

BAWKolloquium

Tagungsband

Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb

17. und 18. Oktober 2017



Programm

DIENSTAG, 17. OKTOBER 2017

13:00 Uhr Begrüßung und Einführung

Prof. Dr.-Ing. Christoph Heinzelmann (BAW)

13:15 Uhr Instandsetzung unter Betrieb – Bedeutung für die WSV

Dipl.-Ing. Thilo Wachholz (GDWS)

Die Infrastruktur der deutschen Wasserstraßen ist starken Belastungen ausgesetzt. Zahlreiche Bauwerke weisen bereits ein Alter von deutlich über 80 Jahren auf. Ein Ersatzneubau oder eine Außerbetriebnahme für eine konventionelle Instandsetzung sind oftmals nicht möglich. Die WSV benötigt deshalb dringend alternative Konzepte, um dieser Situation angemessen begegnen zu können.

13:35 Uhr BAW/WSV-Projekt „Instandsetzung unter Betrieb“

Dipl.-Ing. Andreas Westendarp (BAW)

Die Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb wird künftig neben Ersatzneubau und konventioneller Instandsetzung ein unverzichtbarer Baustein zur Sicherstellung einer angemessenen Wasserstraßeninfrastruktur sein. Der Vortrag gibt einen Überblick über die derzeit in Erarbeitung befindlichen Konzepte und Lösungsansätze.

14:05 Uhr Pause

14:35 Uhr Teilprojekt A: Modulare Lösungen für Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb

Dr.-Ing. Thorsten Reschke (BAW)

Im Teilprojekt A werden geeignete Ansätze für die Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb zusammengetragen, verifiziert, weiterentwickelt und ggf. neue Ansätze erarbeitet. Die Instandsetzungslösungen für die wesentlichen Bauteile und Randbedingungen sollen in einem modularen System zur Verfügung gestellt werden.

15:05 Uhr Teilprojekt B: Instandsetzung Schleuse Schwabenheim – Projektvorstellung

Dr.-Ing. Jesper Steuernagel (Amt für Neckar Ausbau Heidelberg)

*Dipl.-Ing. Michael Molck, Dipl.-Ing. Martin Strack
(RMD Consult GmbH/ARGE Neckarschleusen)*

Im Rahmen eines Pilotprojekts an der Neckarschleuse Schwabenheim soll die Machbarkeit der Instandsetzung von Schleusenanlagen der WSV unter laufendem Schifffahrtsbetrieb nachgewiesen werden. Die tägliche Unterbrechung der Arbeiten und die Freigabe der Schleusenammer für die Schifffahrt bei einer Instandsetzung unter Betrieb haben maßgebenden Einfluss auf das Bauverfahren und den Bauablauf. Anhand der Planung für die Schleuse Schwabenheim werden die Randbedingungen dargestellt und mögliche Lösungskonzepte vorgestellt.

15:50 Uhr Pause

16:20 Uhr Temporäre Trockenlegung von Schleusen

Dominik Waleczko M.Sc. (KIT/TMB)

Um eine hohe Qualität der Instandsetzungsergebnisse sicherstellen zu können, sollen die Instandsetzungsarbeiten soweit möglich im Trockenen durchgeführt werden. Dieser Beitrag soll die Notwendigkeit von Systemen für die partielle Trockenlegung verdeutlichen und erste Entwürfe präsentieren.

16:50 Uhr Schleuse Södertälje – Baubegleitende Planung des Ersatzneubaus von Ober- und Unterhaupt im Einschub- und Einschwimmverfahren

Dipl.-Ing. Thomas Boehme, Dipl.-Ing. Tobias Rolf (Züblin Spezialtiefbau GmbH)

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 werden im Rahmen der Planung die beiden Varianten Einschub- und Einschwimmverfahren untersucht.

17:20 Uhr Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb

Dipl.-Ing. Matthias Maisner (BAW)

Ein wichtiges Thema für die Instandhaltung von Wasserbauwerken ist die Instandsetzung von undichten Bewegungsfugenbereichen unter Betrieb. Der Vortrag gibt einen Überblick über entsprechende Instandsetzungskonzepte für unterschiedliche Randbedingungen und Bauteilsituationen.

ab 18:00 Uhr Geselliger Abend (Buffet)

MITTWOCH, 18. OKTOBER 2017

08:30 Uhr Instandsetzung der Ruhrschleuse Raffelberg unter Betrieb

Dipl.-Ing. Carsten Voigt (Ingenieurbüro grbv)

Dipl.-Ing. (FH) Britta Rath (WSA Duisburg-Meiderich)

Die im Jahr 1927 erbaute Schleuse Raffelberg bei Mühlheim an der Ruhr soll für eine Nutzungsdauer von weiteren 60 Jahren instand gesetzt werden, wovon im Wesentlichen die Schleusenkammer betroffen ist. Da nur eine Kammer vorhanden und der stromauf liegende Hafen Mülheim von der Wasserstraße abhängig ist, muss eine Instandsetzung weitgehend unter Betrieb erfolgen.

09:00 Uhr Betrachtungen zur Instandsetzung unter Betrieb am Beispiel der Schleuse Hollage

Dipl.-Ing. Dirk Biskupek (NBA Hannover)

Die WSV betreibt eine bedeutende Anzahl an Schleusen, die in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts errichtet worden sind. An einer für diese Schleusen typischen Konstruktion wurden Ansätze und Lösungen für eine Instandsetzung unter Betrieb entwickelt.

09:30 Uhr Schnellbetone für besondere Baumaßnahmen

Dr. Robert Bachmann (HeidelbergCement)

Der Vortrag soll – unabhängig vom primären Einsatzzweck der bestehenden Systeme – einen Überblick über die verfügbaren schnell erhärtenden Reparaturbetone und deren Leistungsfähigkeit geben.

10:00 Uhr Pause

10:30 Uhr Austausch von Stemmtoren am Main in einer Schleusensperre

Dipl.-Ing. (TH) Katrin Stein (WSA Schweinfurt)

Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Schweinfurt ersetzt seit vielen Jahren regelmäßig alte Schleusentore durch neue Konstruktionen. Der Austausch muss während kurzer Sperrpausen erfolgen. Dargestellt wird, wie derartige Maßnahmen unter solch besonderen Randbedingung geplant und ausgeführt werden.

11:00 Uhr Weserschleusen – Erneuerung Stahlwasserbau, Elektro-, Steuerungs- und Maschinentchnik

Dipl.-Ing. Lutz Einhoff (NBA Hannover)

Nach rd. 60 Betriebsjahren müssen fünf Weserschleusen für die weitere Nutzung instand gesetzt werden. Für die Instandsetzung der Einzelschleusen stehen nur kurze Sperrpausen zur Verfügung. Schwerpunkt des Vortrags ist das Konzept zur Erneuerung der technischen Ausrüstung (Nachrichten-, Elektro- und Maschinentchnik) unter laufendem Schleusenbetrieb und unter Beachtung der Maschinenrichtlinie.

11:30 Uhr Instandsetzung unter Betrieb – Feststellungen eines Betreibers

Dipl.-Ing. Jörg Huber (WSA Heidelberg)

Aus Sicht des Leiters eines Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes und damit des für die Sicherheit des Bauwerks und des Schiffsverkehrs Verantwortlichen werden Bedarf, Vor- und Nachteile, Risiken, Schnittstellen und Verantwortlichkeiten einer Instandsetzung unter Betrieb kritisch analysiert.

12:00 Uhr Schlussworte

Dipl.-Ing. Claus Kunz (BAW)

12:15 Uhr Ende der Veranstaltung

Kurzfassungen der Vorträge

Instandsetzung unter Betrieb – Bedeutung für die WSV

Dipl.-Ing. Thilo Wachholz (GDWS)

Die Infrastruktur der deutschen Wasserstraßen ist starken Belastungen ausgesetzt. Zahlreiche Bauwerke weisen bereits ein Alter von deutlich über 80 Jahren auf. Ein Ersatzneubau oder eine Außerbetriebnahme für eine konventionelle Instandsetzung ist oftmals nicht möglich. Die WSV benötigt deshalb zur strategischen Absicherung dringend alternative Konzepte, um dieser Situation angemessen begegnen zu können.

Die Durchführung grundlegender Instandsetzungsmaßnahmen an Massivbau oder Stahlwasserbau bedingt bei Schleusenanlagen mit nur einer Schleusenkammer bislang eine Außerbetriebnahme der gesamten Verkehrsanlage und damit eine Unterbrechung zumindest der durchgängigen Schifffahrt auf der zugehörigen Wasserstraße. Bauzeiten von über einem Jahr wegen bautechnischer und vertraglicher Schwierigkeiten beim Bauen im Bestand sind derzeit realistisch, aber aus Sicht des transportierenden Gewerbes nicht hinnehmbar. Ein Ersatzneubau instandsetzungsbedürftiger Schleusenanlagen parallel zum weiterlaufenden Betrieb der vorhandenen Anlage dürfte in einigen Fällen zwar möglich, angesichts der hiermit verbundenen Ressourcen, Kosten und Genehmigungsverfahren aber für die WSV kaum tragbar sein.

Vor diesem Hintergrund war die dringende strategische Frage zu stellen, wie umfassende Instandsetzungsmaßnahmen an Schleusenanlagen zur Sicherstellung einer weiteren mittel- oder langfristigen Nutzung unter Schifffahrtsbetrieb bzw. innerhalb bestimmter Zeitfenster, in denen die Schifffahrt kurzzeitig unterbrochen wird, realisiert werden können. Dies wird nun in einem gesonderten Projekt mit dem Ziel verfolgt, geeignete Ansätze für eine Instandsetzung unter laufendem Schifffahrtsbetrieb zu entwickeln und zu verifizieren. Der WSV soll ein Gesamtkonzept in Form einer Handlungsempfehlung an die Hand gegeben werden, auf dessen Basis die Instandsetzung möglichst aller Bauteile und Elemente einer Schleusenanlage unter Betrieb erfolgen kann. Die technischen und wirtschaftlichen Grenzen dieses Ansatzes sollen aufgezeigt werden.

Um sicherzustellen, dass sowohl die theoretischen und praktischen Erfahrungen der BAW als auch der WSV im Bereich der Grundinstandsetzung bestehender Schleusen in die Untersuchungen einfließen, aber auch eine unmittelbare Umsetzung in die Praxis sichergestellt wird, wird das Vorhaben in Kooperation zwischen der BAW und der WSV durchgeführt. Projektpartner neben der BAW ist das Amt für Neckarausbau Heidelberg (ANH) mit seinen entsprechenden Aufgaben am Neckar. Aufgrund der Komplexität der Bauverfahren und der Risiken ist es zwingend erforderlich, die Bauindustrie frühzeitig in den Planungsprozess der Instandsetzungsmaßnahme einzubeziehen. Insbesondere die Instandsetzung bzw. der Ersatzneubau der Schleusenhäupter stellt eine große bautechnische Herausforderung dar, da hier insbesondere die Möglichkeiten und Grenzen von Bauverfahren zum Tragen kommen. Die GDWS wird zur Absicherung rechtzeitiger logistischer Begleitung regionale Zumutbarkeitsgrenzen ermitteln und ein entsprechendes Gutachten über den Einfluss längerer Sperrzeiten auf die Entwicklung des Schiffsverkehrs erstellen lassen.

Das BMVI betrachtet das Projekt „Instandsetzung unter Betrieb - IuB“ mit großem Interesse und bringt dieses u. a. durch seinen Erlass vom 13.01.17 zum Ausdruck, in dem hier erstmalig in der WSV ein Wettbewerblichen Dialog genehmigt wird.

