

Setzen Sie den Ring auf den Kegel, falls er verwendet wird.

Setzen Sie den Kegel auf den 200-mm-Kreis der Grundplatte und halten Sie ihn durch Stehen auf dem Fußstück in Position (oder verwenden Sie den Ring). Sie müssen sicherstellen, dass zwischen Kegel und Grundplatte kein Beton austreten kann.

Füllen Sie den Kegel ohne Rühren oder Stochern mit der Prüfprobe und streifen Sie überschüssigen Beton vom Kegel ab. Lassen Sie den gefüllten Kegel nicht länger als 30 s stehen; entfernen Sie während dieser Zeit jeden übergelaufenen Beton von der Grundplatte und stellen Sie sicher, dass die Grundplatte überall angefeuchtet ist. Dabei darf kein überschüssiges Wasser stehen bleiben.

Heben Sie ohne Störung des Betonflusses den Kegel zügig in vertikaler Richtung ab. Ist die  $T_{500}$ -Zeit gefordert, starten Sie die Stoppuhr sofort, wenn der Kegel nicht mehr in Kontakt mit der Grundplatte ist, und stoppen Sie jene Zeit auf 0,1 s genau, bis der Ausbreitkuchen den 500-mm-Kreis an irgendeinem Punkt erreicht. Messen Sie, ohne die Grundplatte oder den Beton zu stören, den größten Durchmesser der Fließausbreitung und tragen Sie ihn als  $d_m$  auf Zentimeter gerundet ein. Dann messen Sie den Durchmesser im rechten Winkel zu  $d_m$  und tragen Sie ihn als  $d_r$  auf Zentimeter gerundet ein.

Überprüfen Sie den Ausbreitkuchen auf Entmischung. Der Zementleim/Mörtel kann sich von der groben Gesteinskörnung trennen und einen Ring von Leim/Mörtel aufweisen, der sich über mehrere Millimeter über die grobe Gesteinskörnung hinaus ausbreitet. Entmischte grobe Gesteinskörnung kann auch in der Mittelfläche beobachtet werden. Halten Sie es fest, falls eine Entmischung aufgetreten ist und dass der Test deshalb nicht zufrieden stellend war.

**7 Prüfergebnis**

Das Fließmaß ist der Mittelwert aus  $d_m$  und  $d_r$  auf Zentimeter gerundet.

Die  $T_{500}$ -Zeit wird auf 0,1 s genau angegeben.

**8 Prüfbericht**

Der Prüfbericht hat zu beinhalten:

- a) Bezeichnung (Identifikation) der Prüfprobe
- b) Prüfort
- c) Prüfdatum
- d) Fließmaß auf Zentimeter gerundet
- e) Jedes Anzeichen einer Entmischung des Betons
- f) Zeit zwischen Fertigstellung der Mischung und der Durchführung der Tests;
- g) Jede Abweichung vom hier beschriebenen Verfahren

Der Bericht kann auch beinhalten:

- h)  $T_{500}$ -Zeit auf 0,1 s genau
- i) Die Temperatur des Betons zum Testzeitpunkt
- j) Uhrzeit des Tests

**B.1 Anhang (informativ)****Genauigkeit**

Die Wiederholbarkeit  $r$  und die Reproduzierbarkeit  $R$  wurden in einem Programm mit 8 Labors, 16 Laboranten und 2 Wiederholungen bestimmt und in Übereinstimmung mit ISO 5725:1994 zusammengefasst.

Die Ergebnisse für  $r$  und  $R$  sind in Tabelle B.1 angegeben.

Tabelle B.1: Genauigkeit der Ergebnisse

<b>Fließmaß in mm</b>	<b>&lt; 600</b>	<b>600-750</b>	<b>&gt; 750</b>
Wiederholbarkeit $r$ [mm]	n/a	42	22
Reproduzierbarkeit $R$ [mm]	n/a	43	28
<hr/>			
<b><math>T_{500}</math>-Zeit s</b>	<b>&lt; 3,5</b>	<b>3,5-6,0</b>	<b>&gt; 6,0</b>
Wiederholbarkeit $r$ [s]	0,66	1,18	n/a
Reproduzierbarkeit $R$ [s]	0,88	1,18	n/a
n/a ... nicht zutreffend (not applicable)			

## Anhang B: Testmethoden

### Anhang B.2

#### Frischbetonprüfung – Teil B2: V-Trichter-Test

##### Einführung

Der V-Trichter-Test wird zur Bestimmung der Viskosität und der Füllfähigkeit von SCC verwendet.

##### 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt das Verfahren für die Bestimmung der V-Trichter-Fließzeit für SCC. Der Test ist bei einem Größtkorn über 20 mm nicht geeignet.

