

## Massige Bauteile im Verkehrswasserbau

### Verfügbarkeit von Flugasche – Bemessung auf Zwang

#### 1 Problemstellungen

Vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen bei der Zusammensetzung von Betonen und bei der Verfügbarkeit bestimmter Betonausgangsstoffe (u. a. Flugasche) sowie durch die damit einhergehenden Schwierigkeiten, entsprechende Vorgaben der ZTV-W LB 215 (2012) einzuhalten, ergeben sich für die Planung und Bemessung massiver Verkehrswasserbauwerke kurz- und mittelfristig geänderte Rahmenbedingungen. Die bei aktuellen Baumaßnahmen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) im Hinblick auf den späten Zwang vielfach gewählte Bemessung nach Eurocode führt zu technisch wie wirtschaftlich ungünstigen Bewehrungsgehalten. Nachfolgend werden die entsprechenden Hintergründe mit dem Ziel erläutert, die an Planung, Baustoffauswahl und Bauausführung beteiligten Parteien für diese Problemstellungen zu sensibilisieren.

#### 2 Verfügbarkeit von Flugasche

Bei der Konzeption von Verkehrswasserbauwerken wie Schleusen oder Wehranlagen mit im Regelfall massigen Betonbauteilen muss im Hinblick auf lange Nutzungsdauern und hohe Verfügbarkeit ein **Kompromiss** zwischen den Anforderungen an die Dauerhaftigkeit der Betonsubstanz an sich und der Minimierung von dauerhaftigkeitsrelevanten Rissen (genauer gesagt von Rissbreiten), und hier insbesondere der Minimierung von Rissen aus frühem und spätem Zwang, gesucht werden. Dies unterscheidet den Verkehrswasserbau signifikant von anderen Baubereichen, in denen im Regelfall eine Optimierung eher auf Dauerhaftigkeit der Betonsubstanz (allgemeiner Hoch- und Ingenieurbau) **oder** eher auf Minimierung von Rissen/Rissbreiten infolge Zwangs (z. B. Bodenplatten von Kraftwerken) erfolgen kann (Westendarp und Kunz 2020).

Wichtige Bausteine für die im Verkehrswasserbau für massige Bauteile zum Einsatz kommenden Betone sind seit mehreren Jahrzehnten Steinkohlenflugasche und

hüttensandhaltige Zemente zur Substitution von Zementklinker (Reduzierung der Hydratationswärmeentwicklung), aber auch zur Verbesserung dauerhaftigkeitsrelevanter Betoneigenschaften (u. a. Widerstand gegenüber chemischem Angriff, Widerstand gegenüber Chlorideintrag, Behinderung von Alkali-Kieselsäure-Reaktionen (AKR)). Bestimmte Anforderungen der ZTV-W LB 215 (2012), wie beispielsweise die Anforderungen hinsichtlich der Begrenzung der Hydratationswärmeentwicklung, wurden unter der Annahme erstellt, dass Steinkohlenflugasche und hüttensandhaltige Zemente stets verfügbar sind. Ohne diese Ausgangsstoffe sind diese Anforderungen zumindest bei bestimmten Expositions-klassenkombinationen nur schwer bzw. überhaupt nicht einhaltbar.

Die kontinuierliche Verfügbarkeit von Flugasche (zu jeder Zeit und an jedem Ort) ist nach Angaben der Baufirmen und deren Lieferanten bereits bei aktuellen Baumaßnahmen der WSV nicht mehr in jedem Fall gegeben. Von dieser Entwicklung ist aber nicht nur die WSV betroffen, sie ist bundesweit und in allen Baubereichen zu beobachten. Ursächlich ist hier die Hinwendung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei gleichzeitiger Reduzierung des Anteils der Stromerzeugung aus Kohle in Deutschland. Zumindest in diesem Jahr kommt erschwerend die Corona-bedingt deutlich geringere Stromnachfrage hinzu. Absehbar (bis spätestens 2038) wird der Anfall von Steinkohlenflugasche aus deutschen Kraftwerken auf Null zurückgehen, bereits in 2020 sind erste Kohlekraftwerke vom Netz gegangen. Weltweit steigt der Anteil der Stromerzeugung aus Kohle und damit der Anfall von Flugasche zwar noch, entsprechende Logistikwege für Flugaschetransporte nach Deutschland scheinen aber zumindest derzeit nicht verfügbar. Flugaschekontingente aus dem benachbarten Ausland (z. B. Polen, Tschechien) werden bereits weitgehend genutzt.

