

## **Sachstandsbericht**

# **„Instandsetzung von Schleusenanlagen unter laufendem Betrieb“**

**Erstellt: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)  
Dominik Waleczko**

## Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation und Aufbau .....	1
1.1	Ausgangssituation und Inhalt .....	1
1.2	Aufbau und Struktur des Sachstandsberichts .....	2
2	Instandsetzung Schleusenkammer.....	3
2.1	Vorüberlegungen Instandsetzung Schleuse Eckersmühlen .....	4
2.2	Probemaßnahme Schleuse Feudenheim .....	6
2.3	Pumpspeicherwerk Herdecke .....	9
2.4	Grundinstandsetzung der Schleusenkammerwände der Schleuse Hollage .....	11
2.5	Instandsetzung Kleinostheim.....	15
2.6	Instandsetzung Schleuse Obernau .....	17
2.7	Reprofilierung Raffelberg .....	20
2.8	Schwabenheim.....	24
2.9	Vergleich zwischen Ortbeton- und Fertigteilm Bauweisen am Beispiel der Troy Lock .....	29
2.10	Instandsetzung Schleusenanlage Wedtlenstedt .....	32
2.11	Instandsetzung Wolga-Rhein Projekt.....	35
3	Instandsetzung Stahlwasserbau und NEM-Technik.....	38
3.1	Toraustausch Dettelbach .....	39
3.2	Instandsetzung von NEM-Technik an den Mittelweserschleusen.....	42
3.3	Toraustausch Schleuse Wusterwitz .....	46
4	Ausbau bzw. Ersatzneubau einer Schleusenkammer .....	49
4.1	Ersatzneubau des Braddock Dam.....	50
4.2	Schleusenverlängerung der Rochetailleé-Sur-Saône Schleusenanlage (Frankreich) .....	52
4.3	Verlängerung Greenup Lock .....	54
4.4	Ersatzneubau der Schleuse im Inner Harbor Navigation Canal (IHNC) durch Einschwimmen von vorgefertigten Segmenten.....	56
4.5	Instandsetzung und Erweiterung Schleusenanlage Rahe.....	58
4.6	Schleuse Södertälje – Baubegleitende Planung des Ersatzneubaus von Ober- und Unterhaupt im Einschub- und Einschwimmverfahren .....	60

# 1 Ausgangssituation und Aufbau

## 1.1 Ausgangssituation und Inhalt

Zu Beginn soll geklärt werden, welche Aufgabenstellung dem Sachstandsbericht zugrunde lag. Beauftragt wurde dieser Bericht im Jahr 2014 von Vertretern der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und Vertretern des ehemaligen Amtes für Neckar Ausbau Heidelberg (ANH) (umbenannt in Wasserstraßen-Neubauamt Heidelberg) im Namen der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Auf der Basis einer Literatur- und Internetrecherche wurde erarbeitet, welche Erfahrungen auf dem Gebiet der Instandsetzung von Schleusenbauwerken unter Betrieb bereits vorliegen. Dabei sollten sowohl bereits abgeschlossene Instandsetzungsmaßnahmen als auch Planungen und theoretische Ansätze auf diesem Gebiet berücksichtigt werden. Dabei beschränkt sich die Recherche nicht auf den Erfahrungsbereich der WSV, sondern liefert einen internationalen Überblick über die Thematik. Als Ergebnis dieser Recherche ist ein Sachstandsbericht entstanden, der den damaligen Stand der Technik zur Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb zusammenfasst.

Dieser Bericht war eine Vorarbeit für das Teilprojekt A des Projekts *Instandsetzung unter Betrieb*, welches von der BAW geleitet wird. Die Ergebnisse des Sachstandsberichts sollten eine Grundlage für weitere theoretische Betrachtungen bilden, sowie Erkenntnisse für die Entwurfsplanung von Pilotprojekten liefern.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde folgendes Vorgehen gewählt. Da die Recherche neben den Erkenntnissen der WSV auch internationale Erfahrungen abdecken soll, wurde neben den Printmedien auch im Internet recherchiert. Im Bereich der Printmedien wurde in Bibliothekskatalogen und Fachdatenbanken nach Büchern, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Normen, Forschungsberichten und Abschlussarbeiten gesucht. Ergänzt wurden diese Ergebnisse durch die Suchergebnisse einer Internetrecherche, die vor allem die Internetauftritte von Schleusenbetreibern und Firmen die Instandsetzungen an Schleusen durchführen, abdeckt. Außerdem wurde versucht Personen, die in der Praxis tätig sind zu kontaktieren. Dies blieb zur damaligen Zeit in den meisten Fällen allerdings ohne Ergebnis. Jedoch waren einige Personen bereit, gezielte Fragen zu beantworten. Der Bericht war ursprünglich so gegliedert, dass die Ergebnisse nicht nach Projekten, sondern nach Instandsetzungsverfahren aufgeteilt sind. Demnach waren unter einer Methode alle Projekte zusammengefasst, in denen die entsprechende Methode angewandt wurde. Außerdem wurden Instandsetzungsarbeiten an Bauwerken mit ähnlichen Randbedingungen, wie z. B. Speicherbecken für Pumpspeicherkraftwerke oder Außenwände eines Wasserkraftwerks, ergänzt.

Diese Ergebnisse wurden nun noch einmal herangezogen und in diesem Dokument auf den aktuellen Stand gebracht. Dieses Dokument soll dazu dienen, dem Leser einen Überblick über alle Projekte zu geben, die in die verschiedenen Steckbriefe des Modulbaukastens *Instandsetzung unter Betrieb* mit eingeflossen sind. Aus diesem Grund wurde von der ursprünglich gewählten Form, den Bericht nach Instandsetzungsverfahren zu gliedern, wieder abgewichen. Die Informationen sind nun unter den jeweiligen Projekttiteln zusammengefasst. Neben den Projekten die 2014 recherchiert und im Rahmen dieser Ausarbeitung aktualisiert wurden sind auch die aktuellen Entwicklungen in anderen Projekten dokumentiert. Durch die Arbeit der Projektgruppe *Instandsetzung unter Betrieb* konnten weitere Projekte identifiziert werden, die aus der reinen Literatur- und Internetrecherche nicht ermittelt werden konnten.

## 1.2 Aufbau und Struktur des Sachstandberichts

Die Gliederung des Dokuments ist so aufgebaut, dass die einzelnen Projekte den übergeordneten Instandsetzungsaufgaben *Instandsetzung Schleusenkammer*, *Instandsetzung Stahlwasserbau und NEM-Technik* und *Ausbau bzw. Ersatzneubau einer Schleusenkammer* zugeordnet sind. Sofern ein Projekt mehreren Instandsetzungsaufgaben zugeordnet werden kann, ist die Projektbeschreibung ausschließlich in der Instandsetzungsaufgabe zu finden, welche das größte Gewicht für die Maßnahme hatte. Zu Beginn einer jeden Instandsetzungsaufgabe wird in einer kurzen Erläuterung wiedergegeben, in welchen anderen Kapiteln relevante Inhalte zu finden sind. Die Projekte selbst wurden alphabetisch nach dem Namen der Anlage sortiert. Um eine Übersichtlichkeit innerhalb der Projektbeschreibungen herzustellen wurden die Informationen so aufbereitet, dass folgende Struktur eingehalten wird:

- Kurzbeschreibung und Projektdaten
- Ausgangssituation
- Projektstand
- Erarbeitete Lösung
- Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb

Die *Kurzbeschreibung* umfasst maximal zwei bis drei Sätze in denen beschrieben wird, was unter dem jeweiligen Projekt zu verstehen ist. Ergänzt wird diese durch die wesentlichen *Projektdaten*, wie z. B. Bauherr, Baufirma, Planer, Projektvolumen und Quelle. Diese wurden soweit ergänzt wie es den Autoren möglich war. In der *Ausgangssituation* wird beschrieben, welche Voraussetzungen und Randbedingungen bei der Bearbeitung des Projekts gegeben waren. Unter *Projektstand* wird kurz dargelegt inwieweit das Projekt realisiert wurde, um abschätzen zu können in welcher Bearbeitungstiefe Informationen vorliegen. In einigen Fällen ist das Projekt nicht über die Planungen hinausgekommen und in anderen Fällen wurden die Maßnahmen realisiert. Unter der Überschrift *Eraarbeitete Lösungen* werden die wichtigsten Erkenntnisse und Ergebnisse aus der Projektbearbeitung zusammengefasst. Hierbei wird nicht auf jedes Detail eingegangen. Vielmehr soll ein Überblick darüber verschafft werden, in welchem Umfang verschiedene Themen bearbeitet wurden. In *Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb* wird zusammengefasst in wie weit die Ergebnisse für die Instandsetzung unter Betrieb genutzt werden können. Abschließend werden noch die Steckbriefe aufgelistet, in denen die Ergebnisse des jeweiligen Projekts verwendet wurden.

## 2 Instandsetzung Schleusenammer

Die Grundinstandsetzung einer Schleusenammer wird als eine der drei Hauptaufgaben angesehen, die in Zukunft maßgeblich für den Erhalt der Bestandsbauwerke sind. Aufgrund der Altersstruktur der Bauwerke haben die überwiegend in Massivbauweise hergestellten Schleusenammern ihre Nutzungsdauer bereits erreicht oder sogar überschritten. Eine grundsätzliche Aufgabe bei der Instandsetzung von Schleusenammern ist die Reprofilierung von Schleusenammerwänden. Doch neben den Schleusenammerwänden müssen auch andere Bauteile wie z. B. Sohle, Ausrüstung und Fugen bei der Instandsetzungsplanung berücksichtigt werden.

In den folgenden Unterkapiteln sind Projekte zusammengefasst, die sich im Kern mit der Instandsetzung von Schleusenammern befassen. Hier sind alle Projekte zu finden, die im Ansatz mit einer Instandsetzung unter laufendem Betrieb vergleichbar sind. Ausgehend von der inhaltlichen Struktur wird nicht unterschieden, ob die Ammer als gesamte Einheit instandgesetzt werden muss oder ob nur einzelne Bauteile betroffen sind. Die Information, welche Arbeitsaufgabe in dem vorliegenden Projekt behandelt wird, wird in der Kurzbeschreibung gegeben.

## 2.1 Vorüberlegungen Instandsetzung Schleuse Eckersmühlen

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) wurde die Fa. w+s bau Kassel mit der Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie zur Instandsetzung der Schleuse Eckersmühlen beauftragt. Ziel der Studie war die Entwicklung eines Verfahrens, das eine Instandsetzung an den Kammerwänden ermöglicht, ohne den Betrieb der Schleuse wesentlich zu beeinträchtigen.

<i>Auftraggeber:</i>	Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
<i>Planer:</i>	w+s bau Kassel
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Machbarkeitsstudie „Instandsetzung von Schleusenbauwerken am Beispiel der Schleuse Eckersmühlen“</li></ul>

### Ausgangssituation

Die Kammerwandflächen an der Schleuse Eckersmühlen des Rhein-Main-Donau-Kanals zeigen deutliche Frostschädigungen, die eine Instandsetzung notwendig machen. Durch diese Schädigungen kann es mittel- bzw. langfristig zu einer Gefahr für die Schifffahrt kommen. Zum Untersuchungszeitpunkt standen keine Verfahren zur Verfügung, die eine Instandsetzung unter Betrieb ermöglichten.

Die Sparschleuse Eckersmühlen liegt ca. 30 km südlich von Nürnberg im Rhein-Main-Donau-Kanal. Sie ist ca. 197 m lang und 12 m breit. Die Schleusenammer hat eine Höhe von 30 m, wovon 26 m oberhalb des Unterwasserstandes liegen. Die Hubhöhe beträgt 24,67 m.

Über die Jahre sind an den 1982/83 erstellten Kammerwänden deutliche Frostschäden aufgetreten. Die Schleusenwände sind jeweils in zehn 18,15 m breite Blöcke unterteilt, sowie zwei kürzere Blöcke an den Hauptern. Diese sind durch innenliegende Dichtungsbänder verbunden. Während der geplanten Instandsetzung soll die Schifffahrt uneingeschränkt aufrechterhalten werden. Dazu wurden geeignete Zeitfenster überprüft.

Des Weiteren darf das Lichtraumprofil der Schleusenammer, während der Betriebsphasen, in seiner Breite maximal 15 cm eingengt werden. Die Einengung sollte ausschließlich von einer Seite erfolgen, damit die Schiffe sich an der gegenüberliegenden Wand orientieren und fest machen können.

### Projektstand

Die Machbarkeitsstudie wurde abgeschlossen. In dem durchgeführten Variantenvergleich wurde eine Spritzbetonlösung als Vorzugslösung herausgearbeitet. Hierzu wurden ein schnell erhärtender Spritzbeton und ein Maschinenkonzept entwickelt. Dem gegenüber stand eine Ortbetonlösung. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie bildeten die Grundlage für die Durchführung der Probeinstandsetzung an der Schleuse Feudenheim mithilfe von schnell erhärtendem Spritzbeton (Kapitel 2.2).

### Erarbeitete Lösung

Der instand zu setzende Bereich I der von +1,00 m bis +25,5 m. ü. UW reicht, kann von Pontons aus in täglichen Sperrpausen (4 bzw. 8 h) bearbeitet werden. Hierzu wurde die Arbeitsfläche aus Gründen der Arbeitssicherheit in horizontal orientierte Lamellen eingeteilt. Die Höhe der Lamellen wurde an die

Leistungen der eingesetzten Arbeitsgeräte angepasst. Der Bereich von -1,00 bis +1,00 m (Bereich II) wird in zusammenhängenden mehrtägigen Sperrpausen (ca. 10 Tage jährlich) instandgesetzt.

Um einen hohen Frostwiderstand zu garantieren, müssen mind. 20 cm der Kammerwände abgetragen und reprofiliert werden. Für den Abtrag soll ein Hochdruckwasserstrahlgerät von einem gesonderten Ponton aus eingesetzt werden, um die im Bestand vorhandene Bewehrung nicht zu beschädigen. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die vorhandenen Ausrüstungsteile der Schleuse nicht beschädigt werden.

Bevor der Spritzbeton eingebaut werden kann, werden die Zulagebewehrung der oberen Bewehrungslage, die Fugenabschalung sowie Verpressschläuche eingebaut. Mittels Spritzbeton wird dann die ursprüngliche Bauwerkskontur wiederhergestellt. Wegen der kurzen Sperrpausen ist die Entwicklung eines schnellaushärtenden Spritzbetons notwendig, der nach vier Stunden eine Mindestfestigkeit von 12 N/mm<sup>2</sup> erreicht. Außerdem muss der verwendete Spritzbeton eine ausreichende Dauerhaftigkeit besitzen. Über Versuche wurde nachgewiesen, dass ein solches Material entwickelt und bereitgestellt werden kann.

Zur Verarbeitung dieses Betons ist eine spezielle Anlagentechnik erforderlich, die zum einen das Material bei gleichmäßiger Zusammensetzung sicher fördert. Zum anderen muss eine gewisse Toleranz gegenüber in der Maschine abbindenden Teilmengen vorhanden sein und die Funktionsfähigkeit erhalten bleiben. Diese Vorgaben konnten in den Versuchen durch eine Trockenspritzmaschine mit angeschlossenem Vorbefeuchtungs-Durchlaufmischer eingehalten werden.

Mit diesen Techniken ist es laut der Machbarkeitsstudie möglich, den Bereich I der Schleuse innerhalb von zwei Jahren komplett instand zu setzen, wenn diese an 200 Arbeitstagen im Jahr für 4 h und an 100 Arbeitstagen im Jahr für 8 h gesperrt werden kann. Dabei sollen die Sperrungen aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens vor allem nachts erfolgen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob 300 AT im Jahr aufgrund der Wetterlage realisiert werden können. Zusätzlich sind für die Instandsetzung des Bereichs 2 zwei Sperrungen von jeweils 10-12 Tagen notwendig.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Das Konzept wurde bei der Probeinstandsetzung in der mittleren Schleusenkammer in Feudenheim umgesetzt. Unter möglichst praxisnahen Randbedingungen wurde eine Kammerblockseite oberhalb des Unterwasserstandes instandgesetzt. Hierbei hat sich gezeigt, dass das Verfahren praktikabel ist. Jedoch konnten einige Verbesserungspotenziale festgehalten werden. Genaueres ist in Kapitel 2.2 dokumentiert.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 3.1 Spritzbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt
- 3.4 Ortbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt

## 2.2 Probemaßnahme Schleuse Feudenheim

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

In dem Abschlussbericht von Reschke (2009) wurden die Ergebnisse und Erkenntnisse der Probemaßnahme Feudenheim, welche 2002/2003 durchgeführt wurde, dokumentiert. Für die Maßnahme wurde ein schnell erhärtender Spritzbeton eingesetzt. Es wurde exemplarisch eine Kammerblockseite der mittleren Schleusenammer über dem Unterwasserstand instandgesetzt.

<i>Bauherr:</i>	WSA Heidelberg
<i>Bauherrenvertretung:</i>	Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
<i>Baufirma:</i>	w+s bau Kassel → bs-betonschutz
<i>Planer:</i>	ARCADIS Consult GmbH (statische Bemessungsgrundlagen)
<i>Baustellenüberwachung:</i>	Amtliche Materialprüfanstalt der Universität Kassel
<i>Bauausführung:</i>	30.09.2002 – 07.03.2003
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Abschlussbericht Reschke: „Instandsetzung unter Betrieb mit schnell erhärtenden Instandsetzungssystemen Probeinstandsetzung Schleuse Feudenheim“</li></ul>

### Ausgangssituation

Die Kammerwände der mittleren Schleusenammer in Feudenheim weisen die für Schleusen dieses Alters typischen Schäden auf. Ein Entwurf zur Grundinstandsetzung wurde bereits für die Machbarkeitsstudie zur Instandsetzung der Schleuse Eckersmühlen (Kapitel 2.1) erarbeitet. Die grundsätzliche Notwendigkeit zur Instandsetzung der mittleren Schleusenammer war bereits 1988 in einem Gutachten der BAW festgestellt worden. Mit dem Versuch konnte also ein Beitrag zur notwendigen Instandsetzung der Kammer geleistet werden.

Ende November 2001 wurde von der Firma bs-betonschutz und der BAW im ausgewählten Block ein Untersuchungsprogramm zur Erkundung der Qualität des Altbetons ausgeführt. Mittels Vertikal- und Horizontalbohrungen wurden Bohrkern aus der Kammerwand entnommen. Außerdem wurden Ankerzugversuche zur Ermittlung der Betonfestigkeit in situ und Wasserdurchlässigkeitsversuche (WD-Tests) zur Beurteilung der Porosität und Durchströmbarkeit des Betongefüges durchgeführt. Die für die Probemaßnahme ausgewählte Kammerwand wird inklusive der Nischenpoller und der Steigleiter instandgesetzt.

### Projektstand

Ein Segment der mittleren Schleusenammer wurde erfolgreich instandgesetzt. Des Weiteren wurde fünf Jahre später die Qualität der Instandsetzungsmaßnahme durch Kontrollprüfungen bewertet.

### Erarbeitete Lösung

Für die Instandsetzung wurden Zeitfenster von 4 bzw. 8 h festgesetzt. Daher wurde ein Spritzbeton entwickelt, der schon nach 4 h Abbindezeit eine Mindestdruckfestigkeit von 12 N/mm<sup>2</sup> aufweist. Die Instandsetzung wurde nicht über die komplette Kammerwandhöhe, sondern nur oberhalb des Unterwasserspiegels durchgeführt. Der instand zu setzende Abschnitt war 10 m hoch und 18 m lang.

Alle Arbeiten erfolgten von einem Ponton aus, der über die Regelung des Wasserstandes in der Kammer auf die erforderliche Arbeitshöhe gebracht wurde. Zur Stabilisierung wurde dieser mit Drahtseilen an



Pollern befestigt. Jedoch waren die Bewegungen des Pontons durch die hohen Kräfte während der Fräsarbeiten zu groß, was großen Einfluss auf den Arbeitsfortschritt hatte.

Für den Betonabtrag wurde zunächst ein Hydraulikbagger, ausgerüstet mit Meißel und Tellerfräse, verwendet. Aufgrund der geringen Abbruchleistung wurde die Tellerfräse bereits nach kurzer Zeit von einer Walzenfräse ersetzt. Der Hydraulikmeißel kam beim Abbruch der Ausrüstungsgegenstände zum Einsatz, da der Einsatz von Pressluftschlämmern inklusive Fräse wirkungslos war. Damit das Abbruchgut nicht in die Schleusenkammer fiel, wurde zum Auffangen eine Schuttwanne aus Stahlblech eingesetzt.

Für die Rückverankerung der Vorsatzschale wurden Stabanker in einem Raster von 0,5 x 0,5 m eingebaut. Wegen der geringen Festigkeit des Altbetons wurde die Tragfähigkeit der Anker im Vorfeld durch Zugversuche überprüft.

Der Spritzbetonauftrag erfolgte in zwei Lagen mit einer Dicke von jeweils 12,5 cm. Um den Rückprall beim Auftrag zu vermindern und Hohlräume hinter Bewehrungseisen weitestgehend zu vermeiden, wurde außerdem mit zwei Bewehrungslagen gearbeitet. Nachdem die Anker gesetzt waren, konnte die hintere Bewehrungslage eingebaut werden. Dabei wurde ein horizontaler Bewehrungsstab an die Anker angerödelt, um Schwingungen der Bewehrung beim Einbau des Spritzbetons zu vermeiden. Der Einbau des Spritzbetons wurde mithilfe einer Trockenspritzanlage, einem vorgeschalteten Vorbefeuchtungsdurchlaufmischer, einem Vorlagesilo und Vorlagebehältern realisiert. Die Maschinentchnik wurde über einen Ponton in die Schleusenkammer geschwommen und so konnte der Spritzbeton über Handlanzen eingebaut werden.

Nach einer Erhärtungszeit von 4 Stunden konnte die Schleuse den Betrieb wieder aufnehmen. Die zweite Lage Spritzbeton wurde nach einer Wartezeit von 4-5 Tagen eingebaut. In der Zwischenzeit konnte die zweite Bewehrungslage eingebaut werden. Außerdem wurde die Oberfläche der ersten Lage Beton noch einmal sandgestrahlt, um diese von Verunreinigungen zu befreien und die Oberfläche für eine bessere Haftung anzurauen.