BAW/WSV – Projekt „Instandsetzung unter Betrieb“

Dipl.-Ing. Andreas Westendarp (BAW)

1. Veranlassung

Schleusenanlagen zählen zu den wichtigsten Wasserbauwerken an staugeregelten Wasserstraßen und Kanälen. Die klassischen Bauweisen aus Beton bzw. Stahlbeton sind robust und mit vergleichsweise geringem Unterhaltungsaufwand verbunden. Für den Stahlwasserbau sind Nutzungsdauern von etwa 60 Jahren, für den Massivbau von etwa 80 bis 100 Jahren üblich; fallweise werden diese Nutzungsdauern auch deutlich überschritten. Bild 1 zeigt die Altersstruktur der Einkammerschleusenanlagen der WSV.

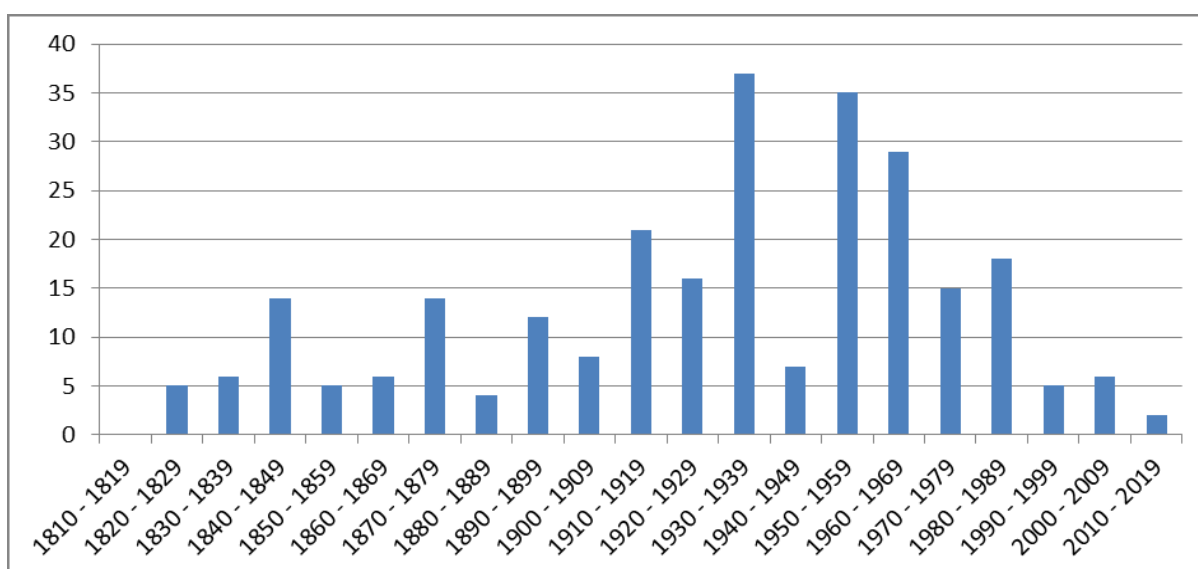


Bild 1: Altersstruktur der Einkammerschleusenanlagen der WSV (Quelle: BAW)

Für den Austausch der Schleusentore und der Antriebstechnik, die im Regelfall mit Anpassungen am Massivbau einhergehen, sind mehrmonatige Bauzeiten der Regelfall. Grundlegende Instandsetzungsmaßnahmen am Massivbau werden insbesondere dann erforderlich, wenn eine Schleusenanlage über die genannte Nutzungsdauer hinaus für weitere Jahrzehnte genutzt werden soll. Die Grundinstandsetzung einer Schleusenkammer, in der Regel also der Abtrag und die Reprofilierung des Betons an den wasserseitigen Wand- und Sohlenflächen sowie der Schleusenplanie, nimmt je nach Gegebenheiten zwischen ein und drei Jahre in Anspruch. Derartige Bauzeiten sind insbesondere für die ca. 260 Einkammerschleusen im bundesweiten Wasserstraßennetz nicht akzeptabel, weil hiermit immer eine entsprechend lange Unterbrechung der Schifffahrt auf der betroffenen Wasserstraße verbunden wäre. Umfahrungsmöglichkeiten, wie im Bereich des Straßen- oder Eisenbahnverkehrs, existieren bei den Wasserstraßen zumeist nicht oder würden zu wirtschaftlich nicht vertretbaren Umwegen führen. Lange Sperrzeiten oder Umwege hätten zwangsläufig Verkehrsverlagerungen von der Wasserstraße auf andere Verkehrsträger zur Folge.

Ein Blick auf die Altersstruktur für Einkammerschleusen zeigt, dass etwa 45 % der Anlagen älter als 80 Jahre ist. Die zugehörigen Zustandsnoten (im vierstufigen Notensystem), die auf Grundlage der regelmäßig durchzuführenden Bauwerksinspektion ermittelt werden, liegen bei 42 % der Anlagen zwischen 3,0 und 3,5 und bei 30 % der Anlagen zwischen 3,5 und 4,0. Diese Zahlen lassen erkennen, dass an den Anlagen kurz- und mittelfristig ein enormer Handlungsdruck zu erwarten ist.

Unter der Prämisse, dass längere Schifffahrtssperren unbedingt zu vermeiden sind und dass ein Ersatzneubau in unmittelbarer Nachbarschaft der bestehenden Anlage oftmals unwirtschaftlich und/oder von den Platzverhältnissen her nicht möglich ist, sind Alternativen zu den herkömmlichen Bauweisen zu entwickeln, die gestatten, dass während täglicher Sperrpausen von beispielsweise 12 Stunden instandgesetzt wird, während die übrige Zeit für den Schleusenbetrieb zur Verfügung steht. Darüber hinausgehende, ein- oder mehrwöchige Sperrungen sollen nur in Ausnahmefällen eingerichtet werden. Dieser nachfolgend als „Instandsetzung unter Betrieb“ bezeichnete Ansatz wird gegenwärtig im Rahmen eines gemeinsamen BAW/WSV-Vorhabens intensiv verfolgt.

2. Definition

Unter „Instandsetzung unter Betrieb“ werden im Rahmen des vorliegenden Projektes Instandsetzungs- bzw. Ersatzmaßnahmen am Massivbau und am Stahlwasserbau von Schleusenanlagen verstanden, welche

- innerhalb eng bemessener Zeitfenster,
- bei grundsätzlicher Aufrechterhaltung der Funktion der Anlage/des Schifffahrtbetriebs,
- mit dem Ziel einer langfristigen Weiternutzung der Anlage

durchgeführt werden. Die für die Instandsetzung akzeptablen und damit verfügbaren Zeitfenster variieren projekt- bzw. wasserstraßenspezifisch erheblich. Bei bislang geplanten bzw. ausgeführten Maßnahmen reichen die Zeitfenster von 4 Stunden täglich bis hin zu mehrwöchigen Sperrzeiten für die Schifffahrt. Für besonders umfassende Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb dürften Zeitvorgaben erforderlich sein, wie sie momentan für die Instandsetzung und Verlängerung der Schleuse Schwabenheim vorgesehen sind (siehe auch entsprechenden Kolloquiumsbeitrag):

- Täglich: 12 h
- 1 x jährlich: 4 bis 6 Wochen
- 12 x insgesamt: 60 h
- Gesamtbauzeit: maximal 3 Jahre

Außerhalb der Sperrzeiten muss die Schleusenanlage für die Schifffahrt ohne signifikante Einschränkungen nutzbar sein.

Die unter Betrieb durchzuführenden Instandsetzungsmaßnahmen müssen in ihrer Qualität derart beschaffen sein, dass eine langfristige Weiternutzung der entsprechenden Bauwerke über viele Jahrzehnte hinweg möglich ist.

3. Historie, aktuelle Baumaßnahmen

Die Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb ist nicht erst mit Aufnahme der Aktivitäten im hier vorgestellten Projekt ab etwa 2014 ein Thema. Bereits in 2001 wurden beispielsweise seitens der BAW in Zusammenarbeit mit Universitäten und Baufirmen erste Überlegungen angestellt, die Kammerwände der Schleuse Obernau am Main unter Betrieb instand zu setzen. Dieser Ansatz wurde damals allerdings u. a. wegen der fehlenden Erfahrung mit derartigen Maßnahmen, aber auch mit Verweis auf fehlende Komplettlösungen für eine Instandsetzung unter Betrieb nicht realisiert.

Etwa zeitgleich wurde für die Schleuse Eckersmühlen am Main-Donau-Kanal vorbeugend ein Konzept für eine Instandsetzung unter Betrieb bis zur Ausführungsreife entwickelt für den Fall, dass der frostbedingte Betonabtrag an den Kammerwänden ein kritisches Stadium erreichen würde. Umgesetzt werden musste dieses Konzept bislang noch nicht, weil der geringe Schadensfortschritt dies nicht erforderlich macht. Der in diesem Zuge entwickelte schnell erhärtende Spritzmörtel wurde in 2003 im Rahmen einer Probemaßnahme an einem Kammerwandblock der mittleren Kammer der Schleuse Feudenheim am Neckar eingesetzt. Bei dieser Maßnahme, welche in Reschke (2011) umfassend dokumentiert ist, wurde der abgängige Stampfbeton im Randbereich der Kammerwand zwischen Planie und Unterwasserstand durch Fräsen abgetragen und durch eine zweilagig bewehrte und verankerte Spritzbetonschicht mit einer Stärke von etwa 25 cm ersetzt. Zudem wurden in diesem Block Poller mit aufwendigen Verankerungen im geringfesten Altbeton eingebaut. Alle genannten Arbeiten wurden von Pontons aus innerhalb von Schifffahrtssperren von 4 bzw. 8 Stunden ausgeführt.

Eine weitere Instandsetzungsmaßnahme unter Betrieb wurde an der Schleuse Wedtlenstedt realisiert (siehe Bild 2). Hier wurde in den Jahren 2010/2011 der obere Kammerwandbereich auf einer Höhe von etwa 3 m nach vorherigem Betonabtrag mittels Fertigteilen reprofiliert (siehe u. a. Bartel (2011)).



Bild 2: Instandsetzung der Kammerwände der Schleuse Wedtlenstedt mit Fertigteilen unter Betrieb (Quelle: BAW)

In 2012 wurden die Alternativen „Instandsetzung unter Betrieb“ und „Neubau der Schleusenanlage“ für die Schleuse Obernau nochmals kritisch abgewogen. Die Instandsetzung unter Betrieb wurde als technisch realisierbar, mangels Erfahrungen im Hinblick auf Ausführungsrisiken und damit einhergehende unplanmäßige Sperrzeiten aber als noch zu riskant eingestuft. Gleichzeitig wurde aber der Beschluss gefasst, eine Schleusenkammer einer Mehrkammeranlage nicht konventionell, sondern unter Betrieb instand zu setzen. Ausgewählt wurde hierfür die Schleusenanlage Schwabenheim am Neckar, welche über zwei baulich voneinander getrennte Schleusenkammern verfügt (siehe eigenen Kolloquiumsbeitrag).

Aktuell wird die Instandsetzung der Kammerwände der Ruhrschleuse Raffelberg unter Betrieb geplant, die baupraktische Umsetzung ist ab 2018 vorgesehen.

