BAW
Bundesanstalt für Wasserbau

BAWBrief 01/2020

A1-Änderung zu den ZTV-W LB 215, Ausgabe 2012 sowie BAWMerkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)“, Ausgabe 2019

Zusammenfassung

Nach einem Schadensfall beim Neubau einer Schleuse der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bei dem es in erheblichem Umfang zu Entmischungen des Betons im Bereich der frostbeanspruchten Kammerwände kam, wurden im Jahr 2015 mit BMVI-Erlass – WS 12/6257.6/4 vom 04.05.2015 – Ad-hoc-Maßnahmen mit dem Ziel eingeführt, bei künftigen Baumaßnahmen der WSV das Risiko einer Betonentmischung zu reduzieren. Diese kurzfristig erarbeiteten Maßnahmen sollten mit fortschreitendem Erkenntnisstand überprüft, ergänzt bzw. abgelöst werden.

In den letzten Jahren wurden nicht nur bei der BAW, sondern bei allen am Baugeschehen Beteiligten umfangreiche Aktivitäten zur Untersuchung und Erkennung der Ursachen für die Betonentmischung eingeleitet, bei der es sich um ein grundsätzliches und keineswegs um ein verkehrswasserbauspezifisches Problem handelt. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse wurden in einer A1-Änderung der ZTV-W LB 215 sowie im zugehörigen **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)“ formuliert. Beide Papiere sind der Fachöffentlichkeit als Entwürfe in einem Gelbdruckverfahren zur Diskussion gestellt worden und werden nach dessen Abschluss und erfolgter EU-Notifizierung nunmehr die Regelungen des Ad-hoc-Erlasses aus dem Jahr 2015 ablösen.

A1-Änderung und MESB beinhalten im Wesentlichen drei bauvertraglich relevante Regelungen sowie zusätzlich ausschließlich informative Hinweise zu Kontrollprüfungen seitens des Auftraggebers.

Bei den **bauvertraglichen Regelungen** gemäß A1-Änderung in Verbindung mit MESB, Abschnitt 4.3, handelt es sich um

- die Ermittlung, Einhaltung und Dokumentation von Mindestmischzeiten bei der Betonherstellung,
- die Festlegung bzw. Reduzierung der maximalen Zielkonsistenz des Betons sowie
- die Überprüfung der ausgeführten Leistung mittels Bohrkernuntersuchungen.

Mit den **außervertraglich** im Rahmen von Kontrollprüfungen des Auftraggebers anwendbaren Prüfverfahren nach **BAW**Merkblatt MESB, Abschnitte 3, 4.1 und 4.2, sollen in einer möglichst frühen Phase der Bauausführung qualitative Erkenntnisse zur Entmischungssensibilität der vorgesehenen Betone gewonnen werden, die allen an der Baumaßnahme Beteiligten **als Information** zur Verfügung gestellt werden sollten.

Die Regelungen sowie die bei deren Erstellung berücksichtigten Hintergründe werden im Folgenden erläutert.

1 Einführung

Im **BAW**Brief 1/2015 wurden Probleme mit der Entmischung von Beton im Bereich des Verkehrswasserbaus beschrieben. Beim Neubau einer Schleuse der WSV war es in erheblichem Umfang zu Entmischungen des Betons im Bereich der frostbeanspruchten Kammerwände gekommen. Im Hinblick auf eine Risikominimierung hinsichtlich Betonentmischung bei künftigen Baumaßnahmen wurden daraufhin kurzfristig und auf Basis des damaligen Wissenstandes mit dem BMVI-Erlass – WS 12/6257.6/4 vom 04.05.2015 – in Ergänzung zu ZTV-W LB 215 (und damit auch zu DIN 1045-2 und DIN 1045-3) bzw. ZTV-W LB 219 Ad-hoc-Maßnahmen eingeführt. Diese waren als temporäre Maßnahmen konzipiert und sollten bei Vorliegen weiterer Erkenntnisse zu dieser im Verkehrswasserbau neuartigen Problematik fortgeschrieben bzw. abgelöst werden.

Gemäß den Ad-hoc-Regelungen waren die wesentlichen Ergänzungen zu ZTV-W LB 215, Teil 2, bzw. zu DIN 1045-2

- die Festlegung von Mindestmischzeiten für Beton,
- der Ausschluss der Verwendung von verflüssigenden Betonzusatzmitteln auf PCE-Basis bei LP-Beton,
- die Bestimmung des Sättigungspunktes und der zeitlichen Konsistenzentwicklung bei Verwendung von Betonzusatzmitteln auf PCE-Basis bei Betonen ohne künstliche Luftporen,
- die Prüfung der Sedimentationsstabilität auf Basis des Versuchs für selbstverdichtenden Beton (SVB) nach DAfStb-Richtlinie SVB aus dem Jahre 2003 mit festgelegten einzuhaltenden Kriterien,
- das Anbohren des 8-m^3-Betonblocks (siehe ZTV-W LB 215, Anlage 1) zur Prüfung der Bohrkerne hinsichtlich Betonentmischung.

Gemäß den Ad-hoc-Regelungen waren die wesentlichen Ergänzungen zu ZTV-W LB 215, Teil 3, bzw. zu DIN 1045-3

- die Berücksichtigung des DBV-Merkblatts „Betonierbarkeit von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton“ sowie Maßnahmen, um eine bessere Beobachtung des Betoniervorgangs auch in der Schalung zu ermöglichen,
- die Prüfung der Sedimentationsstabilität auf Basis des Versuchs für SVB nach DAfStb-Richtlinie SVB aus dem Jahre 2003 mit festgelegten einzuhaltenden Kriterien,
- die Prüfung der ausgeführten Leistung im Hinblick auf Betonentmischung mit festgelegten Kriterien an Bohrkernen aus dem Bauteil.