Bei Baumaßnahmen im Verkehrswasserbau müssen wesentliche, von der Flugascheverfügbarkeit abhängige Betoneigenschaften bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für die Hydratationswärmeentwicklung des Betons, welche den Bewehrungsgehalt beeinflusst, aber beispielsweise auch hinsichtlich der Dauerhaftigkeitsbemessung bezüglich chloridinduzierter Bewehrungskorrosion gemäß BAWMDCC (2019). Eine Doppelplanung (mit/ohne Flugasche) und ein entsprechendes Umschwenken während der Ausführung je

nach Flugascheverfügbarkeit dürften bei den allermeisten Baumaßnahmen nicht akzeptabel sein. Vor diesem Hintergrund sollte bei Baumaßnahmen der WSV, bei denen die Verwendung von Flugasche zur Einhaltung der Anforderungen gemäß ZTV-W LB 215 (2012) erforderlich ist (z. B. Schleusensohlen oder Meerwasserbauwerke), und bei denen die Verfügbarkeit der Flugasche während der Bauzeit derzeit nicht sichergestellt werden kann (beispielsweise durch Vorabsicherung entsprechender Flugaschekontingente), bei Planung und Ausschreibung von der **Nichtverfügbarkeit von Flugasche** ausgegangen werden. Die hiervon berührten Anforderungen gemäß ZTV-W LB 215 sollten – in Abstimmung mit der BAW – projektspezifisch in der Leistungsbeschreibung angepasst werden, was die ZTV-W LB 215 auch explizit vorsieht. Dies gilt analog auch für Instandsetzungsmaßnahmen mittels verankerter und bewehrter Betonvorsatzschalen gemäß ZTV-W LB 219 (2017), Abschnitt 3.

Die Verwendung von Flugasche bei Betonen für massige Bauteile bleibt sowohl unter technischen wie umweltrelevanten Aspekten vorteilhaft. Zumindest für große Baumaßnahmen der WSV sollte deshalb geprüft werden, ob der Auftragnehmer (und dessen Transportbetonlieferant) durch wirtschaftliche Anreize motiviert werden kann, sich um die Verwendung von Flugasche zu bemühen (z. B. über Vorabsicherung von Flugaschekontingenten) und die Ausführungsplanung entsprechend anzupassen.

### 3 Bemessung auf Zwang

Wie bereits im vorherigen Abschnitt beschrieben, unterscheiden sich Verkehrswasserbauwerke hinsichtlich Konzeption und Anforderungen maßgeblich von solchen in anderen Baubereichen. Die wesentlichen Bauteile massiver Wasserbauwerke sind in der Regel als massige Bauteile (kleinste Bauteilabmessung  $\geq 0,8$  m) einzustufen. Sohlen, Schleusen-kammerwände und Wehrpfeiler sind oft mehrere Meter dick. Ihr gesamtes Tragverhalten ist mit dem von Bauteilen, die im Hoch- und Brückenbau übliche Abmessungen aufweisen, nur eingeschränkt vergleichbar. Dies gilt auch für die Erhärtungscharakteristik des Betons. Durch die großen Abmessungen kann die beim Abbindevorgang entstehende Hydratationswärme nur bedingt abfließen. Dies führt zu signifikanten Temperaturerhöhungen im Inneren der Bauteile, die zu den freien Rändern hin abnehmen. Aufgrund der in Zukunft

unklaren Verfügbarkeit von Flugasche werden sich Änderungen zu den bisher bewährten Betonrezepturen in der Hydratationswärme- und Festigkeitsentwicklung ergeben, die es zukünftig genauer zu berücksichtigen gilt. Beim Abfluss der Hydratationswärme entstehen durch behinderte Verformungsmöglichkeiten Zwangsbeanspruchungen, die zu Rissbildungen führen (früher Zwang). Weiterhin führen in der Nutzungsphase u. a. jahreszeitliche Temperaturänderungen des Bauwerkskörpers oder ungleichmäßige Setzungen zu weiteren Zwangsbeanspruchungen (später Zwang).