In 2006 wurde die Schleuse Rahe am nicht zur WSV gehörenden Ems-Jade-Kanal quasi erneuert, indem komplett vorgefertigte Kammerblöcke und Häupter an Stelle des ursprünglichen Bauwerks im Schutz einer Stahlspundwand eingeschoben und abgesenkt wurden. Der Betrieb der Schleuse innerhalb täglicher Zeitfenster wurde hierbei aufrecht erhalten, lediglich während der Einschubvorgänge musste der Betrieb für 36 Stunden ruhen. Die gewählte Instandsetzungsvariante erfolgte auf Basis eines Sondervorschlags des mit der Bauausführung beauftragten Unternehmens.

Aktuell werden im Zuge eines umfangreichen Ausbaus des Södertälje-Kanals in Schweden u. a. die Kammer der bestehenden Schleusenanlage verbreitert sowie deren beiden Häupter erneuert. Die neuen Häupter sollen hierbei in temporären trockenen Baugruben neben dem Kanal hergestellt und anschließend in kurzen Sperrpausen an den endgültigen Bestimmungsort bewegt werden (siehe auch hier gesonderten Kolloquiumsbeitrag).

Im weiteren Sinne ist auch der Austausch von Schleusentoren innerhalb von planmäßigen, ein- bis zweiwöchigen Schifffahrtssperren, wie beispielsweise am Main bereits mehrfach durchgeführt oder für fünf Weserschleusen aktuell in der Planung, als Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb anzusehen (siehe entsprechende Kolloquiumsbeiträge).

4. Konzeption des BAW/WSV-Projektes „Instandsetzung unter Betrieb“

Mit dem BAW/WSV-Projekt „Instandsetzung unter Betrieb“ werden folgende Ziele verfolgt:

- Erarbeitung von modularen Lösungen für Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb
- Erarbeitung eines zugehörigen Informations- und Entscheidungssystems für WSV und Ingenieurbüros

Basis hierfür sind drei Säulen, anhand derer die entsprechenden Informationen generiert werden sollen:

- Begleitung/Nutzung entsprechender WSV-Projekte
- Durchführung eigener Untersuchungen
- Nutzung von Informationen aus entsprechenden Projekten Dritter

Ganz wesentliche Bedeutung kommt hierbei der Instandsetzung der Doppelschleuse Schwabenheim zu, bei der nahezu alle wesentlichen Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb realisiert werden sollen. Im Einzelnen sind hier folgende Baumaßnahmen unter Betrieb geplant:

Linke Kammer (Grundinstandsetzung):

- Flächige Betoninstandsetzung der Wände
- Instandsetzung der Häupter mit Umbau des Füllsystems einschl. Energieumwandlung
- Erneuerung der Antriebstechnik

Rechte Kammer (Grundinstandsetzung und Schleusenverlängerung):

- Instandsetzung des Oberhauptes mit Umbau des Füllsystems einschl. Energieumwandlung
- Erneuerung der Antriebstechnik
- Unterwasserseitige Schleusenverlängerung

Da bei der Planung derartig komplexer Maßnahmen einerseits umfassendes bauausführungsspezifisches Know-how zwingend erforderlich ist und weil andererseits eine angemessene Risikoverteilung zwischen Auftraggeber und bauausführender Firma angestrebt wird, soll diese Maßnahme ab dem Jahr 2018 im Rahmen eines wettbewerblichen Dialogs geplant, vergeben und ausgeführt werden.

Der zu erstellende Modulbaukasten für das BAW/WSV-Projekt „Instandsetzung unter Betrieb“ wurde in einem ersten Schritt wie folgt kategorisiert:

- Temporäre Trockenlegung
- Betonabtrag
- Reprofilierung
- Ersatzneubau Häupter
- Austausch Stahlwasserbau
- Fugeninstandsetzung
- Lokale Betoninstandsetzung

Die Instandsetzungsmaßnahmen sollen weitestgehend im Trockenen durchgeführt werden, weil auf diese Weise dem Anspruch nach qualitativ hochwertiger Ausführung zielsicher Rechnung getragen werden kann. Die temporäre Trockenlegung und Wiederbefüllung der Schleusenkammer bzw. von Teilen hiervon innerhalb kurzer Zeiträume, welche ja die eigentliche verfügbare Arbeitszeit innerhalb der täglichen Sperrpausen weiter reduzieren, ist deshalb ein zentrales Element innerhalb des Gesamtprojektes.

Innerhalb der einzelnen Kategorien wurden Verfahren identifiziert und hinsichtlich ihrer Bearbeitung im Projekt priorisiert. Für die Reprofilierung sind dies beispielsweise die Verfahren

- Spritzbeton (schnell erhärtend, verankert, bewehrt),

- Spritzbeton (schnell erhärtend, textilbewehrt),
- dünne Fertigteile als verlorene Schalung,
- massive Fertigteile,
- Beton (schnell erhärtend, verankert, bewehrt) ,
- Beton (schnell erhärtend, textilbewehrt).

Zu den einzelnen Verfahren liegen teilweise bereits Wissen und Erfahrungen in unterschiedlicher Bearbeitungstiefe vor. Teilweise sind Verfahren auch schon in vergleichbaren Situationen in der Praxis angewendet worden. Vor diesem Hintergrund wurden fünf Bearbeitungsstufen definiert, denen die vorhandenen Informationen zugeordnet werden:

1. Grundsätzliche Machbarkeit
2. Entwurfsplanung
3. Ausführungsplanung
4. Bauteilversuch/Mockup
5. Ausführung

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, die wichtigsten Verfahren möglichst bis auf die Bearbeitungstiefen 4 oder 5 hin zu entwickeln, weil bereits erprobte Verfahren die Akzeptanz auf Seiten der Bauwerksverantwortlichen und deren Planer erfahrungsgemäß und verständlicherweise deutlich erhöhen. Sofern Informationen auf den einzelnen Bearbeitungsstufen fehlen, sollen von BAW und ANH gezielt entsprechende Untersuchungen vorgenommen und/oder zusammen mit der WSV geeignete Pilotprojekte realisiert werden.

5. Bearbeitungsstand, nächste Schritte, Ausblick

Bislang sind im Rahmen des Projektes nachfolgende Aspekte bearbeitet worden:

- Erstellung eines Sachstandsberichtes zu Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb unter Berücksichtigung nationaler wie internationaler Aktivitäten
- Analyse der Randbedingungen bei Einkammerschleusenanlagen der WSV (Geometrien, Bauweisen etc.)
- Entwicklung von Verfahren für eine temporäre Trockenlegung (Bearbeitungstiefe Grundsätzliche Machbarkeit/Stufe 1)
- Begleitung der Planungsaktivitäten der beauftragten Ingenieurbüros für die Instandsetzung der Schleuse Schwabenheim unter Betrieb (Stufe 1/2)
- Nutzung des Verfahrens „Wettbewerblicher Dialog“ für die Instandsetzung der Schleuse Schwabenheim unter Betrieb
- Begleitung der Planungsaktivitäten zur Instandsetzung der Schleuse Raffelberg unter Betrieb (Stufe 2/3)
- Informationssammlung zu geplanten bzw. ausgeführten Maßnahmen, Integration in Modulbaukasten (u. a. Schleuse Hollage, Schleuse Rahe)

Bei der weiteren Bearbeitung soll der Fokus nunmehr auf folgenden Aspekten liegen:

- Weitere Vervollständigung des Modulbaukastens
- Initiierung und Begleitung entsprechender Maßnahmen der WSV
- Entwicklung von Verfahren für temporäre Trockenlegung (bis Stufe 4/5)
- Entwicklung von Fertigteillösung für vertikale Flächen (Kammerwände) (bis Stufe 4/5)
- Komplettlösung für die Instandsetzung von Planie und Kammerwänden bis UW-1m sowie Toraustausch (bis Stufe 4/5)
- Instandsetzungsvarianten Toraustausch (bis Stufe 4/5)
- Entwicklung Rahmenlösung für Toraustausch (zusammen mit NBA Hannover für Neubau und Instandsetzung)
- Kontinuierliche Verfügbarmachung der gewonnenen Erkenntnisse, Ergebnisse (Internetplattform)

Bei der bisherigen Bearbeitung ist auch deutlich geworden, dass die angestrebte Realisierung von Bauteilversuchen/Mockups (Stufe 4) vielfach einen nahezu gleich hohen Aufwand bedingt wie die tatsächliche Bauausführung (Stufe 5). Mit den im Projekt verfügbaren Ressourcen allein ist dieser Aufwand kaum zu bewältigen, hier ist das Projekt auf eine Unterstützung durch die WSV zwingend angewiesen. Hinzu kommt, dass Personal mit entsprechend breitem Wissensspektrum (Bemessung, Baustoffe und insbesondere Baubetrieb/Bauausführung) nur bedingt verfügbar ist.

Der Modulbaukasten soll in einer ersten Stufe im Laufe des Jahres 2018 voraussichtlich über eine Internetplattform verfügbar gemacht werden. Vorgesehen ist die weitere Integration von Bausteinen mit vorrangiger Priorität bis etwa 2020. Die Umsetzung der Instandsetzung unter Betrieb an der Schleuse Schwabenheim soll ab 2018 mit der Einleitung des wettbewerblichen Dialogs beginnen.

6. Zusammenfassung

Die wesentlichen Aspekte und Erkenntnisse des BAW/WSV-Projekts „Instandsetzung unter Betrieb“ können wie folgt zusammengefasst werden:

- Um den Anteil der Schifffahrt am Verkehr nicht zu gefährden, ist die Instandsetzung unter Betrieb (IuB) für die WSV neben Ersatzneubau und konventioneller Instandsetzung eine kaum verzichtbare Variante zur Erhaltung der Schleusenanlagen.
- Zur Sicherstellung einer angemessenen Qualität als Voraussetzung für eine langfristige Weiternutzung sollten Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb möglichst im Trockenen ausgeführt werden.
- Angesichts der projektspezifisch stark differierenden Randbedingungen ist die Verfügbarkeit modularer Lösungsansätze von besonderer Bedeutung.
- Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Lösungsansätze können als Basis für die Planung und Ausführung von Maßnahmen zur Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb genutzt werden, machen eine baumaßnahmenspezifische Bearbeitung aber nicht entbehrlich.
- Wesentliche Voraussetzung für die Akzeptanz der Instandsetzung unter Betrieb sind bereits ausgeführte Baumaßnahmen.

- Bei komplexen Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb ist die frühzeitige Einbindung der bauausführenden Unternehmen über geeignete Verfahren zur Reduzierung von Zeit- und Kostenrisiken angezeigt.

Literatur

Reschke, T. (2011): Instandsetzung unter Betrieb mit einem schnell erhärtenden Spritzbeton - Probe-
maßnahme Schleuse Feudenheim. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 93

Bartel, A. (2011): Instandsetzung von Schleusenkammerwänden unter eingeschränktem Betrieb. Ta-
gungsband zum BAW-Kolloquium „Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken“

Teilprojekt A: Modulare Lösungen für Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb

Dr.-Ing. Thorsten Reschke (BAW)

1. Zielstellung

Im Teilprojekt A werden geeignete Ansätze für die Instandsetzung von Einkammerschleusenanlagen unter Betrieb zusammengetragen, verifiziert, weiter entwickelt und ggf. neue Ansätze erarbeitet. Dabei werden alle Bauteile und Elemente einer Schleusenanlage (Kammerwände, Häupter, Kammersohle, Bewegungsfugen, Stahlwasserbau, Antriebe) berücksichtigt. Die Instandsetzungslösungen werden in einem modularen System zusammengestellt und sollen der WSV in Form eines Informations- und Entscheidungssystems an die Hand gegeben werden.