2 Aktivitäten seit 2015

Die Bewertung der Mischungsstabilität von Frischbeton ist keineswegs ein verkehrswasserbauspezifisches Problem, sondern offensichtlich ein in allen Baubereichen relevantes Thema. Dies zeigt sich nicht zuletzt dadurch, dass sich seit den vergangenen Jahren viele der am Baugeschehen Beteiligten in entsprechenden Normungsgremien und Arbeitskreisen engagieren und auch Forschungsgelder zur Beantwortung entsprechender Fragestellungen bereitstellen. Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) hat einen Arbeitskreis (AK) Frischbeton eingerichtet, welcher neben einer Aufbereitung des Sachstands zu Frischbetoneigenschaften (Alfes et. al. 2020) Forschungsaktivitäten zur Erarbeitung eines Prüfverfahrens zur Beurteilung der Sedimentationssensibilität von Rüttelbeton betreut und fördert. Die Aktivitäten des DAfStb-AK Frischbeton fließen in die Arbeit des DAfStb-AK Beton ein, welcher derzeit mit der Überarbeitung der DIN 1045-2 (auch im Rahmen des Konzeptes „BetonBauQualität“ (BBQ)) befasst ist. Ziel ist letztlich die Erarbeitung eines Prüfverfahrens und dessen Integration in die Betonnormung, mit welchem die Sensibilität des Frischbetons im Hinblick auf Sedimentation der Gesteinskörnung beurteilt werden kann. Die erste Phase der im AK Frischbeton betreuten Projekte ist abgeschlossen (Breitenbücher et. al. 2019). Die Be-

arbeitung der zweiten Phase, in der insbesondere offene Punkte zum Prüfverfahren behandelt werden sollen, hat begonnen. Als Projektförderer bzw. -träger haben der Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie (BTB), der Deutsche Beton- und Bautechnikverein (DBV), der DAfStb und die BAW das an den Universitäten Bochum und Hannover bearbeitete Projekt gemeinsam unterstützt. Die Vorgehensweisen wurden fortlaufend im DAfStb-AK Frischbeton unter Mitwirkung weiterer am Baugeschehen Beteiligter fachlich begleitet.

Neben der Mitarbeit der BAW in den vorgenannten Arbeitskreisen und der Durchführung eigener Untersuchungen im Labor der BAW (Spörel 2018) und auf Baustellen der WSV erfolgte eine intensive Prüfung der Inhalte der ZTV-W LB 215 im Hinblick auf Ansatzpunkte zur Risikominimierung gegenüber Betonentmischung. Die Erkenntnisse dieser gesamten Aktivitäten wurden zur Erarbeitung einer A1-Änderung zu den ZTV-W LB 215 genutzt, welche im Wesentlichen auf Maßnahmen zur Risikominimierung gegenüber Betonentmischung fokussiert. Ergänzend wurde das **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)“ erarbeitet, in welchem Prüfverfahren zur Entmischung von Beton auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes beschrieben sind. Das **BAW**Merkblatt wird in der A1-Änderung in Teilen in Bezug genommen, weitere Teile des MESB haben zum jetzigen Zeitpunkt informativen Charakter. Sowohl die A1-Änderung als auch das **BAW**Merkblatt wurden der Fachöffentlichkeit im Rahmen eines Gelbdruckverfahrens zugänglich gemacht, die entsprechenden Einwände und Anmerkungen sind bewertet und in die endgültigen Fassungen eingearbeitet worden.

Die wesentlichen Inhalte beider Dokumente werden in den folgenden Abschnitten mit Erläuterung der Hintergründe vorgestellt.

3 Künftiges Konzept im Bereich des Verkehrswasserbaus zur Risikominimierung gegenüber Betonentmischung

3.1 Zielsetzung

Ziel der A1-Änderung in Verbindung mit dem **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)“ ist, wie bereits bei den Regelungen des Ad-hoc-Erlasses aus dem Jahr 2015, die Risikominimierung hinsichtlich Betonentmischung. Mit der A1-Änderung und dem MESB sollen zum einen die in den letzten Jahren gewonnenen Erkenntnisse zur Thematik Berücksichtigung finden. Zum anderen sollen teilweise bereits langjährig bekannte Empfehlungen, die in der Praxis bislang leider nur eingeschränkte Anwendung finden, zumindest in Teilen verbindlich gemacht werden. Die Regelungen sind nicht speziell auf Betone für den Verkehrswasserbau ausgelegt, sondern können auf Betone und den Betonbau insgesamt angewendet werden.

3.2 Überblick

Das Gesamtkonzept baut im Wesentlichen auf drei bauvertragliche Bausteine sowie einen Baustein außerhalb des Bauvertrags auf. Bei den bauvertraglichen Regelungen handelt es sich um

- die Ermittlung und Einhaltung der Mindestmischzeiten für den jeweiligen Beton,
- die Reduzierung der zulässigen Frischbetonkonsistenz (differenziert für Betone mit bzw. ohne Luftporen),
- die Überprüfung der ausgeführten Leistung am Bauteil.