Nachdem die zweite Lage eingebaut war, wurde die Oberfläche geglättet. Beim Glätten/Abreiben der gespritzten Betonoberfläche entstand ein erhöhter Personalbedarf, da diese Arbeit in relativ kurzer Zeit nach Betoneinbau erfolgen muss. Es erfolgte keine spezielle Nachbehandlung der Flächen zwischen Ober- und Unterwasser, da durch den normalen Schleusenbetrieb eine ausreichende Benetzung der Betonoberflächen gegeben ist. Der Bereich oberhalb des Oberwassers musste nachbehandelt werden. Nach jeder Arbeitsschicht wurde die Schleusenkammer so verlassen, dass danach der Schifffahrtsbetrieb wieder aufgenommen werden konnte.

Da laut DIN 19703 die vorgesehenen Verankerungen für die Ausrüstungen nicht für 25 cm dicke Vorsatzschalen geeignet sind, mussten die Verankerungselemente gesondert geplant werden. Nachdem die Verankerungen eingebaut waren, konnten die Ausrüstungen mit Spritzbeton hinterfüllt werden. Für die Ausbildung der Blockfugen wurden Stahlwinkel eingesetzt, um später das Klemmfugenband einbauen zu können. Die Qualität der Ausführung wurde durch eine ausgiebige Eigen- und Fremdüberwachung sichergestellt.

Eine Lamelle wurde bei -5 °C eingebaut, wobei nach der Erhärtung deutliche Risse beobachtet werden konnten. Der schadhafte Beton wurde durch Hochdruckwasserstrahlen wieder entfernt und eine neue Lage Spritzbeton eingebaut. Prinzipiell wurden aber bis auf Haarrisse, die nicht als Mangel angesehen werden, keine weiteren Schäden erkannt. Deshalb sollte beim Einbau eines schnell erhärtenden Spritzbetons die Außentemperatur den Wert von 0 °C nicht unterschreiten.

Insgesamt wurde an 62 Tagen gearbeitet, wobei eine Fläche von 18 x 9 m Kammerwand, 9 m Leiternische und 6 Poller instandgesetzt wurden. Die Zeiten für das Räumen und Einrichten der Baustelle sind hier inbegriffen und beliefen sich auf neun Tage. Insgesamt 82 Mal wurde der Ponton während der Bauarbeiten ein- und ausgeschwommen. Von diesen 82 Zeitfenstern waren 70 kürzer oder dauerten genau 8 h. 40 Mal wurde die Kammer nicht mehr als 4 h durchgehend belegt. Die Arbeiten mussten wegen hoher Wasserstände dreimal für mehrere Wochen unterbrochen werden.

Fünf Jahre nach Fertigstellung der Instandsetzung wurde eine augenscheinliche Bewertung des Kammerblocks durchgeführt. Abgesehen von schwachem Aussintern, aufgrund des wasserführenden Untergrundes, waren gegenüber dem Bauzustand keine Veränderungen festzustellen, die auf eine mangelnde Dauerhaftigkeit hinwiesen. Anhand von Bohrkernen konnte nachgewiesen werden, dass die geplante Festigkeitsklasse von C30/37 erreicht werden konnte. Auch die Abreißfestigkeit entsprach dem anzunehmenden Erwartungswert. Außerdem wurde in Bereichen des Freibords eine Carbonatisierungstiefe von 2-3 mm ermittelt, weshalb der Korrosionsschutz der Bewehrung langfristig sichergestellt ist.

Es wurden Optimierungspotenziale ausgemacht, die bei zukünftigen Anwendungen berücksichtigt werden sollten. Diese betreffen unter anderem eine rechtzeitige detaillierte Planung technischer Einzelheiten (z.B. Nischenpoller), Anpassung der Baustelleneinrichtung sowie Optimierungen bei Spritzbetonauftrag und Nachbehandlung. Außerdem sollte die Schuttwanne von der Bewegung des Pontons entkoppelt werden.

Lösungen, die nicht nach Norm geregelt sind, sollten so frühzeitig wie möglich festgelegt werden, damit es infolge dessen nicht zu Verzögerungen im Bauablauf kommt. Im Rahmen der Probeinstandsetzung war ein relativ hoher Zeitaufwand notwendig, der sich bei größeren Instandsetzungen jedoch relativieren sollte.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Bei der Probeinstandsetzung wurde das Instandsetzungsziel erreicht und die Machbarkeit des Instandsetzungsverfahrens nachgewiesen. Gleichzeitig wurden in einigen Schritten des Bauablaufs Verbesserungspotenziale für eine künftig noch bessere und rationellere Ausführung aufgezeigt.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 2.1 Fräsen im Trockenen
- 3.1 Spritzbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt
- 6.1 Wiedereinbau Ausrüstung

## 2.3 Pumpspeicherwerk Herdecke

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Das Pumpspeicherwerk Herdecke, welches 1928 bis 1930 bei der Stadt Herdecke südlich des Ruhrgebiets erbaut wurde, wurde mithilfe von Betonfertigteilen instandgesetzt.

Das Oberbecken umfasst östlich eine Felsböschung, welche durch Ausgleichsbeton stabilisiert wurde. Die übrigen Seiten werden durch eine Schwergewichtsmauer abgedichtet, welche schon bis in die 1970er Jahre durch Spritzbeton ausgebessert wurde. Jedoch sind erneut Schäden aufgetreten, welche eine Grundinstandsetzung erforderten.

<i>Auftraggeber/Vorhabensträger:</i>	RWE Power AG, Regenerative Erzeugung – Betrieb Herdecke
<i>Planer:</i>	Ingenieurbüro Prof. Dipl.-Ing. Willy Kuhlmann
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instandsetzung von Wasserbauwerken mit Fertigteilen“ von Prof. Dr.-Ing. U. Vismann, Prof. Dr.-Ing. W. Kuhlmann veröffentlicht auf BAW-Kolloquium (10.2009)</li> </ul>

### Ausgangssituation

Die Schwergewichtsmauer wurde in Abschnitten von bis zu 35 m Länge hergestellt, deren Fugen durch einbetonierte Kupferbleche und wasserseitige Stahlbetonplatten abgedichtet sind. Nach den Ausbesserungen durch Spritzbeton in den 70er Jahren sind wieder verschiedenste Schäden durch Frosteinwirkung wie auch Betonerosion aufgetreten. Die Schäden umfassten horizontale Risse sowie blätterartige Ablösungen im Bereich der Mauerkrone. Diese waren teils wasserführend, da die aufgetragenen Spritzbetonausbesserungen teilweise erodierten bzw. der Fugenverschluss nicht ausreichend war. Somit hätte ohne eine weitere Instandsetzung die geplante Restlebensdauer von 32 Jahren nicht erreicht werden können.

Die vorgesehene Instandsetzung umfasst folgende Maßnahmen:

- die Beseitigung vorhandener Schäden an den Schwergewichtsmauern
- die Sicherstellung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit für wenigstens die geplante Restlebensdauer von 32 Jahren
- die Sicherstellung eines baulichen Zustandes, der allen normativen Anforderungen, insbesondere den Vorgaben der DIN 19700 genügt
- der Schutz der vorhandenen Betonsubstanz gegen eine erneute Schädigung infolge der vorhandenen Expositionen

Um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten wurden folgende weiteren Vorgaben gemacht:

- Die Sanierung der rund 10.000 m<sup>2</sup> umfassenden Mauer muss in einer beschränkten Bauzeit von maximal vier Monaten durchgeführt werden.
- Das Becken kann zum Zweck der Sanierung nicht vollständig entleert werden. Die Arbeiten müssen dementsprechend über Wasser ausgeführt werden.
- Die Projektkosten sind zu minimieren.

### **Erarbeitete Lösung**

Da die Schwergewichtsmauer hohen Anforderungen wie Dichtigkeit bzw. mechanischer Beanspruchung unterworfen ist, konnte eine Vielzahl an Konzepten wie bspw. Kunststoffdichtungsbahnen oder unbewehrte Beschichtungen verworfen werden. Die Umstände ließen demnach nur die Möglichkeit einer massiven, bewehrten und verankerten Stahlbetonvorsatzschale zu. Durch räumliche sowie zeitliche Gegebenheiten wurde von einer Ortbetonbauweise abgesehen, und stattdessen mit Halbfertigteilen (Filigranplatten) gearbeitet.

Vorteile des Verfahrens sind:

- Fertigung der Platten außerhalb der Baustelle, was die Arbeitsstunden auf der Baustelle reduziert und der beengten örtlichen Gegebenheit entgegenkommt
- Schalarbeiten vor Ort werden auf Randschalung begrenzt
- Bewehrungsarbeit vor Ort wird auf 50 % reduziert
- Durch die Werkherstellung der Filigranplatten kann das Vorhaltemaß der Betondeckung reduziert werden
- Frost- und witterungsbeständige Bauteiloberflächen
- Reduzierte Nacharbeit durch hohe Qualitätssicherheit und Aussortierung von Mängeln

Für das statische Modell wurde eine FE-Modellierung der Schalelemente von 30 m langen Wandblöcken angefertigt. Um auf der sicheren Seite zu bleiben, wurde nicht die angestrebte monolithische Verbindung zwischen Altbeton und Vorsatzschalung angesetzt, sondern eine Vorsatzschale mit Verankerungspunkten als Befestigung im Altbeton, welche elastisch gelagert ist. Zudem wird im Bauzustand für die Ableitung des Frischbetondrucks nur das Halbfertigteil inklusive Ankersystem angesetzt.

Die Vorsatzschale wird in die Expositionsklassen XC4 und XF3 eingeordnet, weshalb ein Beton C30/37 eingesetzt wurde. Um die Betonzugfestigkeit zu erhöhen und die Rissbildung zu reduzieren, wurde als Füllbeton ein C25/30 mit Luftporenbildner eingesetzt. Eine Ankerlänge von 20 cm ist für die elastische Lagerung erforderlich. Die freie Ankerlänge wird durch Schrumpfschläuche realisiert und die minimale Einbindetiefe beträgt 50 cm.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Es konnte ein maßgeschneidertes Instandsetzungsverfahren gefunden werden. Die Arbeiten wurden innerhalb der geforderten vier Monate abgeschlossen. Die Dimensionierung der Fertigteile ist an die gegebenen Randbedingungen angepasst. Für die Instandsetzung einer Schleusenanlage müssen die Dimensionen des Fertigteils angepasst werden. Außerdem muss die hier verwendete Abstützungsstruktur ggf. angepasst werden. In der jetzigen Variante ragt diese in den Lichtraum herein.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 3.2 Fertigteile mit anteiliger Lastübernahme für die Vorsatzschale

## 2.4 Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände der Schleuse Hollage

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

In einer Variantenuntersuchung wurden verschiedene Instandsetzungsverfahren für die Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände unter Betrieb am Beispiel der Schleuse Hollage beschrieben. Ziel des Projekts war die Untersuchung der generellen Machbarkeit einer Grundinstandsetzung von Kammerwänden bei Einkammerschleusen mit Berücksichtigung des Einbaus der Schleusenausrüstung. Dazu wurden fünf grundsätzliche Lösungsvarianten zur Instandsetzung von Kammerwänden untersucht und anschließend miteinander verglichen. Zusätzlich wurden im Rahmen des Projekts der Einbau einer Revisionsverschlussnische am Unterhaupt untersucht sowie generelle Vorgaben zum Abbruch ermittelt.

<i>Auftraggeber:</i>	Neubauamt Hannover
<i>Planer:</i>	Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH (Karlsruhe)
<i>Projektvolumen:</i>	Klassische Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung Vergleichssumme für 2 Blöcke: 305000  Spundwand mit Hinterfüllbeton Vergleichssumme für 2 Blöcke: 304000 €  Halbfertigteile mit Ortbetonergänzung Vergleichssumme für 2 Blöcke: 305000 €
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover (WSV 2013)</li><li>• Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb (BAW 2017)</li></ul>

### Ausgangssituation

Die 1913 bis 1915 am Stichkanal nach Osnabrück als Einkammerschleuse errichtete Schleusenanlage Hollage besitzt eine Nutzlänge von 82 m, eine Nutzbreite von 10 m und eine Fallhöhe von 4,75 m. Die Wassertiefe beträgt 3,50 m. Die Kammerwände wurden in einer weitestgehend unbewehrten Schwergewichtsbauweise hergestellt. Ausgenommen ist die Anschlussbewehrung am Wandfuß der 1,6 m starken Stahlbetonsohle. Die Kammerwandstärke der 8,75 m hohen Wände variiert von 4,00 m im Fußbereich bis 1,50 m am Wandkopf.

Grundlage für die Planungen waren die Bestandspläne der Anlage. Da die Kammerwände der Schleusenanlage fugenlos ausgebildet sind, wurde eine Einteilung in ca. 15 m lange Blöcke der Kammerwände vorgenommen, sodass eine Übertragbarkeit auf andere Anlagen gewährleistet ist.

Rechnerische Untersuchungen der Standsicherheit der Kammerwände zeigten, dass zur Einhaltung der geforderten Sicherheitsniveaus verstärkende Maßnahmen erforderlich sind. Dazu wurde eine Verstärkung mit schrägen, vorgespannten Verpressankern (Einstabanker) mit horizontalem Ankerabstand von 1,25 m gewählt.

Für die niedrige Betonfestigkeit von C12/15 des Bestands sind die zugelassenen Ankersysteme nicht geregelt. Daher können sich hier Probleme ergeben. Ein zusätzlicher Schutz durch blockweise hergestellte Verbundanker gegen Anfahrung erscheint aufgrund der geometrischen Verhältnisse nicht notwendig. Angaben zum Zustand des vorhandenen Massivbaus sowie zum Baugrund wurden aufgrund von Erfahrungswerten an der Schleuse Hollage und vergleichbarer Schleusen angesetzt.

Folgende Randbedingungen wurden bei den Planungen der verschiedenen Maßnahmen berücksichtigt:

- Die nutzbaren Maße der Schleuse durften nicht verändert werden
- Für die Maßnahmen sollten folgende angenommenen Sperrpausen zur Verfügung stehen:
  - o Nachtsperrrpause (19:00 bis 8:00 Uhr)
  - o Wochenendsperrrpausen (Freitag 15:00 bis Montag 8:00 Uhr)
  - o Sperrpausen längerer Dauer (2 x 6 Wochen)

### **Projektstand**

Im Rahmen des Projekts wurden neben Instandsetzungsverfahren auch einige Teilprozesse genauer betrachtet. Folgende Themenkomplexe wurden genauer betrachtet und im Abschlussbericht beschrieben:

- Einbau Revisionsverschlussnische im Unterhaupt
- Abbruch
- Ankertechnik
- Klassische Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung
- Spundwand mit Ortbetonergänzung
- Halbfertigteile mit Ortbetonergänzung

### **Erarbeitete Lösungen**

Zu den wesentlichen Themenkomplexen sind in der Folge einige Ergebnisse in Stichpunkten zusammengefasst.

#### *Klassische Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung*

- Verfahren entspricht dem Stand der Technik und ist somit eine erprobte Lösung bei der Grundinstandsetzung von Kammerwänden, weswegen die Bauweise in der ZTV-W LB 219 geregelt ist.
- Sofern die einhäuptige Schalung im Bestand verankert werden soll, können einige Probleme auftreten die gesondert zu beachten sind.
- Die Herstellung erfolgt blockweise, wobei die Seiten nacheinander bearbeitet werden.
- Der Einbau der zweilagigen Bewehrung soll planmäßig in Nacht- und Wochenendsperrrpausen erfolgen.
- Für das Stellen der Schalung, den Betoneinbau, die Nachbehandlung und den Ausbau der Schalung muss eine durchgehende Sperrung vorgesehen werden.
- Bei Ansatz eines durchgehenden Zweischichtbetriebes sind dafür mindestens 11 Tage anzusetzen.

#### *Spundwand mit Ortbetonhinterfüllung*

- Spundwand als verlorenes Bauteil. Für die Rückverankerung der Spundwand im Bestand zur Abtragung des Frischbetondrucks, werden Kleinverpresspfähle vorgeschlagen, sodass die Spundwand von oben eingehoben werden kann.
- Die Schalungs- sowie die Verbundanker werden während den Nachtsperrrpausen eingebaut.
- Verbindung zwischen Spundwand und Beton der Vorsatzschale wird mittels angeschweißter Kopfbolzendübel hergestellt.

- Spundwand dient auch als dichtendes Element, weswegen die Nachbehandlungszeit verkürzt und die Schalendicke frei gewählt werden kann.
- Die Herstellung erfolgt blockweise.
- Verzicht auf Bewehrung, da Rissbreitenbegrenzung zur Reduzierung von Wasserwegigkeit nicht erforderlich ist.
- Die Wandstärke im Spundwandtal ist auf 9 cm beschränkt, wobei eine Gesamtschalstärke von 40 cm vorgesehen ist.
- Für das Stellen der Spundwandprofile, den Betoneinbau und die anteilige Nachbehandlung ist eine Sperrung von mindestens 4 Tagen bei Ansatz eines Zweischichtbetriebes vorgesehen. Die Sperrung könnte z.B. von Mittwochabend bis Montag früh angesetzt werden.
- Folgende Betone dürfen eingesetzt werden:  
C25/30 (LP) XC2, XF3, XM1, WF mit Nachweialter 28 Tage und C35/45 XC2, XF3, XM1, WF mit Nachweialter 28 Tage

### *Halbfertigteile mit Ortbetonergänzung*

- Halbfertigteile werden als verlorene Schalung eingesetzt, um die Sperrzeit zu verkürzen. Die Fertigteile werden im Bestand, zum Abtrag des Frischbetondrucks, rückverankert. Durch die Rückverankerung bestehen erhöhte Anforderungen an die Montage.
- Die Herstellung erfolgt blockweise.
- Die Halbfertigteile haben eine Länge von ca. 7 m und Höhen von 2,0 m bis 2,40 m. Damit werden über die Höhe der Kammerwand 4 Halbfertigteile gestellt.
- Die Vorsatzschale setzt sich aus Halbfertigteilen mit  $d = 18$  cm und einer Ortbetonergänzung mit  $d = 22$  cm zusammen.
- Im Ortbeton wird eine einlagige Bewehrung eingebaut, die bestandsbetonseitig liegt.
- Die luftseitige Bewehrungslage liegt in den Halbfertigteilen.
- Die Bewehrung der Halbfertigteile ist über Übergreifungsstöße miteinander verbunden.
- Für einen qualifizierten Betoneinbau ist auf ungefähr halber Wandhöhe an der Oberkante des zweiten Halbfertigteils eine Arbeitsfuge im Ortbeton vorgesehen.
- Die Herstellung der Schalungsanker erfolgt zusammen mit Verbundankern während Nachtsperrrpausen.
- Für das Stellen der Halbfertigteile, den Betoneinbau und die anteilige Nachbehandlung ist eine Sperrung von mindestens 4 Tagen bei Ansatz eines Zweischichtbetriebes vorgesehen. Die Sperrung könnte z.B. von Mittwochabend bis Montag früh angesetzt werden.

### *Weitere Varianten der Reprofilierung*

Zusätzlich wurde auch die Herstellung der Vorsatzschale mit Spritzbeton sowie in Fertigteilbauweise untersucht. Die Spritzbetonvariante gilt als machbar, wurde aber aufgrund mehrerer Nachteile nicht weiter untersucht. Für die Fertigteilbauweise wurde hinsichtlich der wasserdichten und kraftübertragenden Ausbildung von Stoßfugen keine technische Lösung gefunden.

### *Abbruch*

- Abbruch erfolgt in Nachtsperrrpausen und erfolgt blockweise durch Fräsen.
- Im Bereich der Ausrüstungsteile wird ein Hydraulikmeißel eingesetzt.

- Abbruch muss immer über eine Blockfuge hinausgehen, sodass bei der Herstellung der Vorsatzschale diese neu ausgebildet werden kann.
- Die Aufwandswerte für Fräsen liegen zwischen 1,0 bis 1,5 m<sup>3</sup>/h und 10 bis 15 m<sup>3</sup>/h.
- Maximal 2 bis 3 Abbruchkolonnen können aufgrund des Platzbedarfs für Baugeräte und Ponton für das Abbruchgut gleichzeitig arbeiten.
- Konservativer Ansatz: ca. 5 Nachtsperrpausen á 12 h für den Abbruch einer Kammerblockseite und Vorbereiten der Betonoberfläche.

### *Schleusenausrüstung*

Insbesondere für die Herstellung von Schwimmpollern und Nischen für Leitern senkrecht zur Schleusenachse müsste die Kammerwand durch ihre relativ geringe Breite im oberen Bereich nach hinten verbreitert werden. Dies macht eine Baugrubensicherung erdseitig und einen angepassten Bauablauf, auch hinsichtlich der Verankerung zur Gewährleistung der Standsicherheit, notwendig.