2. Instandsetzungsaufgaben unter Betrieb

Der Umfang der bislang gesammelten Instandsetzungsverfahren orientiert sich an den typischen Schäden der zur Instandsetzung anstehenden Schleusenanlagen. Im Massivbau sind insbesondere Verfahren für die flächige Betoninstandsetzung der kammerseitigen Wandflächen von Schleusenkammer und Häuptern sowie ggf. der Sohlbereiche erforderlich. Dabei müssen die Instandsetzung von Fugenschäden, in der Regel die Erneuerung der Schleusenausrüstung sowie evtl. auch Verstärkungsmaßnahmen miteinbezogen werden. Instandsetzungen im Massivbau werden häufig durch Schäden an bzw. Ersatz von Stahlwasserbauteilen veranlasst. Daher sind hier unter Betrieb taugliche Verfahren für den Austausch von Toren und Antrieben ebenfalls dringend erforderlich. In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass – auch für den Betrieb während der Instandsetzungsarbeiten – der gesamte NEM-Bereich (Nachrichten,- Elektro- und Maschinentchnik) mit in das Gesamtkonzept einbezogen werden muss.

Alle vorliegenden Erfahrungen zeigen, dass Instandsetzungsverfahren unter Wasser nur sehr beschränkt oder gar nicht realisierbar sind. Daher wurde die Machbarkeit einer temporären (partiellen) Trockenlegung von Schleusen als Grundlage für die Anwendung der Instandsetzungsverfahren unter Betrieb in einem ersten Schritt bereits nachgewiesen.

Neben den eingangs genannten typischen Schäden an der bestehenden Bausubstanz wurde zudem Bedarf für komplexe Bauverfahren wie z.B. Einschieben oder Einheben von Bauteilen identifiziert, welche sich in der Regel im Zusammenhang mit Ausbaumaßnahmen an den Wasserstraßen (Verlängerung von Schleusenkammern, Neubau von Schleusenhäuptern) ergeben können. Hier wird es als erforderlich angesehen, bereits in der Planungsphase das Know-How der Bauindustrie einzubeziehen, so dass im Projekt auch die rechtlichen Rahmenbedingungen für Ausschreibung und Vergabe solcher Verfahren betrachtet werden.

3. Modulare Lösungsansätze

Die modularen Lösungsansätze sollen alle wesentlichen Verfahrensschritte (Module) für die Instandsetzung unter Betrieb beinhalten. Basierend auf den als wesentlich erkannten Instandsetzungsaufgaben werden gegenwärtig im Projekt folgende Module betrachtet:

- Temporäre Trockenlegung
- Abbruch bzw. Betonabtrag
- Reprofilierung
- Austausch Schleusenausrüstung
- Instandsetzung von Fugen
- Austausch Stahlwasserbau
- NEM-Bereich
- Kammverlängerung
- Ersatzneubau von Häuptionen
- Rechtliche Rahmenbedingungen (Vergabe, Betrieb)

Innerhalb der Module müssen für die einzelnen Bauwerksteile (z. B. Kammerwände, Sohle, Unterhaupt, Oberhaupt) unterschiedliche Instandsetzungsansätze und -verfahren betrachtet und ausgewählt werden. Die nachfolgende Grafik zeigt beispielhaft am Modul „Reprofilierung“, welche Verfahren hier für eine Instandsetzung unter Betrieb als machbar identifiziert wurden. Neben den Bauverfahren sind jeweils auch konkrete Instandsetzungsprojekte aufgeführt, bei denen diese Verfahren in verschiedenen Bearbeitungstiefen (Machbarkeit, Planung, Ausführung) bereits zur Anwendung kamen, d. h. erste Erfahrungen bereits vorliegen.

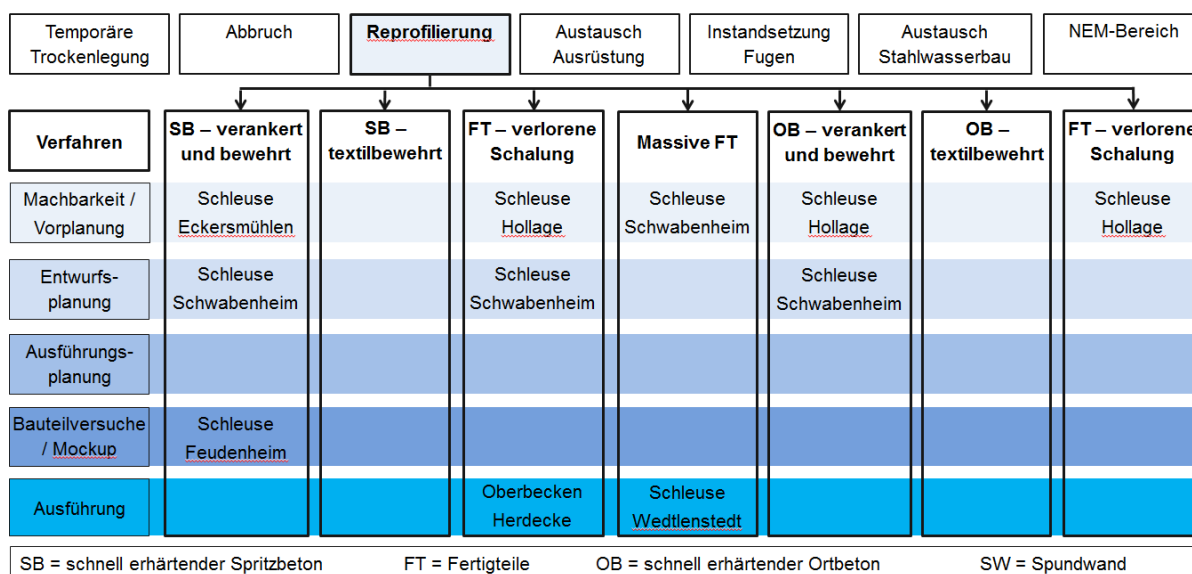


Bild 1: Überblick der Lösungsansätze für das Modul Reprofilierung (Quelle: BAW)

Für die Auswahl eines geeigneten Instandsetzungsverfahrens ist die gesamte Bandbreite bauwerks- und standortabhängiger Randbedingungen der instand zu setzenden Schleusenanlage wie beispielsweise Altbetonqualität, Bewehrungssituation oder Hubhöhe zu analysieren und zu berücksichtigen. Die geplante Struktur für diesen Auswahl- und Entscheidungsprozess ist im folgenden Bild skizziert.

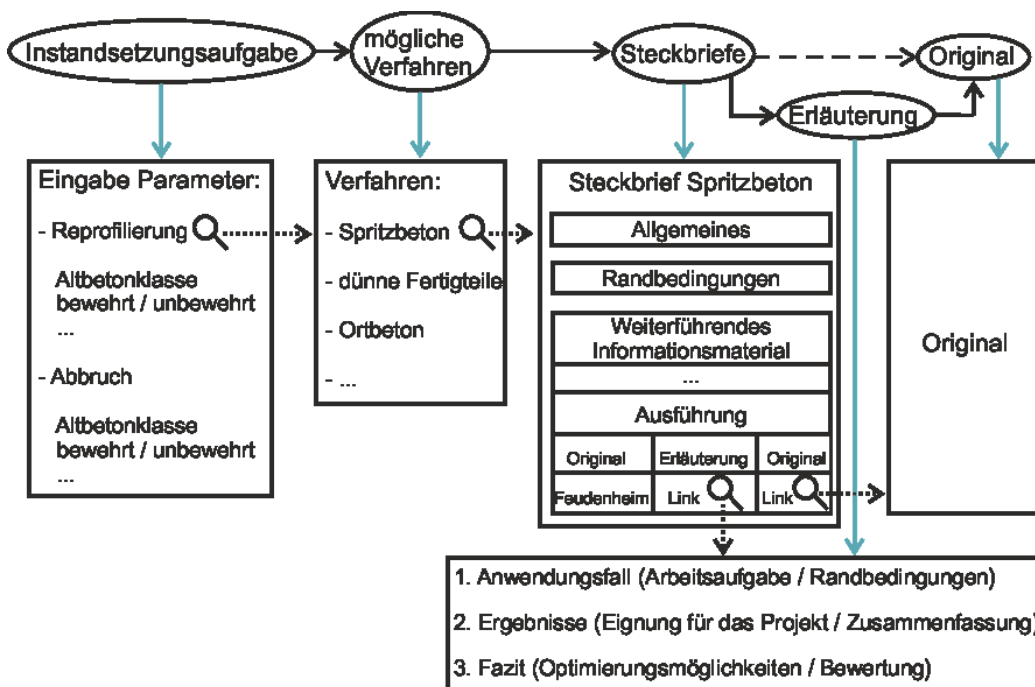


Bild 2: Systematik der Auswahl von Lösungsansätzen (Quelle: BAW)

Wie die Systematik zeigt, sind die in den einzelnen Modulen verfügbaren Verfahren zur Orientierung des Nutzers in „Verfahrenssteckbriefen“ zusammengefasst. Dort werden in komprimierter Form alle wesentlichen Informationen für den Auswahlprozess zur Verfügung gestellt (Kurzbeschreibung des Verfahrens, Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen, Überblick über verfügbare Unterlagen). Die dort verfügbaren Unterlagen besitzen – je nach bereits vorliegender praktischer Erfahrung – unterschiedliche Bearbeitungstiefen:

1. Grundsätzliche Machbarkeit/Vorplanung
2. Entwurfsplanung
3. Ausführungsplanung
4. Bauteilversuch
5. Ausführung

Zur Verfügung stehen somit Unterlagen, die mindestens einer Machbarkeitsstudie bzw. Vorplanung entsprechen. Bei Fortschritt laufender Projekte werden dann die entsprechend weiterführenden Unterlagen bis hin zur Bauausführung ergänzt. In diesem Prozess ist die Mitarbeit der WSV im eigenen Interesse unabdingbar. Nur durch Information über einschlägige Projekte sowie Bereitstellung entsprechender Unterlagen wird es möglich sein, ein für möglichst viele Anwendungsfälle der WSV nutzbares Informations- und Entscheidungssystem aufzubauen.

4. Informationstransfer

Es ist geplant, die modularen Instandsetzungslösungen im Laufe des Jahres 2018 in Form eines Informationssystems auf der Internetseite des Infozentrum Wasserbau-WSV (IZW) zur Verfügung zu stellen. Dabei sollen alle Informationen bis zur Ebene „Verfahrenssteckbrief“ (Bild 2) frei verfügbar sein. Alle in den Steckbriefen aufgeführten Unterlagen sind jedoch nicht frei verfügbar und sollen nur von registrierten Nutzern (Mitarbeiter WSV, ggf. beauftragte IB) eingesehen werden können.

