
Frühhochfester Spritzbeton für Betoninstandsetzungen unter Betrieb

HIGH EARLY STRENGTH SPRAYED CONCRETE FOR CONCRETE REPAIR WORK UNDER OPERATING CONDITIONS

ROLAND BORNEMANN, PETER LÖSCHNIG, UWE RUBBA

Viele Verkehrswasserbauwerke wie zum Beispiel Schleusenanlagen mit nur einer Schleusenkammer können zur Durchführung von Instandsetzungsmaßnahmen nicht vollständig gesperrt, sondern allenfalls für wenige Stunden pro Tag bzw. Nacht außer Betrieb genommen werden. Da diese Problematik wegen des Alters und des daraus resultierenden Zustandes vieler Schleusen zunehmend an Bedeutung gewinnt, wurden von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Machbarkeitsstudien beauftragt. Im Rahmen eines Variantenvergleiches stellte sich die Instandsetzung mittels Spritzbeton als bestmögliche Variante zur Instandsetzung unter Betrieb heraus. Voraussetzung für die Realisierbarkeit war die Entwicklung eines frühhochfesten Spritzbetons, der die Verkehrsfreigabe nach vierstündiger Erhärtungsdauer ermöglicht. In einem Pilotprojekt wurden die Durchführbarkeit des Bauverfahrens und die Eignung des Spritzbetons bestätigt.

Many transport waterway engineering structures, like lock systems that have just one lock chamber for instance, cannot be completely closed down when maintenance work needs to be carried out, but can at most be put out of operation for a few hours of the day or night. In view of the age of these systems and the resulting condition of many locks, the problems associated with this issue are coming to be seen as increasingly significant. The Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) [Federal Institute of Water Engineering] therefore commissioned feasibility studies for the projected work. A comparison of the different options showed that the use of sprayed concrete represents the best possible strategy for carrying out repair work under operating conditions. A prerequisite for the realisation of the project was the development of a high early strength sprayed concrete, so as to make it possible for traffic to be resumed after a setting period lasting just four hours. A pilot project has demonstrated the feasibility of the method envisaged and the suitability of sprayed concrete for this purpose.

1. Problemstellung

Der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung unterliegt die Wartung und Instandhaltung von 335 Schleusenbauwerken. Rd. 60 % dieser Bauwerke weisen ein Alter von über 70 Jahren auf. Deutliche Schäden der Bauwerkssubstanz, insbesondere der Frost-

Tauwechselln ausgesetzten oberflächennahen Bereiche, machen eine Instandsetzung bzw. einen Neubau dringend erforderlich. Durch die Entfestigung der oberflächennahen Betonschichten ist u. a. die Betriebsicherheit - z.B. von in den Beton eingelassenen Einbauteilen - nicht mehr gewährleistet. Der Neubau - insbesondere von Einkammerschleusen

zieht eine Schleusensperrung für mehrere Jahre nach sich. Ein aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht haltbarer Zustand.

Die Suche nach Alternativen veranlasste die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung dazu, im Rahmen einer Machbarkeitsstudie ein Verfahren zur Instandsetzung von Einkammerschleusen unter Betrieb zu entwickeln und die Praxistauglichkeit durch die Ausführung eines Pilotprojekts zu beweisen.

2. Variantenvergleich

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden 5 Bauverfahren untersucht. Allen Verfahren gemeinsam ist, dass zunächst geschädigte Betonbereiche durch Fräsen entfernt und anschließend durch eine neue Deckschicht aus Beton ersetzt werden. Zu den untersuchten Verfahren zählten:

- die Ausführung in Ortbeton mit einer Großflächenschalung
- die Ausführung mit Fertigteilen und anschließendem Hohlraumverguss
- die Ausführung mit Spundwänden mit Hohlraumverguss
- die Ausführung mit Stahlplatten mit Hohlraumverguss
- die Ausführung in Spritzbeton

Die Abwägung der Vor- und Nachteile der verschiedenen angesprochenen Verfahren führte zur Auswahl einer Instandsetzung im Trockenspritzverfahren mit einem frühhochfesten Spritzbeton.