Bei der Bemessung von Verkehrswasserbauwerken bzw. Bauteilen auf spätem Zwang infolge von Temperatur kam es in der Vergangenheit immer wieder zur Anwendung von unwirtschaftlichen Bemessungsansätzen zur Ermittlung der erforderlichen Bewehrungsmengen für die dauerhaftkeitsrelevante Begrenzung der Rissbreiten. Die hierfür im Hochbau üblichen Bemessungsansätze nach DIN EN 1992-1-1 (2011-01) führen für den späten Zwang infolge von Temperatur bei den im Verkehrswasserbau üblichen massigen Bauteilen zu übermäßig hohen rechnerisch erforderlichen Bewehrungsquerschnitten, welche sowohl unwirtschaftlich sein als auch die Betonierbarkeit der Bauteile beeinträchtigen können. Um dieser Besonderheit im Verkehrswasserbau Rechnung zu tragen, wurde das **BAWMRZ** (2019) herausgegeben, welches sich aktuell im Gelbdruck befindet und zur Anwendung empfohlen wird (Erlass WS 12/5257.16/5-9 vom 03.09.2019 mit Ergänzung vom 22.06.2020). In diesem Merkblatt wird ein Berechnungsverfahren zur Minimierung von Rissbreiten aus frühem und spätem Zwang auf Grundlage der Verformungskompatibilität verwendet. Die Begrenzung der dauerhaftkeitsrelevanten Rissbreiten, insbesondere aus frühem und spätem Zwang, kann damit wirtschaftlicher und auf der Grundlage eines mechanisch konsistenten Berechnungsmodells erfolgen. Grundsätzlich sollte daher bei massigen Betonbauteilen im Bereich des Verkehrswasserbaus die Mindestbewehrung zur Rissbreitenbegrenzung aufgrund früher und später Zwangsbeanspruchungen **auf Basis des o. g. Merkblattentwurfs** erfolgen.

Im Gegensatz zu bisher üblichen Vorgehensweisen sind die in Bild 1 dargestellten Abhängigkeiten bei der Berechnung der notwendigen Mindestbewehrung zu beachten.

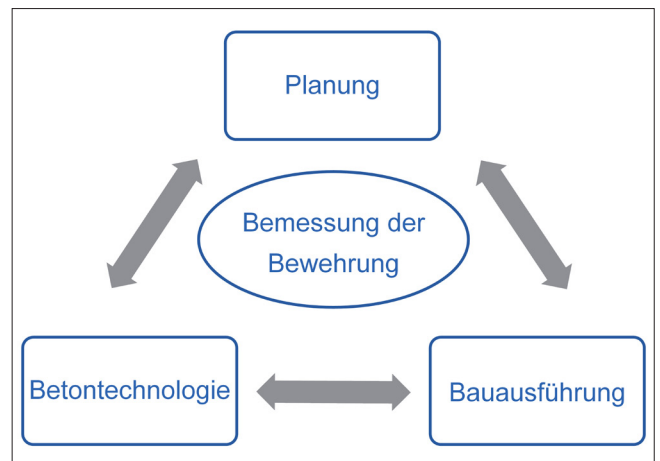


Bild 1: Gegenseitige Abhängigkeiten für die Mindestbewehrung infolge Zwang

Die erforderliche Bewehrung wird von planerischen Gegebenheiten (z. B. Bauteilgeometrien), betontechnologischen Parametern (z. B. adiabatische Temperaturerhöhung und Zugfestigkeit des Betons) und der Bauausführung (z. B. Herstellfolgen und Abmessung der Betonageabschnitte) beeinflusst. Eine Änderung in einem der Bereiche führt in der Regel zu einer Änderung der notwendigen Bewehrungsmenge. Es muss eine Überprüfung bzw. Anpassung der Bemessung erfolgen. Dies muss bei Ausschreibung und Vergabe berücksichtigt und bei der Bauausführung ggf. in die Planung rückgekoppelt werden.

## 4 Literatur

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019): BAWMerkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC). (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2019): BAWMerkblatt-Entwurf Rissbreitenbegrenzung für Zwang in massiven Wasserbauwerken (MRZ). (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

DIN EN 1992-1-1:2011-01 (2011-01): Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, einschließlich NA. Beuth, Berlin.

Westendarp, A.; Kunz, C. (2020): Massige Betonbauteile von Wasserbauwerken im (Klima-)Wandel. In: Beton- und Stahlbetonbau, Sonderheft „100 Jahre MPA Karlsruhe“, 2020 (in Vorbereitung).

ZTV-W 215 (2012): Zusätzliche Technische Vertragsbedingung Wasserbau (ZTV-W), Leistungsbereich 215 – für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

ZTV-W 219 (2017): Zusätzliche Technische Vertragsbedingung Wasserbau (ZTV-W), Leistungsbereich 219 – für die Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn.

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

Dipl.-Ing. Stefan Lühr  
Bundesanstalt für Wasserbau  
Abteilung Bautechnik  
Referat Massivbau  
Telefon: 040 81908-309  
Telefax: 040 81908-606  
E-Mail: stefan.luehr@baw.de

Dr.-Ing. Christoph Stephan  
Bundesanstalt für Wasserbau  
Abteilung Bautechnik  
Referat Massivbau  
Telefon: 0721 9726-2440  
Telefax: 0721 9726-2150  
E-Mail: christoph.stephan@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

## BAWBrief 02/2020

### 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](mailto:info@baw.de), [www.baw.de](http://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 · August 2020