##### 2 Normative Verweisungen

Dieses Dokument beinhaltet datierte oder undatierte Verweise und Bestimmungen von anderen Veröffentlichungen. Diese Normenverweise werden an den entsprechenden Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind in der Folge aufgelistet. Für datierte Verweise finden darauf folgende Abänderungen oder Überarbeitungen dieser Veröffentlichungen auf dieses Dokument nur Anwendung, wenn sie darin durch Abänderung oder Überarbeitung enthalten sind. Für undatierte Verweise ist die letzte Ausgabe der angeführten Publikation (einschließlich aller Abänderungen) maßgeblich.

EN 12350-1, *Frischbetonprüfung – Teil 1: Probenahme*

ISO 5725:1994, *Precision of test methods – Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.*

##### 3 Prinzip

Ein V-förmiger Trichter wird mit Frischbeton gefüllt. Die Zeit, die der Beton benötigt, um aus dem Trichter zu fließen, wird gemessen und als V-Trichter-Fließzeit protokolliert.

##### 4 Prüfvorrichtung

- 4.1 V-Trichter mit den Maßen (Toleranz  $\pm 1$  mm) gemäß Abb. 1, ausgeführt mit einer wasserdichten, schnell auslösenden Bodenklappe. Der Trichter muss derart aufgestellt werden können, dass er oben horizontal ist. Der V-Trichter besteht aus Metall, die Oberflächen sind glatt auszuführen, sie dürfen nicht von Zementleim angegriffen werden und nicht rosten.
- 4.2 Behälter zur Aufnahme der Prüfprobe. Der Behälter hat ein Volumen, das größer ist als jenes des Trichters und das nicht kleiner als 12 l sein darf.
- 4.3 Stoppuhr mit einer Messgenauigkeit von 0,1 s.
- 4.4 Gerade Leiste, um den Beton am oberen Ende des Trichters abzustreichen.

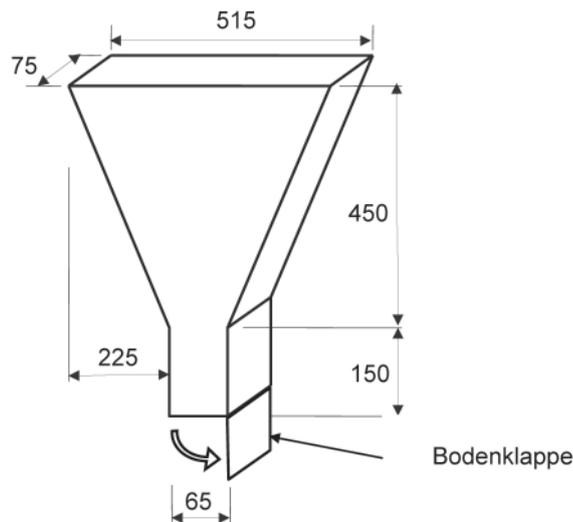


Abb. 1: V-Trichter

## 5 Prüfprobe

Eine Probe von mindestens 12 l wird gemäß EN 12350-1 genommen.

## 6 Verfahren

Reinigen Sie den Trichter und die Bodenklappe, dann befeuchten Sie die Innenfläche einschließlich der Klappe. Schließen Sie die Klappe und gießen Sie die Betonprobe ohne Rühren oder Stochern in den Trichter. Streichen Sie die Betonoberfläche mit der geraden Leiste ab, sodass der Beton bündig mit den Oberkanten des Trichters abschließt. Geben Sie den Behälter unter den Trichter, um den durchfließenden Beton auffangen zu können. Nach  $10 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$  ab dem Füllen des Trichters öffnen Sie die Bodenklappe und messen Sie auf 0,1 s genau jene Zeit  $t_v$ , von der Öffnung der Klappe bis zu dem Zeitpunkt, zu dem es das erste Mal möglich ist, vertikal durch den Trichter in den Behälter darunter zu schauen.  $t_v$  ist die V-Trichter-Fließzeit.

## 7 Prüfbericht

Der Prüfbericht hat zu beinhalten:

- a) Bezeichnung (Identifikation) der Prüfprobe
- b) Prüfort
- c) Prüfdatum
- d) V-Trichter-Fließzeit ( $t_v$ ) – auf 0,10 s genau
- e) Zeit zwischen Fertigstellung der Mischung und der Durchführung des Tests
- f) Jede Abweichung vom hier beschriebenen Verfahren

Der Bericht kann auch beinhalten:

- h) Die Temperatur des Betons zum Testzeitpunkt
- i) Uhrzeit des Tests

## B.2 Anhang (informativ)

### Genauigkeit

Die Wiederholbarkeit  $r$  und die Reproduzierbarkeit  $R$  wurden in einem Programm mit 10 Labors, 20 Laboranten und 2 Wiederholungen bestimmt und in Übereinstimmung mit ISO 5725:1994 zusammengefasst.