### *Revisionsverschlussnische*

- Die Kernbohrungen mit  $d = 150$  mm für beide Nischen (2 x 11 Stück) werden innerhalb von 3 Wochen bei laufendem Schiffsverkehr hergestellt.
- Zur Herstellung einer Revisionsverschlussnische können Sägen genutzt werden. Diese können während Wochenendsperrpausen (60 h) im Schutz von Arbeitskisten hergestellt werden.
- Die Herstellung der Nischen wird in einer dritten verlängerten Wochenendsperripause (90 h) durchgeführt. Dies geschieht durch das Einsetzen eines Fertigteils inklusive eines umlaufenden Kantenschutzes und integrierter Bewehrung. Die Betonage erfolgt im Nassen unter Verwendung einer speziellen Betonrezeptur.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Um die Übertragbarkeit der Maßnahmen von der fugenlosen Anlage auf andere Anlagen gewährleisten zu können, wurde eine Einteilung in Blöcke von ca. 15 m Länge vorgenommen. Der Vergleich zeigt, dass eine Spundwand mit Ortbetonhinterfüllung die technisch einfachste der untersuchten Varianten darstellt, allerdings auch hier weitere Untersuchungen insbesondere für den Einbau der Schalungsanker erforderlich sind. Die Kostenermittlung der einzelnen Varianten, auf Grundlage der bisherigen Untersuchungen zeigt, dass die drei Varianten wirtschaftlich in der gleichen Größenordnung liegen. Die Variante Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung ist technisch erprobt, benötigt aber wesentlich größere Sperrzeiten. Die beiden Varianten Spundwand bzw. Halfertigteile mit Ortbetongergänzung erfordern eine detaillierte Planung der Ausführungsdetails und des Bauablaufs mit entsprechender Sorgfalt bei der Herstellung. Für wesentliche Details wurden im Rahmen dieser Untersuchung Lösungen entwickelt. Vorteil dieser beiden Varianten sind die kürzeren Sperrzeiten.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen**

- 1.1 Dammtafeln in Führungsschienen
- 2.1 Fräsen im Trockenem
- 3.2 Fertigteile mit anteiliger Lastübernahme für die Vorsatzschale
- 3.4 Ortbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt
- 3.5 Spundwand mit Ortbetonhinterfüllung
- 6.1 Wiedereinbau Ausrüstung



## 2.5 Instandsetzung Kleinostheim

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die Doppelschleuse Kleinostheim wurde im Frühjahr 2016 als zweites Pilotprojekt „Kombination SBK und Überbohren der Fugen“ für die Machbarkeit einer Instandsetzung unter laufendem Betrieb ausgewählt. Durch undichte Bewegungsfugen konnte Wasser eintreten, wodurch Bodenumlagerungen möglich waren, was wiederum zu Standsicherheitsproblemen führen kann. Somit wurde in dem FuE-Vorhaben untersucht, ob ein Verfahren der Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Teilbetrieb möglich ist.

<i>Bauherr:</i>	WSA Aschaffenburg
<i>Bauherrenvertretung:</i>	Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
<i>Bauausführung:</i>	2010 und 2016
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „FuE-Abschlussbericht Ertüchtigung der Bewegungsfugen von Massivbauwerken im Verkehrswasserbau“ von Maisner (2016)</li> </ul>

### Ausgangssituation

Bisher konnten Bewegungsfugen bei Verkehrswasserbauwerken zum Großteil nicht unter Betrieb erneuert werden. Die bekannten Methoden nehmen sehr viel Zeit und Geld in Anspruch. Verfahren, wie bspw. nachträglich aufgesetzte Fugenbänder oder Injektionsverfahren sind unter technischen bzw. umweltverträglichen Gesichtspunkten kritisch zu betrachten.

Unter Teilbetrieb war nur die patentgeschützte Methode des „Überbohrens der Fuge und Einsetzen eines Elastomer-Schlauchs“ im Bereich des WSV bekannt. Diese wurde 2007 an der Großen Seeschleuse Wilhelmshaven durchgeführt, birgt aber auch einige Einschränkungen in sich:

- Keine Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene möglich
- Keine kraftschlüssige Endlosverbindung für z.B. Umlaufkanäle möglich
- Bisher nur bei vertikalen Fugen in WSV durchführbar
- Nicht für große Fugenweitenänderungen geeignet
- Keine langen Schlauchlängen verfügbar

### Erarbeitete Lösung

Das FuE-Vorhaben hat zum Ziel die Fugeninstandsetzung einfacher und unter Teilbetrieb durchzuführen. Zudem müssen die Fugen eine Wasserdruckdifferenz von 46 m aushalten und eine Nutzungsdauer von 100 Jahren aufweisen.

Die Fuge wird mit einem Kernbohrgerät überbohrt. Die Verpressung der Schläuche erfolgt bei einem Druck von 8 – 10 bar. Der Druck bestimmt unmittelbar, welche Wandungsdicke durch den Fugenschlauch nach der Verpressung noch bereitgestellt werden kann. Dies ist entscheidend für dessen Dichtwirkung, da bei einer Fugenaufweitung die abdichtende Wirkung ausschließlich von der Elastizität und dem Rückstellvermögen des Schlauchs abhängig ist. Durch das Verfüllen des Fugenschlauchs wird der Elastomerschlauch einmalig aufgeweitet und anschließend beim Verfüllen des überbohrten Bereichs komprimiert. Bei diesem Verfahren sind saubere, ebene und glatte Fugenflanken erforderlich. Für den Einbau des Fugenschlauchs ist eine Trockenlegung von 12 h erforderlich. Für die Polymerinjektion werden zugängliche Fugenbereiche und weitere 12 h benötigt.

Bei der Planung der Instandsetzungsmaßnahme müssen folgende Merkmale berücksichtigt werden:

- Der Schlauch ist nicht auswechselbar
- Eine Richtungsänderung in der Abdichtungsebene ist nicht möglich
- Die mögliche Fugenlänge ist begrenzt
- Das Verfahren ist nicht für große Fugenbewegungen geeignet
- Es ist nicht bekannt, gegenüber welchen Wasserdrücken abgedichtet werden kann
- Es ist keine Endlosverbindung möglich
- Ein Eingriff in den Bestand muss berücksichtigt werden
- Beim Einsatz des Kernbohrgeräts kann Bewehrung beschädigt werden
- Es ist eine dauerhafte Variante

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Die Instandsetzungsvariante ist nur bedingt für den Einsatz unter laufendem Betrieb geeignet. Vor allem eignet sich der Einsatz der mörtelgefüllten Elastomer-Schläuche für die Instandsetzung von vertikalen Fugen, die unter laufendem Betrieb eingesetzt werden.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen**

- 5.1 Fugeninstandsetzung mittels stahlseilbewehrtem Klemmfugenband (SBK)

## 2.6 Instandsetzung Schleuse Obernau

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

In einem Endbericht zur Instandsetzung der Staustufe Obernau hat das Wasserstraßen-Neubauamt (WNA) Aschaffenburg (2004) Verfahren für die Grundinstandsetzung unter laufendem Betrieb mit verschiedenen Neubauverfahren verglichen.

<i>Bauherr:</i>	Bundesamt für Wasserbau (BAW)
<i>Bauherrenvertretung:</i>	BAW
<i>Baufirma:</i>	
<i>Planungsfirma:</i>	Ingenieurbüro Ingenieurberatung und Management im Baubetrieb (IMB) Fritz Gehbauer
<i>Projektvolumen:</i>	30,2 Mio. Euro für Grundinstandsetzung plus 12,4 Mio. Euro für jede weitere Instandsetzung
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gehbauer: „Erstellung von Planungs- und Entscheidungsgrundlagen für den Betonabbruch unter Betrieb im Zuge der Sanierung der Schleuse Obernau“</li> <li>• „Staustufe Obernau: Grundinstandsetzung bzw. Neubau - Variantenbetrachtung -Zusammenfassender Bericht (26.05.2004) Wasserstraßen-Neubauamt“</li> </ul>

### Ausgangssituation

Die Schleuse Obernau ist eine Einkammerschleuse, die im Südosten von Aschaffenburg im Main liegt. Sie wurde von 1926 bis 1929 gebaut und ging 1930 in Betrieb. Die Kammer ist 317 m lang und 12 m breit. Die Staustufe überbrückt eine Fallhöhe von 4,01 m und der Mindestwasserstand über der durchlässigen Kammersohle beträgt 3 m. Die Kammerwände haben dementsprechend eine Höhe von knapp 8 m von der Kammersohle bis zur Oberkante und bestehen aus Betonschwergewichtsmauern, die landseitig hinterfüllt sind. Jede Kammerwand besteht aus 20 Blöcken von je etwa 15 m Länge.

Die Kammerwand besteht aus unbewehrtem Stampfbeton, welcher durch eine Vorsatzschale, deren Dicke jedoch sehr großen Schwankungen unterworfen ist, ergänzt wird. Das Material wurde lagenweise eingebaut, weshalb horizontale Arbeitsfugen vorhanden sind. Außerdem wurde festgestellt, dass der Beton vor allem in den Randzonen schlecht verdichtet wurde, was zu Hohlräumen im Beton geführt hat, durch die Wasser transportiert werden kann.

Der Gesamtzustand der Kammerwände wurde in die Schadensklasse SK3 eingestuft. Die Kammerwände weisen vermehrt Risse und Ausbrüche in den Kammerwänden auf, besonders im Bereich der vertikalen Blockfugen sowie den horizontalen Arbeitsfugen der flussseitigen Kammerwand.

Durch diese Schäden und die schlechte Beton- sowie Umsetzungsqualität sind die Kammerwände nicht wasserdicht, was zusätzliche Probleme nach sich zieht. Zum einen bewirkt das durchströmende Wasser Aussintern und besonders an den Fugen Ausspülungen sowie Ausbrüche, wodurch die Standfestigkeit des Betons gefährdet wird. Zum anderen ist der Beton durch das strömende Wasser und zusätzlichen Algenbewuchs ständig durchfeuchtet und damit stark frostgefährdet. Mittelfristig ist die Standsicherheit der Schleuse durch den geschwächten Kernbeton gefährdet.

Im Allgemeinen sind die flussseitige Kammerwand sowie vor allem das Unterhaupt stärker beschädigt als die landseitige Wand. Alle festgestellten Unregelmäßigkeiten treten lokal begrenzt auf. Zudem hat sich die geschleuste Gütermenge in Obernau seit der Eröffnung des Main-Donau-Kanals verdoppelt und die Schiffsgrößen nehmen zu. Der Wartungs- und Inspektionsaufwand der Schleuse steigt stetig und führt zu immer höheren Kosten.

### Projektstand

Am Ende fiel die Entscheidung gegen eine Grundinstandsetzung der Schleuse. Stattdessen wurde ein Neubau vorgeschlagen, da die Grundinstandsetzung als nicht wirtschaftlich angesehen wurde und diverse Risiken mit sich brachte, deren Wirkung nicht abgeschätzt werden konnte. Zu den Risiken gehörte unter anderem die Gefahr unvorhergesehener Schleusensperrungen. Außerdem wurden Probleme vermutet, die durch die mangelhafte Qualität des Kernbetons auftreten können. Des Weiteren wurde die Qualität der Ausführung infrage gestellt, weshalb die Lebensdauer der instand gesetzten Bauteile auf 30 Jahre herabgesetzt wurde. Dies führte wiederum zu Nachteilen in der wirtschaftlichen Betrachtung innerhalb des Variantenvergleichs.

### Erarbeitete Lösung

Mit einer Instandsetzung sollen die Standsicherheit und Funktionstüchtigkeit der Schleuse für weitere 80 Jahre gewährleistet werden. Für die Instandsetzung der Kammerwände wurden zwei Verfahren mit in die engere Auswahl genommen. Zum einen wurde die später in Feudenheim erprobte Spritzbeton-Vorsatzschale und zum anderen eine Spundwandvorsatzschale in Betracht gezogen. Im Vergleich dieser beiden Varianten wurde die Spundwandvariante als Vorzugsvariante ausgewählt, da die Spritzbetonlösung als noch nicht einsatzreif galt. Die Spundwand bietet den Vorteil, dass alle Arbeitsschritte bis auf die Erstellung der Fußwiderlager von der Planie aus realisiert werden können. Ein grundsätzlicher Verfahrensablauf wird in der folgenden Aufzählung beschrieben:

- Herstellen eines Widerlagers an der Kammersohle (während einer Schleusentrockenlegung)
- Teilabbruch der Planie und Ausbildung des oberen Widerlagers
- Stellen der Spundbohlen
- Einbinden in die Planie
- Einbau der Schleusenausrüstung mit Rückverankerung
- Hinterfüllung mit Spezialbeton

Bevor eine Reprofilierung durchgeführt werden kann, müssen der geschädigte Deckbeton und ein Teil des Kernbetons abgebrochen werden. Um ein geeignetes Verfahren dafür auswählen zu können, wurde das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb am Karlsruher Institut für Technologie von der BAW 2002 mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie beauftragt. Hierbei konnten einige Abbruchverfahren für den Einsatz in Schleusenanlagen wie z. B. Quelldruckmittel, Abrasivwasserstrahlschneiden und Sprengen ausgeschlossen werden. Stattdessen wurden sowohl Fräsverfahren als auch Sägeverfahren genauer untersucht.

Technisch realisierbar erschien der Einsatz von Fräsverfahren in Verbindung mit einer pneumatischen Absaugvorrichtung, die auch bei Meißelverfahren und in Baggerseen eingesetzt wird. Vorgeschlagen wird eine Fräse, die als Anbaugerät an einen Hydraulikbagger angebracht wird. Stahlbetonbewehrung kann bis zu einem Durchmesser von 16 mm von einem maschinellen Fräskopf durchtrennt werden. Sollte der Durchmesser größer als 16 mm sein wird die Bewehrung durch das Fräsverfahren lediglich freigelegt und muss mit einem anderen Verfahren durchtrennt werden. Außerdem werden für die Platzierung des Spaltgeräts Taucher eingesetzt. Der Hydraulikbagger kann entweder von der Schleusenplanie oder vom Ponton aus arbeiten. Er ist zusätzlich mit einer Absaugvorrichtung ausgerüstet, damit der Abraum nicht in die Schleusenammer fällt. Ergänzt wird die Absaugvorrichtung durch eine Art Schutzhaube, die das direkte Herabfallen des Abraums in die Schleusenammer verhindert. Bei Einsatz eines Raupenbaggers anstatt eines Hydraulikbaggers, müsste dieser durch eine Kombination aus Führungsschienen und Schwerlastrollen zusätzlich gesichert werden.

Im Rahmen des Gutachtens wurde von GEHBAUER (2002, S. 62) die Problematik der Geräuschemissionen angesprochen. Durch das Anbringen der Schutzhaube, ist eine geringere Geräuschemission zu erwarten. Sollte dies nicht ausreichen, muss das Aufstellen einer Lärmschutzwand zum Schutz der Anwohner in Erwägung gezogen werden. Durch die Arbeit unter Wasser wird die Geräuschemission deutlich gesenkt.

Für lokale Ausbesserungen an Stellen, die mit der Fräse nicht oder nur schlecht erreicht werden können, wird die Meißeltechnik ergänzend empfohlen. Die Abbruchleistungen von Fräse und Meißel hängen sehr stark davon ab, ob über oder unter Wasser gearbeitet wird. Unter Wasser müssen leistungsstärkere Maschinen eingesetzt werden, um die gleiche Abbruchleistung wie über Wasser zu erzielen.

Als Sägeverfahren wird ein Seilsägeverfahren unter Zuhilfenahme eines hydraulischen Spaltgerätes näher beschrieben. Vom Arbeitsablauf her soll der abzubrechende Teil in Scheiben geschnitten und anschließend am Stück herausgehoben werden. Dazu sind neben einer Seilsäge auch ein Kernbohrgerät, ein hydraulisches Spaltgerät und ein Hebezeug, welches in der Lage ist, die Monolithe herauszuheben, ohne dass diese auseinanderbrechen, nötig. Ein großer Vorteil des Seilsägeverfahrens ist, dass viele Arbeiten während des laufenden Betriebs von der Planie aus durchgeführt werden können.

Die Möglichkeit Wandsägen als Anbaugerät von einem Bagger einzusetzen, wird von GEHBAUER (2002) nicht berücksichtigt. Dennoch ist die Anwendung des Wandsägeverfahrens in einer Kombination mit anderen Sägeverfahren denkbar. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Leistung des Verfahrens unter Wasser um bis zu 80 % abnimmt. Letztendlich müssen die Rahmenbedingungen den Einsatz der Wandsägetechnik zulassen.

Abschließend wird festgehalten, dass das Fräsverfahren insgesamt kostengünstiger und zeitsparender ggü. dem Sägeverfahren ist. Aufgrund von beengten Platzverhältnissen muss zwar der Einsatz genau durchdacht werden, allerdings besteht dafür nicht die Gefahr, dass große Bereiche der abgebrochenen Kammerwand abbrechen und in die Kammer fallen. Dies ist beim Sägeverfahren anders, da hier die Monolithe beim Herausheben auseinanderbrechen können. Bei beiden Systemen muss das abgebrochene Material zwischengelagert werden, bevor es recycelt werden kann.

Bürkelbach und Henschel führen in einer weiteren Studie außerdem den Einsatz einer HDW-Robotereinheit als mögliches Abbruchverfahren an. Hier werden jedoch weitaus geringere Abbruchleistungen erzielt als mit dem Fräsverfahren.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Es wurden mehrere mögliche Varianten zur Instandsetzung einer Schleuse erarbeitet. Mittlerweile konnte nachgewiesen werden, dass die Spritzbetonvariante praxistauglich ist und unter passenden Voraussetzungen angewendet werden kann. Die Spundwandvariante wird von der Projektgruppe IuB als machbare Alternative angesehen, da viele Arbeiten von der Planie aus erledigt werden können. Ein Praxistest konnte bisher jedoch nicht durchgeführt werden. Ob diese Instandsetzungsvarianten einem Neubau vorzuziehen sind, muss im Einzelfall aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen entschieden werden. Beide näher beschriebenen Abbruchverfahren sind für eine Instandsetzung unter Betrieb geeignet.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 2.1 Fräsen im Trockenem

*Noch nicht eingearbeitet bzw. geplanter Steckbrief:*

- 3.5 Spundwand mit Ortbetonhinterfüllung
- Abbruch unter Wasser
- Sägeverfahren

## 2.7 Reprofilierung Raffelberg

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die als Einkammerschleuse ausgeführte Ruhrschleuse Raffelberg stellt den einzigen schiffbaren Zugang vom Rhein zum Hafen Mülheim dar. Eine Vollsperrung der Schleusenanlage könnte dazu führen, dass sich ansässige Unternehmen von der Wasserstraße als Logistikweg abwenden. Daher ist eine Instandsetzung der Schleusenanlage nur unter Betrieb möglich. Ziel der Instandsetzung ist der Weiterbetrieb der Schleusenanlage bis zum Jahr 2069.

<i>Auftraggeber:</i>	WSA Duisburg-Meiderich
<i>Planer:</i>	Arbeitsgemeinschaft „Ruhrschleuse Raffelberg“ (bestehend aus LPI Ingenieurgesellschaft mbH und grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co.KG)
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb (BAW 2017)</li></ul>

### Ausgangssituation

Die Kammerwände der 1927 als Einkammerschleuse ausgeführten Ruhrschleuse Raffelberg sind als unbewehrte Schwergewichtswände aus Stampfbeton hergestellt. Eine Bewehrung der Kammerwände liegt nur in den unteren 5 m vor. Im Rahmen einer Instandsetzungsmaßnahme der Kammerwände 1953 und 1954 fand ein Abtrag der Betonoberfläche, die Ausbesserung mit Instandsetzungsmörtel und anschließend ein Verputzen statt.

Die Kammersohle ist mit unbewehrten Betonblöcken befestigt, in deren Zwischenfugen hochkant gelagerte Ziegelsteine versetzt sind.

Nach einer 1999 erfolgten Schleusenverlängerung beträgt die Gesamtlänge der Schleusenammer 148 m. Außerdem wurde die Schleuse um ein neues Oberhaupt mit Drehsegmenttor erweitert. Das als Schiebetor mit Umläufen ausgebildete Unterhaupt wurde im Rahmen dieser Maßnahme nur teilweise erneuert. Da die 1999 umgebauten oder ergänzten Bauteile in gutem Zustand sind, ist hier keine Instandsetzung erforderlich.

Allerdings weisen die Umlaufkanäle des Unterhauts tiefe, feucht bis leicht wasserführende Trennrisse auf, die sich teilweise bis in die Torkammer fortsetzen. Eine früher aufgetragene Mörtelschicht beginnt sich abzulösen. Im Bereich der unterwasserseitigen Revisionsverschlüsse wurden Undichtigkeiten festgestellt.

An den Kammerwänden sind durch Schiffsanfahrungen, Frosteinwirkungen und Auswaschungen, hauptsächlich oberhalb des UW-Stands, verschieden ausgeprägte Abplatzungen und Ausbrüche bis zu 30 cm Tiefe vorhanden. Früher aufgetragene Reprofilierungen liegen großteils hohl mit stellenweisen Ausbrüchen an den Flanken. Außerdem bilden wasserführende Mauerwerksfugen Aussinterungsfahnen.

Aufgrund des schlechten Zustands der Kammerwände besteht die Gefahr des Abrisses von Steigleitern durch den Schiffsverkehr. Des Weiteren entsprechen Plattform- und Nischenpoller nicht mehr den betrieblichen Anforderungen. Die Lage von planmäßig vorhandener Bewehrung ist nur an manchen Stellen bekannt, da Radaruntersuchungen aufgrund der hohen Betondeckung nur stellenweise zuverlässige Ergebnisse liefern. Bohrkernentnahmen lassen nur eine Einstufung in Altbetonklasse A2

zu. Schadhafter Beton reicht bis ca. 1 m unter den Unterwasserstand (UW). Bei zusätzlichen Ankerausziehversuchen tritt kein Versagen bis zur Streckgrenze des Stahls auf.

Weitere Voruntersuchungen ergaben, dass die innere Standsicherheit in einem horizontalen Schnitt über dem Fundament gefährdet ist. Für die äußere Standsicherheit ist die aussteifende Wirkung der Sohle maßgeblich. Die Kammersohle weist jedoch sowohl am Beton als auch an den Ziegelsteinen starke Kantenausbrüche und Abplatzungen auf. Vereinzelt sind Löcher in der Sohle vorhanden. Die nach ursprünglichen Planunterlagen 1 m starke Sohle wurde vermutlich auf 40 bis 70 cm Stärke ausgewaschen. Aufgrund des schlechten Zustands der Sohle wurde allein durch das Bohrwasser der Bohrkernentnahmen Zement aus den Bohrwandungen ausgewaschen. Zusätzlich dazu liegt eine AKR-Schädigung sowie ein Gipstreifen vor.

Für die Instandsetzung ist eine Umsetzung nach DIN 19703 – Schleusen der Binnenschifffahrt und WSV – Fachkonzept Schiffsschleusenanlagen vorgesehen, sofern es wirtschaftlich vertretbar und technisch umsetzbar ist. Dies schließt den Einbau von Schwimmpollern und Steigleitern aus. Abweichend von der üblichen Ausrüstung mit Kantenpollern für den Binnenbereich sollen Poller für den Küstenbereich eingebaut werden.