Teilprojekt B: Instandsetzung Schleuse Schwabenheim – Projektvorstellung

Dr.-Ing. Jesper Steuernagel (Amt für Neckarausbau Heidelberg)

Dipl.-Ing. Michael Molck, Dipl.-Ing. (FH) Martin Strack (RMD Consult GmbH/ARGE Neckarschleusen)

1 Einleitung



Bild 1: Unterwasseransicht Schleuse Schwabenheim (Quelle: ARGE Neckarschleusen Los 1)

Die Machbarkeit einer Instandsetzung unter laufendem Schifffahrtsbetrieb soll anhand eines Pilotprojekts nachgewiesen werden. Hierzu wurde die Schleuse Schwabenheim an der Bundeswasserstraße Neckar ausgewählt. Dabei handelt es sich um eine Doppelkammeranlage, bei der beide Kammern grundinstandgesetzt werden müssen und eine Kammer verlängert werden soll. Alle Arbeiten sollen nach Möglichkeit unter laufendem Schifffahrtsbetrieb, d.h. in festgelegten Zeitfenstern, realisiert werden. Die Arbeiten an der zweiten Schleusenkammer werden erst begonnen, wenn die Instandsetzung der anderen Kammer abgeschlossen ist. So steht jederzeit eine zweite, betriebsbereite Schleusenkammer als Rückfallebene zur Verfügung. Dadurch wird sichergestellt, dass für den Fall des Auftretens von Schwierigkeiten bei der baulichen Umsetzung keine Behinderungen der Schifffahrt auftreten. Die Schleusenanlage Schwabenheim bietet sich aus verschiedenen Gründen als „Musterschleuse“ für ein Pilotprojekt an:

Die Schleuse Schwabenheim besteht aus zwei separaten, baulich voneinander getrennten Schleusenkammern, während bei den anderen Neckarschleusen die zweite Kammer an die erste angebaut wurde und sich mit dieser die Mittelmole als Schleusenkammerwand teilt. Die Übertragbarkeit der vorgesehenen Instandsetzungsmaßnahme auf Ein-Kammer-Schleusen ist daher sehr gut gegeben.

Die in den 1920er Jahren gebaute linke Schleusenkammer stellt eine typische Bauform für Massivbaus Schleusen aus dieser Zeit im gesamten Bundesgebiet dar.

Für die Instandsetzung der Schleuse Schwabenheim lag bereits eine Vorplanung vor, so dass hier keine Grundlagenermittlung und kein grundsätzliches Instandsetzungskonzept mehr erarbeitet werden mussten. In Anbetracht der ohnehin sehr langwierigen Planungsphasen ist dieser zeitliche Gewinn als sehr vorteilhaft anzusehen.

Der Umfang der erforderlichen Grundinstandsetzung der linken Kammer der Schleuse Schwabenheim betrifft eine Vielzahl von Bauteilen und Bauverfahren (u.a. flächige Betoninstandsetzung der Wände, Ersatzneubau des Oberhauptes mit Umbau des Füllsystems samt Energieumwandlung und Grundinstandsetzung des Unterhauptes), so dass realistische Bedingungen für spätere Instandsetzungsmaßnahmen von Ein-Kammer-Schleusen der WSV vorliegen.

Die Schleuse Schwabenheim liegt bis auf wenige Wohnhäuser auf der Schwabenheimer Insel in großem Abstand zu vorhandener Wohnbebauung.

Die ARGE Neckarschleusen Los 1 (RMD-Consult GmbH/ Pöyry Deutschland GmbH/ Ingenieurgruppe Bauen) wurde vom Amt für Neckarausbau Heidelberg mit der Vorplanung der Grundinstandsetzung und Verlängerung der linken Kammer der Schleuse Schwabenheim unter laufendem Schifffahrtsbetrieb beauftragt. Grundlage bzw. Ausgangssituation der Planung ist die von der ARGE zuvor erstellte Vorplanung für die konventionelle Verlängerung und Instandsetzung der linken Kammer.

2 Aufgabenstellung und Randbedingungen

Die vorgesehene Instandsetzung unter Betrieb umfasst die folgenden Maßnahmen:

- Einbau standardisiertes Stemmtor am Oberhaupt
- Tieferlegung der Sohle der Kammer um 20 cm
- Sanierung der Kammerwände mit bewehrter Vorsatzschale
- Verlängerung der Nutzlänge der Schleuse auf 140 m in Richtung Unterwasser
- Neubau Unterhaupt und Einbau standardisiertem Stemmtor

Es sind Wirtschaftlichkeit und technische Machbarkeit zu untersuchen und ggf. alternative Lösungen auszuarbeiten. Die vorgenannten Baumaßnahmen sollen unter laufendem Betrieb durchgeführt werden. Die gesamte Bauzeit sollte nach Möglichkeit einen Zeitraum von drei Jahren nicht überschreiten. Während der Bauzeit ist für den Schleusungsbetrieb ein Lichtraumprofil von mindestens 11,80 m vorzuhalten. Das statische System der Schleuse ist anzupassen, wenn die Lösungsvarianten dies erforderlich machen.

Um die Arbeiten im Trockenen ausführen zu können, wird die Kammer in mindestens zwei unabhängig voneinander trockenliegende Baubereiche eingeteilt. Die Abtrennung erfolgt durch mobile Verschlussysteme. Nachdem das Abdämmsystem installiert wurde werden die abgestellten Bereiche mittels Hochleistungspumpen gelenzt.

Es sind arbeitstägliche Schifffahrtssperren von maximal 12 Stunden vorgesehen. Abzüglich des Zeitbedarfs für den Einbau des Abdämmsystems und die Lenz- und Füllvorgänge von 4 Stunden verringert sich die tägliche Arbeitszeit für Bautätigkeiten auf 8 Stunden. Nach Möglichkeit sind alle Arbeiten in-

nerhalb der arbeitstäglichen Schifffahrtssperren zu verrichten. Für Arbeiten, die nicht während der bautäglichen Schifffahrtssperren verrichtet werden können, sind pro Jahr zwei Schifffahrtssperren von vier bis maximal sechs Wochen möglich.

3 Lösungskonzepte Grundinstandsetzung Schleusenammer

3.1 Sicherung der Kammerwände

Bevor die Schleusenammerwände und die Sohle instandgesetzt werden können, muss zunächst die Standsicherheit der Kammerwände für die bauzeitlichen Beanspruchungen sichergestellt werden.

Es werden senkrechte Anker innerhalb der Kammerwände angeordnet. Diese dienen insbesondere der Erzielung der ausreichenden Tragfähigkeit im Bauzustand. Es sind darüber hinaus Schräganker geplant, die eine Zunahme des rückdrehenden Moments über die Höhe der Kammerwände erzeugen. Wegen der erforderlichen Lage und Richtung der Anker wird am Kammerwandkopf rückseitig eine Rucksackkonstruktion aus Stahlbeton angebracht.

Durch die Ausbildung der Anker kann die ausreichende Standsicherheit der Kammerwände und der Sohle für die Bauzustände, für den Schifffahrtsbetrieb und für die zukünftige Nutzung der Schleuse nachgewiesen werden.

3.2 Instandsetzung und Tieferlegung Kammersohle

Die Sanierung der Kammer beinhaltet die Tieferlegung und Sanierung der bestehenden Sohle. Die Wassertiefe wird im Zuge des Ausbaus um 20 cm auf 3,20 m erhöht. Dadurch wird das Wasserpelster unter den Schiffen bzw. die Höhe des Flottwassers erhöht und die Einfahrt der Schiffe in die Kammer erleichtert.

Bauzeitlich ist ein Ausbruch der Sohle von ca. 50 cm notwendig. Auf diesen Ausbruch wird eine neue bewehrte Sohlschale aus Stahlbeton mit einer Stärke von 30 cm aufgebaut. Um die Sohle während des ausgebrochenen und gelenzten Zustands gegen Auftrieb zu sichern, wird die Sohle bauzeitlich mit Ankern im Erdreich unterhalb der Bauwerkssohle rückverhängt. Von Pontons aus werden Mikropfähle durch die Bauwerkssohle hindurch eingebracht. Die Kammer wird bereichsweise trockengelegt. Die vorhandene Sohle wird mit bautäglich eingehobenen Baugeräten um 50 cm abgetragen. Bewehrungsanker werden in die Bestandssohle eingebohrt. Vorgefertigte Bewehrungskörbe werden in die Kammer gehoben und dann an der Sohle eingebaut. Im Bereich vorhandener Blockfugen werden neue Dehnfugenbänder verlegt. Anschließend wird die Sohle betoniert. Dabei sind die Betonierabschnitte in ihrer Größe so zu wählen, dass die Betonage und das Abbinden des Betons innerhalb einer Arbeitsschicht beendet wird.

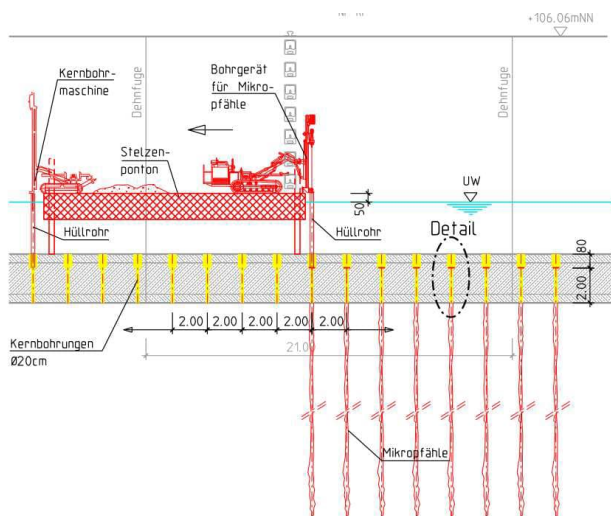


Bild 2: Längsschnitt Kammer-sohle – Einbau Auftriebssicherung
(Quelle: ARGE Neckarschleusen Los 1)

3.3 Instandsetzung Kammerwände

Für die Sanierung der Wandvorsatzschale wurden mehrere unterschiedliche Bauverfahren untersucht. Die drei Herstellverfahren Ortbeton, Spritzbeton und Fertigteile stellen jeweils für sich technisch machbare Varianten dar. Es wurden detaillierte Bauabläufe untersucht und potentielle Bauzeitenspektren entwickelt. Die Varianten wurden in einer ausführlichen Variantendiskussion mit zuvor festgelegten Bewertungskriterien bewertet, die sich in sechs Kriteriengruppen einteilen lassen:

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

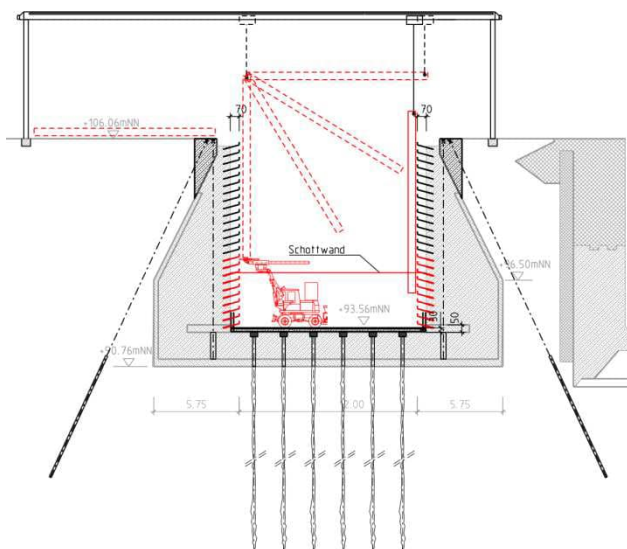
Die Variante Fertigteile geht als Vorzugslösung aus einem umfangreichen Bewertungsverfahren hervor. Die Variante betrachtet die Möglichkeit sogenannte „Pi-Platten“ oder „TT-Deckenelemente“, die vornehmlich im Fertigteildecken- und Industriebau eingesetzt werden, als vertikale Vorsatzschalenelemente zu verwenden.