Die Ergebnisse für  $r$  und  $R$  werden durch die folgenden Gleichungen ermittelt, wobei  $C$  ein Korrelationskoeffizient ist (zitiert aus englischem Original).

$$r = 0,335 t_v - 0,62, \text{ wobei } C^2 = 0,823, \text{ wenn } 3 \leq t_v \leq 15; \text{ und } r = 4,4, \text{ wenn } t_v > 15$$

und

$$R = 0,502 t_v - 0,943, \text{ mit } C^2 = 0,984, \text{ wenn } 3 \leq t_v \leq 15; \text{ und } R = 6,6, \text{ wenn } t_v > 15$$

Aus diesen Gleichungen (für typische Werte von  $t_v$ ) berechnete Werte für  $r$  und  $R$  sind in Tabelle B.2 angegeben.

Tabelle B.2: Genauigkeit der Ergebnisse für typische Werte der V-Trichter-Fließzeit

<b>V-Trichter-Fließzeit [s]</b>	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>	<b>8,0</b>	<b>12,0</b>	<b>&gt; 15,0</b>
Wiederholbarkeit $r$ [s]	0,4	1,1	2,1	3,4	4,4
Reproduzierbarkeit $R$ [s]	0,6	1,6	3,1	5,1	6,6

## Anhang B: Testmethoden

### Anhang B.3

#### Frischbetonprüfung – Teil B3: L-Box-Test

##### Einführung

Der L-Box-Test wird zur Bestimmung der Durchgangsfähigkeit von SCC beim Fließen durch enge Öffnungen zwischen Bewehrungsstäben und anderen Hindernissen ohne Entmischung oder Verstopfung verwendet. Es gibt zwei Varianten: der Zweistabtest und der Dreistabtest. Der Dreistabtest simuliert eine dichte Bewehrung.

##### 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt das Verfahren für die Bestimmung der Durchgangsfähigkeit unter Verwendung des L-Box-Tests für SCC.

##### 2 Normative Verweisungen

Dieses Dokument beinhaltet datierte oder undatierte Verweise und Bestimmungen von anderen Veröffentlichungen. Diese Normenverweise werden an den entsprechenden Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind in der Folge aufgelistet. Für datierte Verweise finden darauf folgende Abänderungen oder Überarbeitungen dieser Veröffentlichungen auf dieses Dokument nur Anwendung, wenn sie darin durch Abänderung oder Überarbeitung enthalten sind. Für undatierte Verweise ist die letzte Ausgabe der angeführten Publikation (einschließlich aller Abänderungen) maßgeblich.

EN 12350-1, *Frischbetonprüfung – Teil 1: Probenahme*

ISO 5725:1994, *Precision of test methods – Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.*

##### 3 Prinzip

Ein bestimmtes gemessenes Volumen von Frischbeton kann horizontal durch Öffnungen zwischen vertikalen, glatten Bewehrungsstäben fließen, die Höhe des Betons hinter der Bewehrung wird gemessen.

##### 4 Prüfvorrichtung

**4.1** Die L-Box hat eine Form wie in Abb. 1 dargestellt. Die Maße (Toleranz  $\pm 1$  mm) sind in Abb. 1 und Abb. 2 angegeben. Die L-Box besitzt eine stabile Konstruktion mit einer glatten und flachen Oberfläche, die nicht durch Zementleim angegriffen wird und nicht rostanfällig ist. Der vertikale Schacht kann zur Reinigung entfernt werden. Bei geschlossenem Schieber beträgt das Volumen des vertikalen Schachtes bis zum Rand gefüllt 12,6 bis 12,8 l.

Die Konstruktion, welche die Bewehrungsstäbe hält, weist für den Zweistabtest zwei glatte Stäbe mit 12 mm Durchmesser und einem lichten Abstand von 59 mm auf. Für den Dreistabtest hat sie drei glatte Stäbe mit 12 mm Durchmesser und einen lichten Abstand von 41 mm. Die Konstruktion ist auswechselbar und hält die Stäbe in der L-Box vertikal ausgerichtet. Die Stäbe sind gleichmäßig auf den Querschnitt der Box aufgeteilt.

Anmerkung: Eine Stahlform ist vorzuziehen, jedoch ist auch eine 12 mm dicke, beschichtete Schalttafel aus Sperrholz mit versiegelten Schnittflächen geeignet.