3. Frühhochfester Spritzbeton

3.1 Anforderungen an einen Spritzbeton für Betoninstandsetzungen unter Betrieb im Wasserbau

Der eingebaute Betonerersatz muss bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt verschiedenen Beanspruchungen wie beispielsweise Wasserbeaufschlagung, Schiffsstoß oder Frost einen hinreichenden Widerstand entgegensetzen können. Hieraus resultiert als zentrale Anforderung eine hohe Frühfestigkeit von i. M. 15 N/mm^2 nach vier Stunden.

Damit der Betonerersatz über die vorgesehene Lebensdauer seine Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit gewährleisten kann, muss er bestimmte Anforderungen an Festigkeit, Verformungsverhalten, Dichtigkeit und Frostwiderstand erfüllen (Tabelle 1).

Bei der Entwicklung des Bindemittels für den frühhochfesten Spritzbeton wurde Wert darauf gelegt, dass es sich um reinen Portlandzement handelt. Zusätze von Tonerdezement sollten aus Gründen der Dauerhaftigkeit vermieden werden.

Eigenschaft	Anforderung
Druckfestigkeit	nach 4 h: Mittelwert $> 15 \text{ N/mm}^2$ Einzelwert $> 12 \text{ N/mm}^2$ nach 28 d: $\geq \text{C30/37}$
Spaltzugfestigkeit	nach 4 h: $> 1,8 \text{ N/mm}^2$ nach 28 d: $> 3,4 \text{ N/mm}^2$
Stat. E-Modul	$< 30.000 \text{ N/mm}^2$
Schwinden	ZTV-SIB: $< 1 \text{ mm/m}$ nach 180 d ZTV-W 219: keine Risse
Frostwiderstand	CIF n. ZTV-W 219: Abwitterung $< 2000 \text{ g/cm}^2$ E-Modul $> 60 \%$
Wasserundurchlässigkeit	$< 30 \text{ mm}$ nach DIN 1048-5

Tab. 1: Anforderungen an den Festbeton

Die Verarbeitbarkeitszeit des Spritzbetons sollte so eingestellt werden, dass die erforderliche Schichtdicke mehrlagig aufgebaut werden kann, ohne dass Trennflächen auftreten. Außerdem muss die Oberfläche noch egalisiert werden können. Entsprechend der gewählten Spritzbetonverfahrenstechnik sollte mit einem trockenen Bereitstellungsgemisch gearbeitet werden.

3.2 Ausgangssituation

Eine Literaturrecherche ergab, dass aus Spritzbeton bisher entweder Bauteile mit Anforderungen an schnelles Erstarren/hohe Frühfestigkeiten (Beispiel Tunnelbau) oder Bauteile mit Anforderungen an die Dauerhaftigkeit (Beispiel Instandsetzung) hergestellt wurden. Die für die Betoninstandsetzung unter Betrieb geforderte Kombination von extremer Frühfestigkeit und Dauerhaftigkeit war völlig neu. Insbesondere waren keine Baustoffe verfügbar, welche die geforderten Frühfestigkeiten erreichten. Es war daher erforderlich, einen Spritzbeton mit einem optimierten Bindemittel zu entwickeln, der die geforderten Festigkeitseigenschaften unter Berücksichtigung der erforderlichen Dauerhaftigkeitseigenschaften ermöglicht.

Als Ausgangspunkt dienten die Ergebnisse eines an der Universität Kassel durchgeführten Projekts "Frühhochfester Spritzbeton mit verlängerter Verarbeitbarkeit" sowie Erfahrungen mit einem frühhochfesten Reparaturbeton für Straßeninstandsetzungen.

3.3 Eigenschaften des entwickelten Spritzbetons

In zahlreichen Labor- und über 50 Spritzversuchen wurden alle maßgeblichen Materialparameter variiert und optimiert.

Das Entwicklungsergebnis ist ein Spritzbeton auf Basis eines Portlandzements, der ohne Zusätze die erforderlichen Frühfestigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften erreicht. Zur Steuerung der Verarbeitbarkeit, zur Verringerung des Wasseranspruchs und zur Verbesserung der Geschmeidigkeit werden mit dem Anmachwasser auf die erforderlichen Eigenschaften abgestimmte Zusatzmittel gegeben.

Mit dem optimierten Spritzbeton wurde unter Aufsicht der BAW eine Eignungsprüfung durchgeführt, bei der die nachstehenden Ergebnisse erreicht wurden (Tabelle 2).

Eigenschaft	Ergebnis
Druckfestigkeit nach 4 h	18 N/mm ²
Druckfestigkeit nach 28 d	49 N/mm ²
Spaltzugfestigkeit nach 4 h	2,1 N/mm ²
Spaltzugfestigkeit nach 28 d	4,4 N/mm ²
Stat. E-Modul	29.677 N/mm ²
Schwinden	0,96 mm/m n. 90 d
Frostwiderstand	Abwitterung 27 g/cm ² E-Modul 102 %
Wassereindringtiefe	10 mm

Tab. 2: Ergebnisse der Eignungsprüfung

Die Ergebnisse zeigen, dass der optimierte Spritzbeton sowohl die Anforderungen an die Frühfestigkeit als auch an die Dauerhaftigkeit erfüllt. Bei der Beurteilung des Schwindens muss berücksichtigt werden, dass der Betonersatz in der Praxis durch das Befüllen und Entleeren der Schleusenammer einer Wechsellagerung unterliegt. Das Schwindmaß wird dadurch unter dem vorgesehenen Grenzwert liegen.

4. Pilotprojekt

4.1 Projektvorstellung

Die für die Probemaßnahme ausgewählte Schleusenammer hat eine Länge von 110 m und eine Hubhöhe von bis zu 10 m. Die Kammerbreite beträgt 12 m. Der Schleusenkörper ist nicht bewehrt. Im ausgewählten Block (Bild 1) wurden von AG und AN Untersuchungen zur Betonqualität durchgeführt. Hierzu wurden mittels Vertikal- und Horizontalbohrungen Bohrkern aus der Kammerwand entnommen. Außerdem wurden Ankerzug- und Wasserabpressversuche (WD-Test) am Bauwerk zur

Beurteilung des Zustands des Betongefüges und zur Festlegung notwendiger Ankerlängen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen der Bohrkern (Durchmesser und Höhe rd. 100 mm) ergaben einen Mittelwert von rd. 7,6 N/mm² mit einer Standardabweichung von $\pm 3,5$ N/mm². Die Druckfestigkeiten reichten dabei von 2,8 - 66 N/mm². Die Schwankungen der Druckfestigkeiten konnten durch die Ergebnisse der WD-Versuche untermauert werden.

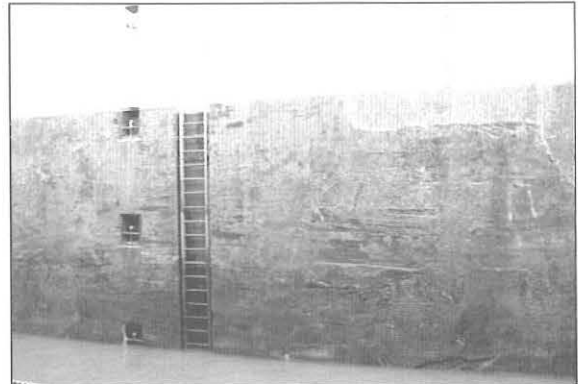


Bild 1: Ansicht des instandzusetzenden Abschnitts

4.2 Bauverfahren

Die maximale Sperrzeit der Schleuse von 8 Stunden erforderte einen präzise koordinierten Bauablauf. Die dabei anfallenden Arbeiten waren:

- das Abstemmen des Altbetons
- der Einbau von Ankern (4 Stck. je m²) mit einer Verankerungslänge von 65 cm und ihrer Zugprüfung
- der Einbau der statisch notwendigen Bewehrung
- das Reinigen der abgefrästen Betonoberfläche
- der Einbau des Spritzbetons

Logistisch und materialtechnisch anspruchsvoll gestaltet sich der Einbau des Spritzbetons. Für den Einbau standen nur rd. 2 Arbeitsstunden je Sperrzeit zur Verfügung, um den Spritzbeton anschließend über einen Zeitraum von mindestens 4 Stunden erhärten zu lassen. Eine Arbeitsstunde wurde als Rüstzeit kalkuliert, eine weitere Stunde als Pufferzeit vorgehalten.

4.3 Spritzbetonkonzept und Vorgaben zur Qualitätssicherung

Um eine zielgenaue Herstellung der Spritzbetonvorsatzschalen zu garantieren, wurde der in Bild 2 dargestellte Dosierungs- und Mischprozess entwickelt.

Ein ofentrockenes Bereitstellungsgemisch wurde zunächst mit Wasser und einem Zusatzmittel in einer Durchlaufmischeranlage (Vorbenetzung 1) kontrolliert vorbenetzt. Mit einem Wiegeband erfolgte eine erneute Gewichtskontrolle und der Transport zur Spritzmaschine. Die Vorbenetzung diente insbesondere dazu, die Förderwilligkeit des Gemisches mittels Druckluftstrom zu verbessern. An der Spritzdüse erfolgte die erneute kontrollierte Zugabe von Wasser und Zusatzmittel, um dem Spritzbeton seine Verarbeitbarkeit zu verleihen.

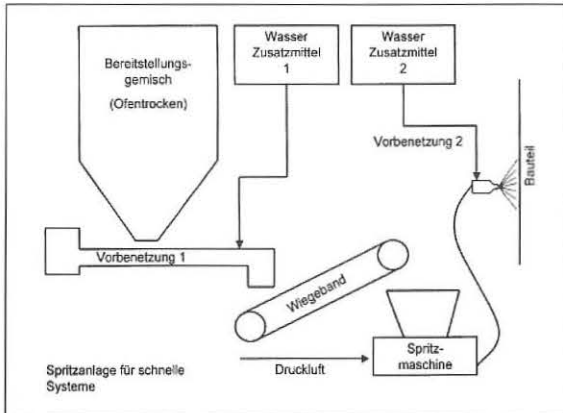


Bild 2: Spritzanlage für schnelle Systeme

Um die Laborwerte auch in der Praxis zielsicher zu erreichen, wurde in Zusammenarbeit mit der BAW ein detaillierter Prüf- und Überwachungsplan erarbeitet. Er sah u.a. vor:

- Rückstellproben von jeder Lieferung des Trockengemisches zu entnehmen,
- mit dem Material jeder Lieferung Betonprismen herzustellen und Druckfestigkeitsuntersuchungen entsprechend DIN EN 12390 nach 4 h durchzuführen,
- die Frischbetonrohddichte des Spritzbetons in jedem Arbeitsabschnitt zu prüfen,
- die Temperatur des erhärteten Betons am Bauwerk zu erfassen,
- das behinderte Schwinden nach ZTV-W in einer Schwindrinne zu messen,
- durch Bohrkernentnahme die Festigkeitsentwicklung nach 4 h und 28 Tagen in jedem Arbeitsabschnitt zu dokumentieren und
- die Wasserdurchlässigkeit in jedem zweiten Arbeitsabschnitt zu prüfen.

4.4 Projektdurchführung

Nach einer intensiven Vorbereitungsphase wurde Ende 2002 mit der Instandsetzung eines Teilbereichs der Schleuse Feudenheim begonnen. Die Ausführungsarbeiten erfolgten von einem Ponton aus, der jeweils zu Beginn der Sperrzeit in die

Schleuse verbracht wurde (Bild 3). Hierzu wurde eine Zeit von rd. 30 Minuten benötigt.



Bild 3: Ponton in der Schleusenammer

Auf dem Ponton befanden sich neben einem Abbruchbagger, eine Schuttmulde, welche die gesamte während einer Schicht anfallende Schuttmenge fasste, sowie die Spritzbetonanlage (Bild 4).



Bild 4: Spritzbetonanlage auf dem Ponton

Der Abbruch von rd. 30 cm der geschädigten Kammerwand erfolgte mit einer, am Hydraulikarm des auf dem Ponton befindlichen Baggers montierten, Walzenfräse (Bild 5).



Bild 5: Bagger mit Walzenfräse beim Betonabtrag

Mit einer Leistung von rd. 4 m²/h wurden die instandzusetzenden Flächen abgefräst, die Ankerlöcher gebohrt und die Anker gesetzt. Im Anschluss daran konnte die statisch notwendige Bewehrung eingebaut werden (Bild 6).



Bild 6: Einbau der statisch notwendigen Bewehrung

Nach dem Einbau der Bewehrung und der Reinigung der abgefrästen Betonoberfläche erfolgte der Einbau des schnellen Spritzbetons innerhalb eines Zeitraums von rd. 2 Stunden mit einer nachfolgenden Mindesthärtungszeit von 4 Stunden. Bild 7 zeigt die Arbeitsleistung (rd. 25 m²), die innerhalb einer Sperrzeit von 8 Stunden erbracht wurde.



Bild 7: In einer Schicht instandgesetzte Lamelle

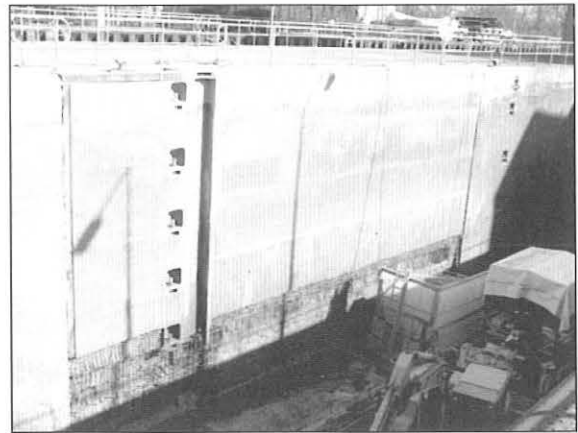


Bild 8: Wandabschnitt kurz vor der Fertigstellung

In den darauf folgenden Sperrzeiten wurden weitere Bereiche abgefräst, Anker gesetzt, bewehrt und mit Spritzbeton neu hergestellt. Bild 8 zeigt den Instandsetzungsbereich kurz vor der Fertigstellung.

5. Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Instandsetzungssystem ist die Instandsetzung von Einkammerschleusen ohne Behinderung des Schiffverkehrs innerhalb von Sperrzeiten von rd. 8 Stunden möglich. Neben einer präzisen Ablaufplanung ist ein geeigneter Spritzbeton, der sowohl ein schnelles Erhärten als auch eine ausreichende Dauerhaftigkeit aufweist, eine Grundvoraussetzung für das Gelingen einer solchen Maßnahme. Hohe Ansprüche sind auch an die Qualitätssicherung zu stellen. Generell erfordert die Verarbeitung des Spritzbetontrockengemisches höchste Sensibilität des Verarbeiters. Bei der Durchführung eines Pilotprojekts konnten die in der Eignungsprüfung festgelegten Materialparameter zielsicher erreicht werden. Seit der Fertigstellung sind nunmehr drei Jahre vergangen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt traten keinerlei Schäden im instandgesetzten Bereich auf. Das System hat somit seine Praxistauglichkeit bewiesen.