



Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton



Dagmar Küchlin,
Leiterin
Bauberatung Süd
Entwicklung und
Anwendung

Im Brief 01/2015 der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) vom 22.4.2015 werden zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton Ad hoc-Maßnahmen für zukünftige und laufende Baumaßnahmen festgelegt. Des Weiteren wird festgelegt, welche

bereits ausgeführten Bauwerke hinsichtlich möglicher Schäden untersucht werden sollen.

Die im BAW-Brief genannten Maßnahmen wurden mit dem Erlass WS 12/2557.6/4 des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) vom 4.5.2015 als vorsorgliche Maßnahmen zur Risikominimierung eingeführt. Sie gelten für Betonbauwerke nach ZTV-W, LB 215 sowie Vorsatzschalen nach ZTV-W, LB 219, Abschnitt 3.

Hintergrund dieses Briefes sind erhebliche Mängel in den Schleusenkammerwänden einer Schleusenneubaumaßnahme der Wasser- und Schifffahrts-

verwaltung des Bundes (WSV). Nach derzeitigem Kenntnisstand wird als mögliche Ursache eine unzureichende Mischungsstabilität des Betons angenommen, die tatsächliche Ursachenfindung ist noch nicht abgeschlossen.

Die nun eingeführten Ad-hoc-Maßnahmen betreffen die Herstellung, die Lieferung und den Einbau von Beton. Des Weiteren werden zusätzliche Prüfungen am Frisch- und Festbeton erforderlich. Im Einführungserlass wird darauf hingewiesen, dass diese Maßnahmen mit fortschreitendem Kenntnisstand überprüft und gegebenenfalls geändert bzw. ergänzt werden.

► **Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton**

ALLGEMEINE ÜBERLEGUNGEN ZUM THEMA „MISCHUNGSSTABILITÄT“ VON XF3-BETONEN MIT ANFORDERUNGEN AN DEN MINDESTLUFTGEHALT

Nach ZTV-W müssen in der Expositions-kategorie XF3 Luftporenbetone mit Anforderungen an den Mindestluftgehalt eingebaut werden. Für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung $\geq 0,80$ m) wird die Druckfestigkeit nach 28 Tagen auf ≤ 46 N/mm² begrenzt sowie die Hydratationswärme mit einer Erwärmung von ≤ 36 K auf eine maximale Bauteiltemperatur von 61 °C beschränkt. Betone mit diesen Begrenzungen werden in der Regel mit LH-Zementen und/oder Zement-Flugaschekombinationen mit niedrigen Zementgehalten hergestellt, bei denen ein ausreichender Mehlkorngehalt über die Flugaschemenge eingestellt wird. Bei XF3-Betonen mit Anforderungen an den Mindestluftgehalt scheut mancher Betonhersteller den Einsatz von Flugasche, um Wechselwirkungen zwischen Flugasche und LP-Bildner, sprich: schwankende Luft-Gehalte, zu vermeiden. Diese XF3-Betone weisen daher einen eher niedrigen Mehlkorn- und Leimgehalt auf.

Mit hochwirksamen PCE-Fließmitteln können auch leimarme Betone in weicher Konsistenz eingebaut werden, mit dem zusätzlichen Vorteil, dass eine Baustellendosierung, wie sie bei klassischen Fließmitteln erforderlich ist, vermieden wird.

Betone mit LP-Bildner sehen im Vergleich zur gleichen Betonzusammensetzung ohne LP-Bildner aufgrund der eingeführten feinen Luftporen besser zusammenhaltend aus, bis hin zu einem „sahnigen“ Eindruck. In Verbindung mit PCE-Fließmitteln kann dieser Eindruck noch ausgeprägter sein, einmal über die meist leicht „stabilisierende“ Wirkung

von PCE-Fließmitteln, zum andern, weil je nach Entschäumung bereits mit niedrigen LP-Bildnerdosierungen hohe LP-Gehalte erzielt werden, die den augenscheinlichen „Sahneeffekt“ verstärken können. Dies kann bei leim- und mehlkornarmen Mischungen eine Mischungsstabilität suggerieren, die jedoch, sobald der Beton z. B. über den Eintrag von Rüttelenergie bewegt wird, nicht sicher gegeben ist.