**4.2** Lineal mit Millimeterteilung von 0-300 mm.

**4.3** Behälter mit einem Volumen von mindestens 14 l, um die Probe aufzunehmen.

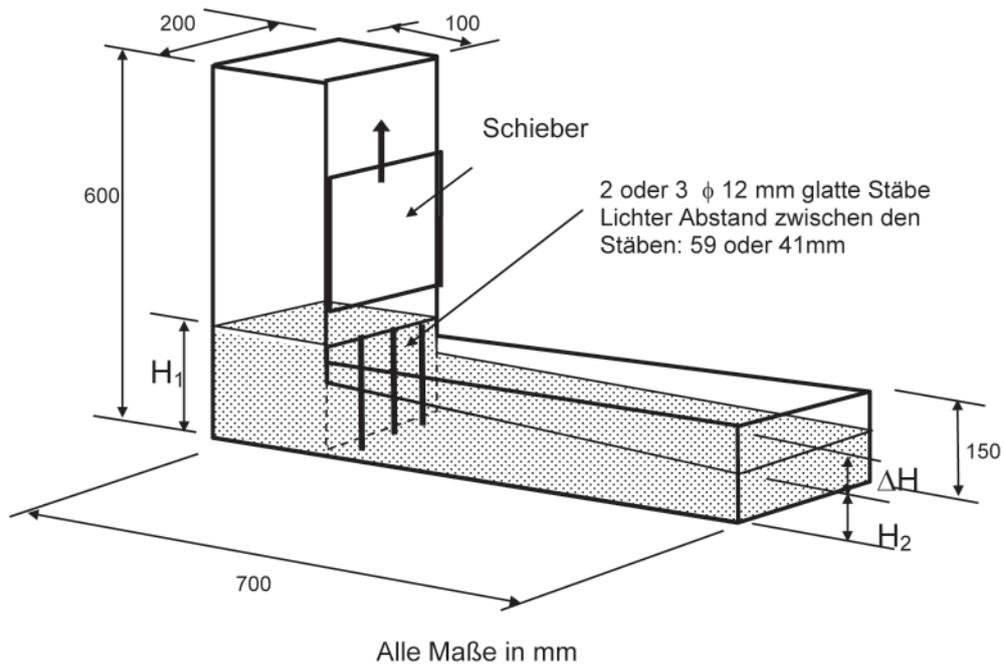


Abb. 1: Allgemeiner Aufbau der L-Box

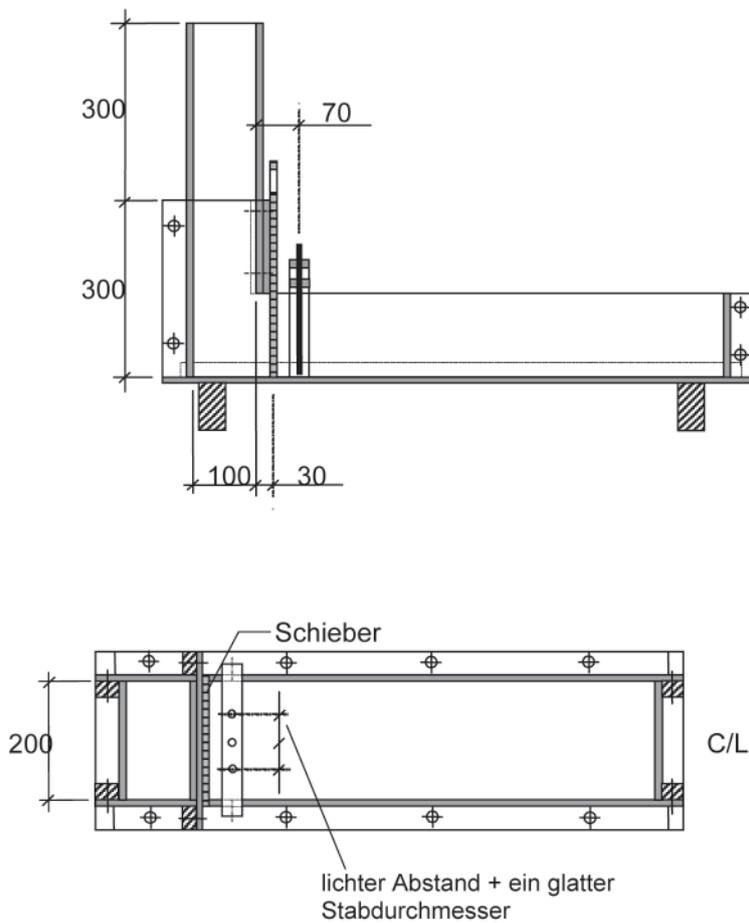


Abb. 2: Maße und typische Konstruktion der L-Box

**5 Prüfprobe**

Eine Probe von ca. 17 l wird gemäß EN 12350-1 genommen.

**6 Prüfverfahren**

Stellen Sie die L-Box auf eine ebene horizontale Grundlage und schließen Sie den Schieber zwischen den vertikalen und horizontalen Abschnitten. Gießen Sie den Beton aus dem Behälter in den Füllschacht der L-Box und lassen Sie ihn  $60 \pm 10$  s stehen. Protokollieren Sie jede Entmischung und öffnen Sie anschließend den Schieber, sodass der Beton in den horizontalen Abschnitt der Box fließen kann.

Nach Ende der Fließbewegung messen Sie die vertikale Distanz am Ende des horizontalen Abschnittes der L-Box zwischen der Oberfläche des Betons und der Oberkante des horizontalen Abschnitts der Box ( $\Delta H$ ) an drei gleichmäßig entlang der Breite der Box verteilten Punkten. Um die mittlere Tiefe des Betons  $H_2$  mm zu berechnen, wird der Mittelwert aus diesen drei Messungen von der lichten Höhe des horizontalen Abschnitts der Box abgezogen. Das gleiche Verfahren wird zur Berechnung der Betontiefe gleich hinter der Tür als  $H_1$  mm verwendet. (Siehe dazu auch Abb. 1).