Vor dem Beginn der Arbeiten innerhalb der Kammer sind vorbereitende Arbeiten, wie die Aufstellung schienengebundener Portalkräne und die Vormontage des mobilen Verschlusssystems, vorgesehen. Die Portalkräne dienen dem Einheben der mobilen Verschlusselemente sowie dem schnellen Ein- und Ausheben von Lasten wie z.B. von Baumaterialien und Geräten. Die Kräne überspannen die gesamte Kammer und die daneben liegenden Lagerflächen und können auf der gesamten Länge der Kammer verfahren werden.

Von Pontons aus wird die Wandoberfläche mit Teller- oder Walzenfräsen, alternativ auch mit Höchst- druckwasserstrahlabtrags- und Rotationsdüsen, in einer Ausbruchstärke von 60 cm abgetragen. Die

bestehende Ausrüstung der Schleusenammer wird im Zuge des Abtrags der alten Wandschale zurückgebaut bzw. mit Meißeln aus der Wand herausgebrochen. Für die neuen Ausrüstungselemente werden Nischen von 80 cm bis zu 110 cm Tiefe ausgefräst. Für die letzten 3,0 m bis 4,0 m Wandfläche bis zur Sohle wird die Kammer bereichsweise trockengelegt und die Baugeräte werden mit einem Kran in die Kammer eingehoben. Die Bewehrungsanker und die Verankerungsstäbe für die neuen Ausrüstungselemente werden von Pontons aus in die Kammerwände eingebohrt. Da die Fertigteile auf der Rückseite mit Unterzügen ausgestattet sind, ist die Maßhaltigkeit der Bewehrungsanker sehr wichtig. Die Fertigteile beinhalten bereits zwei Bewehrungslagen, so dass im Bereich der Wandflächen innerhalb der Kammer keine weiteren Bewehrungsarbeiten notwendig sind.

Die Fertigteilelemente werden mit dem Binnenschiff angeliefert und auf der Planie zwischengelagert. Anschließend werden sie mit dem Portalkran gedreht und in die Kammer eingehoben. Die Wandelemente sind ca. 11,50 m lang und zwischen 2,50 m und 3,50 m breit. Je Kammerblock und Schleusenseite werden acht Wandelemente benötigt. Die breiteren Fertigteile beinhalten Ausrüstungselemente. Nachdem die Wandelemente ausgerichtet sind, werden sie an Kopf und Fuß fixiert und es werden rückseitige Abstandshalter eingebaut. Der Einhebe-, Fixierungs- und Ausrichtungsvorgang kann nahezu jederzeit unterbrochen werden. Es ist nicht zwingend notwendig, dass innerhalb einer Arbeitsschicht alle acht Wandelemente eines Blocks eingebaut werden. Nachdem ein Block vollständig eingebaut wurde, erfolgt der Einbau von Fugenfüllplatten und Schalungselementen zur seitlichen Abstellung der Wandelemente an den Kammerblockenden. Die Betonage des Zwischenraums hinter den Fertigteilen erfolgt blockweise unabhängig vom Schiffs- und Schleusungsverkehr.



*Bild 3: Querschnitt Kammer – Herstellung FT-Wandvorsatzschale
(Quelle: ARGE Neckarschleusen Los 1)*

Im Anschluss an die Arbeiten an den Wandflächen erfolgt unabhängig von Schiffs- und Schleusenbetrieb der Neubau der Planie. Der Einbau der Schwimmpoller und Leitern senkrecht zur Schleusenachse erfolgt in Ortbetonbauweise in dafür freigehaltenen Lücken.

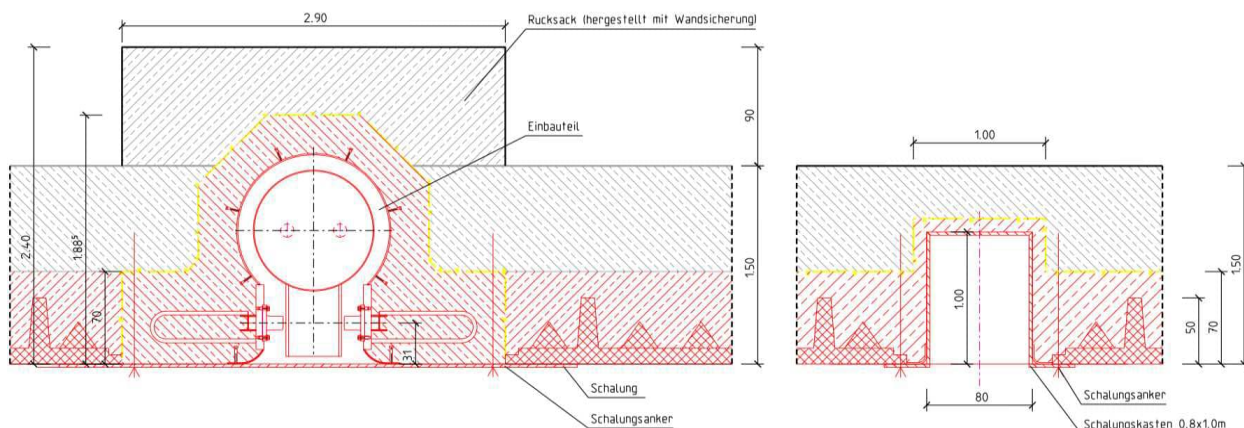


Bild 4: Einbaudetail Schwimmpoller und Leiternischen (Quelle: ARGE Neckarschleusen Los 1)

4 Grundinstandsetzung und Umbau Oberhaupt

4.1 Variantenentwicklung

In der Planung wurde eine große Anzahl von Varianten entwickelt. Dabei wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt und untersucht:

- Verwendung standardisierter Bauteile (Stemmtor, Befüllsystem und Energieumwandlung)
- Verwendung eines dem Bestandtor baugleichen Tores
- Erhalt bzw. Sanierung des vorhandenen Befüllsystems und der vorhandenen Energieumwandlung
- Entwicklung individueller Bauteile (Befüllsystems, Energieumwandlung)

Für die Herstellung wurden sowohl herkömmliche als auch alternative Bauverfahren wie Einschwimmen und Einschleiben betrachtet. Die vorgenannten alternativen Bauverfahren können jedoch aufgrund der örtlichen Randbedingungen am Standort Schwabenheim nicht zum Einsatz kommen.

Für die Lage des neuen Oberhauptes wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht. Der Bau des neuen Oberhauptes innerhalb des ersten Kammerblocks führt zu einer zu großen Verschiebung des Unterhauptes in Richtung Unterwasser und wurde daher nicht weiter verfolgt. Die Sanierung und der Umbau des bestehenden Hauptes wurden vertiefend betrachtet. Torausbau, Überarbeitung der hydraulischen Kontur durch Abbruch und Umbau des Dremfels und der Einbau des neuen Stemmtors müssen in direkter Abfolge innerhalb einer sechswöchigen Schifffahrtssperre ausgeführt werden. Treten dabei Verzögerungen auf, führt dies unweigerlich zu einer nicht wieder einholbaren Verzögerung des Gesamtbauablaufs. Es besteht ein erhebliches Risiko die vorgegebene Dauer der Schifffahrtssperre zu überschreiten. Daher wird die Variante als nicht zielführend eingestuft.

Die Vorzugsvariante beinhaltet die Errichtung eines neuen Bauwerks für das Obertor und den Torwenderaum vor dem bestehenden Haupt. Eine neue Energieumwandlung und das neue hydraulische Befüllsystem werden innerhalb des bestehenden Oberhauptes und im ersten Kammerblock eingebaut. Für die Errichtung des Torwenderaumes werden die Baugruben der Wände als Spundwandkästen errichtet. Anschließend erfolgt der Unterwasseraushub innerhalb der Spundwandkästen. Es wird eine verankerte Unterwasserbetonsohle eingebaut. Der Aufbau der neuen Wände inklusive der neuen Tor-

und Revisionsverschlussnischen erfolgt im Schutz der Spundwände außerhalb des Schiffahrtsquerschnitts.

Die weiteren Arbeitsschritte erfolgen im Bereich des Schiffahrtsquerschnitts und sind innerhalb der bautäglichen Schiffahrtssperren auszuführen. Es folgt der Einbau einer Unterwasserbetonsohle. Im Bereich zwischen zwei stirnseitigen Querschottwänden wird der Sohlanschlag für den neuen oberwasserseitigen Revisionsverschluss eingebaut. Nachdem die Revisionsverschlussnischen freigelegt wurden ist nun bautäglich der Revisionsverschluss (mobiles Abdämmsystem) zu setzen. Es erfolgen der Aufbau der neuen Sohle des Hauptes mit Trossenfanggrube und horizontalem Toranschlag. Außerdem werden die neuen Tornischen aus den seitlichen Spundwänden freigelegt und es erfolgt der Einbau der Tore. Innerhalb des vorderen Bereiches des ersten Kammerblocks erfolgen der Einbau eines neuen Bremsbalkens und die Herstellung der neuen hydraulischen Kontur der neuen Bremskammer. Der Schleusungsbetrieb erfolgt bis zu diesem Zeitpunkt über die alten Tore und die Torumläufe.

In einer Schiffahrtssperre von bis zu 6 Wochen werden die alten Tore entfernt und die Sohle des alten Hauptes wird tiefer gelegt. Im Bereich des Drempels erfolgt der Aufbau eines Strömungskanals. Dieser wird zukünftig das Wasser von den Füllöffnungen der neuen Tore bis zur Energieumwandlung führen. Er wird mit einer Fertigteildecke abgedeckt. Es ist davon auszugehen, dass die innerhalb der längeren Schiffahrtssperre zu verrichtenden Arbeiten mit einem Sicherheitszeitpuffer ausgeführt werden können. Mit dieser Variante können der Neubau des neuen Tores und der Rückbau des alten Tores zeitlich und örtlich voneinander entkoppelt werden.

Im Nachgang werden in bautäglichen Schiffahrtssperren die alten Torumläufe verschlossen, die alten Zylinderdrehschütze entfernt und die Umlaufkanäle verdämmt.

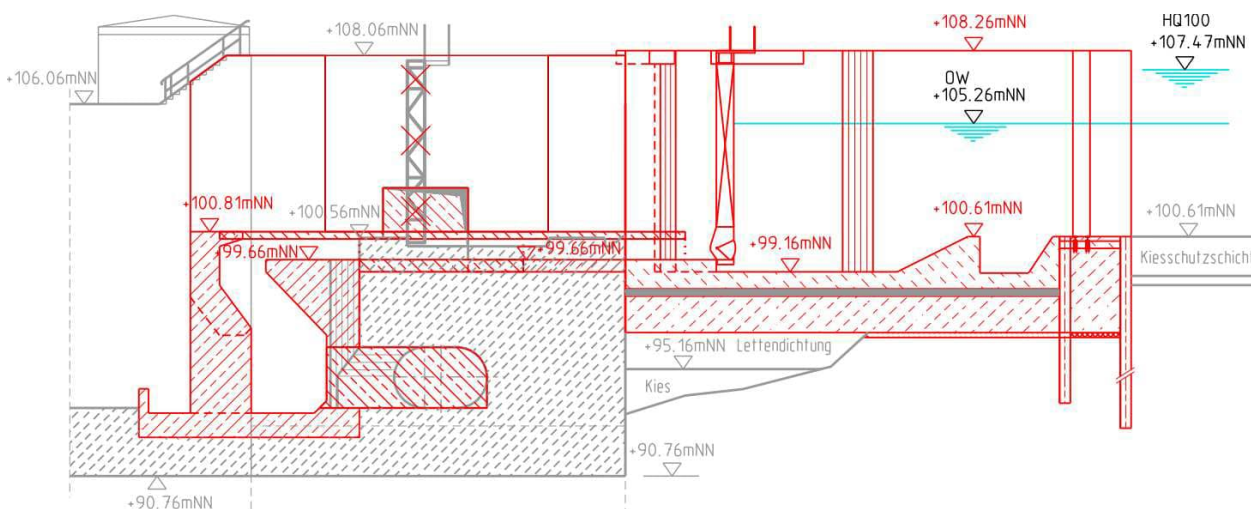


Bild 5: Längsschnitt Oberhaupt (Quelle: ARGE Neckarschleusen Los 1)

5 Verlängerung und Neubau Unterhaupt

Die Vorzugsvariante zum Bau des Oberhauptes beinhaltet aufgrund des neuen Bremsbalkens innerhalb des ersten Kammerblocks eine Verschiebung der Nutzlängenmarkierung von ca. 3,0 m in Kammerlängsachse. 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 Bestandshauptes zu einem Kammerblock.