Genormte Prüfverfahren, mit denen die Sedimentationsstabilität von Beton geprüft werden kann, gibt es derzeit nur für SVB.

Im BAW-Brief 1/2015 wird nun explizit darauf hingewiesen, dass ein ausreichender Mehlkorn- und Leimgehalt erforderlich ist, um weiche Betone mit ausreichender Mischungsstabilität herzustellen. Ebenso wird die Verwendung von PCE-Fließmitteln insbesondere in Kombination mit LP-Bildnern kritisch und als eine mögliche Ursache für eine unzureichende Mischungsstabilität gesehen, die wiederum als eine mögliche Ursache für den dem Schreiben zugrundeliegenden Schaden vermutet wird.

Auch weitere Punkte, die die Mischungsstabilität von Beton beeinflussen, wie z. B. die Mischzeiten, werden genannt.

AD-HOC-MASSNAHMEN GEMÄSS BAW-SCHREIBEN 1/2015 UND ERLASS WS 12/2557.6/4

Da es in der ZTV-W bisher keine Vorgabe gab, die Mischungsstabilität im Rahmen einer Prüfung nachzuweisen, werden mit dem Erlass WS 12/2557.6/4 entsprechende Prüfungsvorgaben zusammen mit Maßnahmen bei Herstellung, Transport und Einbau eingeführt. Damit soll sichergestellt werden, dass nur ausreichend stabile Betone eingebaut werden.

Maßnahmen bei der Betonherstellung

Für die Verwendung von Betonverflüssigern (BV) sowie Fließmitteln (FM) gilt:

- Bei Beton mit LP-Bildner dürfen nur BV bzw. FM auf Basis von Lignin-, Melamin- oder Naphthalinsulfonat (klassische BV / FM) eingesetzt werden.
Ausnahme: sofern bei Beton mit w/z-Wert $< 0,45$ die Einstellung der erforderlichen Konsistenz nachweislich nicht mit klassischen BV / FM möglich ist, sind mit dem Auftraggeber projektspezifische Festlegungen abzustimmen.
- Bei massigen Bauteilen (kleinste Bauteilabmessung $\geq 0,80$ m) dürfen PCE-haltige BV bzw. FM nur eingesetzt werden, wenn eine erweiterte Eignungsprüfung (s. Tabelle 1) vorliegt.

Bei der Betonherstellung sind folgende Vorgaben zu beachten:

- Nassmischzeit bei Beton ohne LP-Bildner: nach Zugabe aller Ausgangsstoffe mindestens 60 Sekunden
- Betone mit LP-Bildner: Nach Zugabe aller Ausgangsstoffe inklusive des LP-Bildners jedoch ohne BV bzw. FM mindestens 60 Sekunden nass mischen. Anschließend Zugabe von BV / FM und mindestens weitere 60 Sekunden mischen.
- Je nach Art des Mischwerks können längere Mischzeiten erforderlich sein.
- Die Mischzeiten der einzelnen Chargen sind automatisch auf dem Lieferschein zu dokumentieren.

Maßnahmen beim Transport des Betons

Der Transport zur Baustelle im fahrer-mischer inklusive der Wartezeit auf der Baustelle muss mit langsam drehender Trommel erfolgen. Unmittelbar vor der Entladung muss der Beton mindestens 2 Minuten aufgemischt werden.

► **Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton**

Maßnahmen beim Betoneinbau

- Die Regelungen des DBV-Merkblatts „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“ sind zu beachten.
- Je nach Bausituation sind geeignete Maßnahmen vorzusehen, um den Einbau- und Verdichtungsvorgang beobachten zu können, z. B. verschließbare Schalungsöffnungen oder Beleuchtungseinrichtungen.
- Prüfung der Sedimentationsstabilität des Frischbetons (Beschreibung im Abschnitt „zusätzliche Prüfungen ...“) mit dem Auswaschversuch in Anlehnung an die SVB-Richtlinie des DAfStb (2003) beim 1., 5. sowie jedem weiteren 20. Fahrzeug und in Zweifelsfällen.
- Entnahme von Vertikalbohrkernen ($d \geq 120 \text{ mm}$, $l \geq 1000 \text{ mm}$) in vom Auftraggeber festgelegter Anzahl (mindestens 1 Bohrkern je Betonsorte) und Entnahmestellen zur visuellen Beurteilung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges.
Das Vorgehen erfolgt analog zur Beschreibung des Vorgehens für die Bohrkernentnahme und Beurteilung am 2m-Block (s. nachfolgendes Kapitel).

ZUSÄTZLICHE PRÜFUNGEN NACH BAW-SCHREIBEN 1/2015 UND ERLASS WS 12/2557.6/4

Die zusätzlich zu den Prüfungen nach ZTV-W LB 215 durchzuführenden Prüfungen sind im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung sowie teilweise zusätzlich auf der Baustelle durchzuführen. Eine Übersicht gibt Tabelle 1.

Welche Betone?	Prüfungen im Rahmen der erweiterten Eignungsprüfung	Prüfungen auf der Baustelle
Alle Betone	■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch ■ Massige Bauteile: Entnahme von 2 Vertikal- und 3 Horizontalbohrkernen aus dem „2m-Betonblock“ zur Beurteilung der Sedimentationsstabilität am Festbeton	■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch beim 1., 5. und jedem folgenden 20. Fahrzeug ■ Sedimentationsstabilität am Festbeton (Vertikalbohrkerne)
PCE-haltige Betone für massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung $\geq 0,80 \text{ m}$)	■ Sättigungspunkt am Beton bei 20 sowie ggf. 10 °C ■ Falls beim Betonieren Temperaturen von $\leq 15 \text{ °C}$ erwartet werden: Konsistenzverlauf über 90 Minuten bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C ■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch ■ Massige Bauteile: Entnahme von 2 Vertikal- und 3 Horizontalbohrkernen aus dem „2m-Betonblock“ zur Beurteilung der Sedimentationsstabilität am Festbeton	■ Sedimentationsstabilität am Frischbeton mittels Auswaschversuch beim 1., 5. und jedem folgenden 20. Fahrzeug ■ Sedimentationsstabilität am Festbeton (Vertikalbohrkerne)

↑ Tabelle 1: Übersicht über die zusätzlichen Prüfungen nach BAW-Schreiben 1/2015 und Erlass WS 12/2557.6/4

Bestimmung des Sättigungspunktes von BV / FM bei massigen Betonen mit PCE-haltigen bzw. nicht nachweislich klassischen Produkten

Der Sättigungspunkt des verwendeten BV / FM bzw. der verwendeten BV / FM-Kombination muss nur bei Verwendung PCE-haltiger bzw. nicht nachweislich klassischer BV / FM geprüft werden.

Der Sättigungspunkt ist die Dosiermenge, ab deren Überschreitung keine weitere Verflüssigung mehr eintritt. Die Prüfung erfolgt mit der vorgesehenen Betonzusammensetzung bei einer Frischbetontemperatur von 20 °C sowie, sofern während der Bauausführung Frischbetontemperaturen $\leq 15 \text{ °C}$ auftreten, zusätzlich bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C. Dabei wird – jeweils

über einen neuen Beton – die Dosiermenge der Zusatzmittel schrittweise so lange erhöht bis keine Zunahme des Ausbreitmaßes mehr erfolgt. Die in der Prüfung ermittelte Sättigungsdosierung darf während der gesamten Lieferzeit der Sorte nicht überschritten werden.

Konsistenzverlauf bei 10 °C

Treten während der Bauausführung Frischbetontemperaturen $\leq 15 \text{ °C}$ auf, muss der Konsistenzverlauf über mindestens 90 Minuten bei einer Frischbetontemperatur von 10 °C geprüft werden. Die vorgegebenen Prüfzeitpunkte des Ausbreitmaßes liegen bei 10, 30, 45, 60 und 90 Minuten nach Wasserzugabe. Eine Nachverflüssigung darf bezogen auf das Ausbreitmaß nach 10 Minuten maximal 30 mm betragen.

► **Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton**

Prüfung der Sedimentationsstabilität des Frischbetons über den Auswaschversuch

Die Prüfung erfolgt in Anlehnung an den in der DAfStB-Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“, Ausgabe November 2003 beschriebenen Auswaschversuch.

Für den Versuch wird ein in 3 gleiche Segmente unterteilter Zylinder mit $d = 150 \text{ mm}$ und $h = 450 \text{ bis } 500 \text{ mm}$ verwendet (s. Bild 1). Das Material der Zylinderform ist nicht vorgegeben. Der Zylinder wird bis zu einer Höhe von 450 mm unter 45° Neigung gefüllt. Gemäß BAW-Brief 1/2015 wird der Beton einlagig eingefüllt und – da es sich nicht um SVB handelt – auf dem Rütteltisch 60 Sekunden verdichtet. Anschließend wird der Beton bis zum Erstarrungsbeginn erschütterungsfrei gelagert. Mit Hilfe eines Trennschiebers werden die Zylindersegmente abgescho-ben und die Masse der Teilproben $m_{\text{Beton},i} [\text{g}]$ bestimmt. Der Grobkornanteil in jedem Segment wird dann über Auswaschen und Absieben entweder auf dem 8 mm -Sieb oder bei $D_{\text{max}} = 32 \text{ mm}$ auf dem $11,2 \text{ mm}$ -Sieb bestimmt. Der Siebrückstand wird an der Luft getrocknet (oberflächentrocken) und gewogen.

Die Prüfung ist bestanden wenn die Verringerung des Grobkornanteils ($> 8 \text{ mm}$) im oberen Drittel des Zylinders bezogen auf den mittleren Grobkornanteil in der Gesamtprobe maximal 20 M.-% beträgt.

Prüfung der Mischungsstabilität am Festbeton mittels Bohrkernen aus dem „2m-Betonblock“

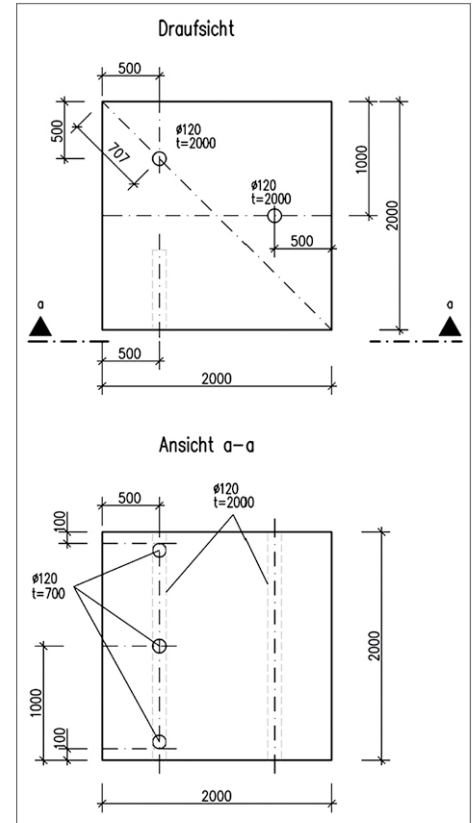
Nach ZTV-W muss bei Betonen für massige Bauteile im Rahmen der Eig-nungsprüfung die Hydratationswärme-entwicklung an einem Betonblock mit den Abmessungen $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ bestimmt werden. Für diese muss jetzt auch die Mischungsstabilität am Festbeton über



↑ Bild 1: Zylinderform für den Auswaschversuch nach SVB-Richtlinie des DAfStB, Ausgabe November 2003

die Entnahme von zwei Vertikal- sowie drei Horizontalbohrkernen geprüft werden. Die Entnahme erfolgt nach dem im BAW-Schreiben festgelegten Schema (s. Bild 2). Der Bohrkerndurchmesser muss mindestens 120 mm betragen. Die Länge der Vertikalbohrkerne geht über die gesamte Höhe des Betonblocks, die Länge der Horizontalbohrkerne muss $\geq 700 \text{ mm}$ sein. Die Bohrkerne werden mittig in Achsrichtung aufgeschnitten und die Gleichmäßigkeit des Gefüges visuell beurteilt. Das Gefüge muss weitgehend gleichmäßig sein.

In Zweifelsfällen ist eine quantitative Bestimmung des Anteils der groben Gesteinskörnung über den Flächenanteil der groben Gesteinskörnung $> 8 \text{ mm}$ vorgesehen. Dafür wird der Bohrkern in 3 gleiche Teilflächen unterteilt und der Flächenanteil der groben Gesteinskörnung $> 8 \text{ mm}$ in jedem Segment ermittelt. Die Veränderung des Grobkornanteils in jedem einzelnen Segment darf, bezogen auf den Mittelwert aus den 3 Segmenten, maximal 20 % betragen.



↑ Bild 2: Bohrkernentnahmestellen für die Prüfung der Gleichmäßigkeit des Betongefüges am 2m-Block

► **Ad-hoc-Maßnahmen der Bundesanstalt für Wasserbau zur Vermeidung von Problemen mit der Mischungsstabilität von Beton für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton**

AD-HOC-MASSNAHMEN BEI LAUFENDEN BAUMASSNAHMEN

Auch bei laufenden Baumaßnahmen kann ein Teil der jetzt eingeführten Maßnahmen noch gefordert werden, sofern eine Notwendigkeit seitens des Auftraggebers festgestellt wird.

Dies betrifft die Punkte:

- Mindestmischzeiten von Betonen mit und ohne LP-Bildner und automatischer Lieferscheinaufdruck
- Prüfung der Sedimentationsstabilität am Frischbeton mit dem Auswaschversuch
- Transport und Wartezeiten mit langsam drehender Mischtrommel und einer Aufmischzeit vor Entladung von mindestens 2 Minuten
- Beachten des DBV-Merkblattes „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“
- Ergreifen geeigneter Maßnahmen, um Einbau- und Verdichtungsvorgang beobachten zu können
- Prüfung der Mischungsstabilität am Frisch- und Festbeton, d.h. Auswaschversuch und Bohrkernentnahme auf der Baustelle

Im Erlass wird empfohlen, von den genannten Maßnahmen mindestens die Bohrkernentnahme zur visuellen Beurteilung des Festbetongefüges als Kontrollprüfung umzusetzen.

UNTERSUCHUNG BEREITS AUSGEFÜHRTER BAUWERKE ETWA AB DEM JAHR 2000

Bauwerke, in denen PCE-haltige Betone insbesondere mit LP-Bildner eingesetzt wurden, sollen auf mögliche Schäden durch Entmischung untersucht werden.

BEMERKUNGEN ZU DEN NEUEN PRÜFUNGEN FÜR ZTV-W-BETONE

Die Prüfung des Sedimentationsverhaltens mit dem Auswaschversuch auf der Baustelle erscheint aus praktischer Sicht schwer durchführbar, da die Prüfung laut Prüfanweisung bis zum Erstarrungsbeginn dauert, gleichzeitig aber der Beton spätestens innerhalb von 90 Minuten nach Wasserzugabe entladen sein muss. Die Prüfanweisung sollte daher aus unserer Sicht überprüft werden.

Ein zweiter Punkt betrifft den Grenzwert für den Auswaschversuch von 20 %. HC-interne Tastversuche haben gezeigt, dass ein Beton, der den Grenzwert leicht überschritt, in der visuellen Beurteilung am Festbetonzylinder (l = 300 mm) sowie an größerformatigen Probekörpern (l = 600 mm) ein stabiles Gefüge ohne Sedimentation des Grobkorns aufwies. Umgekehrt gab es auch einen Beton bei dem der Grenzwert eingehalten war, der sich aber im Festbeton schon leicht sedimentiert zeigte. Daher könnte es sinnvoll sein, wie in der SVB-Richtlinie (2003) vorzugehen und bei der Eignungsprüfung zusätzlich zum Auswaschversuch eine visuelle Beurteilung am Festbeton vorzunehmen.