Die Planie soll gegenüber dem Bestand um ca. 0,5 m angehoben werden. Voraussetzung für den zeitlichen Ablauf der Instandsetzung ist die Gewährleistung von Schleusungen außerhalb der täglichen Arbeitszeiten und an den Wochenenden (100 bis 300 Schiffe pro Monat im Jahr 2016). Früh mit den Unternehmen abgestimmte Schleusensperrpausen bis zu 4 Wochen sind möglich. Eine Kammerseite wird für die Schifffahrt freigehalten. Daraus folgt, dass nur an einer Kammerseite gearbeitet werden kann. Auch die Arbeiten am Unterhaupt finden in den Sperrzeiten statt. Die Gesamtbauzeit soll ca. 2 Jahre betragen.

### **Projektstand**

Aus strategischen Gründen wurde die Instandsetzung der Schleuse Raffelberg zurückgestellt. Zunächst soll die Ruhrschleuse Duisburg instandgesetzt werden. Derzeit wird der Entwurf AU erarbeitet. Mit einer Instandsetzung kann frühestens 2023 gerechnet werden.

### **Erarbeitete Lösung**

#### *Instandsetzungskonzept für die Kammerwände*

Aufgrund des schlechten Zustands der Betonoberfläche ist eine bewehrte und verankerte Vorsatzschale vorgesehen. Die Vorgaben aus DIN 19703 hinsichtlich der Ausrüstung können nach jetzigem Planungsstand voraussichtlich eingehalten werden. Auf Verlängerung der Steigleitern von 1 m auf 1,5 m unter den UW-Stand und Verändern der Lage von langen Steigleitern wird verzichtet, da der dafür notwendige Betonausbruch mit im Bestand vorhandener Bewehrung kollidiert. Im Gegensatz zu einem zum Bestand ähnlichen Beton kommt ein Beton mit hoher Frühfestigkeit infrage, da die schnelle Erhärtung Vorteile bei der Instandsetzung unter Betrieb mit sich bringt. Die Instandsetzung für jede Seite erfolgt blockweise. Der Bauablauf wird in zwei Bauabschnitte unterteilt, da unter Betrieb nur bis 0,5 m über dem UW-Stand instandgesetzt werden kann.

#### *1. Bauabschnitt: Instandsetzung unter Betrieb*

- Bei der Instandsetzung unter Betrieb bis 0,5 m über dem UW-Stand erfolgen die Arbeiten von einem Ponton aus.
- Die in Arbeit befindlichen Blöcke werden durch schwimmende Stoßbalken vor

Schiffsanfahrten geschützt.

- 0,5 m über dem UW-Stand wird ein horizontaler Sägeschnitt hergestellt.
- Der Betonabtrag erfolgt oberhalb des Sägeschnitts durch Fräsen (Walzenfräse) oder Stemmen (im Bereich der Nischenpoller und Steigleitern).
- Eine mindestens 30 cm dicke bewehrte Ortbetonvorsatzschale wird hergestellt. Dafür muss sich der Ponton auf UW-Stand befinden. In diese Vorsatzschale sind die neuen Nischenpoller integriert.
- Die Verankerung im Altbeton besteht aus eingebohrtem Betonstahl und bauaufsichtlich zugelassenen, eingebohrten Ankern. Die Anker fungieren gleichzeitig auch als Schalungsanker und sind rückbaubar.
- Die Injektion von wasserführenden Rissen erfolgt mit Zementsuspension/-leim (NA-Zement) oder ggf. Polyurethanharz.
- Die Schalung für die neuen Vorsatzschalen wird auf der Sägekante aufgestellt.
- Die Bewehrung wird je Richtung zweilagig verlegt.
- Es sind Schraubanschlüsse für die Bewehrung als Anschluss für den zweiten Bauabschnitt vorgesehen.
- Die Planie kann vom Gelände aus ca. 0,7 m abgetragen werden. Daraufhin kann eine neue Planie von ca. 1,25 m Dicke hergestellt werden.
- Die Kantenpoller werden über jeder Nischenpollerreihe in der Planie verankert.

### 2. *Bauabschnitt: Instandsetzung während Vollsperrung und gelenzter Kammer*

- Nachdem die Instandsetzung aller Blöcke einer Kammerseite oberhalb des UW-Stands abgeschlossen ist, kann die Schleuse in einer kurzen Sperrpause gelenzt werden.
- In der gelenzten Schleuse werden die Kammerwände im Bereich von 0,5 m über UW bis 1 m unter UW instandgesetzt. Außerdem wird die Gelegenheit genutzt, um einige neue Sohlbalken einzubauen. Die Arbeiten erfolgen dabei von der Kammersohle aus.
- Der Abbruch erfolgt durch Hochdruckwasserstrahlen (HDW), da oberflächennah Bewehrung vorhanden ist.
- Die Injektion von wasserführenden Rissen erfolgt mit Zementsuspension/-leim.
- Danach kann die ca. 20 cm dicke Vorsatzschale hergestellt werden.
- Die Bewehrung wird je Richtung zweilagig verlegt.
- Mit eingebohrtem Betonstahl wird die neue Vorsatzschale im Bestand verankert.
- Um einen besseren Verbund der Bewehrung mit dem Spritzbeton zu gewährleisten, wird der Spritzbeton zweilagig eingebaut. Dabei ist zu beachten, dass die zweite Lage nach Sandstrahlen der erhärteten ersten Lage aufgebracht und anschließend geglättet wird.

### *Innere Standsicherheit:*

- Um die innere Standsicherheit zu gewährleisten, werden Spannglieder an der Erdseite eingebaut.
- Hierzu wird pro Spannglied eine Kernbohrung bis zur Fundamentunterkante hergestellt.
- Anschließend erfolgt die Herstellung eines HDI-Körpers an der Sohle des Bohrlochs, in dem das Spannglied verankert wird.
- Daraufhin kann das Spannglied gegen eine vergossene Stahlplatte auf dem Bestandsbeton gespannt werden.
- Die Kernbohrung wird verpresst.



- Die Vorspannung des Spannglieds erzeugt Druckspannungen auf der Zugseite der Kammerwand und wird so eingestellt, dass der Querschnitt nahezu überdrückt wird.

#### *Instandsetzungskonzept für die Kammersohle*

- Eine Instandsetzung der Kammersohle ist nur durch den Ersatz der Sohlbefestigung möglich. Wichtig hierbei ist vor allem die Sicherstellung der aussteifenden Funktion der Sohle.
- In einem Kammerblock werden je drei Streifen der Betonquader abgebrochen und durch je einen bewehrten Betonbalken ersetzt.
- Die Hydraulische Durchlässigkeit bleibt dabei erhalten.
- Das Herstellen weiterer Betonbalken sollte zukünftig während planmäßigen Trockenlegungen (alle 6 Jahre) stattfinden. Dies hätte einen Endzustand zur Folge, bei dem jede zweite Quaderreihe durch Betonbalken ersetzt wäre. Die Zwischenbereiche wären mit verklammerten Wasserbausteinen verfüllt.
- Die Balken sind als Fertigteile vorgesehen und erhalten einen Fugenverguss zu den Kammerwandfundamenten.

#### *Instandsetzungskonzept für das Unterhaupt*

- Der vorhandene Putz in den Umlaufkanälen wird mittels HDW bzw. Stemmen vollständig entfernt.
- Im Anschluss sind offene ggf. noch feuchte Risse  $> 0,25$  mm von der Innenseite der Umlaufkanäle durch Injizieren mittels Zementsuspension oder Polyurethanharz abzudichten und zu verschließen.
- Die Wiederherstellung der Oberfläche erfolgt durch einen ca. 2 cm dicken, unbewehrten Spritzmörtelauftrag S-A2 nach ZTV-W LB 219.
- Das Abdichten und Verschließen von Rissen in der Torkammer funktioniert wie zuvor.
- Ggf. ist ein späteres Nachverpressen der Risse hinsichtlich der Umläufigkeiten notwendig.
- Für feinere Oberflächenrisse an der Kammerseite, deren Ursache eine AKR-Schädigung sein könnte, wird ein Monitoring empfohlen.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Die geplante Ausführung des 1. Bauabschnitts entspricht den Vorstellungen, die für die Instandsetzung unter Betrieb vorgegeben werden. Innerhalb des zweiten Bauabschnitts werden Erfahrungen aus der Probemaßnahme in Feudenheim genutzt. Vor allem die Erfahrungen, die bei der Durchführung des 1. Bauabschnitts entstehen, sollen in Zukunft dokumentiert und für das modulare Informationssystem festgehalten werden.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen**

#### *Noch nicht eingearbeitet:*

- 3.1 Spritzbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt
- 3.4 Ortbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt

## 2.8 Schwabenheim

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die in den 1920er Jahren gebaute Neckarschleuse Schwabenheim wurde als Pilotprojekt zur generellen Machbarkeit einer Instandsetzung unter laufendem Betrieb ausgewählt. Die Doppelkammeranlage besteht aus zwei baulich voneinander getrennten Schleusenammern. Für beide Kammern ist eine Grundinstandsetzung erforderlich. Außerdem ist eine Verlängerung einer Kammer vorgesehen.

- Auftraggeber/Vorhabensträger:* Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS)  
Außenstelle Südwest vertreten durch Amt für Neckarausbau  
Heidelberg ANH
- Planer:* ARGE Neckarschleusen Los 1 GbR bestehend aus RMD  
Consult GmbH, Pöyry Deutschland GmbH und  
Ingenieurgruppe Bauen
- Quellen:*
- Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb (BAW 2017)
  - <http://www.anh.wsv.de/30-projekte/10-schleusen/20-schwabenheim/index.html>

### Ausgangssituation

Die in Stahlbetonweise errichtete Schleusenanlage besitzt eine 2,6 m starke Kammersohle und als Schwergewichtsmauern ausgebildete Kammerwände. Die 1925 erbaute linke Schleusenammer hat eine Nutzlänge von 108,84 m und eine Breite von 11,94 m. Die 1955 erbaute rechte Schleusenammer ist auf einer Länge von 107,03 m und einer Breite von 11,96 m nutzbar.

Die rechte Schleusenammer weist ein stark geschädigtes Untertor sowie durch AKR geschädigte Schleusenammerwände auf. Auch die Schleusenammerwände und Schleusenhäupter der linken Schleusenammer weisen schadhafte Beton auf.

Grundlage der Vorplanung für die Grundinstandsetzung und Verlängerung der rechten Kammer unter Betrieb ist die von der ARGE zuvor erstellte Vorplanung für die konventionelle Verlängerung und Instandsetzung der linken Kammer. Im Rahmen des Projekts sollen Wirtschaftlichkeit und technische Machbarkeit untersucht werden. Ggf. sind alternative Lösungen auszuarbeiten. Außerdem ist das statische System der Schleuse anzupassen, sofern die Lösungsvarianten dies erforderlich machen. Um den Schleusenbetrieb aufrechtzuerhalten ist während der Bauzeit ein Lichtraumprofil von mindestens 11,8 m vorzuhalten.

Die vorgesehene Instandsetzung umfasst folgende Maßnahmen:

- Einbau eines standardisierten Stemmtors am Oberhaupt
- Neubau des Unterhauptes und ebenfalls Einbau eines standardisierten Stemmtors
- Verlängerung der Nutzlänge der Schleuse auf 140 m in Richtung Unterwasser
- Sanierung der Kammerwände mit bewehrter Vorsatzschale

Es sind arbeitstägliche Schifffahrtssperren von maximal 12 Stunden vorgesehen. Da der Einbau des Abdämmsystems und die Lenz- sowie Füllvorgänge 4 Stunden beanspruchen, verringert sich die tägliche Arbeitszeit für reine Bautätigkeiten auf 8 Stunden. Für Arbeiten, die nicht innerhalb der

vorgesehenen Schifffahrtssperren verrichtet werden können, sind pro Jahr zwei Schifffahrtssperren von 4 bis maximal 6 Wochen möglich.

### **Projektstand**

Die Vorplanung zur Grundinstandsetzung der linken Kammer wurde abgeschlossen. Bevor die linke Schleusenammer unter laufendem Betrieb instandgesetzt werden kann, muss die rechte Schleusenammer instandgesetzt werden. Diese Instandsetzungsmaßnahmen der rechten Schleusenammer befinden sich derzeit in der Ausschreibung. Die Unterlagen für das Vergabeverfahren zur Grundinstandsetzung der linken Kammer unter laufendem Betrieb werden derzeit vorbereitet.

### **Erarbeitete Lösung**

#### *Einteilung in Baubereiche*

Durch mobile Verschlussysteme soll die Kammer in mindestens zwei unabhängig voneinander trockenliegende Baubereiche getrennt werden können. Somit können die Arbeiten im Trockenen ausgeführt werden. Nach Installieren des Abdämmsystems (Dammtafeln in Führungsschienen) werden die abgestellten Bereiche mittels Hochleistungspumpen gelenzt.

#### *Standsicherheit*

Die Standsicherheit der Kammerwände ist Voraussetzung für die Instandsetzung der Schleusenammerwände sowie der Sohle. Um diese zu gewährleisten, müssen zusätzliche Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden, die wie folgt ausgeführt werden:

- Senkrechte Anker werden innerhalb der Kammerwände angeordnet. Diese dienen insbesondere der ausreichenden Tragfähigkeit im Bauzustand.
- Darüber hinaus sind Schräganker geplant, die eine Zunahme des rückdrehenden Moments über die Höhe der Kammerwände erzeugen.

#### *Instandsetzung der Kammerwände*

Für die Instandsetzung der Kammerwände mit einer bewehrten Vorsatzschale wurden die drei Instandsetzungsverfahren Ortbeton, Spritzbeton und Fertigteile genauer untersucht. Jedes der Herstellverfahren stellt für sich eine technisch machbare Variante dar. Die Varianten wurden hinsichtlich zuvor festgelegter Bewertungskriterien untersucht, die sich in fünf Kriteriengruppen einteilen lassen:

- Anforderungen in der Ausführungsphase
- Risiken während der Bauzeit
- Risiken in der Genehmigungsfähigkeit
- Einflüsse auf die Gebrauchstauglichkeit
- Wirtschaftlichkeit

Aus dem Bewertungsverfahren geht die Variante Fertigteile als Vorzugslösung hervor. Die Variante Fertigteile sieht vor, sogenannte „Pi-Platten“ oder „TT-Deckenbauelemente“ als vertikale Vorsatzschalenelemente zu verwenden. Bei der Variante Fertigteile wird wie folgt vorgegangen:

- Abtrag der Wände durch Teller- oder Walzenfräsen (für den Rückbau der Schleusenausrüstung wird ein Hydraulikmeißel eingesetzt)
- Herstellen von Bohrlöchern und Setzen der Rückverankerungsanschlüsse in den Altbeton sowie Verankerungen der Einbauteile
- Einbau der hinteren Bewehrungslage und Montage von Dehnfugenbändern
- Einheben und Einbau der bauzeitlichen Fußfixierungen für Fertigteile
- Einbau der bauzeitlichen Vorrichtungen für die Kopfverankerung der Fertigteile (parallel zum Schleusenbetrieb)
- Anlieferung der Fertigteile und Zwischenlagerung auf der Planie
- Einheben der Fertigteile (b x h = 2,5 m x 11,5 m), Fixierung der Fertigteile an Kopf und Fuß sowie Einbau von zusätzlichen Distanzelementen zur Lagefixierung der Wandelemente
- Einbau von Fugenfüllplatten und Schalungselementen zur seitlichen Abstellung des kompletten Wandabschnittes an den Blockenden
- Einbau und Verankerung von Führungshülsen für Schwimmpoller in vorgesehene Aussparung
- Einbau der Aussteifungen der Fertigteile in Sohlhöhe
- Betonage des ersten Betonierabschnittes (h = 4,0 m)
- Rückbau der Aussteifungen und der Fußverankerung
- Zweiter, dritter und vierter Betonierabschnitt können ohne Lenzen der Kammer und ohne den zusätzlichen Einbau von Aussteifungen betoniert werden (h = 7,5 m)
- Rückbau der Kopffixierung sowie der Schalungselemente
- Herstellen der neuen Planie

### *Grundinstandsetzung und Umbau des Oberhauptes*

In der Planung wurde eine große Anzahl von Varianten entwickelt. Neben der näher beschriebenen Vorzugsvariante wurden die zwei folgenden Möglichkeiten in Betracht gezogen:

- Bau des neuen Oberhauptes innerhalb des ersten Kammerblocks
- Sanierung und Umbau des bestehenden Hauptes

Aus der Variantenentwicklung ging die Errichtung eines neuen Bauwerks für das Obertor und den Torwenderaum vor dem bestehenden Haupt als Vorzugsvariante hervor. Bei dieser Variante kann der Einbau des neuen Schleusentores örtlich und zeitlich vom Ausbau des alten Tores entkoppelt werden. Dies bietet einen entscheidenden Vorteil gegenüber den anderen Varianten, weswegen diese Variante ausgewählt wurde. Folgende Arbeiten können vorab und außerhalb des Schiffahrtquerschnitts durchgeführt werden:

- Baugruben für die Wände des Torwenderaums als Spundwandkästen außerhalb des Schiffahrtquerschnitts errichten
- Unterwasseraushub innerhalb der Spundwandkästen
- Einbau der verankerten Unterwasserbetonsohle
- Aufbau der neuen Wände inklusive der neuen Tor- und Revisionsverschlussnischen

Die weiteren Arbeitsschritte erfolgen im Bereich des Schiffahrtquerschnitts und müssen deshalb während der bautäglichen Schiffahrtssperren ausgeführt werden. Betrieben wird die Schleuse über die alten Tore:

- Einbau einer Unterwasserbetonsohle
- Einbauen des Sohlanschlags für den neuen oberwasserseitigen Revisionsverschluss
- Tägliches Einsetzen des Revisionsverschlusses
- Aufbau der neuen Sohle des Hauptes mit Trossenfanggrube und horizontalem Toranschlag
- Die neuen Tornischen werden freigelegt und die Tore werden eingebaut. Im ersten Kammerblock wird der neue Bremsbalken und die hydraulische Kontur der Bremskammer eingebaut.

Für die folgenden Arbeitsschritte ist eine dauerhafte Schifffahrtssperre von bis zu 6 Wochen erforderlich:

- Entfernung der alten Tore und Tieferlegung der Sohle des alten Hauptes
- Aufbau eines mit einer Fertigteildecke abgedeckten Strömungskanal im Drempebereich.

Abschließend können folgende Aufgaben in arbeitstäglichen Zeitfenstern erledigt werden:

- Die alten Torumläufe werden verschlossen.
- Die alten Zylinderdrehschütze werden entfernt.
- Die Umlaufkanäle werden verdämmt.

#### *Verlängerung und Neubau des Unterhauptes*

Das neue Unterhaupt und die Verlängerung der Kammer werden unterwasserseitig des bestehenden Hauptes als neues Bauwerk mit neuem Torwenderaum und mit einem standardisierten Stemmtor errichtet. Anschließend erfolgt der Umbau des Bestandhauptes zu einem Kammerblock. Als Vorzugsvariante geht die Herstellung des neuen Unterhauptes und der Kammerverlängerung mit Schwergewichtswänden und einer dazwischen hergestellten Sohle hervor:

- Die Baugruben für die neuen Wände des Hauptes und der Kammerverlängerung werden als Spundwandkästen errichtet.
- Unterwasseraushub innerhalb der Spundwandkästen.
- Einbauen verankerter Unterwasserbetonsohle.
- Aufbau der neuen Wände inklusive der neuen Tor- und Revisionsverschlussnischen.

Die weiteren Arbeitsschritte erfolgen im Bereich des Schifffahrtquerschnitts und sind innerhalb der bautäglichen Schifffahrtssperren auszuführen:

- Die Herstellung der neuen Haupt- und Kammersohle erfolgt analog zum Oberhaupt.
- Einbau der neuen Stemmtorflügel (maximale Schifffahrtssperre 6 Wochen).
- Parallel wird die Brückenplatte der neuen Unterhauptbrücke eingebracht.
- Die alten Tore sowie Torantriebe und die alte Unterhauptbrücke werden rückgebaut.
- Nachdem das neue Tor in Betrieb gegangen ist, erfolgen in bautäglichen Sperrpausen die Sanierung der Wand- und Sohlflächen des Bestandhauptes sowie die Tieferlegung der Sohle.
- Alte Torumläufe werden verschlossen, alte Schütze entfernt und Umlaufkanäle verdämmt.

Alternativ wurden die Bauverfahren Einschieben und Einfahren eingehender untersucht. Allerdings ist der Einsatz dieser Bauverfahren aufgrund der örtlichen Randbedingungen in Schwabenheim nicht möglich. Aufgrund dessen wird auf eine genauere Beschreibung an dieser Stelle verzichtet.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Die Schleuse Schwabenheim besteht aus zwei separaten, baulich voneinander getrennten Schleusenkammern. Im Gegensatz zu den anderen Neckarschleusen wurde die zweite Kammer nicht an die erste angebaut. Die Übertragbarkeit der vorgesehenen Instandsetzungsmaßnahmen auf Einkammerschleusen ist daher sehr gut gegeben. Außerdem stellt die in den 1920er Jahren gebaute linke Kammer eine typische Ausführung von Massivschleusen aus dieser Zeit im gesamten Bundesgebiet dar und bietet dadurch eine gute Vergleichsbasis für viele andere Projekte an Schleusen dieser Bauart. Des Weiteren beinhaltet die Grundinstandsetzung der Schleusenanlage eine Vielzahl von Bauteilen und Bauverfahren. Damit liegen realistische Bedingungen für spätere Instandsetzungsmaßnahmen von Einkammerschleusen vor.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen**

- 1.1 Dammtafeln in Führungsschienen (über Machbarkeitsstudie KIT)
- 1.3 Pumpensysteme (über Machbarkeitsstudie KIT)
- 3.1 Spritzbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt
- 3.2 Fertigteile mit anteiliger Lastübernahme für die Vorsatzschale
- 3.3 Fertigteile mit kompletter Lastübernahme für die Vorsatzschale
- 3.4 Ortbeton schnell erhärtend – verankert und bewehrt
- 9.2 Einschwimmen (über Masterarbeit KIT)
- 10.1 Alternative Vergabeverfahren (über Gutachten KIT und KPMG)

## 2.9 Vergleich zwischen Ortbeton- und Fertigteilbauweisen am Beispiel der Troy Lock

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Beim US Army Corps of Engineers wurde das Problem der langfristigen Sperrungen ebenfalls erkannt. In einem ersten Schritt sollten Verfahren erprobt werden, die zum einen wirtschaftlicher und zum anderen nicht so zeitintensiv wie eine Ortbetoninstandsetzung sind. Neben der detaillierten Beschreibung des Instandsetzungsverfahrens ist der Vergleich zwischen der Verwendung von Fertigteilen und Ortbeton das Kernstück des von Miles und Donald J. Bergmann & Associates, P.C. (1993) verfassten Berichts.