Die Vorzugsvariante sieht die Herstellung des neuen Unterhauptes und der Kammerverlängerung mit Schwergewichtswänden und einer dazwischen hergestellten Sohle vor. Die Baugruben der neuen Wände des Hauptes und der Kammerverlängerung werden als Spundwandkästen errichtet. Danach erfolgt der Unterwasseraushub innerhalb der Spundwandkästen. Es wird eine verankerte Unterwasserbetonsohle eingebaut. Der Aufbau der neuen Wände inklusive der neuen Tor- und Revisionsverschlussnischen erfolgt im Schutz der Spundwände außerhalb des Schifffahrtsquerschnitts.

Die weiteren Arbeitsschritte erfolgen im Bereich des Schifffahrtsquerschnitts und sind innerhalb der bautäglichen Schiffahrtssperren auszuführen. Die Herstellung der neuen Haupt- und Kammersohle erfolgt analog zum Herstellverfahren des Oberhauptes.

In einer bis zu maximal sechs Wochen andauernden Schiffahrtssperre erfolgt der Einbau der neuen Stemmtorflügel. Parallel wird die Brückenplatte der neuen Unterhauptbrücke eingebaut. Anschließend erfolgen der Rückbau der alten Tore, der Torantriebe und der Abbruch der alten Unterhauptbrücke. Es ist davon auszugehen, dass die innerhalb der Schiffahrtssperre zu verrichtenden Arbeiten mit einem Sicherheitszeitpuffer ausgeführt werden können. Mit dieser Variante können der Neubau des neuen Tores und der Rückbau des alten Tores zeitlich und örtlich voneinander entkoppelt werden.

Nachdem das neue Tor in Betrieb gegangen ist, erfolgen in bautäglichen Sperrpausen die Sanierung der Wand- und Sohlflächen des Bestandshauptes, sowie die Tieferlegung der Sohle. Die alten Torumläufe werden verschlossen, die alten Schütze entfernt und die Umlaufkanäle verdämmt.

Für die Herstellung des neuen Unterhauptes wurden alternativ auch die Bauverfahren Einschieben und Einfahren eines in Ortbeton vorgefertigten Hauptes von einer benachbarten Baugrube aus untersucht. Für das Bauverfahren Einschieben werden eine Start- und Zielbaugrube benötigt. Die im Schifffahrtsquerschnitt liegende Zielbaugrube ist ggf. in einer separaten Schiffahrtssperre zu errichten. An den Baugrubensohlen sind jeweils tiefgegründete Verschubbahnen zu errichten. Start- und Zielbaugrube sind durch eine trennende Spundwand unabhängig voneinander. Die Vorfertigung des Bauwerks inklusive der Tore erfolgt innerhalb der Startbaugrube. Der zu bewegende Bauwerkskörper ist zur Reduzierung des Gesamtgewichts auszudünnen. Es sind Widerlager für hydraulische Pressen zu errichten. Die Trennwand zwischen Start- und Zielbaugrube wird auf Höhe der Verschubbahnen abgetrennt. Die Verschubbahnen innerhalb der beiden Baugruben werden kraftschlüssig miteinander verbunden. Anschließend findet der Verschub des Bauwerks mit hydraulischen Pressen statt. Sobald das Bauwerk seine Zielposition erreicht hat wird es durch in die Verschubbahnen eingelassene Lagerpressen in der Höhe ausgerichtet. Der Zwischenraum zwischen Bauwerksunterkante und Baugrubensohle

der Zielbaugrube wird mit Unterwasserbeton vergossen. Die Vervollständigung des Bauwerksquerschnitts erfolgt im Nachgang ohne Beeinträchtigungen des Schleusenbetriebs. Nachdem das neue Unterhaupt fertiggestellt ist, werden das alte Tor und die alte Brücke zurückgebaut und das neue Unterhaupt in Betrieb genommen.

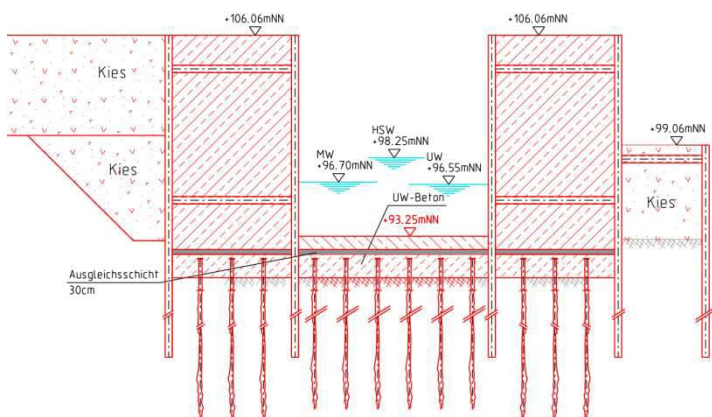


Bild 6: Querschnitt Unterhaupt (Quelle: ARGE Neckarschleusen Los 1)

6 Zusammenfassung

Im Rahmen des vertiefenden Vorentwurfs zum Projekt Grundinstandsetzung und Verlängerung der linken Kammer der Schleuse Schwabenheim unter Betrieb wurden technische Planungen für die Bauherstellung unter Betrieb aufgestellt. In Variantendiskussionen wurden für die einzelnen Teilbauwerke Oberhaupt, Kammerwände und Sohle und Unterhaupt zahlreiche verschiedene Varianten mit einander verglichen und Vorzugsvarianten herausgearbeitet.

Die überwiegenden Bautätigkeiten sind während der zwölf stündigen Schifffahrtssperren zu verrichten. Zusätzlich werden bei Um- und Neubau der Häupter mindestens zwei längere Schifffahrtssperren von bis zu sechs Wochen benötigt.

Die Herstellung der Vorzugsvarianten für die Häupter erfolgt weitestgehend unter Verwendung herkömmlicher und marktüblicher Bau- und Herstellverfahren. Die Grundinstandsetzung der Kammerwände über die gesamte Wandhöhe von ca. 12 m mittels Fertigteilen stellt für die WSV eine neuartige Verfahrensweise zur Sanierung von Wandflächen dar.

Mit der aufgestellten Vorplanung konnte nachgewiesen werden, dass unter den vorgegebenen Randbedingungen eine Instandsetzung eines kompletten Schleusenbauwerks unter Schifffahrtsbetrieb technisch möglich ist.

Für die Herstellung der drei Einzelbauwerke wurden verschiedene Herstellverfahren geprüft. Am Standort Schwabenheim gibt es hinsichtlich der Errichtung des Unterhauptes keine prinzipiellen Ausschlussgründe für alternative Herstellverfahren wie beispielsweise „Einschieben und/oder Einschwimmen“ bzw. „Einfahren“. Mit diesen Herstellverfahren können möglicherweise die längeren Schifffahrtssperren von bis zu 6 Wochen in ihrer Dauer und Häufigkeit reduziert werden.

7 Ausblick

Die Komplexität einer Schleuseninstandsetzung unter laufendem Schifffahrtsbetrieb ergibt sich im Wesentlichen aus baubetrieblichen und bauverfahrenstechnischen Randbedingungen. Planungen, bei denen Aspekte des Bauablaufs oder spezielle Bauverfahren im Vordergrund stehen, werden in der Baubranche erfahrungsgemäß vorwiegend von Baufirmen entwickelt und im Rahmen von Sonderlösungen (z.B. als Nebenangebote) eingebracht.

Um innovative Lösungen – sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht – zu erhalten, ist daher bei komplexen Baumaßnahmen grundsätzlich die frühzeitige Einbindung von Bauunternehmen in die Planung anzustreben. Ansonsten besteht ein großes Risiko, keine ausführbare Lösung zu erzielen, wenn bautechnische und baubetriebliche Randbedingungen nicht in ausreichendem Maße in der Planung berücksichtigt werden.

Die größte Herausforderung bei der Schleuseninstandsetzung unter laufendem Betrieb stellt die Erneuerung der Häupter samt Toren und hydraulischem System dar. Das Einheben, Einschieben und Einschwimmen von großen Bauwerksteilen stellt hier nach derzeitigen Erkenntnissen einen sinnvollen alternativen Lösungsweg dar. Für derartige Lösungsansätze sind jedoch entsprechende baupraktische Erfahrungen zwingend erforderlich. Diese liegen insbesondere bei Bauunternehmen vor, die bereits größere Infrastrukturprojekte abgewickelt haben.

Im vorliegenden Pilotprojekt wurde demzufolge erkannt, dass eine frühzeitige Einbindung von Bauunternehmen in die Planung für eine erfolgreiche Umsetzung zwingend erforderlich ist. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat daher zugestimmt, dass für die weitere Umsetzung des Pilotprojekts zur Grundinstandsetzung der Schleuse Schwabenheim unter Betrieb ein Wettbewerblicher Dialog durchgeführt wird. Diese Vergabeart ermöglicht die frühestmögliche Einbindung der Bewerber in die technische Lösungsfindung. Auf diese Weise können innovative technische Lösungsansätze der teilnehmenden Bauunternehmen optimal einbezogen werden. Der Teilnehmer mit der in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht überzeugendsten Lösung erhält abschließend den Zuschlag zur baulichen Umsetzung. Da die umzusetzende Planung dann weitestgehend vom Bauunternehmen stammt, kommt diesem damit auch eine entsprechend hohe Ausführungsverantwortung zu.

Quellenverzeichnis

Bilder 1 bis 6 ARGE Neckarschleusen Los 1

Temporäre Trockenlegung von Schleusen

Dominik Waleczko M.Sc (KIT/TMB)
Univ. Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno

1. Notwendigkeit für die temporäre Trockenlegung von Schleusenkammern

Um Alternativen zu Ersatzneubaulösungen für instandsetzungsbedürftige Einkammerschleusen für die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) zu erarbeiten, wurde gemeinsam von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und dem Amt für Neckarausbau Heidelberg (ANH) das Projekt „Instandsetzung unter Betrieb“ initiiert. Ziel des Projekts ist es, die langfristige Nutzungsdauer von Schleusenanlagen zu gewährleisten. Dazu ist es notwendig, eine hohe Qualität von Instandsetzungsergebnissen sicherzustellen. Hierzu sollen für alle Bauwerksbereiche und Bauteile geeignete Instandsetzungsverfahren zur Verfügung gestellt werden. Entgegen aller bisher vorliegenden Erfahrungen sind hierbei auch die Bauteile und Bereiche zu berücksichtigen, die sich unter Unterwasserstand befinden. Im Rahmen der „Instandsetzung unter Betrieb“ ist. Es sollen langfristige Sperrungen vermieden werden, weswegen die Arbeiten möglichst in arbeitstäglichen Sperrpausen erfolgen sollen. Wie von Reschke (2016, S. 72) erläutert, zeigen Erfahrungen, dass Instandsetzungsverfahren unter Wasser, wenn überhaupt, nur sehr beschränkt eingesetzt werden können. Aus diesem Grund besteht das Ziel, möglichst alle Instandsetzungsverfahren im Trockenen durchzuführen. Wie groß der Bedarf an Instandsetzungsverfahren für die Bauwerksbereiche und Bauteile unter Unterwasserstand ist, zeigen die folgenden Ausführungen.

Im Mai 2015 wurde mithilfe der Wasserstraßendatenbank (Wadaba) und dem Instandsetzungsmangementtool WSVPruf eine Erhebung über die Randbedingungen und den Zustand der Einkammerschleusen auf Bundeswasserstraßen durchgeführt (vgl. Waleczko et al. 2017). Hierbei wurde vor allem ein Fokus auf die Schleusen gelegt, die für den Wirtschaftsstandort Deutschland eine maßgebende Bedeutung haben. Um diese Anlagen zu identifizieren wurde geprüft, in welche Wasserstraßenklassen (WSK) sich diese einteilen lassen. Anhand der maßgebenden Schiffsgeometrien konnte die Zahl der Schleusenanlagen von 260 auf 120 reduziert werden. Zusätzlich zu den WSK können Wasserstraßen nach der Verkehrs- bzw. Gütertransportfunktion kategorisiert werden. Hierbei werden die Wasserstraßen den Kategorien (A, B und C) sowie den *sonstigen Wasserstraßen* zugeordnet. In Kategorie A befinden sich die Wasserstraßen mit den größten Verkehrsaufkommen. Es zeigt sich, dass 70 der 120 Anlagen der Kategorie A und weitere 22 der Kategorie B zugeordnet sind. Eine Untersuchung von Kiehne (2015) zeigt jedoch, dass insgesamt nur 115 Schleusen der Kategorie A zugeordnet werden können.

Für die Analyse des Zustandes der Anlagen wurden die Prüfberichte aus WSVPruf herangezogen. Mindestens 101 der 120 Anlagen sind in Massivbauweise hergestellt, wobei 95 Anlagen eine geschlossene Sohle besitzen. An 79 der 120 Anlagen wurden von den Bauwerksprüfern Konstruktionschäden an der Sohle erfasst. Häufig dokumentierte Schäden waren Ausbrüche, Risse sowie Ausspülungen an Fugen. In Abbildung 1 sind die Lagen der Schäden an Kammerwänden dargestellt. Die 24 Anlagen, die bei *über Unterwasser* eingeordnet sind, enthalten nur Schäden, die in der Wasserwechselzone oder darüber liegen. Bei insgesamt 64 Anlagen wurden Schäden dokumentiert, die sich über die gesamte

Kammerhöhe erstrecken. An 13 weiteren Anlagen wurden sowohl Schäden *unter Unterwasser* als auch Schäden *über Unterwasser* angegeben. An vier Kammern wurden ausschließlich Schäden *unter Unterwasser* und an 13 Kammern gar keine Schäden dokumentiert. Bei zwei Kammern wurde kein Schadensort angegeben.

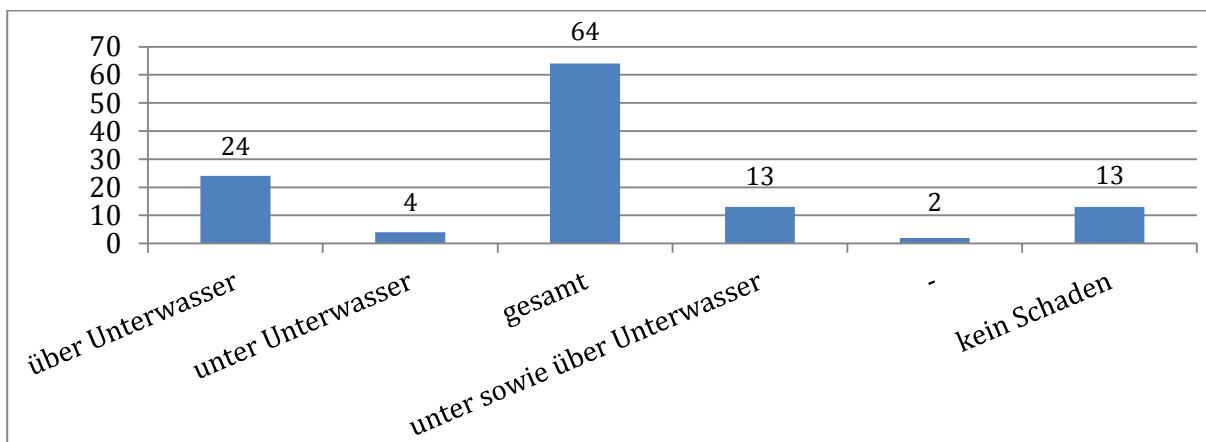


Abb. 1: Lage Konstruktionsschäden an Kammerwänden von Einkammerschleusen mit $WSK \geq IV$

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Bauwerke von unterschiedlichen Prüfern begutachtet werden. Diese setzen ggf. unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe an, weswegen unterschiedliche Prüfer beim gleichen Bauwerk die Schäden in unterschiedliche Gruppen zusammenfassen könnten. Aus diesem Grund kann keine klare Trennung zwischen den Kategorien *gesamt*, *unter Unterwasser* sowie *über Unterwasser* erfolgen. Die Ergebnisse decken sich jedoch mit den Erfahrungen, dass für Kammerwände grundsätzlich die drei folgenden Instandsetzungsfälle unterschieden werden können:

- Instandsetzung nur über Unterwasserstand
- Instandsetzung über Unterwasserstand bis 1 m unter Unterwasserstand
- Instandsetzung über die gesamte Kammerwandhöhe

Sofern die Instandsetzungsarbeiten unter trockenen Randbedingungen durchgeführt werden sollen, ist für die beiden letztgenannten Fälle mindestens eine temporäre Wasserspiegelabsenkung in der Kammer erforderlich. Durch eine Machbarkeitsstudie des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sowie einer Variantenuntersuchung des Neubauamtes (NBA) Hannover wurden erste Lösungen erarbeitet. (vgl. Münzl et al. (2017) und Neubauamt Hannover (2013))

2. Systeme zur temporären Trockenlegung von Schleusenkammern

In einem ersten Schritt wurden im Jahr 2014 vom TMB anhand einer nationalen sowie internationalen Literaturstudie und Marktrecherche Wasserabschottungssysteme ermittelt, die bislang an Schleusen und in anderen Bereichen des Wasserbaus bzw. des Hochwasserschutzes eingesetzt werden. Auf dieser Grundlage sind elf Systemvorschläge entstanden, wie eine partielle Trockenlegung realisiert werden könnte. Anhand einer dreigliedrigen qualitativen Bewertung wurden zwei Vorzugsvarianten ermittelt, die auf ihre Eignung in Bezug auf das Pilotprojekt des ANH *Grundinstandsetzung und Verlänge-*

Die Schleuse Schwabenheim überprüft wurden. Die qualitative Bewertung wurde anhand von Bewertungskriterien aus den fünf unterschiedlich gewichteten Kategorien Ausschlussmerkmale, Funktionsfähigkeit, Qualität, Aufwand Vorplanung und Handhabung durchgeführt. Zu den Kriterien zählten u.a. Lastabtrag/Sicherheit, Ein- und Ausbaugeschwindigkeit, Systemgewicht sowie notwendige Vorarbeiten in der Schleusenammer. Sowohl ein einhebbares als auch ein einschwimmbares System wurden als Vorzugsvarianten weiter untersucht. Das System, das insgesamt am besten abschnitt, war die Variante Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen. Diese Variante ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

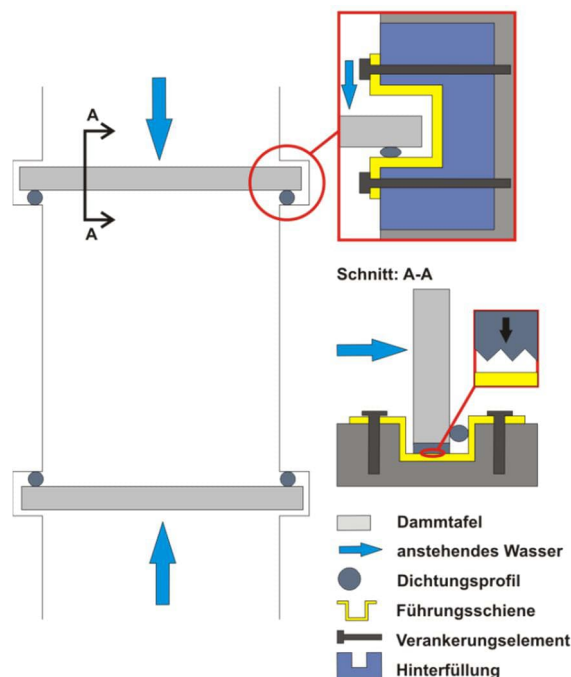


Abb. 2: Schematische Darstellung Dammtafeln in Führungsschienen (Münzl et al. 2014)

In diesem System soll eine Führungsschiene der Dammtafel als Führung und Widerlager dienen. Je nach Beschaffenheit der Schleusensole kann überlegt werden, ob die Führungsschiene in der Sohle fortgeführt oder auf Sohlniveau enden soll. Alternativ zu einer einzigen Dammtafel kann auch über den Einsatz mehrerer Dammbalken nachgedacht werden. Dies würde das einzuhebende Gewicht reduzieren, müsste bei den Ein- und Ausbauzeiten jedoch berücksichtigt werden. Die Dichtungskomponenten, die in diesem System zum Einsatz kommen, werden bereits im Hochwasserschutz und in Revisionsverschlüssen erfolgreich eingesetzt. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Vor- und Nachteile dieses Systems zusammengefasst.

Als zweites System wurde eine einschwimmbare Kombination aus Stelzenponton und Dammtafel bzw. Hubinsel und Dammtafel vorgeschlagen. Die Dammtafel ist direkt mit Stelzenponton bzw. Hubinsel gekoppelt. Die zwei Varianten sind schematisch in Abbildung 3 dargestellt. Ein maßgebender Vorteil der Hubinsel Variante ist, dass keine Vorarbeiten in der Kammer erfolgen müssen. Stattdessen muss der Raum unter der Hubinsel zusätzlich trockengelegt werden. Weiterführende Untersuchungen zeigten, dass das System zwar flexibel, allerdings ein deutlich größeres Zeitfenster für Aufbau, Trockenlegung, Flutung und Abbau erforderlich ist. Weitere Vor- und Nachteile werden hier nicht genannt, da das geforderte Zeitfenster nicht eingehalten werden kann.

Tab. 1: Vor- und Nachteile des Systems Dammtafeln in Führungsschienen (Münzl et al. 2014)

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Geringeres Gewicht der Dammtafelsegmente • Unterschiede der Kammerbreiten werden durch das Fräsen der Nischen ausgeglichen • Geringer Wartungsaufwand • Führungsschienen können für spätere Instandsetzung genutzt werden • Keine Einschränkung des Lichtraumprofils • Gefahr Verkantens durch kleine Segmente geringer • Dammtafeln nutzen Widerlager zum Lastabtrag • Definierte Betonfestigkeit hinter den Führungsschienen durch Fräsen und Verguss • