

1 Einleitung

Im modernen Betonbau gelangen in zunehmendem Maße weltweit Betone zum Einsatz, die sich durch bislang nicht gekannte Eigenschaften auszeichnen. Die vorrangigen technischen Kenngrößen sind hierbei eine optimierte Verarbeitbarkeit sowie eine hohe Festigkeit und Dichtheit. Eine der wichtigsten Innovationen im Bereich der Betontechnologie der letzten Jahre ist der selbstverdichtende Beton (SVB).

Ausgehend von Japan hat dessen Entwicklung und Verwendung international stark zugenommen. Somit steigt auch die Bedeutung der Erforschung der Eigenschaften solcher Betone unter Gebrauchsbedingungen. Ein Grund für die derzeit noch begrenzte Anwendung von SVB in Deutschland sind unter anderen fehlende Langzeiterfahrungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit, wie sie bei konventionellem Beton vorliegen.

Die Herstellung von SVB erfordert den Einsatz von Zusatzstoffen und Zusatzmitteln. Durch die oft sehr großen Mengen an Zusatzstoffen und auch bedingt durch deren hohe Feinheit, werden die Kinetik der Zementhydratation, die Art und Menge der gebildeten Hydratphasen und die Gefügedichtheit maßgeblich beeinflusst. Dies führt damit auch zu einer Beeinflussung der Dauerhaftigkeit dieser Betone.

Derzeit fehlen systematische, verallgemeinerungsfähige Arbeiten zum Einfluss der Zusatzstoffe auf die Eigenschaften von SVB. Ein wesentliches Ziel der Arbeit ist es daher, die Wirkungsmechanismen der Zusatzstoffe im SVB zu klären und die Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit zu beschreiben. Das Verständnis für die Schädigungsmechanismen von Beton ist nicht ohne die grundlegende Kenntnis über den Hydratationsverlauf von Portlandzement in Anwesenheit von Zusatzstoffen möglich.

In dieser Arbeit soll der Frage nachgegangen werden, welche Hydratphasen im SVB entstehen, wie stabil diese Phasen bei einem Angriff sind und welche praktischen Konsequenzen für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit sich daraus ergeben. Es werden zwei Themenkomplexe untersucht. Zum einen der Einfluss von Kalksteinmehl auf die Hydratphasenbildung und der Widerstand gegenüber einem Sulfatangriff, zum anderen die Beeinflussung der Reaktivität von Steinkohlenflugasche infolge Temperatur und Feuchteangebot sowie die Auswirkung der Nachbehandlung auf den Frostwiderstand.

2 Problemstellung und Ziele der Arbeit

Der erste SVB wurde 1988 in Japan entwickelt. Der Prototyp dieses Betons sollte, nur durch sein Eigengewicht und ohne zusätzliche Rüttelverdichtung, im frischen Zustand die Schalung vollständig ausfüllen. Dieser auch als „Selbstverdichtender Hochleistungsbeton“ bezeichnete Beton wurde hinsichtlich einer minimalen Rissbildung und eines hohen Widerstandes gegenüber externen Belastungen im erhärteten Zustand optimiert /Oka03/.

Heutzutage kann nicht mehr von dem SVB mit einer bestimmten Zusammensetzung gesprochen werden. Weltweit existiert eine Vielzahl von Konzepten zur Mischungsoptimierung /Oka95, Wal99, Mar01, Ril99, Ril01, Ril03/. Dabei wurde der Schwerpunkt vorwiegend auf die Optimierung der Frischbetoneigenschaften gesetzt. Es ist daher sinnvoll, von Betonen der Konsistenzklasse „selbstverdichtend“ zu sprechen. Dies bedeutet auch, dass pauschale Aussagen zur Dauerhaftigkeit von SVB nicht möglich sind.

Die in Deutschland verwendeten SVB weisen aus rheologischen Gründen oft einen hohen Mehlkorngelalt auf. Während bei herkömmlichen Betonen der Anteil an Bindemitteln bzw. im erhärteten Zustand Bindemittelstein etwa bei 25 bis 30 V.-% liegt, beträgt er beim SVB ca. 35 bis 40 V.-%. Als Zusatzstoff wird häufig Steinkohlenflugasche oder Kalksteinmehl verwendet /Efe03/. Die eingesetzten Mengen von teilweise über 200 kg/m³ gehen weit über das bisher praxisübliche Maß der Verwendung dieser Zusatzstoffe hinaus.

Betonbauwerke sind über ihre planmäßige Nutzungsdauer den verschiedensten Umwelteinflüssen ausgesetzt. Diese beeinträchtigen die Dauerhaftigkeit von Beton in unterschiedlichem Maße. Herkömmliche Labortests berücksichtigen die realen Verhältnisse, denen ein Beton bei einer Belastung durch klimatische und nutzungsbedingte Beanspruchungen ausgesetzt ist, meist nur ungenügend. Dadurch kann es zu erheblichen Veränderungen gegenüber den geplanten Festbetoneigenschaften kommen.

Die Kenntnis der grundlegenden Struktur- und Hydratphasenbildungsvorgänge ist unabdingbar, um komplizierte mehrphasige, heterogene und poröse Werkstoffe wie Beton hinsichtlich ihrer zu erwartenden Eigenschaften sicher zu beurteilen. Der Widerstand eines Betons ergibt sich sowohl aus seiner Gefügedichtheit und der damit verbundenen Behinderung des Transports potentiell schädigender Stoffe sowie aus der Stabilität seiner Hydratationsprodukte. Die Gefügedichtheit von SVB ist meist wesentlich besser als die konventioneller Rüttelbetone /Lud01, Bra04/. Über die Beeinflussung der Hydratation durch große Mengen an Zusatzstoffen ist dagegen noch wenig bekannt.

Kalksteinmehl wird in der Baupraxis als inerter Zusatzstoff betrachtet. Obwohl vielfach chemische Reaktionen mit dem Zementstein beschrieben wurden, wird diesen Reaktionen kaum Bedeutung beigemessen. In selbstverdichtenden Betonen und

auch in Bindemitteln für solche Betone ist durch die Zugabemenge und auch durch die teilweise sehr hohe Mahlfineinheit die Oberfläche der Kalksteinmehlpartikel viel höher als in konventionellen Betonen. Dadurch ist mit einer stärkeren Reaktionsbeteiligung des Kalksteinmehls zu rechnen. Es ist daher notwendig, den Wissensstand zur Beteiligung von Kalksteinmehl an der Hydratphasenbildung und der Hydratphasenstabilität zu erweitern. Im Einzelnen werden der Reaktionsmechanismus bei der Hydratation der Hauptklinkerphase C_3S , sowie die Wirkung von Kalksteinmehl auf den Sulfatwiderstand untersucht. Folgende Fragen werden im Rahmen dieser Arbeit behandelt:

- Wie beeinflusst die zusätzliche Zugabe großer Mengen an Kalksteinmehl die Hydratphasenausbildung und die Gefügeentwicklung?
- Ist es auch mit hohem Anteil an Kalksteinmehl möglich, einen SVB mit hohem Widerstand gegenüber einer schädigenden Thaumasilbildung bei einem Sulfatangriff herzustellen?

Bei Steinkohlenflugasche wird von einer chemischen und einer physikalischen Wirkung im Beton ausgegangen. Im Normenwerk wird dies durch die Anrechnung von Steinkohlenflugasche auf den Wasser/Zement-Wert berücksichtigt. Die Wirksamkeit der Steinkohlenflugasche wird stark von inneren und äußeren Randbedingungen beeinflusst. Dies betrifft insbesondere die Zeitabhängigkeit der puzzolanischen Reaktion. Diese wird unter praktischen Gegebenheiten nicht nur von der chemischen Zusammensetzung und Reaktivität der Steinkohlenflugasche beeinflusst, sondern in hohem Maße auch von den vorherrschenden Umgebungsbedingungen. Insofern bedürfen folgende Fragen einer Untersuchung:

- Welche Auswirkungen haben die Temperatur und das Feuchtigkeitsangebot auf den Reaktionsgrad der Steinkohlenflugasche und wesentliche Festbetoneigenschaften?
- Wie lange und unter welchen Bedingungen muss die Lagerung eines SVB mit hohem Anteil an Steinkohlenflugasche vor der Prüfung des Frostwiderstandes im Labor erfolgen?
- Kann in diesem Zusammenhang eine Klimawechsellaagerung vor der Prüfung des Frostwiderstandes zu praxisnäheren Ergebnissen führen?

Es ist derzeit nur in einzelnen Punkten möglich, nur aus Kenntnis der Zusammensetzung eines Betons auf dessen Eigenschaften zu schließen. Die Kenntnis der grundlegenden stofflichen Vorgänge ist daher unabdingbar, um gezielt die Eigenschaften des Betons zu beeinflussen und vorherzusagen.

Die Untersuchungen haben das Ziel, zu klären, ob infolge der spezifischen Zusammensetzung von selbstverdichtendem Beton (veränderte Zusammensetzung des Bindemittels, erhöhter Mehlkorngesamt) die Dauerhaftigkeit negativ beeinträchtigt wird.

3 Grundlagen

3.1 Selbstverdichtender Beton

Selbstverdichtender Beton zeichnet sich gegenüber konventionellem Beton durch eine erheblich verbesserte Verarbeitbarkeit aus. Eine wesentliche Eigenschaft dieser Betone ist, dass sie infolge ihrer hohen Fließfähigkeit ohne äußere Einwirkung jede beliebige Form vollständig ausfüllen. Der Einsatz von SVB eröffnet somit neue Möglichkeiten im Betonbau, so dass auf lange Sicht mit einem verstärkten Einsatz dieser Betonart zu rechnen ist.

Die Verwendung von SVB hat in Europa in den letzten Jahren stetig zugenommen. Trotzdem stellt der SVB derzeit noch ein Spezialprodukt dar. Den möglichen Vorteilen selbstverdichtender Betone (schnelleres Betonieren, filigranere Bauteile, optimale Oberflächen, geringe Lärmemission) stehen insbesondere die erhöhten Anforderungen an die Betonherstellung gegenüber.

In Deutschland ist die Anwendung von SVB für Tragwerke im Rahmen der DIN 1045-2 und der DAfStb-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ geregelt. Die EN 206 als übergeordnete europäische Norm bezieht sich nicht explizit auf SVB, untersagt aber auch deren Anwendung nicht.

Ein technologisches Problem bei der Anwendung von SVB stellt dessen hohe Sensibilität gegenüber Änderungen der Betonzusammensetzung dar. Insbesondere können schon geringe Veränderungen in der Dosiermenge des Fließmittels die Konsistenz so beeinflussen, dass der Beton nicht mehr ordnungsgemäß verarbeitet werden kann. Die Folgen sind ein instabiler, zum Sedimentieren neigender Beton oder auch ein zu steifer, nicht ausreichend fließfähiger Beton.

Grundlage des SVB ist eine Mehlkornsuspension, die keine (bzw. nur eine sehr geringe) Fließgrenze aufweist, und deren desagglomerierte Feststoffpartikel einen so geringen Abstand haben, dass sie in ihrer Lage gehalten werden und sich nicht mehr absetzen /Gru99/. Entgegen den herkömmlichen Ansätzen zum Mischungsentwurf muss der Anteil an Mehlkornsuspension groß genug sein, um ein Zusammenstoßen der größeren Gesteinskörnungen untereinander zu verhindern. Im SVB müssen daher nicht nur die Hohlräume zwischen den Gesteinskörnungen mit Mehlkornsuspension ausgefüllt werden, sondern es muss auch noch genügend Mehlkornsuspension vorhanden sein, um den Abstand der Gesteinskörnungen untereinander ausreichend zu vergrößern.

Das Grundkonzept zur Herstellung eines SVB besteht daher in der Reduzierung des Anteils an groben Gesteinskörnungen, der Erhöhung des Anteils an Mehlkorn und der Zugabe eines hochwirksamen Fließmittels. Zusatzstoffe sind im SVB notwendig, um eine ausreichende Menge an stabiler Mehlkornsuspension zu erhalten. Eine Erhöhung des Bindemittelleimvolumens durch erhöhte Wasserzugabe ist nur möglich, wenn gleichzeitig Stabilisierer zugegeben werden.