<i>Bauherr:</i>	US Army Corps of Engineers, New York District
<i>Bauherrenvertretung:</i>	USACE, Albany Field Office
<i>Baufirma:</i>	Jackie Bombard, Inc.
<i>Planungsfirma:</i>	Bergmann Associates
<i>Projektvolumen:</i>	4 Mio. US-\$
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• PIANC – WG29 Lock Review – Troy Lock (USA)</li></ul>

### Ausgangssituation

In der Entwurfsphase des Projekts wurden von Bergmann Associates in Zusammenarbeit mit dem US Army Engineer District, New York (USAEDNY), Albany Field Office (AFO) die Instandsetzungsverfahren Ortbetonverfahren und Fertigteilverfahren ausgearbeitet. Es wurde beschlossen beide Verfahren durchzuführen, um Erfahrungen sammeln zu können. Die Erfahrungen sollten dokumentiert und an das „Concrete Repair Project“ weitergeben werden. Unter anderem sollten die Faktoren Kosten, Konstruierbarkeit und Dauerhaftigkeit genauer betrachtet.

### Projektstand

Die am Hudson River gelegene Troy Lock wurde umfänglich instandgesetzt. Eine erste Arbeitsphase wurde 1990 abgeschlossen und beinhaltete unter anderem folgende Instandsetzungsarbeiten:

- Ortbetoninstandsetzungen in den Vorhäfen
- Betoninstandsetzungen am Betriebshaus
- Instandsetzung der Düker
- Ausbesserungsarbeiten an Oberflächen
- Betonreparaturen am Oberhaupt
- Trockenlegen und Instandsetzen des Nadeldamms am Oberhaupt

In einer zweiten Arbeitsphase wurden die Betoninstandsetzungsarbeiten durchgeführt. Diese wurde im Herbst 1992 abgeschlossen und beinhaltete unter anderem folgende Instandsetzungsaufgaben:

- Entfernen von geschädigtem Beton und Reprofilierung mithilfe von Fertigteilen mit Hinterfüllbeton
- Instandsetzungsarbeiten am Mittelhaupt mit Ortbetonverfahren sowie Fertigteilverfahren
- Instandsetzung der Schleusenplanie mit Ortbeton
- Austauschen einzelner Schleusenausrüstungen

### Erarbeitete Lösung

Der Einsatz von Fertigteilen kann mit folgenden Arbeitsschritten zusammengefasst werden:

- Abbruch der instand zu setzenden Oberfläche (Bohr-Spreng-Verfahren, unterstützt durch Wandsägetechnik sowie Schleifmaschinen und Presslufthämmern)
- Vorbehandlung der Oberfläche (Sandstrahlen und Druckluft zum Entfernen loser Teile)
- Einbau der Verankerung
- Fertigteile werden eingehoben, auf stählernen Unterlegscheiben abgesetzt (unterste Reihe), mit Justierklammern ausgerichtet und fixiert
- Bewehrung wird in den Spalt zwischen Fertigteil und Bestand gestellt und an Ankern befestigt
- Ausbetonieren des Spalts mithilfe eines Kübels
- Verdichten des Betons durch einen Außenrüttler

Zum Setzen der Anker wurde eine Schablone angefertigt, die es ermöglichte, die Anker für jedes Fertigteil passgenau zu platzieren. An 5 % der Anker wurden Ausziehversuche durchgeführt, um die Stabilität des Ankersystems nachzuweisen.

Eine Besonderheit dieses Projekt war es, dass hier Fertigteile übereinandergesetzt wurden und so die Schleusenammer über die gesamte Höhe instandgesetzt wurde. Der Baufortschritt wurde dabei maßgeblich von der Lernfähigkeit des ausführenden Personals bestimmt. An sehr guten Tagen konnten bis zu 10 Fertigteile gesetzt werden. Über die gesamte Dauer der Instandsetzungsmaßnahme ergab sich ein Durchschnitt von 3,8 Fertigteilen pro Tag.

Bevor die abschließenden Arbeiten durchgeführt werden konnten, musste noch eine sorgfältige Nachbehandlung und die erforderlichen Qualitätskontrollen durchgeführt werden. Zum Abschluss der Fertigteilarbeiten wurden die eingebauten Teile noch einmal auf Risse untersucht. Von den insgesamt 112 eingebauten Fertigteilen in der Schleusenammer wiesen 11 Stück feine Risse auf. Diese Risse wurden je nach Größe mit einem Injektionsmittel verfüllt oder mit Epoxidharz verpresst. Die Planie wurde abschließend aus Ortbeton hergestellt. Um Undichtigkeiten und Folgeschäden zu vermeiden, wurde die Fuge zwischen Planie und Fertigteilen abgedichtet.

Da an verschiedenen Stellen eines Bauwerks beide Arbeitsmethoden durchgeführt wurden, wurde in der Nachbereitung der Vergleich zwischen den beiden Verfahren durchgeführt. Optisch waren die mit Fertigteilen hergestellten Wandabschnitte im Vorteil. Dafür ist die hohe Anzahl an Schwindrissen im Ortbeton verantwortlich. Des Weiteren werden von den Fertigteilen bessere Dauerhaftigkeitseigenschaften erwartet.

Der Vergleich zur Produktivität der Ortbetonvariante konnte allerdings nicht eindeutig geführt werden, da die Anwendung von Ortbeton von verschiedenen Faktoren beeinflusst wurde. Aufgrund von Witterung und anderen Rahmenbedingungen können unvorhersehbare Verzögerungen auftreten. Aus diesem Grund wurden die Ortbetonarbeiten über zwei Winterperioden verteilt, weshalb keine klaren Ergebnisse ermittelt werden konnten. Innerhalb des Berichts wurde unter Berücksichtigung der Schalungsarbeiten und der Nachbehandlung vermutet, dass die Produktivität von Ortbeton in Summe geringer ist, als die der Fertigteile. Beim Vergleich der Kosten über die gesamte Projektzeit wurden bei beiden Alternativen ähnliche Preise für die Instandsetzungsmaßnahmen pro Quadratmeter reparierte Schleusenammerwand ermittelt. In einem Fall wurde allerdings eine Baufirma beauftragt, die bereits Erfahrungen mit Fertigteilen gesammelt hatte. In diesem Fall wurden die Preise für die Fertigteile geringer angesetzt. Dies lässt vermuten, dass bei steigender Erfahrung mit dem Instandsetzungsverfahren wirtschaftliche Vorteile zu erwarten sind.



### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Die Instandsetzungsarbeiten selbst wurden nicht unter laufendem Betrieb durchgeführt. Allerdings zeigen die beobachteten Arbeitsfortschritte, dass das Verfahren durchaus für arbeitstägliche Sperrpausen geeignet ist. Allerdings sind hierfür einige planerische Anpassungen, wie z. B. der Einsatz eines schnell erhärtenden Hinterfüllbetons, notwendig.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

*Noch nicht eingearbeitet:*

- 3.3 Fertigteile mit kompletter Lastübernahme für die Vorsatzschale

## 2.10 Instandsetzung Schleusenanlage Wedtlenstedt

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

In Bartel (2011) wird die Grundinstandsetzung Instandsetzung Schleusenammerwände Wedtlenstedt dokumentiert.

<i>Bauherr:</i>	WSA Braunschweig
<i>Baufirma:</i>	Firma Umwelttechnik und Wasser
<i>Projektvolumen:</i>	Bruttoauftragssumme 1.430.000 € Prognostizierte Abrechnungssumme 1.470.000 €
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bartel: „Instandsetzung von Schleusenammerwänden unter eingeschränktem Betrieb“ (2011)</li></ul>

### Ausgangssituation

Die Zweikammerschleuse Wedtlenstedt wurde 1939/40 gebaut und gehören zum Stichkanal nach Salzgitter. Sie besteht aus in großen Teilen unbewehrtem Betonschwerewichtsstützwänden, die oberhalb der Wasserwechselzone stark angegriffen sind. Es wurden Risse, lockeres Gefüge und größere Abplatzungen durchgehend an allen Sichtflächen erfasst. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass diese Schädigungen durch eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion hervorgerufen wurden. Die erdangeschütteten Betonflächen wurden punktuell untersucht und weisen keine nennenswerten Schäden auf. Unterhalb der Wasserwechselzone ist der Beton ebenfalls in einem guten Zustand.

Ziel der Maßnahmen war es die Verkehrssicherheit sicherzustellen und die Wiederherstellung der Dauerhaftigkeit. Der Umfang der Maßnahmen sollte nur auf das Nötigste beschränkt werden. Auf Basis des vorgefundenen Schadensbilds wurde die Instandsetzungsgrenze auf 2,95 m unter der Planie festgelegt. Neben der Betoninstandsetzung war eine Erneuerung des Hubtores in einer zweiwöchigen Sperrung vorgesehen, welche aufgrund fehlender Haushaltsmittel zurückgestellt wurde. Dies führte dazu, dass die Betoninstandsetzungsarbeiten unter eingeschränktem Betrieb durchgeführt wurden.

Mit dem Hafen Salzgitter wurden folgende Sperrzeiten für die Instandsetzungsmaßnahmen vereinbart:

- Montag bis Mittwoch jeweils von 07.00 Uhr bis 18.00 Uhr
- Donnerstag von 07.00 Uhr bis Samstag 12.00 Uhr, bzw. Sonntag 08.00 Uhr

Während den Arbeiten sollte eine Kammerseite der Schifffahrt voll zur Verfügung stehen. Außerdem sollten die Arbeiten so organisiert werden, dass maximal drei aufeinanderfolgende Kammerwandblöcke bearbeitet werden. Darüber hinaus war sicherzustellen, dass während des Schleusenbetriebs keine Teile in die Schleusenammer hineinragen.

### Projektstand

Im Juni 2010 wurden die Arbeiten öffentlich ausgeschrieben und im August 2010 mit einer Bruttoauftragssumme von 1.430.000 € an Fa. Umwelttechnik und Wasser vergeben. Die prognostizierte Abrechnungssumme betrug zum Zeitpunkt des vorliegenden Artikels 1.470.000 €. Die Arbeiten wurden zwischen Oktober 2010 und September 2011 durchgeführt, jedoch wurden aufgrund der niedrigen Temperaturen die ersten Fertigteile erst ab Mitte März eingebaut.

## Erarbeitete Lösung

Die wesentlichen Arbeiten wurden wie folgt ausgeführt:

- Beton der Wand bis auf 2,95 m unterhalb der Planie 35 cm tief durch Fräsen abbrechen
- Beton der Planie 40 cm durch Fräsen abbrechen
- Erdarbeiten hinter der Planie für Arbeitsraum
- Abbruch nacharbeiten und Abbruch der alten Poller, Scheuerleisten und Kantenschutz
- Einbau der Anker zur Aufnahme des Spaltwasserdruckes und des Pollerzuges
- Einbau der Fugenbänder und der Injektionsschläuche soweit möglich

Die nun aufgelisteten Arbeiten konnten nur in den länger andauernden Sperrpausen erledigt werden, um Verunreinigungen und andere Verschmutzungen auszuschließen.

- Betonoberflächen, Anker und Fugenbänder mit Hochwasserdruckstrahlen reinigen
- Stahlbetonfertigteile einschl. Bewehrungskorb im Bereich der Nischenpoller einbauen
- Restarbeiten an den Fugenbändern und Injektionsschläuchen durchführen
- Verguss- und Stoßfuge einschalen
- Fugenspalt zwischen Fertigteil und Altbeton sowie der senkrechten Stoßfuge in Blockmitte zwischen den Fertigteilen vergießen
- Verguss- und Stoßfuge ausschalen

Grundsätzlich sollten der Fugenspalt sowie die Betonage des erdseitigen Sporns in einem Arbeitsgang erfolgen. Hierfür wäre allerdings ein Mehrschichtbetrieb notwendig gewesen, weswegen der erdseitige Sporn in der darauffolgenden Woche gefertigt wurde. Im Nachgang wurden Erd- und Restarbeiten (Einbau der Lehrrohranlage, Herstellung der Flächenbefestigungen) durchgeführt.

In den kürzeren Wochenendsperrungen von Donnerstag bis Samstag konnten vier Fertigteile (2 Blöcke) und in den Sperrzeiten von Donnerstag bis Sonntag sechs Fertigteile (3 Blöcke) eingebaut werden. Die Montage der Fertigteile (430 lfm.) konnte in 13 Wochen abgeschlossen werden. Die Fertigteile, die verwendet wurden, wurden wie folgt dimensioniert:

- Dicke = 0,25 m
- Höhe = 2,85 m
- Länge = max. 7,30 m

Die Fertigteile wurden über eine biegesteife Anschlussbewehrung in die Planie eingebunden. Für die Einbindung in den Bestand wurden pro Fertigteil vier Muffenstäbe eingebaut. Sie wurden über einen Autokran auf zwei Auflagerpunkte im Bestand abgesetzt. Im Planiebereich wurden die Fertigteile über vier Ankerstangen (M20/M16) an Stahleinbauteile angeschlossen. Zur Aufnahme des Frischbetondrucks wurden im unteren Bereich Schalungsträger installiert, die über Spreizanker mit dem Bestand verbunden waren. Der Verbund zwischen Fertigteil und Bestand wird über in der Vergussfuge verankerte Betonstähle ( $\varnothing$  12 mm) hergestellt. Die Nischenpoller wurden über Bewehrungskörbe, die oben in die Planie und im unteren Bereich über fünf Bewehrungsstäbe ( $\varnothing$  16 mm) in den Bestand einbinden, verankert.

Sowohl der Verguss- als auch der Planiebeton wurden als Transportbeton angeliefert und je nach Lage direkt aus dem Fahrzeug oder mithilfe einer Betonpumpe eingebaut. Die im Bestand vorhandenen Blockfugen wurden im neuen Beton als Bauwerksfugen weitergeführt. Um die Länge und das Gewicht der Fertigteile begrenzen zu können, wurden auf halber Blocklänge Vergussstreifen angeordnet. An diesen Stellen sind die Fertigteile über Schlaufenstöße biegesteif miteinander verbunden. Die Planie wurde ohne Arbeitsfuge ausgeführt.

Die Instandsetzung konnte wie geplant ausgeführt werden, wobei der Bauablauf stellenweise modifiziert wurde. Die Behinderungen für die Schifffahrt konnten minimiert werden, da die Instandsetzungsarbeiten unter eingeschränktem Betrieb durchgeführt werden konnten. Festzuhalten ist jedoch, dass für den Einsatz von Fertigteilen eine genaue Bestandsaufnahme und eine gewissenhafte Planung der Montageabläufe sowie der Montagehilfskonstruktionen erforderlich sind.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Die Maßnahme zeigt, dass viele Arbeitsschritte schon in täglichen Sperrpausen realisiert werden konnten. Alle weiteren Arbeitsschritte konnten innerhalb von mehrtägigen Sperrpausen vollzogen werden. Damit war ein eingeschränkter Betrieb der Ostkammer möglich, da die Westkammer nicht für alle zu bedienende Schiffsgrößen geeignet war.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 3.3 Fertigteile mit kompletter Lastübernahme für die Vorsatzschale

## 2.11 Instandsetzung Wolga-Rhein Projekt

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Im Rahmen einer Forschungsk Kooperation wurden Instandsetzungsverfahren für ausgewählte Teile des Wasserkraftwerks Wolzhskaja entwickelt und erprobt. Im Fokus stand die Entwicklung von dauerhaften Instandsetzungswerkstoffen sowie innovativen Betoninstandsetzungsverfahren. Über umfangreiche Großversuche am Institut für Massivbau und Baustofftechnologie konnte die Anwendung eines innovativen Verfahrens zur Betoninstandsetzung im Wasserwechselbereich, also ohne die übliche Absenkung des Wasserspiegels, genehmigt werden.

<i>Bauherr/Auftraggeber:</i>	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
<i>Planer:</i>	KIT Institut für Massivbau und Baustofftechnologie (IMB) Karlsruhe
<i>Förderer:</i>	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Müller und Vogel (2007), Schlussbericht Verbundprojekt: Wolga-Rhein-Projekt Deutsch-russisches Kooperationsprojekt zur Wassergüte- und Wassermengenbewirtschaftung an Wolga und Rhein – Teilprojekt IV/4: Instandsetzungskonzepte für Wasserbauwerke zur Verbesserung der Betriebssicherheit</li> <li>• Müller et. al (2009), Innovative Betoninstandsetzung an russischen Wasserbauwerken, BAW-Kolloquium Baustoffe und Bauausführung im Verkehrswasserbau</li> <li>• Müller et. al (2013), Innovative Solutions for the Construction and the Repair of Hydraulic Structures, Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering</li> </ul>

### Ausgangssituation

In Zusammenarbeit mit den russischen Projektpartnern wurden vom IMB die Wasserkraftanlagen „Wolzhskaja“ und „Saratov“ für eingehende technisch-wissenschaftliche Bauwerksuntersuchungen ausgewählt. Das Wasserkraftwerk Wolzhskaja mit Wehranlage nördlich von Wolgograd an der Wolga nahm 1961 den Betrieb auf. Das zur Anlage gehörende Kraftwerkshaus ist 664 m lang und die Wehranlage umfasst 725 m. Außerdem gehören zwei Schleusen zum Wasserkraftwerkskomplex. Bei Untersuchungen der maßgeblichen Problembereiche wurden Schädigungen der Betonoberfläche festgestellt. Die Schädigungen traten vor allem in der Wasserwechselzone an den Wehrpfeilern und am Kai sowie an der wasserseitigen Wand des Maschinenhauses auf. Hierdurch war die Stabilität der Kais und der Betrieb der Wehranlage gefährdet.

Die Schadensbilder zeigten sich in Rissen und Abplatzungen bzw. Abwitterungen, teilweise mit Wasseraustritt. Zudem waren an den Wänden, die mit vorgesetzten Fertigteilen ausgeführt sind, Zermürbungen des dahinter befindlichen Ortbetons zu finden. Außerdem traten an Wassereintrittsstellen Kalkablagerungen und Aussinterungen auf.

Ursache der Schäden waren hauptsächlich eine sehr hohe Anzahl an Frost-Tau-Wechseln in der Wasserwechselzone. Hinzu kam die Belastung durch Erosion durch das teilweise Treibgut mitführende vorbeifließende Wasser.

### **Projektstand**

Im Rahmen des Projekts wurden eine Machbarkeitsstudie und Laborversuche durchgeführt, in denen die Umsetzbarkeit in einem realitätsnahen Versuchsaufbau bestätigt wurde. Das Verfahren wurde an einem Wehrpfeiler des Wasserkraftwerks Albruck-Dogern umgesetzt.

### **Erarbeitete Lösung**

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden umfangreiche Vor-Ort- sowie Laboruntersuchungen am Altbeton vorgenommen. Eine Wasserabsenkung zur Durchführung der Instandsetzung war im gegebenen Fall nicht möglich, weshalb Sanierungsmethoden entwickelt werden mussten, die keine Absenkung des Wassers erfordern. Aufgrund stark schwankender Materialkennwerte des Bestands, sollten mindestens drei Reparaturwerkstoffe mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften entwickelt werden.

Die gewählte Instandsetzungsmethode beinhaltet das Entfernen des kaputten Albetons in der Wasserwechselzone und das anschließende Auffüllen mit neuem Beton bzw. Mörtel. Zur Instandsetzung der betroffenen Bereiche wurde ein Spezialbeton entwickelt, der auch in der Wasserwechselzone eingesetzt werden kann. An dieses Material wurden verschiedene Anforderungen gestellt: dauerhaftigkeitsrelevante Anforderungen, Pumpfähigkeit und Verarbeitbarkeit unter Wasser, Selbstverdichtung, Fließfähigkeit sowie Zusammenhalt unter Wasser.

Bei den erprobten Materialien handelt es sich um eine Zementleimhaftbrücke und einen speziell zusammengesetzten haufwerksporigen Beton. Im Rahmen der Großversuche wurde die technische Machbarkeit bestätigt.

Zur Durchführung der Instandsetzung wird die Schalung über Anker in den Bestand rückverankert. Über einen Einfüllstutzen in der unteren Schalungshälfte kann der Beton eingepumpt werden. Das vorhandene Wasser sowie die eingeschlossene Luft kann bei steigendem Betonpegel über Lüftungslöcher am oberen Ende der Schalung entweichen. Sobald der Reparaturbeton durch diese Öffnungen austritt, ist der instand zu setzende Hohlraum verfüllt. In den Großversuchen wurden Prüfkörper mit einer Länge von 1,25 m eingesetzt. In einem Versuchsaufbau waren drei solcher Probekörper in Reihe angeordnet, um die Funktionalität des Verfahrens erfolgreich nachzuweisen.

Die Ergebnisse der Großversuche waren als sehr vielversprechend einzustufen, weswegen eine Praxisanwendung angestrebt wurde. Das Verfahren wurde an einem Wehrpfeiler des Wasserkraftwerks Albruck-Dogern einige Jahre später umgesetzt. Die Schadstelle hatte eine Breite von 2,5 m und eine Höhe von 3,5 m. Der geschädigte Beton reichte bis zu 60 cm tief in den Bestand hinein. Wie in den Großversuchen wurde ein Schalungselement über Schalungsanker mit dem Bestand verbunden. Der Beton wurde über eine Betonpumpe über eine im unteren Teil der Schalung befindliche Öffnung eingebaut. Es wurde so lange Beton eingepumpt, bis der Reparaturbeton an den oben befindlichen Lüftungsöffnungen wieder zum Vorschein kam. Damit wurde sichergestellt, dass der Hohlraum komplett verfüllt war.

Die Betonage erfolgte von einer einspurigen Straße, weswegen für den Betoneinbau, inklusive Stellen und Abfahren der Betonpumpe, ausschließlich eine Stunde zur Verfügung stand. Im Rahmen der Maßnahme wurden 3 m<sup>3</sup> Beton innerhalb von 3 Stunden eingebaut. Nach drei Tagen Nachbehandlung wurde die Schalung entfernt. Anschließende Materialuntersuchungen haben gezeigt, dass das eingebaute Material den Anforderungen entspricht, um eine dauerhafte Instandsetzung zu gewährleisten.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelte Verfahren, ist grundsätzlich für die Instandsetzung von Schäden in der Wasserwechselzone geeignet. Die Möglichkeit auch Bereiche unter Unterwasserstand instand zu setzen, macht das Verfahren vor allem für die Anlagen interessant, bei denen der Wasserspiegel nicht abgesenkt werden kann. Aus den vorliegenden Dokumenten geht jedoch eine genaue Aufschlüsselung der Arbeitszeiten nicht hervor. Es muss gesondert überprüft werden, ob der Bereich auch nach einer kürzeren Zeit ausgeschalt werden kann.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 4.1 Lokale Instandsetzung in Ortbetonbauweise

### **3 Instandsetzung Stahlwasserbau und NEM-Technik**

Die Instandsetzung bzw. der Austausch des Stahlwasserbaus inklusive der Nachrichten-, Elektro- und Maschinenteknik (NEM-Technik) ist die zweite grundlegende Instandsetzungsaufgabe, die an einer Vielzahl an Anlagen durchgeführt werden muss und auch bereits durchgeführt wird. Erfahrungen in der gesamten WSV zeigen jedoch, dass hierzu sehr stark variierende Sperrzeiten angesetzt werden, um diese Instandsetzungsaufgabe zu realisieren.

Funktionsfähige Schleusentore sind eine Grundvoraussetzung dafür, dass die Schleusenanlage betrieben werden kann. Ein Ausfall der Antriebe oder der Tore selbst hat gravierende Folgen, da die Anlage ihren Betrieb außerplanmäßig einstellen muss. Um diesen Umstand zu verhindern, werden die Tore in einer Vielzahl von Fällen bei Erreichen ihrer Lebensdauer komplett ausgetauscht. In zwei der drei vorliegenden Projekte wurde genau ein solcher Komplettaustausch der Schleusentore vorgenommen. Hierbei wurde das Vorgehen so gewählt, dass die Arbeiten in einer Sperrung von wenigen Wochen erledigt werden konnten. Das dritte Projekt befasst sich mit dem Austausch der NEM-Technik an vier Weserschleusen. Hierbei werden insbesondere der Aufwand betrachtet, der durch die Einhaltung der Maschinenrichtlinie erforderlich ist.



## 3.1 Toraustausch Dettelbach

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die WSA Schweinfurt betreut u. a. 50 Schleusentore. Die meisten davon wurden bereits aufgrund eines hohen Betriebsalters durch neue Tore ersetzt. Nach fast abgeschlossenem Torersatzprogramm ist eine fortlaufende und geplante Grundinstandsetzung möglich. Die 1957 fertiggestellte Schleusenanlage Dettelbach ist mit Stemmtoren ausgeführt und dient als Beispiel für den Ablauf eines Toraustauschs, der von der WSA Schweinfurt verantwortet wird.

<i>Auftraggeber:</i>	WSA Schweinfurt
<i>Baufirma:</i>	Karl Köhler GmbH
<i>Bauüberwachung:</i>	durch Fremdbüros
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb (BAW 2017)</li> </ul>

### Ausgangssituation

Gründe für einen Toraustausch können ein hohes Betriebsalter, Schadensfälle durch Schiffsanprall, zu gering ausgelegte Betriebsfestigkeiten, unkorrekte Toreinstellungen, eine Umrüstung auf Fernsteuerung, die Änderung von Regelwerken sowie die Einführung neuer Standards sein. In der folgenden Auflistung ist zusammengefasst, welche Maßnahmen in welchen Jahren durchgeführt wurden:

<i>2011</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anlage wurde auf Fernsteuerung umgebaut</li> <li>• Antriebe der Tore selbst wurden ersetzt (hydraulischer Kompaktantrieb)</li> <li>• Halslager wurden ersetzt</li> </ul>
<i>2014</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufmaß Spurlagersitze und Mauerplatten</li> </ul>
<i>2014-2015 (zwischen Sperrpausen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische Bearbeitung (statische Berechnung und konstruktive Bearbeitung der Tore und Schütze)</li> <li>• Festlegung Maßnahmenenerweiterung (Mauerplattenträger sind zu ersetzen)</li> </ul>
<i>2015</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torersatz (Austausch Torflügel, Dichtungsanschlüsse und Mauerplattenträger)</li> <li>• Antriebe Torschütze wurden ersetzt (von elektromechanisch auf elektrohydraulisch)</li> <li>• Aufgrund von Zeitmangel provisorische Torausrichtung und Dichtungseinstellung</li> </ul>
<i>2016</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endgültige Torausrichtung und Dichtungseinstellung</li> </ul>

#### **Projektstand**

Der Toraustausch selbst fand in einer 14-tägigen Sperrung im Jahr 2015 statt. Das Aufmaß sowie die Instandsetzung der Halslager wurden bereits in vereinzelt Sperrpausen der Jahre 2011 bis 2014 durchgeführt. Die Arbeiten konnten erfolgreich und wie geplant abgeschlossen werden.

#### **Erarbeitete Lösung**

Aufgrund des engen Zeitfensters erfolgt die Fertigung der Tore, Schütze und Mauerplattenträger im Werk. Die Fertigung ist vertraglich an einen Zeitplan gebunden und wird durch Dritte überwacht. So wird die termin- und qualitätsgerechte Lieferung der Bauteile sichergestellt. Die Eröffnung der Baustelle findet unter größtmöglicher Vorbereitung und Vorfertigung von z. B. Bewehrungskörben und Schalungselementen sowie der Konzeptionierung eines frühhochfesten Betons statt. Außerdem wurden zur Optimierung von Ankerbohr-, Verpress-, Bewehrungs- und Schalungsarbeiten Modelle der zu bewehrenden und betonierenden Nische angefertigt.

Die Baumaßnahme fand in 2 Bauphasen statt. In der ersten Bauphase blieb das alte Tor erhalten. Es wurden lediglich Halslager inklusive der Halslagerrückverankerung ersetzt. Alle weiteren Maßnahmen und der Toraustausch selbst wurden in Bauphase 2 realisiert:

##### *Bauphase 1:*

- Abbruch für Halslagerrückverankerung (1 Abschnitt Tor noch funktionsfähig) [vor Sperre]
- Ausbau altes Tor einschließlich Halslager und deren Rückverankerung [10 h]
- Abbruch für Halslagerrückverankerung (2 Abschnitt Restabbruch) [40 h]
- Einbau Halslagerrückverankerung in Beton [20 h]
- Einbau Halslager an statisch ausreichend fixierte Rückverankerung [5 h]
- Einbau altes Tor an statisch ausreichend fixiertem Halslager [10 h]

##### *Bauphase 2:*

- Kernbohrungen für rückseitige Fuge des neuen Mauerplattenträgers zur Vorbereitung des Sägeschnitts [vor Sperre]
- Ausbau altes Tor [10 h]
- Abbruch alter Wendesäulendichtanschlüge [15 h]
- Abbruch alter Mauerplattenträger, Ausbruch für neuen Mauerplattenträger mittels horizontaler und vertikaler Kernbohrungen sowie senkrechten Kreissägeschnitten und Seilssägeschnitt [30 h]
- Abbruch alte Spurlagerunterteile und Ausbruch für neue Mauerplattenträger mit integriertem Spurlager [15 h]
- Austausch alter Drempeldichtanschlüge mittels Kreissägeschnitten [15 h]
- Einbau Verankerung, Bewehrung und Schalung für neuen Mauerplattenträger einschließlich neuem Mauerplattenträger [72 h]
- Einbau Verankerung, Bewehrung und Schalung für Wendesäulendichtanschlag einschließlich Wendesäulendichtanschlag [50 h]
- Einbau Verankerung, Bewehrung und Schalung für neues Spurlager (Mauerplattenträger mit integriertem Spurlager) [24 h]
- Betonieren und Ausschalen Spurlager unter Berücksichtigung ausreichender Standzeit [24 h]
- Betonieren und Ausschalen Mauerplattenträger unter Berücksichtigung ausreichender Standzeit [48 h]
- Betonieren und Ausschalen Wendesäulendichtanschlag [10 h]
- Einbau der Verankerung und Schalung für neuen Drempeldichtanschlag [25 h]

- Betonieren und Ausschalen Drempeldichtanschlag [5 h]
- Einbau neues Tor [48 h]

Es wurde eine Spezialrezeptur für einen frühhochfesten Reparaturbeton entwickelt. So konnten die Mauerplattenträger mit integriertem Spurlager frühestmöglich ausgeschalt und belastet werden. Mit dem speziell entwickelten Reparaturbeton konnten Kosten von ca. 55.000 € eingespart werden. Stahlfaserbeton kommt aus statischen Gründen nicht zum Einsatz. Üblicherweise werden mindestens 5 bis 6 Tage für die Feinanpassung der Tore eingeplant. Für den Einbau wird eine Montagevariante „Toreinpassung mittels Spaltverguss“ aus dem Brückenbau angewendet. Diese Montagevariante wurde bereits von anderen Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern erfolgreich getestet. Das eingesetzte Material „DIAMANT“ hatte eine bauaufsichtliche Zulassung. Aufgrund mangelnder Zeit ist keine Feinanpassung der Tore möglich, weswegen bei Flutung der Schleuse mit starken Undichtigkeiten, sowohl an den Toren als auch den Schützen, zu rechnen ist. Die Tore wurden dicht über die Halslager gespannt. Aufgrund dieser Maßnahmen erforderliche Einstellungs- und Abdichtungsarbeiten wurden im Folgejahr nachgeholt.

Durch das Aufmaß der Lage von Spurlagersitzen und Mauerplatten, wurde die Notwendigkeit eines Spurlagerversatzes frühzeitig erkannt. Des Weiteren gelangte das WSA Schweinfurt während der technischen Bearbeitung der Tore und Schütze 2014 bis 2015 zu der Erkenntnis, dass ein Ersatz der Mauerplattenträger notwendig ist. Dies führte zu einer kurzfristigen Änderung der Bauzeitenpläne, sodass nahezu das doppelte Arbeitsvolumen in der gleichen zur Verfügung stehenden Sperrzeit für die Erreichung der Ziele erbracht werden musste.

#### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Schleusenanlagen mit hohem Alter bringen auch Schleusentore mit zu hohem Betriebsalter mit sich, die geschädigt sind und nicht mehr dem aktuellen Stand entsprechen. Der Toraustausch ist daher von großer Relevanz für weitere Instandsetzungen von Schleusenanalgen. Das Verfahren ist insofern für die Instandsetzung unter Betrieb geeignet, da versucht wird die Sperrung der Schifffahrt für maximal 21 Tage aufrecht zu erhalten. Dadurch kann bereits eine große Zeitersparnis gegenüber anderen Instandsetzungsverfahren an Schleusentoren erreicht werden.

#### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 8.1 Austausch Stemmtor einschließlich Betonbauteile (Torflügelaustausch)

## 3.2 Instandsetzung von NEM-Technik an den Mittelweserschleusen

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die Instandsetzung unter laufendem Betrieb von Nachrichten-, Elektro- und Maschinentechik soll an fünf der sechs Weserschleusen zwischen Minden und Bremen, vorgenommen werden. Es wurden drei Lösungsvarianten erarbeitet und überprüft, ob diese mit der Maschinenrichtlinie vereinbar sind.

<i>Auftraggeber/Vorhabensträger:</i>	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Verden
<i>Planer:</i>	NBA Hannover (technische Planungsaufträge an Ingenieurbüros)
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb (BAW 2017)</li></ul>

### Ausgangssituation

Das Projekt hat zum einen das Ziel die Stahlwasserbauausrüstung, wie Ober- sowie Untertore (Stemmtore) einschließlich der festen Teile, die Umlaufkanalverschlüsse und die Revisionsverschlüsse zu erneuern. Der Schwerpunkt des vorliegenden Beitrags liegt jedoch auf der Erneuerung der Antriebstechnik aller Anlagen sowie der Erneuerung der Elektro-, Steuerungs- und Nachrichtentechnik einschließlich Kabelwege. Die fünf Schleusen wurden zwischen 1936 und 1960 erbaut und sind alle überwiegend baugleich. Die Nutzungsdauer der Stahlwasserbauteile von 60 Jahren ist erreicht, die Lebensdauer des Antriebs ist ebenfalls überschritten. Die Nutzungsdauer der Elektro- bzw. Steuerungstechnik, welche je nach Bedarf bereits erneuert wurde, erreicht in Kürze den Zeitpunkt wo die Anlagen ausgetauscht werden müssen. Daher ist eine Instandsetzung dieser Schleusenbauteile notwendig.

Für das Projekt wurden noch weitere Randbedingungen festgelegt:

- Gleichteilekonzept:  
Es sollen möglichst baugleich oder zumindest funktional gleichartig Komponenten eingesetzt werden, um die Unterhaltung möglichst zu vereinfachen.
- Minimierung der Sperrzeiten:  
Jede Sperrung einer Einzelschleuse führt unmittelbar zu einer Unterbrechung des Verkehrsweges. Ein Umweg Mittelweser–DEK–MLK ist theoretisch möglich, aber langwierig, weswegen dies der Schifffahrt nur kurzzeitig zugemutet werden kann. Es wurde festgelegt, dass keine Sperrung länger als 6 Wochen andauern darf.
- Einschränkungen:  
Die Berücksichtigung der Belange der Arbeitssicherheit und der Maschinenrichtlinie sind obligatorisch.

### Projektstand

Die letzte vorliegende Dokumentation sagt aus, dass 2018 mit dem Bau begonnen werden sollte. Es liegen allerdings keine aktuelleren Informationen vor.

### Erarbeitete Lösung

Der Neubau einer technischen Ausrüstung erfordert erfahrungsgemäß ein Jahr. Eine wie in den Randbedingungen angesetzte sechswöchige Sperrzeit reicht bei einer guten Arbeitsvorbereitung aus, um feste Teile der Schleuse auszutauschen sowie Verschlüsse zu erneuern. Dies bedingt allerdings auch, dass in dieser Zeit keine weiteren Gewerke wie der Stahlwasserbau und der Massivbau in der Schleuse aktiv sind. Die Instandsetzung der technischen Ausrüstung (NEM) muss folglich unter laufendem Betrieb erfolgen. Um Ein- und Ausbauzeit zu überbrücken, wird eine provisorische technische Anlage benötigt.

Der sukzessive Austausch von einzelnen Komponenten in kurzen Sperrungen ist möglich. Allerdings kann ein fehlerfreier Betrieb ohne Probetrieb nicht gewährleistet werden. Für einen Probetrieb müssen 1-2 Wochen angesetzt werden. Darüber hinaus sind die Betriebsgebäude durch die bereits vorhandene Technik ausgelastet. Daher scheidet die Möglichkeit aus erst die neue technische Ausrüstung komplett im Betriebsgebäude aufzubauen. Es muss zunächst die alte technische Ausrüstung ausgebaut werden. Daher ist der Einsatz eines Provisoriums erforderlich. Aus diesem Grund wurden drei Lösungsansätze entwickelt, die in der Folge näher beschrieben werden.

#### *Lösungsansatz 1: kleines Provisorium*

Beschränkung auf das absolut Notwendige:

- Stemmtor-Hilfsantriebe, auf der Planie befestigt, mit Zahnstangen zur Torbewegung
- Einfache Hilfssteuerung und provisorische Verkabelung
- Vor-Ort-Steuerung durch Bedienpult oder Mobilpanel

Ablauf:

1. Sperrzeit: Tausch der Stemmtore sowie der festen Teile
2. Aufbau der provisorischen technischen Anlage (Ende Sperrzeit)
3. Außerbetriebnahme der alten Anlagen
4. Rückbau der alten technischen Ausrüstung und Einbau sowie Inbetriebnahme der neuen technischen Ausrüstung (einseitig)
5. Rückbau der alten technischen Ausrüstung und Einbau sowie Inbetriebnahme der neuen technischen Ausrüstung (einseitig)

Kritik:

- Die Maschinenrichtlinie muss auch bei einem kleinen Provisorium berücksichtigt werden, da durch das Provisorium der Bestandsschutz der bestehenden Maschinen entfällt. Mit Inbetriebnahme des Provisoriums müssen alle Teile der Maschine der Maschinenrichtlinie entsprechen.
- Kein Teil der alten technischen Ausrüstung darf beim Provisorium verwendet werden.
- WSV-Anforderungen an den örtliche Bedienstände gelten auch beim Einsatz eines Provisoriums.

#### *Lösungsansatz 2: großes Provisorium*

- Auf der Basis der Kritik für Lösungsansatz 1 wurde ein zweiter Lösungsansatz entwickelt, der den bereits beschriebenen Anforderungen genügt. Dieses große Provisorium enthält folgende Elemente:
  - auf der Planie befestigte Stemmtor-Hilfsantriebe mit Zahnstangen zur Torbewegung
  - Vor-Ort-Steuerung aus einem provisorischen Leitstand (Containerlösung)
  - „Container-Dorf“ (WC etc.)
  - Fehlersichere Sensorik und Steuerung des Provisoriums
  - Doppelte temporäre Verkabelung

#### Ablauf:

1. Vor Sperrzeit: Aufbau Stemmtor-Hilfsbetriebe, Container-Dorf und provisorische Verkabelung
2. Erneuerung UKV und UKV-Antriebe (nur auf einer Kammerseite)
3. Sperrzeit: Tausch der Stemmtore und der festen Teile
4. Außerbetriebnahme der alten und Inbetriebnahme der vorübergehenden technischen Ausrüstung
5. Ausbau der alten und Einbau der neuen technischen Ausrüstung
6. Außerbetriebnahme der Hilfsantriebe und Hilfssteuerung inklusive Inbetriebnahme der neuen technischen Ausrüstung
7. Erneuerung UKV und UKV-Antriebe (zweite Kammerseite) inklusive Erneuerung

#### Kritik:

- Aufwand des Provisoriums beinahe so hoch wie die neue endgültige technische Ausrüstung.
- Um Zeitfenster der Instandsetzung von fünf Jahren für die vier Schleusen einzuhalten, muss an zwei parallel gearbeitet werden. Ursprünglich sollte ein Provisorium an allen vier Schleusenanlagen eingesetzt werden, dies wäre demnach nicht möglich und es würden zusätzliche Kosten entstehen.

#### *Lösungsansatz 3: neues Betriebsgebäude*

Da die Kosten des Lösungsansatzes 2 zu hoch ausgefallen sind, wurde nach einer weiteren Lösung gesucht. Demnach soll kein Provisorium, sondern ein neues Betriebsgebäude errichtet werden. In diesem Betriebsgebäude soll all das vorhanden sein, was in einem „Container-Dorf“ vorgesehen werden müsste. Das Betriebsgebäude wird so ausgerüstet, dass die eingebaute Steuerungstechnik nicht nur die Steuerung der Hilfsantriebe, sondern auch die Steuerung der endgültigen Antriebe übernimmt. Das alte Leitstandsgebäude kann anschließend aufgegeben werden.

#### Ablauf:

1. Neubau Betriebsgebäude mit neuer NEM-Technik
2. Aufbau Stemmtor-Hilfsantriebe
3. Erneuerung der UKV und UKV-Antriebe (auf einer Kammerseite)
4. Sperrzeit: Tausch Stemmtore sowie der festen Teile und Außerbetriebnahme der alten technischen Ausrüstung
5. Inbetriebnahme der neuen Ausrüstung und der UKV bzw. UKV-Antrieb (erste Kammerseite)
6. Tausch der technischen Ausrüstung auf der zweiten Kammerwandseite
7. Außerbetriebnahme der Hilfsantriebe und Inbetriebnahme der neuen Anlage

Kritik:

- Zusätzliche Bauzeit für das Betriebsgebäude
- Ansicht der Schleuse wird verändert
- Weniger Sichtkontakt vom Leitstand zur Schleusenkammer

Lösungsansatz 3 bietet gegenüber den anderen Lösungsansätzen den Vorteil, dass das neue Betriebsgebäude auch zukünftigen Maßnahmen gewachsen ist. Es kann eine Platzreserve vorgesehen und für Barrierefreiheit gesorgt werden. Darüber hinaus ist der Aufwand des dritten Lösungsansatzes deutlich geringer als bei Lösungsansatz 2. Außerdem verringert sich die Anzahl der Inbetriebnahmen.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Es ist darauf zu achten, dass einfache Provisorien nicht mehr mit der Maschinenrichtlinie vereinbar sind. Aus diesem Grund muss eine Alternative gefunden werden, die wirtschaftlich ist und zeitgleich die Anforderungen der WSV erfüllt. Lösungsansatz 3 verringert die Sperrzeiten auf ein notwendiges Minimum und hält die Vorgaben der Maschinenrichtlinie sowie der WSV ein. Um dies zu gewährleisten, ist gemäß dieser Lösung der Bau eines neuen Betriebsgebäudes erforderlich. Je nach örtlichen Gegebenheiten, kann dies ein großes Problem darstellen. Um diesem Problem zu entgehen, müssten die Anforderungen an das Provisorium deutlich reduziert werden.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen**

- 7.1 Nachrichten-, Elektro- und Maschinentechnik

### 3.3 Toraustausch Schleuse Wusterwitz

#### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Ziel war es den Austausch des kompletten Stemmtors inklusive Einbauteilen am Unterhaupt der Schleuse Wusterwitz in einer möglichst kurzen Sperrpause durchzuführen. Neben der Eignung des Bauverfahrens sollten insbesondere auch der Bauablauf, Emissionen sowie der Kosten- und Zeitaufwand bewertet werden. Es wurde speziell der Austausch des Stemmtors (inkl. Spur- und Halslager) am Unterhaupt einschließlich Mauerplattenträger, Dichtungsanschlüsse vertikal sowie Lagerkonstruktionen für Spur- und Halslager betrachtet. Innerhalb von vier Wochen ist in einem 24-Stunden-Betrieb, der sieben Tage pro Woche aufrechterhalten wurde, sowohl das alte Untertor rückgebaut als auch das neue Schleusentor eingebaut worden.