Außerhalb des Bauvertrags können Kontrollprüfungen durch den Auftraggeber veranlasst werden. Bei diesen wird der Beton mit drei Prüfverfahren hinsichtlich seiner Sensibilität gegenüber Sedimentation der groben Gesteinskörnung charakterisiert. Diese Prüfverfahren und die zugehörigen Abnahmekriterien sind für eine orientierende Einschätzung der Entmischungssensibilität durchaus geeignet, bedürfen aber hinsichtlich einer bauvertraglich verbindlichen Festschreibung noch weiterer Entwicklung und Erprobung (siehe Kapitel 2).

Die bauvertraglich relevanten Regelungen werden in der A1-Änderung zur ZTV-W LB 215 verankert, welche auf ebenfalls verbindlich anzuwendende Regelungen im **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Frischbeton (MESB)“ Bezug nimmt. Im MESB finden sich darüber hinaus informative Vorgaben für die Durchführung und Bewertung der drei Prüfungen im Rahmen von Kontrollprüfungen des Auftraggebers.

3.3 Erläuterungen zu bauvertraglichen Regelungen

3.3.1 Mindestmischzeiten

Eine Grundvoraussetzung zur Herstellung stabiler Betone ist ein angemessener Mischvorgang. Ziel sollte eine ausreichende Vermischung der Betonausgangsstoffe sowie Aktivierung der Betonzusatzmittel während des Mischprozesses sein, um eine Nachaktivierung während des anschließenden Transports und des Einbaus zu vermeiden. Insbesondere der letztgenannte Aspekt hat in der Vergangenheit wahrscheinlich oftmals dazu geführt, dass Frischbetoneigenschaften wie Konsistenz und Luftporengehalt bei LP-Beton in weiten Bereichen schwanken. Kritischer war und ist aber das Problem von Überdosierungen gerade von hochwirksamen Fließmitteln auf PCE-Basis und LP-Bildnern aufgrund zu kurzer Mischzeiten, welche dann bei weiterem Energieeintrag durch Transport, Pumpen oder Verdichten unerwartet zu gravierenden Änderungen der Frischbetoneigenschaften und hier insbesondere auch zu Entmischungsproblemen führen können.

In Deutschland ist ein ausreichender Mischvorgang als elementare Voraussetzung für einen wenig entmischungssensiblen Beton im aktuellen Betonregelwerk nur sehr rudimentär verankert. Bis zur Einführung der DIN 1045-2:2001-07, die im Bereich der Betonherstellung in der heute aktuellen Ausgabe 2008-08 nicht wesentlich verändert wurde, enthielten die Vorgängerdokumente stets entsprechende Vorgaben zur Mindestmischdauer mit Zeitangaben. Aktuell findet sich hier nur noch eine ganz allgemeine Anmerkung zur Mischdauer *(„Anmerkung 2: Im Allgemeinen gilt Leichtbeton bei einer Mindestmischzeit von 90 s, Normalbeton bei einer Mindestmischzeit von 30 s als gleichmäßig durchgemischt.“)*. Lediglich für hochfesten Beton enthält die Norm im Anhang H noch weiterführende Ausführungen zum Mischvorgang. Dies erscheint vor der erhöhten Bedeutung, die dem Mischprozess insbesondere durch die rasante Entwicklung bei den Betonzusatzmitteln, aber auch durch die Vielfalt der neu zur Anwendung gelangten Zemente gerade in den letzten beiden Jahrzehnten zugekommen ist, durchaus fragwürdig. Auf der einen Seite haben also erhebliche technische Weiterentwicklungen stattgefunden, welche auch neue Risiken mit sich bringen. Auf der anderen Seite sind die normativen Anforderungen beim wesentlichen Schritt der Betonherstellung im Regelwerk der DIN EN 206/DIN 1045-2 zurückgefahren worden.

Ein weiterer Punkt ist die Dosiergenauigkeit der Zusatzmittel. Während nach Norm 3 M.-% ausreichend sind, empfehlen sowohl das FGSV-Merkblatt sowie die Informationsschrift der Deutschen Bauchemie zur Herstellung von LP-Beton eine Genauigkeit von lediglich 1 M.-%.

PCE-Fließmittel haben ihren wesentlichen Vorteil in der stark verflüssigenden Wirkung. Im Verkehrswasserbau werden jedoch vorrangig Betone für massige Bauteile eingesetzt. In der Regel haben solche Betone zumindest im Binnenbereich bei Süßwasserbeaufschlagung ein Größtkorn der Gesteinskörnung von 32 mm, einen möglichst niedrigen Zementgehalt zur Reduzierung der Hydratationswärme, expositionsklassenbedingt einen zumeist verhältnismäßig hohen w/z-Wert sowie eine niedrige Konsistenz im Bereich F3. Eine hohe Verflüssigungswirkung, wie sie von den PCE-Fließmitteln geleistet werden kann, ist hier in der Regel nicht erforderlich. Trotzdem drängen PCE-Fließmittel zunehmend auch in den Bereich des Verkehrswasserbaus, obwohl sie eigentlich nicht für diesen Anwendungsfall entwickelt wurden bzw. ihre eigentlich vorrangigen Stärken dort gar nicht zur Geltung kommen können.

Vor diesen Hintergründen wurden, initiiert durch den genannten Schadensfall sowie die zwischenzeitlichen Aktivitäten, in der A1-Änderung zu den ZTV-W LB 215 Regelungen zur Ermittlung und Einhaltung von Mindestmischzeiten eingeführt. Es handelt sich dabei um keine neuen Vorgaben, sondern um eine Reaktivierung von langjährig bewährten Vorgehensweisen, die grundsätzlich im FGSV-Merkblatt zur Herstellung von Luftporenbeton und noch konkreter in der praxisbasierten Informationsschrift „Herstellen von LP-Beton“ der Deutschen Bauchemie auch aktuell wieder einen deutlicheren Fokus

erhalten haben. In der Forschung wird auf die Thematik ebenfalls kontinuierlich aufmerksam gemacht (Eickschen 2010a, 2010b, Al-Neshawy 2019). An der Umsetzung in die Normung und Praxis mangelt es in Deutschland bislang jedoch. Bedingt durch die zunehmende Vielfalt einerseits und die darüber hinaus zunehmenden vielfältigeren Wirkungsweisen der Betonzusatzmittel andererseits kann immer weniger auf langjährige Erfahrungen zurückgegriffen werden. In Konsequenz folgt, dass dem Vorgang der Betonherstellung eine größere Bedeutung und Beachtung zukommt, als dies vielleicht in der jüngeren Vergangenheit der Fall war.

Die A1-Änderung greift diesen Aspekt auf und fordert, dass für Betone nach ZTV-W LB 215 im Rahmen der Eignungsprüfung die Mindestmischzeit bestimmt und diese im Laufe der Baumaßnahme fortlaufend hinterfragt werden muss. Absolute Mindestmischzeiten, welche keinesfalls unterschritten werden dürfen, sind ebenfalls verankert. Diese betragen für Beton ohne Luftporenbildner 30 s und für Beton mit Luftporenbildner 90 s. Die Mischzeiten sind auf den Lieferscheinen zu dokumentieren. Diese Vorgehensweise ermöglicht auch eine technisch begründete Angabe der Lieferleistung der Betonwerke, technische Aspekte werden dabei vor wirtschaftliche Aspekte (Betondurchsatz) gestellt.

Die in den letzten Jahren immer wichtiger gewordene Abstimmung der Betonausgangsstoffe, und hier insbesondere der Zusatz- und Bindemittel aufeinander, sollte eigentlich selbstverständlich sein, wird aber möglicherweise in nicht wenigen Fällen wirtschaftlichen Interessen oder der Bindung an bestimmte Ausgangsstofflieferanten untergeordnet. Durch den Fokus auf die Mischzeiten kommt einer sorgfältigen Abstimmung dieser Ausgangsstoffe aufeinander eine angemessenere Bedeutung zu.

3.3.2 Konsistenz von LP-Beton

Die Frosteinwirkung auf Verkehrswasserbauwerke gehört wohl zu den intensivsten Frosteinwirkungen, die in Deutschland innerhalb des XF3-Bereiches vorliegen können. Im Bereich von Schleusenkammerwänden mit entsprechender Exposition werden deshalb seit Einführung der ZTV-W LB 215 im Jahre 1982 Luftporenbetone gefordert. Eine kurze Unterbrechung gab es im Zeitraum zwischen 2004 und 2012, während dem im Verkehrswasserbau alternativ auch XF3-Betone ohne Luftporen eingesetzt werden durften. Damit wurden die entsprechenden, in 2001 neu eingeführten Regelungen der DIN 1045-2 auch in die ZTV-W LB 215 übernommen. Als nachteilig erwiesen sich hier allerdings in der Praxis die deutlich höheren Betondruck- respektive Betonzugfestigkeiten, welche unter statischen Aspekten in der Regel nicht benötigt werden, auf der anderen Seite aber höhere Bewehrungsmengen aus der Zwangbemessung bedingen. Vor diesem Hintergrund, aber auch angesichts des zumindest bei Verkehrswasserbauwerken generell günstigeren Frostwiderstands von LP-Betonen im Vergleich zu solchen ohne LP-Bildner, werden in der ZTV-W LB 215 seit 2012 wie in der Zeit vor 2004 nur noch XF3-Betone mit Luftporen berücksichtigt.

Bei LP-Beton kommen in der Praxis in der Regel verflüssigende und luftporenbildende Zusatzmittel in Kombination zur Anwendung. Luftporenbetone werden in der Regel in verhältnismäßig steifer Konsistenz verarbeitet, wie z. B. im Straßenbau oder bei Brückenkappen. Im Verkehrswasserbau wurden die Luftporenbetone in der Vergangenheit in der Konsistenzklasse F2 und aktuell in der Konsistenzklasse F3 verarbeitet. Insgesamt wird jedoch beobachtet, dass die Konsistenzklasse F3 in der Praxis bis zur oberen Grenze ausgenutzt und teilweise auch überschritten wird. Zu beachten ist hier, dass das Risiko einer Betonentmischung mit weicher werdender Konsistenz signifikant steigt.

Da Betone für den Verkehrswasserbau in der Regel als Betone für massige Bauteile konzipiert werden, finden folglich vorrangig Zementgehalte in den Größenordnungen der nach „DAfStb-Richtlinie für massige Bauteile“ angegebenen Mindestzementgehalte Anwendung. Meist wird ein Größtkorn der Gesteinskörnung von 32 mm eingesetzt. Die LP-Betone werden entweder ohne oder aber mit Flugasche konzipiert. Aus diesen Bindemittelgehalten und den für die typischen Expositionsklassenkombinationen im Verkehrswasserbau maßgeblichen maximalen w/z-Werten resultieren für massige Bauteile typische Leimgehalte. Sie sind grundsätzlich aus Robustheitsgründen für weichere Betone als F3 eher weniger geeignet, da mit zunehmender Fließfähigkeit höhere Leimvolumen erforderlich werden. Alternativ zur Steigerung des Leimgehaltes ist mit hochwirksamen Fließmitteln auf PCE-Basis die Erzielung entsprechender

Ausbreitmaße möglich, die Robustheit der Betone leidet aber im Regelfall darunter.

Da dies insbesondere für LP-Betone gilt, wird die Zielkonsistenz für LP-Beton für den Regelfall in der A1-Änderung zu den ZTV-W LB 215 auf 450 mm begrenzt. Diese Maßnahme setzt damit ebenfalls grundsätzlich bekannte Zusammenhänge um und soll über diese explizite Einschränkung innerhalb der Konsistenzklasse F3 alle Beteiligten zusätzlich für das Thema Betonentmischung sensibilisieren.

3.3.3 Überprüfung der ausgeführten Leistung

Gemäß DIN EN 13670 / DIN 1045-3, Abschnitt 8.4.1 ist Beton *„so einzubauen und zu verdichten, dass er seine vorgesehene Festigkeit und Dauerhaftigkeit erreicht und dass die ausreichende Umhüllung der Bewehrung und aller Einbauteilen sichergestellt ist". „Während des Einbaus und Verdichtens muss das Entmischen des Betons so gering wie möglich sein."*

Eine konkrete Definition hinsichtlich der Frage, ab wann das zulässige Maß einer Entmischung überschritten ist, enthält die Norm nicht. Hier ist also ein weiter Interpretationsspielraum vorhanden. Eine Auseinandersetzung mit den aktuellen Fragestellungen zur Betonentmischung erfordert an dieser Stelle jedoch eindeutige Kriterien, die aktuellen Regelungen der Norm sind hierfür nicht verwendbar. Die A1-Änderung zur ZTV-W LB 215, Satz (150a), in Verbindung mit dem **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)", Abschnitt 4.3.5, ergänzt daher Abschnitt 8.4.1 (5) der DIN EN 13670/DIN 1045-3 um konkrete Anforderungen an die Gleichmäßigkeit des Betongefüges. Diese gelten nach ZTV-W LB 215 für im Verkehrswasserbau eingesetzte Betone, sind aber grundsätzlich genauso gut auf andere Betone übertragbar, da es sich um keine typisch verkehrswasserbauspezifischen Anforderungen handelt. Eine grundsätzliche Übernahme in das Regelwerk der DIN 1045-3 ist also vorstellbar, bedarf aber sicher noch intensiver Diskussionen zwischen den am Baugeschehen beteiligten Gruppen.

Zur Überprüfung der Anforderungen hinsichtlich Entmischung sollen während der Baumaßnahme Untersuchungen an Bohrkernen aus Bauteilen durchgeführt werden. Regelungen zu Festlegung, Entnahme, Untersuchung und Bewertung der Bohrkerne finden sich in Satz (169a) der A1-Änderung.

Damit liegen eindeutige Kriterien vor, die sowohl Auftragnehmer als auch Auftraggeber bereits im Vorfeld der Baumaßnahme gleichermaßen Klarheit hinsichtlich der geforderten Betoneigenschaften bieten. Die zeitnahen Überprüfungen während der Bauausführung bieten im Falle von unzureichenden Betoneigenschaften im gemeinschaftlichen Dialog kurzfristig die Möglichkeit, Ursachen zu erkunden, Vorgehensweisen zu hinterfragen und die Qualitätssicherung weiter zu verbessern.

3.4 Erläuterungen zu außervertraglichen Maßnahmen

3.4.1 Übersicht

Die oben erläuterten bauvertraglich relevanten Regelungen befassen sich mit der Betonherstellung, der Frischbetonkonsistenz sowie der Bauausführung. Die Beurteilung der Sensibilität eines Betons hinsichtlich Entmischung als direkte Frischbetoneigenschaft kann mit den derzeit verfügbaren und favorisierten Prüfverfahren und Prüfkriterien zwar abgeschätzt werden, diese bedürfen aber hinsichtlich einer bauvertraglich bindenden Festschreibung noch weiterer Entwicklung und Erprobung. Dies haben die Arbeiten in der BAW sowie im DAfStb-AK Frischbeton gezeigt (Spörel 2018, Breitenbücher et. al. 2019).

Die Kenntnis dieser Frischbetoneigenschaft würde dem Verwender wertvolle Hinweise zur Verarbeitung des Betons liefern. Derzeit ist der Verarbeiter auf die Fachkenntnis und Erfahrung des Personals angewiesen. Eine Sichtprüfung in Verbindung mit Erfahrung spielt dabei derzeit eine entscheidende Rolle (DIN EN 13670, 8.3 (2)). Ergänzt um die im Rahmen der Betonübergabe ermittelten Frischbetoneigenschaften muss darauf aufbauend eine fachgerechte Betonverarbeitung erfolgen.

Aufgrund der zuvor beschriebenen Randbedingungen einer zunehmenden Vielfalt der Betonausgangsstoffe und der damit einstellbaren Frischbetoneigenschaften ist es jedoch immer schwieriger, auf Basis von Erfahrungen zu agieren. Die Bauindustrie hat daher über den Deutschen Beton- und Bautechnik Verein (DBV) bereits schon vor

mehreren Jahren entsprechende Aktivitäten angestoßen, um diesen Herausforderungen über Performanceprüfungen am Frischbeton gerecht zu werden. Allein die Prüfung des Ausbreitmaßes ist sicherlich nicht geeignet, die maßgeblichen Verarbeitungseigenschaften eines Frischbetons umfassend und zuverlässig zu beurteilen. Eine Zusammenfassung dieser DBV-Aktivitäten kann (Wagner 2018) entnommen werden. Die Sensibilität gegenüber Betonentmischung ist dabei nur ein Aspekt.

Aufgrund der aktuell noch vorhandenen Einschränkungen hinsichtlich des Prüfverfahrens und der Prüfkriterien werden in der A1-Änderung keine Performance-Prüfungen zur Beurteilung der Sedimentationssensibilität vertraglich eingeführt. Da aus Sicht der BAW und auch des DAfStb-AK Frischbeton der Auswaschversuch jedoch als grundsätzlich geeignetes Verfahren zur Beurteilung der Sedimentationssensibilität angesehen wird, soll dieser Versuch außervertraglich im Rahmen von Kontrollprüfungen des Auftraggebers zum Einsatz kommen. Selbstverständlich ist es jedem vorbehalten, auch eigene Erfahrungen mit den Prüfungen zu sammeln.

Das **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)“ enthält dazu eine nach bisherigem Erkenntnisstand ausgereifte Verfahrensbeschreibung, die wie eine Normprüfung aufgebaut ist. Durch zwei Gelbdruckverfahren konnte umfangreiches Praxiswissen aller am Baugeschehen Beteiligten integriert werden. Aufgrund von noch offenen Fragen enthält das Merkblatt an den entsprechenden Stellen Anmerkungen. Diese Transparenz wurde als wichtig erachtet, um einerseits allen Interessierten die Möglichkeit zu geben, die Prüfungen anzuwenden, und andererseits bei der Ergebnisbewertung die angebrachte Vorsicht walten zu lassen.

Das **BAW**Merkblatt enthält drei Prüfverfahren, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

- Auswaschversuch
- Prüfung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung am Festbeton – Laborprüfkörper
- Prüfung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung am Festbeton – Kleinbauteil

3.4.2 Auswaschversuch

Der Auswaschversuch nach **BAW**Merkblatt wird zur Bewertung der Sedimentationssensibilität von Rüttelbeton mit einem Größtkorn von mindestens 16 mm verwendet. Im Versuch wird der Zusammenhang zwischen Verdichtungszeit unter den Randbedingungen im Prüfverfahren und der Sedimentation der groben Gesteinskörnung ermittelt. Beim Auswaschversuch werden drei gleich hohe Zylindersegmente übereinander gestellt, mit Beton gefüllt und verdichtet. Direkt im Anschluss wird die Masse des Siebrückstandes des Grobkornanteils der Gesteinskörnung im Beton im jeweiligen Zylindersegment nach dem Auswaschen und Absieben bestimmt. Die Unterschiede der Anteile der groben Gesteinskörnung auf den einzelnen Sieben zeigen den Grad der Entmischung infolge der eingebrachten Verdichtungseinwirkung an.

Ein Auswertebeispiel enthält Bild 1. In Abhängigkeit der Sensibilität eines Betons gegenüber Grobkornsedimentation durch Rütteleinwirkung kommt es entweder bereits nach kurzer Verdichtungszeit oder aber erst nach längerer Verdichtungszeit zu einer Zunahme der Sedimentation. Mit dieser Vorgehensweise erfolgt eine Charakterisierung des Betons. Am Beispiel des Bildes 1 verhält sich Beton 2 hinsichtlich Sedimentation infolge Rütteleinwirkung deutlich sensibler als Beton 1.

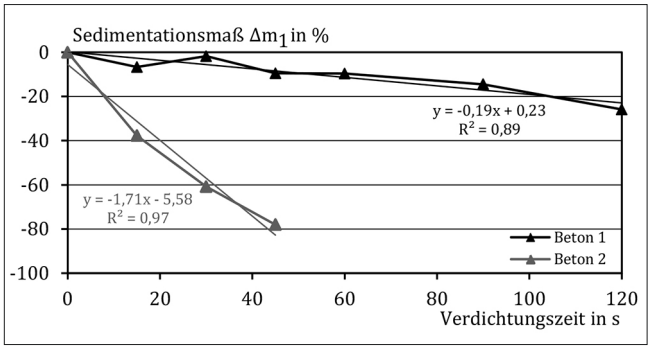

Bild 1: Beispiel: Zusammenhang zwischen Verdichtungszeit und Sedimentation der groben Gesteinskörnung (BAW MESB 2019)

Zur Einordnung des Betons hinsichtlich seiner Sedimentationssensibilität erscheint vor dem Hintergrund des bisherigen Erkenntnisstandes auf Basis des Zusammenhangs zwischen Verdichtungsintensität und Sedimentationsmaß eine grobe Einteilung in drei Bereiche möglich (siehe Bild 2):

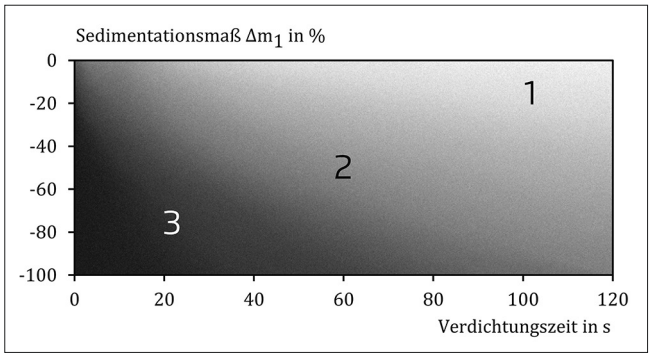

Bild 2: Bereiche unterschiedlicher Sedimentationssensibilität (BAW MESB 2019)

Bereich 1: Eher geringe Sensibilität gegenüber Verdichtungseinwirkung
Bereich 2: Übergangsbereich
Bereich 3: Eher höhere Sensibilität gegenüber Verdichtungseinwirkung

Die Sedimentationssensibilität wird maßgeblich durch die Betonzusammensetzung und die Frischbetoneigenschaften beeinflusst. Nach bisherigem Erkenntnisstand finden sich beispielsweise Luftporenbetone mit einem Größtkorn von 32 mm eher in den Bereichen 2 oder 3 wieder.

Die Kenntnis derartiger Unterschiede in der Sedimentationssensibilität kann dem Verwender Hinweise für die Betonverarbeitung (Intensität des Rüttelns etc.) sowie dem Auftraggeber Hinweise hinsichtlich der Intensität der Überwachung der ausgeführten Leistung geben, die sie alleine über das Ausbreitmaß nicht erhalten werden.

3.4.3 Prüfung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung am Festbeton – Laborprüfkörper

Die Ermittlung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung am Laborprüfkörper wird zur visuellen und quantitativen Bewertung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung von Rüttelbeton mit einem Größtkorn von mindestens 16 mm verwendet. Im Versuch kann die Auswirkung verschiedener Verdichtungszeiten auf die Sedimentation der groben Gesteinskörnung bestimmt werden.

Es werden Zylinderschalungen mit Beton gefüllt und verdichtet. Nach der Aushärtung werden die Betonzylinder längs zur Achse mittig aufgesägt. Die Auswertung der Grobkornverteilung erfolgt über die Prüfkörperhöhe. Unterschiede der Anteile der groben Gesteinskörnung über die Auswertebereiche zeigen den Grad der Sedimentation der groben Gesteinskörnung infolge der eingebrachten Verdichtungseinwirkung an.

Die Ergebnisse des Auswaschversuches und des Festbetonversuches am Laborprüfkörper werden miteinander abgeglichen. Neben einem visuellen Eindruck der Festbetonprobe ist ein quantitativer Vergleich zwischen Frisch- und Festbetonuntersuchung möglich. Der Versuch dient im Wesentlichen zur Visualisierung der Betonentmischung und ist eher eine begleitende Prüfung.

3.4.4 Prüfung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung am Festbeton – Kleinbauteil

Die Ermittlung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung am Kleinbauteil wird zur visuellen und quantitativen Bewertung der Sedimentation der groben Gesteinskörnung von Rüttelbeton mit einem Größtkorn von mindestens 16 mm verwendet. Im Versuch kann auf die Auswirkung einer baupraktischen Verdichtung mit einem Innenrüttler bei verschiedenen Verdichtungszeiten auf die Sedimentation der groben Gesteinskörnung geschlossen werden.

Es werden zwei baugleiche Schalungen mit Beton gefüllt und mittels Innenrüttler mit unterschiedlicher Rütteldauer verdichtet. Nach der Aushärtung werden Bohrkerne entnommen und längs mittig der Achse aufgesägt. Es erfolgt eine Auswertung der Grobkornverteilung über die Prüfkörperhöhe. Unterschiede der Anteile der groben Gesteinskörnung über die Prüfabschnitte zeigen den Grad der Entmischung infolge der eingebrachten Verdichtungseinwirkung an.

Für diesen Versuch sind keine speziellen Versuchseinrichtungen erforderlich. Eine Anwendung ist daher grundsätzlich auf jeder Baustelle möglich. Der Versuch dient zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse des Auswaschversuchs auf Praxisverhältnisse. Er kann grundsätzlich auch losgelöst vom Auswaschversuch verwendet werden und kann anschaulich zur Sensibilisierung des Baustellenpersonals eingesetzt werden, da

dort direkt erkannt werden kann, wie sich die Betone unter der aus Erfahrung des Personals gewählten Verdichtungsdauer und -intensität verhalten.

3.4.5 Anwendung im Rahmen von Kontrollprüfungen

Die in Abschnitt 3.4.2 bis 3.4.4 vorgestellten Untersuchungen nach **BAW**Merkblatt „Entmischungssensibilität von Beton (MESB)“ sollen bei Baumaßnahmen der WSV im Rahmen von Kontrollprüfungen durchgeführt werden, um Erkenntnisse zur Entmischungssensibilität der für die jeweilige Baumaßnahme vorgesehenen Betone zu gewinnen und sie allen an der Baumaßnahme Beteiligten **als Information** zur Verfügung zu stellen. Die Fachleute auf Seiten des Auftragnehmers und dessen Betonlieferanten können diese Informationen nach ihrem Ermessen bewerten und nutzen.

Zudem sollen die Ergebnisse genutzt werden, um die Praxistauglichkeit der Prüfverfahren zu hinterfragen und um diese ggf. zu optimieren. Analog zu vergleichbaren regelmäßigen Verfahrensweisen, beispielsweise in der Schweiz, sollen auf diese Weise Erfahrungen mit den vorgenannten Prüfverfahren gewonnen werden, bevor diese schließlich normativ verankert werden.

Die Durchführung der Untersuchungen gemäß Abschnitt 3.4.2 (Auswaschversuch) und 3.4.3 (Sedimentation Festbeton – Laborprüfkörper) sollte unbedingt mit den im **BAW**Merkblatt beschriebenen Prüfeinrichtungen durchgeführt werden. Bereits geringe Änderungen an Prüfeinrichtung und/oder Prüfungsdurchführung können zu signifikant unterschiedlichen Prüfergebnissen führen.

Alle am Baugeschehen Beteiligten sind eingeladen und aufgefordert, ihr Fachwissen und ihre Erfahrungen bei der Weiterentwicklung der Prüfverfahren und Prüfkriterien einzubringen. Parallel wird zumindest der Auswaschversuch auch beim DAfStb im Rahmen der vorgenannten Forschungsaktivitäten weiterentwickelt mit dem Ziel, das Verfahren mittelfristig in die Betonnormung zu integrieren.

Für alle Beteiligten sollen letztendlich Vorteile durch die Prüfung generiert werden: Seitens der Betonhersteller über den Nachweis und die Bewertbarkeit von weiteren Betoneigenschaften und seitens der Verwender durch eine bessere Kenntnis von baustellenrelevanten Frischbetoneigenschaften im Hinblick auf eine fachgerechte Betonverarbeitung.

4 Ausblick

Die genannten Maßnahmen zur Risikominimierung gegenüber Betonentmischung lösen die seit 2015 geltenden Ad-hoc-Maßnahmen auf Basis der zwischenzeitlich fortgeschrittenen Erkenntnisse ab. Auch zum jetzigen Zeitpunkt sind trotz der Anstrengung aller am Baugeschehen Beteiligten in den letzten Jahren noch Fragen offen, insbesondere was die Performanceprüfung zur Charakterisierung der Sensibilität des Frischbetons gegenüber Sedimentation der groben Gesteinskörnung betrifft.

Durch die FuE-Aktivitäten beim DAfStb sowie die Praxisanwendung im Rahmen von Kontrollprüfungen im Bereich der WSV sollen weitere Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Optimierung und Fortschreibung der WSV-spezifischen wie der nationalen und europäischen Regelungen genutzt werden sollen.

5 Literatur

Alfes et. al. (2020): Sachstandbericht Frischbeton – Eigenschaften, Einflüsse und Prüfungen (In Bearbeitung). Deutscher Ausschuss für Stahlbeton.

Al-Neshawy, F.; Ojala, T.; Punkki, J. (2019): Stability of Air Content in Fresh Concretes with PCE-Based Superplasticizers. In: Nordic Concrete Research, Publ. No. NCR 60, 1/2019, pp. 145–158.

Breitenbücher, R.; Lohaus, L.; Begemann, C.; Neumann, J. (2019): Beurteilung der Sedimentationsstabilität von Frischbeton – Gemeinsamer Abschlussbericht zur Phase 1 des Forschungsvorhabens.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019): BAWMerkblatt Entmischungssensibilität von Beton (MESB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): Erlass WS12/5257.6/4.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2019): A1-Änderung zur ZTV-W LB 215: (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau).

Deutsche Bauchemie e. V. (2013): Informationsschrift Herstellen von LP-Beton, 2. Ausgabe, November 2013.

Eickschen, E; Müller, C. (2010a): Zusammenwirken von Luftporenbildner und Fließmittel in Beton, Betontechnische Berichte 2010–2012, Band 32, S. 41–58, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf.

Eickschen, E. (2010b): Nachaktivierungspotential Luftporenbildender Betonzusatzmittel, Betontechnische Berichte 2010–2012, Band 32, S. 19–39, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2004): Merkblatt für die Herstellung und Verarbeitung von Luftporenbeton. Köln, FGSV Verlag GmbH.

Spörel, F. (2018): Anwendung eines Prüfverfahrens zur Ermittlung der Sedimentationssensibilität von Rüttelbeton. In: Ludwig, Horst-Michael (Hg.): Tagungsbericht ibausil, 20. Internationale Baustofftagung, 12.–14. September 2018. Weimar: F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität. S. 1-1089–1-1097.

Wagner, J.-P. (2018): Baustellenrelevante Betoneigenschaften – ein Weg zur Qualitätsverbesserung. In: Ludwig, Horst-Michael (Hg.): Tagungsbericht ibausil, 20. Internationale Baustofftagung, 12.–14. September 2018. Weimar: F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität.

Westendarp, A.; Reschke, T.; Spörel, F.; Müller, H.; Amthor, G. (2015): Probleme mit der Mischungsstabilität von Beton. In: BAWBrief 1/2015. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, S. 1–18.

Dipl.-Ing. Andreas Westendarp
Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Bautechnik
Referat Baustoffe
Telefon: 0721-9726-3290
Telefax: 0721-9726-2150
E-Mail: andreas.westendarp@baw.de

Dr.-Ing. Frank Spörel
Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Bautechnik
Referat Baustoffe
Telefon: 0721-9726-5850
Telefax: 0721-9726-2150
E-Mail: frank.spoerel@baw.de

BAW
Bundesanstalt für Wasserbau

BAWBrief 01/2020

Impressum

Herausgeber (im Eigenverlag):
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Postfach 21 02 53, 76152 Karlsruhe
Telefon: +49 (0) 721 9726-0
Telefax: +49 (0) 721 9726-4540
E-Mail: info@baw.de, www.baw.de

Creative Commons BY 4.0

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

ISSN 2196-5900

Karlsruhe · April 2020