**7 Prüfergebnis**

Die Durchgangsfähigkeit PA wird aus der folgenden Gleichung berechnet:

$$PA = H_2/H_1$$

**8 Prüfbericht**

Der Prüfbericht hat zu beinhalten:

- a) Bezeichnung (Identifikation) der Prüfprobe
- b) Prüfort
- c) Prüfdatum
- d) Jedes Anzeichen einer Entmischung des Betons während der Befüllung der L-Box
- e) Angabe, ob ein Zwei- oder Dreistabtest ausgeführt wurde;
- f) Kennzahl der Durchgangsfähigkeit PA, gerundet auf 1/100 des Wertes
- g) Zeit zwischen Fertigstellung der Mischung und der Durchführung der Tests
- h) Jede Abweichung vom hier beschriebenen Verfahren

Der Bericht kann auch beinhalten:

- i) Die Temperatur des Betons zum Testzeitpunkt
- j) Uhrzeit des Tests

**Zusatzanmerkung**

Es gibt einen Vorschlag, um das L-Box-Testresultat als  $PA = H_2/H_{max}$  auszudrücken.

$H_{max}$  ist die theoretische Höhe von 12,7 Liter SCC unter der Voraussetzung, dass sich der SCC vollständig in der L-Box ausgleicht (= theoretischer Wert  $H_2$  bei vollständiger Verteilung des SCC).

Die Verwendung dieser Berechnung macht die Messung leichter (es muss nur  $H_2$  bestimmt werden) und erhöht die Prüfgenauigkeit.

Allerdings müssen das Volumen des SCC in der L-Box (12,7 Liter) und alle Maße der Form genau eingehalten werden, wenn diese Konstante (91 mm) verwendet wird.

**Warnung:**

**Bei Verwendung dieser Berechnung ( $PA = H_2/H_{max}$ ) ist der Wert für PA nicht gleich dem Wert bei Verwendung von  $PA = H_2/H_1$ . Der mit diesem Verfahren ermittelte Wert für PA kann nicht herangezogen werden, um die Anforderungen an PA, die im Anhang A dieser Richtlinie gestellt werden, zu bestätigen.**

### B.3 Anhang (Information)

#### Genauigkeit

Die Wiederholbarkeit  $r$  und die Reproduzierbarkeit  $R$  wurden in einem Programm mit 11 Labors, 22 Laboranten und 2 Wiederholungen bestimmt und in Übereinstimmung mit ISO 5725:1994 zusammengefasst.

Für den Dreistabtest werden die Werte von  $r$  und  $R$  in den folgenden Gleichungen angegeben, wobei  $C$  der Korrelationskoeffizient ist:

$$r = 0,074 - 0,463 P_L, \text{ mit } C^2 = 0,996, \text{ wenn } P_L \geq 0,65; \text{ und } r = 0,18, \text{ wenn } P_L < 0,65$$

und

$$R = 0,454 - 0,425 P_L, \text{ mit } C^2 = 0,989, \text{ wenn } P_L \geq 0,65; \text{ und } R = 0,18, \text{ wenn } P_L < 0,65$$

In Tabelle B.3 sind Werte von  $r$  und  $R$ , für typische Werte von  $P_L$ , die aus den Gleichungen berechnet sind, angegeben.

Tabelle B.3: Genauigkeit der Ergebnisse für typische Werte des Durchgangsverhältnisses

Durchgangsverhältnis PA H2/H1	$\geq 0,8$	$< 0,8$
Wiederholbarkeit $r$	0,11	0,13
Reproduzierbarkeit $R$	0,12	0,16

## Anhang B: Prüfmethoden

### Anhang B.4

#### Frischbetonprüfung – Teil B4: Siebtest zur Prüfung der Sicherheit gegen Entmischen

##### Einführung

Der hier beschriebene Test wird verwendet, um die Sicherheit von SCC gegen Entmischung zu bestimmen.

##### 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt das Verfahren zur Prüfung der Sicherheit gegen Entmischen von SCC.

##### 2 Normative Verweisungen

Dieses Dokument beinhaltet datierte oder undatierte Verweise und Bestimmungen von anderen Veröffentlichungen. Diese Normenverweise werden an den entsprechenden Stellen im Text zitiert und die Publikationen sind in der Folge aufgelistet. Für datierte Verweise finden darauf folgende Abänderungen oder Überarbeitungen dieser Veröffentlichungen auf dieses Dokument nur Anwendung, wenn sie darin durch Abänderung oder Überarbeitung enthalten sind. Für undatierte Verweise ist die letzte Ausgabe der angeführten Publikation (einschließlich aller Abänderungen) maßgeblich.

EN 12350-1, *Frischbetonprüfung – Teil 1: Probenahme*

ISO 3310-2, *Test sieves – Technical requirements and testing – Teil 2: Test sieves of perforated metal*

ISO 5725:1994, *Precision of test methods – Determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests.*

##### 3 Prinzip

Nach der Probennahme wird der Frischbeton 15 min stehen gelassen und jede Trennung von Wasser durch Bluten protokolliert. Der obere Teil der Probe wird dann in ein Sieb mit 5-mm<sup>2</sup>-Öffnungen gegossen. Nach 2 min wird das Gewicht des Materials, das durch das Sieb gegangen ist, aufgezeichnet. Das Entmischungsverhältnis wird dann als Verhältnis der Probe, die durch das Sieb gegangen ist, berechnet.

##### 4 Prüfvorrichtung

- 4.1 *Lochplattensieb* mit 5-mm<sup>2</sup>-Öffnungen, Rahmendurchmesser 300 mm und Höhe 40 mm, gemäß ISO 3310-2, komplett mit einem Auffangbehälter, von dem das Sieb leicht durch vertikales Heben entfernt werden kann.
- 4.2 *Waage*, auf die man den Auffangbehälter stellen kann. Wägebereich größer 10 kg, Genauigkeit kleiner gleich 20 g.
- 4.3 *Probebehälter* aus Plastik oder Metall mit einem Innendurchmesser 300 ± 10 mm, einem Fassungsvermögen von 11-12 Liter und einem Deckel.

##### 5 Prüfprobe

Eine Probe in der Größe des Probebehälters wird gemäß EN 12350-1 genommen.

## 6 Verfahren

Geben Sie  $10 \pm 0,5$  Liter Beton in den Probebehälter und legen Sie den Deckel auf. Lassen Sie den Behälter in einer störungsfreien Lage  $15 \pm 0,5$  min lang stehen.

Stellen Sie sicher, dass die Waage eben und vibrationsfrei steht. Geben Sie den Siebauffangbehälter auf die Waage und protokollieren Sie seine Masse ( $W_p$  [g]). Dann geben Sie das Sieb auf den Aufnahmebehälter und protokollieren die Gesamtmasse.

Am Ende der Stehzeit nehmen Sie den Deckel vom Probebehälter ab und protokollieren Sie, ob Wasser durch Bluten auf der Oberfläche des Betons aufgetreten ist. Das Sieb und der Auffangbehälter verbleiben auf der Waage. Den oberen Teil des Probebehälters halten Sie  $500 \pm 50$  mm über dem Sieb und gießen sofort  $4,8 \pm 0,2$  kg Beton einschließlich des durch Bluten ausgetretenen Wassers auf den Mittelpunkt des Siebes. Protokollieren Sie die tatsächlich auf das Sieb aufgewogene Betonmasse ( $W_c$  [g]). Lassen Sie den Beton auf dem Sieb  $120 \pm 5$  s stehen und heben Sie dann das Sieb vertikal ohne ruckende Bewegung ab. Protokollieren Sie die Masse des Auffangbehälters und des Betons, der im Auffangbehälter verblieben ist ( $W_{ps}$  [g]).

## 7 Prüfergebnis

Der entwichene Anteil SR wird aus der folgenden Gleichung berechnet und auf 1 % gerundet:

$$SR = (W_{ps} - W_p) 100 / W_c [\%]$$

## 8 Prüfbericht

Der Prüfbericht hat zu beinhalten:

- a) Bezeichnung (Identifikation) der Prüfprobe
- b) Prüfort
- c) Prüfdatum
- d) Falls zutreffend: Vorhandensein von Wasser durch Bluten, nach 15-minütigem Stehen
- e) Entmischten Anteil (SR) auf 1 % gerundet
- f) Zeit zwischen Fertigstellung der Mischung und der Durchführung der Tests
- g) Jede Abweichung vom hier beschriebenen Verfahren

Der Bericht kann auch beinhalten:

- i) Die Temperatur des Betons zum Testzeitpunkt
- j) Uhrzeit des Tests

## B.4 Anhang (informativ)

### Genauigkeit

Die Wiederholbarkeit  $r$  und die Reproduzierbarkeit  $R$  wurden in einem Programm mit 11 Labors, 22 Laboranten und 2 Wiederholungen bestimmt und gemäß ISO 5725:1994 zusammengefasst.

Die Ergebnisse für  $r$  und  $R$  sind in Tabelle B.4 angegeben.

Tabelle B.4: Genauigkeit der Ergebnisse

<b>Entmischungsanteil in %</b>	<b><math>\leq 20</math></b>	<b><math>&gt; 20</math></b>
Wiederholbarkeit $r$ %	3,7	10,9
Reproduzierbarkeit $R$ %	3,7	10,9

### Anhang C: Verbesserung der Oberfläche von SCC

Die unten stehende Tabelle beschreibt die Hauptprobleme, die während oder nach dem Einbau von SCC auftreten können. Einige dieser beschriebenen Probleme treten auch bei herkömmlichem Beton beim Einbau mit Rüttlern auf. Bei Verwendung von SCC sind aufgrund des Produktverhaltens einige der Probleme leichter zu vermeiden. Es sollte beachtet werden, dass Oberflächenerscheinungen wie Luftlöcher und andere Oberflächenabweichungen das Aussehen der Betonoberfläche beeinflussen können. Andere Probleme wie Nesterbildung, Fugen/Schichten zwischen Chargen, Abschuppen und Rissbildung können sich auf die Qualität des Betons auswirken.

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Poren (blow holes)</b>	eingeschlossene Luft  eingeschlossenes Wasser  eingeschlossenes Schalöl	– übermäßig Feinteile /hohe spezifische Oberfläche	– Feinteile vermindern
		– starke oder ungleichmäßige Anwendung des Schalöls	– sparsame und gleichmäßige Anwendung von Schalöl
		– raue Schalungsoberfläche	– sicherstellen, dass die Schalung sauber ist – Verwendung von geotextilem Vlies zur Aufnahme der Luft
		– zu schnelles Betonieren	– gleichmäßiges, langsames Einbringen des Betons in die Schalung
		– zu lange Fließlänge	– Fließabstand auf 5 m reduzieren
		– zu kurze Fließlänge	– Fließabstand auf 1 m ausdehnen
		– große freie Fallhöhe des Betons	– Freifall auf < 1 m absenken – Verwendung von flexiblen Einfüllschläuchen bei hohen Bauteilen – Beton von unten nach oben in die Schalung pumpen
		– zu hohe Betontemperatur	– Betontemperatur auf unter 25 °C reduzieren
		– Einbautempo zu langsam	– Betonzustellung und Baustelleneinrichtungen so planen, dass die Kontinuität beim Einbau sichergestellt ist
		– Absetzen von Bestandteilen der Superverflüssiger, speziell Entschäumer	– Betonhersteller: Lagerung verbessern, Verwendung nach Datum und rotierendes Lager (first in – first out)
		– zu hohe Viskosität	– Reduktion von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln – Mischungsverhältnisse überprüfen
		– ungeeignete Sieblinie	– Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln oder Luftporenmitteln (entrained air)
– zu lange Mischzeit bringt Luft in den Beton ein	– Mischzeit überprüfen		
– Zusatzmittel/Zement-Verträglichkeit	– Kompatibilität der Zusatzmittel mit den Zementen vor der Herstellung überprüfen		
<b>Physikalische Gründe:</b> schlechte Füllfähigkeit schlechte Durchgangsfähigkeit hohe Viskosität oder hohe Fließspannung (yield stress) niedriges Fließmaß bzw. lange T <sub>500</sub> -Zeit schnelle Fließmaßreduktion (slump-flow reduction)			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Sichtbare vertikale Streifen oder Auswaschungen auf der Betonoberfläche</b>	Bluten von Wasser und Feinteilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zu hohes Wasser-zu-Fein-teil-Verhältnis</li> <li>– zu niedrige Viskosität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln</li> <li>– Viskosität durch zusätzliche Feinteile erhöhen</li> <li>– Luftporenmittel verwenden, um bessere Partikelgrößenverteilung zu erreichen</li> </ul>
<b>Physikalischer Grund:</b> geringe Stabilität			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Farbunterschiede</b>	Unterschiede zwischen den Betonchargen	– zu niedrige Temperatur	– gleiche Temperaturbedingungen bei Beton und Schalung sicherstellen (besonders bei Winterarbeiten)
		– zu hohes Fließmaß zu niedrige Viskosität	– Viskosität durch mehr Feinteile erhöhen oder Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln erwägen
		– Verzögerungseffekt von Zusatzmittel oder Ausschalmittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>– sorgfältige Auswahl der Zusatzmittel entsprechend den Einsatzbedingungen</li> <li>– Wassergehalt oder Fließmittelbeigabe reduzieren</li> <li>– Verwendung von schwachen Beschleunigern prüfen</li> <li>– geotextiles Vlies in der Schalung verwenden</li> </ul>
		– Änderungen in der Betoniergeschwindigkeit	– kontinuierliches Betonieren
		– Abdeckfolie bei der Nachbehandlung liegt ungleichmäßig auf der Betonfläche auf	– Folie vollflächig und gleichmäßig auflegen
		– Holzschalung mit trockener (saugender) Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Holzschalung vor dem Betonieren anfeuchten</li> <li>– vorzugsweise Verwendung von beschichteter Schalung</li> </ul>
<b>Physikalischer Grund:</b> Verzögerungs- oder Verschmutzungseffekt verursacht durch Öl, Zusatzmittel usw. zu hohe plastische Viskosität oder Fließspannung (yield stress?)			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Schlechte, unebene Oberfläche</b>	Ausbeulungen in der Schalung „Fingerabdrücke“ der Schalung auf Betonoberfläche	– schnelles Betoniertempo oder schlechte Schalungsplanung oder Schalungsbau	– Betoniergeschwindigkeit reduzieren, um hydrostatische Druckhöhe zu reduzieren – Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln zur Steigerung der Viskosität – Schalung verbessern, adaptieren
		– Schalungsoberfläche abgenutzt – Anhaften von Restbeton an der Schalung	– Schalung erneuern – Schalungsoberfläche vor dem Betonieren reinigen
		– ungeeignetes Ausschalmittel oder ungeeignete Anwendung des Mittels	– Experimente zur Ermittlung des besten Ausschalmittels machen – Auftrag in richtiger Menge und mit geeigneter Ausrüstung; Verwendung geeigneter Spritzdüsen und richtiger Spritzdruck
		– zu hohes Wasser-zu-Feinteil-Verhältnis	– Erhöhung des Anteils an Superverflüssiger oder Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln
<b>Physikalische Gründe:</b> hoher Schalungsdruck zu niedrige plastische Viskosität			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Nesterbildung</b>	nicht ausreichender Bindemittelleim oder Feinteile  Beton entmischt sich aufgrund von zu niedriger plastischer Viskosität  Beton kann Teile der Schalung nicht ausfüllen	– geringer Leim-zu-Feinteilgehalt	– Erhöhung der Feinteile Verwendung von mindestens 450 kg Feinteilen/m <sup>3</sup> – Luftporenmittel verwenden
		– ungeeignete Sieblinie	– geeignete Sieblinie
		– Größtkorn zu groß im Vergleich zu Überdeckung und Bewehrungsabstand	– kleineres Größtkorn wählen
		– undichte Schalung	– Schalung überprüfen, besonders an den Fugen
<b>Physikalische Gründe:</b> mangelnde Füllfähigkeit (filling ability) zu geringe Durchgangsfähigkeit (passing ability) unzureichende Stabilität zu niedriges Fließmaß bzw. T <sub>500</sub> -Zeit Entmischung der groben Gesteinskörnung vom Bindemittelleim			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Abschuppen</b>	Oberflächenschicht enthält nur Feinteile und ist zu schnell erstarrt	– keine oder ungenügende Nachbehandlung	– ordentliche Nachbehandlung gemäß den Umgebungsbedingungen sicherstellen
		– Entmischung bzw. Bluten, verursacht durch zu niedrigen Gehalt an Feinteilen	– Feinteilgehalt erhöhen – Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln – Zusatz von Luftporenmittel
<b>Physikalische Gründe:</b> unzureichende Stabilität Entmischung bzw. Bluten zu schnelles Trocknen			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Sichtbare Fugenebenen zwischen verschiedenen Chargen (üblicherweise als „Arbeitsfugen“ bezeichnet)</b>	Bildung von Oberflächenkrusten verhindert monolithische Verbindung des folgenden Betons mit dem schon eingebrachten Beton	– unterbrochene Betonlieferungen	– kontinuierliches Betonieren ohne Unterbrechungen
		– schnelle Betonaushärtung	– Versuche: keine zu schnelle Aushärtung zulassen
		– hohe Beton- oder Lufttemperatur	– Temperatur des Betons auf weniger als 25 °C senken
		– Entmischung von groben Gesteinskörnungen	– Überprüfung der Rezeptur – Verminderung der Fließdistanz
		– zu hohe spezifische Oberfläche von Feinteilen	– Reduktion des Feinteilgehalts
<b>Physikalische Gründe:</b> unzureichende Füllfähigkeit thixotropische Erstarrung zu schneller Fließmaßverlust zu hohe Viskosität gegenseitige Beeinflussung von Zusatzmittel und Zement			

Problem	Hauptgründe	Praktische Gründe	Wie zu verhindern oder auszubessern
<b>Plastische Rissbildung (schnelles Schwinden und plastische Setzung)</b>	zu schnelles Trocknen Ablagerung Anordnung der Bewehrung	– unzureichende Nachbehandlung in der Anfangsphase der Erhärtung	– sofort nach Einbau/Finishing mit der Nachbehandlung beginnen – ordentliche Nachbehandlung gemäß den Umgebungsbedingungen sicherstellen
		– Entmischung und Bluten	– plastische Risse vor dem Erstarren des Betons schließen – Feinteilgehalt erhöhen – Verwendung von Viskosität beeinflussenden Zusatzmitteln – Verwendung Luftporenmittel
		– extreme Umgebungsbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Wind usw.)	– Nachbehandlung gemäß den herrschenden Bedingungen ausführen
		– tiefe Schalungen (große Betonierhöhen) mit Bewehrungslage nahe der Oberfläche	– Bewehrungslagen optimieren
<b>Physikalische Gründe:</b> erhöhtes plastisches Schrumpfen durch Austrocknung geringe Stabilität			