<i>Auftraggeber/Vorhabensträger:</i>	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Brandenburg (WSA)
<i>Baufirma:</i>	SIBAU Genthin GmbH & Co. KG
<i>Projektvolumen:</i>	geplante Kosten: 1.030.000 € voraussichtliche Kosten: ca. 1.100.000 € (7% Steigerung) 30-40 % Mehrkosten durch knappes Zeitfenster und 24h-Schichtbetrieb
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Experteninterview „Toraustausch Wusterwitz“ (05.12.28) mit Herr Knuth und Herr Götz vom WSA Brandenburg</li></ul>

#### Ausgangssituation

Bei einer Inspektion der Schleuse Wusterwitz, für welche die Tore abgestrahlt wurden, sind Risse an den Flanken über den Schwimmkästen des Stemmtores am Unterhaupt festgestellt worden. Daraufhin wurde eine Notreparatur im Sinne einer anzuordnenden Lasche über dem Riss durchgeführt. Diese war statisch jedoch nicht nachweisbar, weswegen es unumgänglich war, die Tore in naher Zukunft austauschen zu müssen. Das 1930 gebaute Tor sollte innerhalb von drei Wochen in einem 24h-Betrieb ausgetauscht werden.

Schließlich wurde die Baumaßnahme 2017 über eine beschränkte Ausschreibung mit öffentlichem Teilnahmewettbewerb ausgeschrieben. Im September 2018 wurde mit der Ausführung begonnen. Die Maßnahmen wurden vom WSA Brandenburg beauftragt und begleitet und waren ursprünglich für Mai 2018 geplant, jedoch wurden im Anschluss an das IuB Kolloquium und einem Austausch mit dem WSA Schweinfurt die bis dahin schon erstellten Vergabeunterlagen nochmals angepasst und die Ausführung auf September 2018 verschoben. Rückblickend schätzt das WSA die Verschiebung als richtig ein, da der Austausch verschiedene Denkanstöße geliefert hatte, die noch eingearbeitet wurden.

#### Projektstand

Der Toraustausch wurde 2017 ausgeschrieben. Die Umsetzung begann im September 2018 und wurde innerhalb von vier Wochen abgeschlossen.

#### Erarbeitete Lösung

In den folgenden Auflistungen sind sowohl die Maßnahmen aufgelistet, die zur Vorbereitung der Baumaßnahme notwendig waren als auch die Maßnahmen, die während der Baumaßnahme erfolgt sind.



### *Vorbereitende Maßnahmen*

1. Trockenlegung wurde für die Schifffahrtstreibenden sechs Monate vorher angekündigt
2. Trockenlegung des Torbereichs sowie Zustandsaufnahme/Vermessung des Stahlwasser- und Massivbaus
3. Detaillierte Projektplanung (Abbruch, Stahlbau, Betonarbeiten, durchgeplanter Montageablauf)
4. Bestimmung der Betongüte des Bestands (Kernbohrungen)

### *Ablauf der Baumaßnahmen*

Maßnahmen unmittelbar vor der Sperrpause:

1. Geländeraufbau
2. Abbohren und grober Ausbruch rund um die Halslager
3. Aufschachtung für Totmannanker
4. Horizontalbohrungen für Anker (bei einer Bohrung war ein Kabelschacht im Weg)
5. Grober Ausbruch
6. Fertigung der neuen Torflügel und Betoneinbauteile sowie Transport und Zwischenlagerung auf der Baustelle

Während der Sperrpause: Toraustausch

7. Einbau der Revisionsverschlüsse (Nadelverschluss); Trockenlegung der Schleuse/des Torbereichs
8. Ausbau des alten Torflügels (vor Arbeitsschritt 7 oder anschließend; Vorteil im Nassen: gute Erreichbarkeit mit schwimmenden Geräten, Verladung auf Schute möglich)
9. Setzen von Trennschnitten im Beton bzw. Mauerwerk, um die Abbruchbereiche abzutrennen bzw. zu unterteilen.
10. Betonabbruch im Bereich der bestehenden Einbauteile, um diese auszubauen und um Nischen für den Einbau der Neukonstruktionen zu schaffen
11. Nachbearbeitung der Abbruchflächen (lose Teile entfernen, Grobkorn freilegen) sowie Rückverankerungen zum Bestand einbohren und einkleben
12. Zugversuche Rückverankerungen
13. Wendesäule inkl. Lagerplatte (Grundplatte) und Dichtungsanschlag in einem Stück aufrichten und über Spannschlösser feinjustieren
14. Bau einer fliegenden Hilfskonstruktion, da der Halslagerbock aufgrund eines unplanmäßig großen Abbruchs im Vorfeld nicht aufgesetzt werden konnte
15. Abschnittsweiser Einbau von Bewehrung in die neu zu betonierenden Bereiche, Verschalung des Betonierabschnitts und Betoneinbau (drei Abschnitte)
16. Einbau der Spurlager
17. Einbau und Ausrichten der beiden Torflügel
18. Einbau der Auflagerplatten
19. Verpressen bzw. Vergießen von Einbauteilen über Packer
20. Einstellarbeiten an Dichtungen der Torflügel
21. Flutung, Rückbau der Revisionsverschlüsse

Arbeiten nach Sperrpause bzw. in einer folgenden Sperrpause

#### 22. Revision/Erneuerung der Antriebe und der Torsteuerung

In einer weiteren Trockenlegung müssen noch die Kurvenscheiben eingebaut werden. Zudem wurde bisher noch keine Dichtigkeitsprobe der Schleuse durchgeführt, welche ebenfalls in einer weiteren Sperrpause nachgeholt werden soll. Dem WSA Brandenburg sind keine Probleme hinsichtlich des Einfrierens der Dichtungen bekannt, daher wurden in Wusterwitz keine zusätzlichen Maßnahmen, wie z. B. Sprudelanlagen vorgesehen. Schäden an dem angebrachten Korrosionsschutz sind derzeit nicht bekannt. Für die Arbeitsaufgaben innerhalb des 24h-Betriebs waren ca. 3-5 Mitarbeiter erforderlich.

Zusätzlich ist noch anzumerken, dass je nach Lager- und Montagekonzept ggf. ein zweiter Kran zum Aufrichten der neuen Torflügel notwendig ist. Es muss also im Einzelfall geprüft werden, ob an der Anlage die Möglichkeit besteht einen weiteren Kran, sofern erforderlich, einzusetzen.

#### *Optimierungsmöglichkeiten*

Für den kompletten Austausch des Stemmtors ist eine vollständige Trockenlegung erforderlich, weswegen der Betrieb zu diesen Zeiten vollständig eingestellt werden muss. Die Sperrzeit musste von ursprünglich geplanten drei Wochen auf vier Wochen verlängert werden. Hauptgrund hierfür waren Probleme bei der Stellung (Passung) der vorgefertigten Schalung. Diese musste aufwendig vor Ort noch einmal angepasst werden.

Für die Einstellarbeiten des Schleusentors wäre ein weiterer Tag Sperrung notwendig gewesen. Es ist bei der Wahl des Zeitraums für die Baumaßnahmen darauf zu achten, dass die Temperatur über 5°C (für die Bohr-/Schneidarbeiten sowie den Einbau des Korrosionsschutzes) beträgt und auch keine Feiertage bzw. Ferien darin liegen. Der Einbau muss in Abschnitte gegliedert werden, da sich die Konstruktion aufgrund des Durchschweißens verziehen würde und der Raum zum Verlegen der Bewehrung nicht erreichbar wäre. Außerdem ist das Ausrichten der Einzelteile auf den bestehenden horizontalen Dichtanschlag leichter. Die vorhandene Kabelverlegung ist im Vorhinein zu überprüfen, damit es zu keinen Überraschungen kommt.

In Zukunft ist zu überprüfen, ob durch den Einsatz einer Rahmenkonstruktion der Einbau vereinfacht und somit die Bauzeit sowie der Aufwand reduziert werden kann. Hierzu muss allerdings noch eine Lösung entwickelt werden.

#### *Bewertung*

Bei der Probeinstandsetzung wurde das Instandsetzungsziel erreicht und die Machbarkeit des Instandsetzungsverfahrens nachgewiesen. Gleichzeitig wurden in einigen Schritten des Bauablaufs Verbesserungspotenziale für eine künftig noch reibungslosere Ausführung aufgezeigt.

#### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Der komplette Austausch inklusive der Einbauteile konnte in vier Wochen durchgeführt werden. In Kauf genommen wurde, dass Einstellarbeiten der Tore erst in einer weiteren Sperrung realisiert werden können. Dennoch ist das Vorgehen an der Schleuse Wusterwitz unter Beachtung der vorgeschlagenen Optimierungsmöglichkeiten prinzipiell für den Toraustausch unter laufendem Betrieb geeignet. Ein Toraustausch in täglichen Sperrpausen wird nicht zu realisieren sein, weswegen ein zeitlich eng begrenzter Zeitraum für den Toraustausch angestrebt werden sollte.

#### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 8.1 Austausch Stemmtor einschließlich Betonbauteile (Torflügelaustausch)

## **4 Ausbau bzw. Ersatzneubau einer Schleusenammer**

Bei der dritten maßgeblichen Arbeitsaufgabe handelt es sich um den Ausbau einer Schleusenammer. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Schleusenammerververlängerungen. In Einzelfällen spielt auch die Verbreiterung der Anlage eine wichtige Rolle.

Durch den stetigen Anstieg der Anforderungen des Güterverkehrs, werden einige Wasserstraßen systematisch ausgebaut, um diesen Anforderungen auch in Zukunft noch gerecht zu werden. Maßnahmen, wie z. B. eine Schleusenammerververlängerung, stellen einen großen Eingriff in das bestehende Bauwerk und die umliegende Wasserstraße dar. Unter anderen aus diesem Grund werden an der Mosel für den systematischen Ausbau Ersatzneubauten errichtet. Alternativen für den Ausbau von bestehenden Kammern sind in diesem Kapitel näher erläutert. Auch hier ist es das Ziel, Verfahren zu finden, die die Schifffahrt so wenig wie möglich beeinflussen.

## 4.1 Ersatzneubau des Braddock Dam

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Um eine großflächige Umschließung mithilfe von Kofferdämmen zu vermeiden, wurde für den Ersatzneubau des Braddock Wehrs (City of Braddock/Pennsylvania/USA) laut Bittner und Miles (2013) eine Einschwimmtechnik verwendet.

<i>Bauherr:</i>	U.S. Army Corps of Engineers, Pittsburgh District
<i>Bauherrenvertretung:</i>	U.S. Army Corps of Engineers, Pittsburgh District
<i>Baufirma:</i>	J.A. Jones and Traylor Brothers (Joint Venture)
<i>Planer:</i>	Bergmann Associates/ Ben C. Gerwick Joint Venture
<i>Bauzeit:</i>	08.1999 bis 05.2004
<i>Projektvolumen:</i>	122 Mio. US-\$ (bzw. 730 Mio. US-\$ für das komplette Projekt „Lower Mon“)
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• “Lock Review (Braddock) - PIANC - WG29”; Bittner and William</li></ul>

### Ausgangssituation

Traditionell werden für Ersatzneubauten von Schleusen und Wehrfeldern große Bereiche mithilfe von Kofferdämmen trockengelegt. In diesen trocken gelegten Bereichen können die Bauwerke abschnittsweise hergestellt werden. Nach der Herstellung eines Abschnitts werden die Kofferdämme versetzt und der nächste Bereich trockengelegt. Diese Vorgehensweise erfordert einen hohen technischen und wirtschaftlichen Aufwand, weswegen eine Alternative erarbeitet und erprobt werden sollte. Orientiert wurde sich an Bauverfahren die z. B. zur Herstellung von Kaimauern, Molen und Tunneln verwendet werden, welche auf Einschwimmtechniken oder Bauen im Nassen basieren.

### Projektstand

Das Projekt wurde zwischen August 1999 und Mai 2004 realisiert. Der Wehr ist 2004 wieder vollständig in Betrieb gegangen, was verdeutlicht, dass Einschwimmtechniken durchaus eine Alternative im Wasserbau darstellen können.

### Erarbeitete Lösung

Die einzuschwimmenden Bestandteile des Damms sind insgesamt ca. 183 m lang und beinhalten vier Torbuchten, sowie eine Wehrbucht. Die Konstruktion wurde in zwei Segmente mit den Längen von ca. 101,5 m sowie 81 m aufgeteilt. Diese beiden Segmente wurden als Schalen mit geschlossenem Boden in einem Trockendock 16 km flussabwärts des Ohio Rivers vorgefertigt. Die Außenwände der Schale waren 30 cm dick, die Innenwände 25 und 30 cm. Die Bodenplatte wurde vorgespannt und enthielt Vertiefungen, durch welche das Segment beim Absenkvorgang mit der vorgefertigten Gründung verbunden werden konnte. Die Gründungselemente bestehen aus Bohrpfählen, die vorab hergestellt werden müssen.

Die Konstruktion und der Einbau der Dammsegmente selbst, kann in acht Schritte unterteilt werden:

- Erstellen des Basiselements im Trockendock
- Für das Einschwimmen mit Schwimm- und Zugelementen ausrüsten
- Schwimmend zum Einbauort transportieren
- Ballastieren und Absenken des Segments
- Hohlraum zwischen Untergrund und Segment verfüllen
- Die Hohlräume im Segment mit Beton verfüllen
- Hohlräume und Pfahlköpfe vollständig verfüllen sowie das abgesenkte Segment trockenlegen
- Dammverschlüsse einbauen und ausrichten

Diese Variante brachte einige Vorteile gegenüber einer herkömmlichen Konstruktion mittels Kofferdamms mit sich:

- Geringerer Einfluss auf den Schiffsverkehr und die Fließeigenschaften des Flusses
- Geringere Kosten, da keine Kofferdammkonstruktion und keine Entwässerung nötig waren
- Kürzere Bauzeit, da die Gründung und die Schleusensegmente gleichzeitig hergestellt werden konnten
- Geringerer ökologischer Einfluss
- Höhere Qualität durch Verwendung von Fertigteilen

#### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Dieses Verfahren ist eine interessante Lösung bei schwierigen Platzverhältnissen an der Anlage selbst und begrenzten Zeitfenstern. Dieses Verfahren kann bei der Verlängerung von Schleusenammern für den Neubau des Hauptes verwendet werden. Allerdings muss beachtet werden, dass ausreichend Platz für ein Trockendock vorhanden sein muss, um das Basiselement herstellen zu können. Darüber hinaus muss das Basiselement so dimensioniert werden, dass die vorhandenen Tiefgänge der Wasserstraße eingehalten werden können.

#### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

*Noch nicht eingearbeitet:*

- 9.2 Einschwimmen

## 4.2 Schleusenverlängerung der Rochetaillé-Sur-Saône Schleusenanlage (Frankreich)

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die Schleusenammer der in Lyon gelegenen Rochetaillé Schleusenanlage wurde von 185 m auf 195 m verlängert. Davor wurde auf der rechten Seite stromabwärts eine Rampe für Ausflugsdampfer gebaut, an die eine 90 m lange Leitwand anschließt. Auf der linken Seite wurde eine weitere Leitwand von 18 m Länge errichtet. Beide Leitwände enden im neuen Schleusenaupt, welches im Rahmen der Verlängerungsmaßnahme im Einschwimmverfahren eingebaut wurde.

<i>Auftraggeber:</i>	Bundeswasserstraßenamt von Frankreich; VNF Interregionale Leitung Saône Rhône Méditerranée
<i>Bauunternehmen:</i>	CNR Ingénierie
<i>Projektdauer:</i>	14 Monate (Beginn April 2015)
<i>Finanzierung:</i>	1 Millionen Euro FEDER 10 Millionen Euro VNF 3 Millionen Euro Région Rhône Alpes
<i>Unterunternehmen:</i>	Tournaud, Soletanche, Ducrocq, MCC
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• B-4 - Lock Lengthening of Rochetaillé-Sur-Saône (Konferenzbeitrag Smart Rivers/ Lyon 2019)</li><li>• Allongement de l'écluse de Rochetaillé Sur Saone (Compagnie Nationale du Rhone)</li></ul>

### Ausgangssituation

Die ursprüngliche Schleusenlänge von 185 m reichte nicht aus, um den Anforderungen der Schifffahrt zu genügen, weswegen eine Verlängerung der Schleusenammer erforderlich wurde. Neben der zu verlängernden Schleusenammer befindet sich eine weitere, allerdings veraltete Schleusenammer, welche nicht mehr in Betrieb ist. Somit handelt es sich bei der Rochetaillé Schleuse prinzipiell um eine Einkammerschleuse, deren langzeitige Sperrung aufgrund von Instandsetzungsarbeiten starke Folgen auf die Saône als Wasserweg und damit auf die Schifffahrt mit sich bringen würde.

### Projektstand

Die Durchführung von Verlängerungsmaßnahmen an der Rochetaillé Schleusenanlage begann im April 2015 und dauerte insgesamt 14 Monate. Im Zuge dessen wurde in einem Zeitraum von 10 Tagen ein neues Schleusenaupt eingebaut.

### Erarbeitete Lösung

Das neue Schleusenaupt besteht aus einem vorgefertigten Metallbau, der an die Einbaustelle eingeschwommen und eingebaut wurde, wie im Folgenden erläutert wird:

1. Maßnahmen vor dem zehntägigen Betriebsstop

- Herstellung der Fertigteile am Tor Lyon Edouard Herriot
- Erstes Element der Bodenplatte (*Floor 0*) in das Wasser einlassen und Aufsetzen des zweiten Bodenplattenelements (*Floor 1*)
- Transport der Bodenplatte (*Floor 0+1*) von Tor Lyon zur Konstruktionsstelle nahe der Einbaustelle am Fluss Saône
- Die Stahlbetonkonstruktion ist nach dem Einbau der Wandelemente (*Floor 2,3,4*) insgesamt 14,20 m lang, 19,00 m breit und 11,25 m hoch.
- Alles wird nun in Richtung Unterwasser hinter dem Haupt der alten Schleuse zusammengebaut und fertig gestellt, sodass eine Verlängerung der Schleusenammer von insgesamt 10 m erreicht wird

2. Zehntägiger Betriebsstop (März 2016):

Zunächst wird durch die alte Schleuse, welche an die zu verlängernde Schleusenanlage wasserseitig angrenzt, die metallische Schalung innerhalb des 10-tägigen Betriebstops an die Einbaustelle transportiert und dort mit Wasser befüllt. Dadurch wird der Metallbau abgesenkt und durch die Auftriebskraft werden die unteren Elemente durch den Aufprall kaum belastet. Anschließend wird der Metallbau ausbetoniert.

- 1. Tag: Der Metallbau wird zu der eigentlichen Einbaustelle hingeführt.
- 2. Tag: Vorbereitung für die Absenkung des Metallbaus
- 3. & 4. Tag: Absenkung des Metallbaus, durch Fluten mit Wasser
- 5. Tag: Betonieren der ersten Hälfte der Bodenplatte (*Floor 0*)
- 6. Tag: Betonieren der Seitenwände (*Floor 2,3,4*)
- 7. Tag: Betonieren der zweiten Hälfte der Bodenplatte (*Floor 1*)
- 8., 9. & 10. Tag: Montage des Schleusentors

**Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Der Einbau eines Schleusenhauptes konnte an der Rochetaillé-sur-Saône Schleusenanlage innerhalb von 10 Tagen realisiert werden. Diese relativ kurze Zeitspanne sowie die Möglichkeit des Einbaus unter beengten Platzverhältnissen, durch Einsatz des Einschwimmverfahrens, stellen ein Potenzial für die Instandsetzung unter Betrieb dar.

**Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

*Noch nicht eingearbeitet:*

- 9.2 Einschwimmen

### 4.3 Verlängerung Greenup Lock

#### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die PIANC- WG29 berichtet von einer Baumaßnahme, bei der die landseitige Kammer der Greenup Lock im Ohio River bei Greenup/Kentucky (USA) verlängert werden soll. Um die Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs der zweiten Kammer möglichst gering zu halten, soll für das neue Stemmtor ein Basisfloß für ein neues Haupt eingeschwommen werden.

<i>Bauherr:</i>	Bezirk Huntington, US Army Corps of Engineers (USA)
<i>Baufirmen:</i>	noch in der Planungsphase
<i>Planer:</i>	Bezirk Huntington unter Mithilfe von Delta Marine (NL)
<i>Projektvolumen:</i>	137.200.000,00 € (geplant ohne laufende Instandhaltungskosten)
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>PIANC WG29 (2013): Lock Project Review – GREENUP LOCKS</li></ul>

#### Ausgangssituation

Die Schleusenanlage wurde 1959 in Betrieb genommen. Es handelt sich um eine Zweikammerschleuse, wobei die beiden Kammern in unterschiedlichen Dimensionen ausgeführt wurden. Die Hauptkammer (33,5 m breit und 366 m lang) wird im laufenden Betrieb durch eine Nebenkammer (33,5 m breit und 186 m lang) unterstützt. Durch die Staustufe wird eine Fallhöhe von 10,36 m überwunden.

Aufgrund des schlechten Zustands der Schleusentore wurde in der Vergangenheit die Hauptkammer aufgrund von Instandsetzungen mehrmals kurzzeitig geschlossen. Durch die ausschließliche Benutzung der Nebenkammer kam es in diesen Zeiträumen zu erhöhten Wartezeiten. Dies verursachte hohe Verzögerungskosten, die vereinzelt auch bis in die Millionenhöhe reichen können.

Deshalb wurde entschieden, die Nebenkammer auf die Maße der Hauptkammer auszubauen. Demzufolge könnte die Schließung der Hauptkammer durch die Nebenkammer aufgefangen werden. Zusätzlich soll die Nebenkammer mit einer Schnellwechseinrichtung für Stemmtore ausgerüstet werden.

#### Projektstand

Mit der Realisierung des Projekts sollte ursprünglich im Jahr 2009 begonnen werden. Nach der Kontaktaufnahme mit Herrn Keathley im Jahr 2014, der im Bericht der PIANC als Ansprechpartner des U.S. Army Corps of Engineers angegeben ist, stellte sich heraus, dass das Projekt nicht finanziert wurde. Deswegen ist das Projekt derzeit ausgesetzt und muss erst anhand einer Machbarkeitsstudie erneut geprüft werden.

#### Erarbeitete Lösung

Um die Störungen des Schiffsverkehrs möglichst gering zu halten, sollte für das neue Stemmtor ein neues Haupt eingeschwommen werden. Die Abfolge der angestrebten Maßnahme orientiert sich an folgenden Arbeitsschritten:



- Das Basisfloß soll in einer stillgelegten Schleusenammer errichtet werden
- Fluten des Trockendocks, wodurch das Basisfloß aufschwimmt
- Abschleppen des Basisfloßes zu einer Konstruktionsfläche nahe der Schleuse (Distanz: 96,6 km)
- An Konstruktionsfläche wird auf dem Basisfloß über Fertigteile und Ortbeton ein Wandaufbau ergänzt (Höhe ist abhängig vom zur Verfügung stehendem Tiefgang)
- Die Konstruktion wird an die vorgesehene Stelle gezogen und am Bestimmungsort abgesenkt
- Verfüllen des Betonkastenaufbaus mit Unterwasserbeton
- Felsanker installieren und Verbindung zur Mittelmauer herstellen
- Anprallschutz installieren
- Entwässern des Hauptes und verpressen der Fugen in den Kammern
- Ausbildung des Drempels
- Mechanische und elektrische Ausrüstungen sowie das Stemmtor selbst installieren

Für den Einschwimmvorgang des Basisfloßes muss, wie der Arbeitsablauf zeigt, eine befahrbare Mindestwassertiefe des Flusses gegeben sein. Zwischen Konstruktionsfläche und Bestimmungsort des Unterhauptes muss dieser Tiefgang noch einmal größer sein, da durch den Teilaufbau der Wand die Konstruktion schwerer wird. Die Ausmaße des Hauptes sollen nach der Fertigstellung eine Breite von 31 m, eine Länge von 57 m und eine Höhe von 20,4 m umfassen.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Dieses Verfahren ist eine interessante Lösung bei schwierigen Platzverhältnissen und begrenzten Zeitfenstern. Dieses Verfahren kann bei der Verlängerung von Schleusenammern für den Neubau des Hauptes verwendet werden. Da das Projekt selbst nicht finanziert wurde, steht der praktische Nachweis noch aus.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

*Noch nicht eingearbeitet:*

- 9.2 Einschwimmen

## 4.4 Ersatzneubau der Schleuse im Inner Harbor Navigation Canal (IHNC) durch Einschwimmen von vorgefertigten Segmenten

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Die bestehende Schleuse des Inner Harbor Navigation Canal (IHNC) (New Orleans/Louisiana/USA) soll ersetzt und damit einhergehend für eine größere Kapazität erweitert werden. In PIANC- WG29 (2013b) wird beschrieben, wie die Planungen aufgrund von Hurrikan Katrina geändert werden mussten. Ursprünglich sollte die Schleuse in Ortbetonbauweise im Schutz einer Einspundung ausgeführt werden. Stattdessen sollen die einzelnen Schleusenbestandteile in einem Trockendock so weit wie möglich vorbereitet und danach eingeschwommen werden, um die zerstörte Umgebung durch den Bau nicht zusätzlich zu belasten.

<i>Bauherr:</i>	U.S. Army Corps of Engineers – New Orleans District
<i>Bauherrenvertretung:</i>	U.S. Army Corps of Engineers – New Orleans District
<i>Baufirma:</i>	N.N.
<i>Planungsfirma:</i>	URS mit INCA Engineers und Subunternehmer von Ben C. Gerwick für die Planung der Einschwimmtechnik
<i>Projektvolumen:</i>	500.000.000 US-\$
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lock Project Review - INNER HARBOR NAVIGATION CANAL PIANC - WG29</li></ul>

### Ausgangssituation

Der Inner Harbor Navigation Canal (IHNC) und die zugehörige Schleuse wurden im Mai 1923 in Betrieb genommen. Der Kanal schafft eine Verbindung zwischen dem Fluss Mississippi und dem Ponchartrain-See und verläuft durch das Stadtgebiet von New Orleans.

Die U-förmige Stahlbetonkammer der Schleuse steht auf einem Fundament aus Holzpfählen und hat die Maße 22,9 m auf 195,1 m. Die Mindestwassertiefe über dem Dremmel beträgt 9,6 m.

Die Landschaft um den Kanal hat sich über die Jahre sehr schnell entwickelt und dient heute gänzlich der industriellen Nutzung. Diese Entwicklung und die unmittelbare Nachbarschaft von historischen Wohngebäuden auf den Kanaldämmen zieht ernsthafte Platzprobleme nach sich. Konventionelle Konstruktionstechniken können nicht angewendet werden.

### Projektstand

Zur Bauausführung kam es noch nicht. Laut Forsyth (2015) wurde das Gutachten, welches die Umweltverträglichkeitsbetrachtung des Projektes beleuchtet, infrage gestellt. Das Gutachten soll nicht alle Einflüsse und Auswirkungen umfassend darstellen, weshalb das Projekt 2011 gestoppt wurde. 2015 wurde der Gedanke wieder aufgegriffen und es soll untersucht werden, ob eine leistungsfähigere Schleuse ökonomisch und gleichzeitig ökologisch vertretbar ist.

### Erarbeitete Lösung

Die neue Schleuse wird ca. 800 m nördlich der existierenden Schleuse gebaut. Sie wird eine Breite von 33,5 m und eine nutzbare Länge von 366 m haben, sowie eine Tiefe von 11 m.

Die Elemente für die neue Schleuse werden in einem abseits gelegenen Trockendock gefertigt, was sowohl die Sicherheit als auch die Effizienz erhöhen wird. Sie wird aus fünf Monolithen zusammengesetzt, die jeweils als Massivbauhülle im Trockendock vorgefertigt werden. Danach wird jedes Segment zur Einbaustelle geschleppt und mit Beton verfüllt, um den kompletten Monolithen zu erhalten. Sobald die Basiselemente an ihrem Bestimmungsort angekommen sind, können diese geflutet und auf vorgefertigte Gründungspfähle abgesenkt werden. Die Massivbauhüllen werden durch Begleitboote und Leitelemente vor Anprall an die schon installierten Module geschützt.

Spezielle Pfahlverbindungen und Unterwasserbeton werden genutzt, um die Segmente untereinander und mit den Pfählen zu verbinden. Das Eigengewicht reicht allerdings nicht aus, um das Bauwerk bei weiteren Hurrikan-Ereignissen vor Auftrieb zu schützen, deshalb sollen neben dem Einbau von Hinterfüllbeton auch Zuganker für zusätzliche Sicherheit sorgen. Durch die Zuganker sollen die Bauwerkselemente noch einmal ergänzend mit dem Baugrund verbunden werden. Außerdem sollen Sektorschütze eingebaut werden, um die Funktionsfähigkeit der Schleuse nicht nur bei Normaldurchfluss zu gewährleisten, sondern auch bei Sturmfluten infolge von Hurrikans zum Hochwasserschutz eingesetzt zu werden.

Die Absenkung der Konstruktion auf die Gründungspfähle erzeugt signifikante Spannungen. Es wurde eine Kombination aus Hinterfüllbeton und temporärem Ballast (Wasser und/oder Sand) gewählt, um einen Absenkvorgang zu entwickeln, der ein kontrolliertes, reversibles Absenken unter annehmbaren Spannungen und Verformungen der Massivbauhülle sicherstellt.

#### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Grundsätzlich eignen sich Einschwimmverfahren bei schwierigen Platzverhältnissen und wenig toleranten Verhältnissen im Umfeld der Schleuse selbst. Vor Ort ist eine geringe Einflussnahme erforderlich, was sich positiv auf die Beeinflussung des Schiffsverkehrs auswirkt. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass ein geeignetes Trockendock vorhanden ist, um die Basiselemente herzustellen. In der Veröffentlichung wird beschrieben, dass der Absenkvorgang sich kompliziert gestaltet. Dadurch, dass das Projekt noch nicht realisiert wurde, sind noch keine Erfahrungswerte verfügbar. Angaben zu eingeplanten Zeitfenstern sind ebenfalls nicht gegeben.

#### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

*Noch nicht eingearbeitet:*

- 9.2 Einschwimmen

## 4.5 Instandsetzung und Erweiterung Schleusenanlage Rahe

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Im Rahmen des Ausbaus der Schleusenanlage Rahe wurde ein innovatives Verfahren für die Verbreiterung und Verlängerung der Schleuse erprobt.

<i>Bauherr:</i>	Landkreis Aurich und Stadt Emden
<i>Bauherrenvertretung:</i>	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
<i>Baufirma:</i>	Baugesellschaft Wittfeld
<i>Planungsfirma:</i>	Baugesellschaft Wittfeld
<i>Projektvolumen:</i>	3,6 Mio. Euro
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: „Bauliche Umgestaltung der Schleuse Rahe zum Zwecke der touristischen Attraktivierung“ (2005)</li><li>• Präsentation Baugesellschaft Wittfeld: „Projektdokumentation – Bauliche Umgestaltung der Schleuse Rahe in Aurich“</li></ul>

### Ausgangssituation

Die Schleuse Rahe ist südwestlich der Stadt Aurich im Ems-Jade-Kanal gelegen. Mit ihr wird eine Fallhöhe von zwei Metern ausgeglichen. Sie wurde im Jahr 1884 zusammen mit der Drehbrücke, die über das Unterhaupt führt, errichtet und ist durch die inzwischen 120-jährige intensive Nutzung (ca. 5.000 Bootsbewegungen pro Jahr) geschädigt. Darüber hinaus weist die Anlage nur eine ungenügende Hochwassersicherheit auf. Da sie eine wichtige Rolle in der Entwässerung der Stadt Aurich spielt, war der Ausbau der Anlage zwingend erforderlich. Darüber hinaus soll mit einer grundlegenden baulichen Umgestaltung die touristische Attraktivität erhöht werden. Der Ausbau der Anlage macht diese für den gewerblichen Schiffsverkehr interessanter. Bisher musste in den Sommermonaten Wasser zu gepumpt werden, um den Betrieb aufrecht erhalten zu können. Durch den Ausbau entfällt dies, woraus sich erhebliche Vorteile ergeben. Durch die kleine Kammer und spezielle Ausrüstungsgegenstände sowie angepasste Steganlagen wird die Nutzung der Anlage für die Sportschiffahrt optimiert. Eine wichtige Voraussetzung war, dass aufgrund des Denkmalschutzes die Optik der Anlage erhalten werden musste.

### Projektstand

Das Projekt wurde von Juni 2005 bis Oktober 2006 umgesetzt.

### Erarbeitete Lösung

Geplant wurde eine Verlängerung der Schleuse um etwa 30 m auf insgesamt 70 m und eine Vergrößerung der Breite um 2,10 m auf 8,60 m. Die neue Schleuse ist für einen Bemessungszeitraum von 90 Jahren ausgelegt.

Gemäß eines Sondervorschlags der Firma Wittfeld sollten neun Großfertigteile in Form eines Troges mit einem Gewicht von je ca. 300 t eingebaut werden. Um die alte Bausubstanz zu sichern und den Betrieb aufrechterhalten zu können, wurde im Vorlauf eine schwere, rückverankerte Spundwand eingebaut. Die Großfertigteile wurden vor Ort aus Ortbeton hergestellt und nach der Fertigstellung mithilfe von Ketten auf Gleitbahnen aus Stahl über den Bestimmungsort gezogen. Durch einen

Portalkran wurden die Fertigteile angehoben, sodass die Gleitbahnen entfernt werden konnten. Danach wurden die Fertigteile in die gewünschte Position abgesenkt und fixiert. Nun kam ein selbstverdichtender Hinterfüllbeton zum Einsatz, der die Fertigteile mit dem anstehenden Erdreich verbindet. Nachdem der Hinterfüllbeton erhärtet war, konnte der Portalkran entlastet werden.

Für den Einbau eines Fertigteils musste der Schleusenbetrieb für 36 Stunden eingestellt werden. Abschließend wurden die Fertigteile und die Spundwand mit einem durchgängigen Ortbetonriegel monolithisch verbunden. Für die Aufrechterhaltung des Bauablaufs wurde zunächst das neue Oberhaupt erstellt, bevor das alte Oberhaupt abgebrochen wurde. Allerdings standen für die Schleusung jeweils nur zwei Zeitfenster von je einer Stunde pro Tag zur Verfügung.

Es wurde außerdem ein zusätzliches Mittelhaupt eingebaut, wodurch die Kammer in unterschiedlich große Segmente teilbar ist, die getrennt befüllt und entleert werden können, sodass hier die benötigte Schleusenwassermenge und damit der Energieverbrauch reduziert werden kann. Nachdem das neue Mittelhaupt in Betrieb genommen ist, kann die Straßenbrücke sowie der bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht instand gesetzte Teil der Anlage abgebrochen werden. In den verbauten Stemmtoren sind Hubschütze enthalten, die zur Sicherung des Hochwasserschutzes beitragen. Aus diesem Grund sind die neuen Schütze 3,5-mal größer als die bisher verbauten Schütze.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Die Instandsetzung sowie Ausbau der Schleuse Rahe zeigt, dass der Einsatz von vorproduzierten Elementen nicht nur theoretisch möglich ist, sondern auch erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden kann. Durch den Einsatz von 300 t schweren Trogelementen konnte die Anlage mit verhältnismäßig kurzen Sperrpausen ausgebaut werden. Für Anlagen mit größeren Dimensionen muss im Einzelfall überprüft werden inwieweit die Maschinenteknik ausgereizt werden kann, da für den Einbau bereits jetzt ein groß dimensionierter Portalkran eingesetzt wird.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 9.1 Einheben

## 4.6 Schleuse Södertälje – Baubegleitende Planung des Ersatzneubaus von Ober- und Unterhaupt im Einschub- und Einschwimmverfahren

### Kurzbeschreibung und Projektdaten

Im Zuge eines umfangreichen Ausbaus des Södertälje-Kanals in Schweden werden u.a. die Kammer der bestehenden Schleusenanlage verbreitert sowie deren beiden Häupter erneuert. Die neuen Häupter werden hierbei in temporären trockenen Baugruben neben dem Kanal hergestellt und anschließend in kurzen Sperrpausen an den endgültigen Bestimmungsort bewegt. Hierzu wurden im Rahmen der Planung die beiden Varianten Einschub- und Einschwimmverfahren untersucht.

<i>Bauherr:</i>	schwedische Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung „Sjöfartsverket“
<i>Baufirma:</i>	Züblin Spezialtiefbau GmbH
<i>Planer:</i>	Züblin Spezialtiefbau GmbH
<i>Projektvolumen:</i>	ca. 127 Mio. € (Stand Oktober 2017)
<i>Quellen:</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kolloquium Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb (BAW 2017)</li></ul>

### Ausgangssituation

Die mit ihren Kammerdimensionen von 135 m x 19,6 m und einer Drempeltiefe von 8 m größte Schleuse Schwedens wurde im Zuge des Ausbaus des Södertälje-Kanals 1917 bis 1924 erbaut. Die mittlere Differenz zwischen Ober- und Unterwasser beträgt ca. 0,8 m. Wenn bei seltenen Ereignissen der UW-Stand über den OW-Stand steigt, verhindert die Schleuse das Eindringen des salzhaltigen Wassers des Saltsjöns in den Mälarsee. Beide Häupter der Schleuse sollen im Rahmen des geplanten Ausbaus mit Drehsegmenttoren mit einem zweiseitigen hydraulischen Antrieb ausgestattet werden.

Es ist ein umfangreicher Ausbau des Södertälje-Kanals ausgeschrieben worden. Bestandteile der Maßnahme sind die Modernisierung der Schleusenanlage sowie der Ausbau des Kanalquerschnitts durch Einbau von Spundwänden anstelle der geböschten Bestandsufer. Außerdem müssen an wichtigen Brücken die Leitwerke erneuert und die ans Unterhaupt angrenzende Klappbrücke ersetzt werden. Die Vergabe erfolgte als Design-and-Build-Vertrag, wobei auf Grundlage eines Garantierten-Maximalpreis-Vertrages (GMP) eine partnerschaftliche Zusammenarbeit vereinbart wurde.

Die maßgebliche Anforderung an die Instandsetzungsmaßnahme ist die möglichst durchgängige Verfügbarkeit der Wasserstraße während der Baumaßnahme. Die maximal zulässige Sperrpause der Schleuse beträgt 7 Tage. Während der gesamten Bauzeit sind nur fünf Sperrungen dieser Dauer zulässig.

### Projektstand

Das von Züblin erarbeitete Bauverfahren sieht vor, die neuen Häupter in trockenen Baugruben neben dem Kanalquerschnitt zu errichten und innerhalb dieser kurzen Sperrpausen an den Bestimmungsort zu bewegen. Die Baugruben werden derzeit erstellt. Probleme bei der Erstellung dieser Baugruben und der damit zusammenhängende Kostenanstieg haben dazu geführt, dass Auftragnehmer und Auftraggeber in beidseitigem Einvernehmen den bestehenden Vertrag aufgelöst haben.

*Einschubverfahren:* Die detaillierte Planung des Verfahrens wurde bereits durchgeführt, allerdings zeigten sich schon hier gravierende Nachteile gegenüber dem Einschwimmverfahren. Daher wurde von diesem Bauverfahren abgesehen und die Entwicklung des Einschwimmverfahrens weiter vorangetrieben.

*Einschwimmen:* Im Oktober 2017 sind die Arbeiten an den Baugrubenumschließungen für die neuen Häupter nahezu abgeschlossen worden. Für Anfang 2018 waren die Betonage der UW-Betonsohle und Lenzen der Baugruben geplant. Anschließend Massivbauarbeiten an den Häuptern. Die Fertigstellung soll mit der Betriebsfreigabe der Schleusanlage bis Ende 2019 erfolgen. Es stellten sich jedoch Probleme bei der Abdichtung der Baugrube ein, weswegen das Projekt nach Informationen der Projektgruppe IuB derzeit stillsteht.

### **Erarbeitete Lösung**

Für das neue Ober- und Unterhaupt sind zwei baugleiche Drehsegmenttore vorgesehen. Das erarbeitete Einschwimmverfahren sieht vor, die neuen Häupter in trockenen Baugruben neben dem Kanalquerschnitt zu errichten. Anschließend folgt während der kurzen Sperrpausen das Bewegen der Häupter an ihren Bestimmungsort. Die Planungen sehen vor, die Häupter einzuschwimmen. Der Verfahrensablauf ist in der folgenden Aufzählung zusammengefasst:

- Haupt wird in trockener Baugrube neben dem Kanal- oder Flussquerschnitt errichtet.
- Baugrube wird über einen vertikalen Abschluss (z. B. Kombiwände) gesichert. Dieser muss im anstehenden Boden verankert oder im Kopfbereich durch Baugrubenaussteifungen gesichert werden.
- Nachdem die Baugrube ausgehoben ist, wird diese durch eine Unterwasserbetonsohle, je nach gewähltem Wandaufbau, abgedichtet.
- Neben den Massivbauarbeiten der Häupter können je nach Aufbau z. B. Tor- und Antriebstechnik vorinstalliert werden.
- Ggf. können erste Inbetriebsetzungsmaßnahmen erfolgen.
- Einbau temporäre Schottwände auf beiden Stirnseiten der Häupter.
- Um das Bauteil aufschwimmen zu können, muss die Baugrube geflutet werden.
- Durch kontrolliertes Ballastieren wird die Feinjustierung des Freibords vorgenommen.
- Das Haupt wird an die vorherbestimmte Position geschoben bzw. gezogen.
- Das Haupt wird kontrolliert abgesenkt (z. B. verfüllen Kastenaufbau oder Hydraulikvorrichtung)
- Kraftschlüssiges Verfüllen unterhalb der Sohle (z. B. Unterwasserbeton oder Injektionskissen).
- Einbau Schleusentore und abschließende Inbetriebnahme der Antriebs- und Steuerungstechnik.

Außerdem wurde im Rahmen der Planung das Einschubverfahren näher untersucht. Auch hier werden die Häupter zunächst in trockenen Baugruben hergestellt und anschließend in ihre Endposition bewegt. Aufgrund der aufwändigen Schienenkonstruktionen unter Wasser, hohen anfallenden Kosten, höheren Sicherheitsrisiken usw. wurde dieses Bauverfahren ab einer gewissen Planungstiefe nicht weiter berücksichtigt. Informationen über den in den Planungen erarbeiteten Verfahrensablauf sind in der folgenden Aufzählung zu finden:

- Verlegen und Verankern von speziellen Schienenkonstruktionen auf der Baugrundsohle.
- Schienen übernehmen gleichermaßen die Führung der Häupter sowie die Rückverankerung der Hydraulikpressen.
- Zur Gewährleistung des vollflächigen Lastabtrags auf die trockengelegte UW-Betonsohle der zu betonierenden Häupter werden verbleibende Zwischenräume mit Sand oder Gesteinskörnung verfüllt.
- Nach Flutung der Baugruben und Aktivierung der auf die Häupter wirkenden Antriebskräfte, erfolgt ein Ausspülen der Verfüllung mit Tauchereinsatz.
- Nach Installation der Hydraulikpressen folgt ein Funktionstest der Verschiebeeinrichtung im gefluteten Zustand.
- Nach Entfernen des kanalseitigen Verbaus folgt der Verschiebung.

### **Relevanz für die Instandsetzung unter Betrieb**

Dieses Projekt befand sich bis Ende 2019 in der Ausführung, weswegen zu vermuten war, dass durch dieses Projekt in der Zukunft weitere Erfahrungen zum Thema Einschwimmen von Wasserbauwerken dokumentiert werden können. Durch die einvernehmliche Vertragsauflösung zwischen Bauherr und Auftragnehmer ist derzeit jedoch unklar, ob das Projekt in dieser Form umgesetzt wird. Die Konstruktion der Häupter war neben dem eigentlichen Kanalquerschnitt geplant. Anschließend können diese in kurzen Sperrpausen eingeschwommen werden. Dadurch ist der Betrieb der Anlage -abgesehen von kurzen Sperrpausen - sichergestellt.

### **Verwendet in folgenden Steckbriefen:**

- 9.2 Einschwimmen
- 9.3 Einschieben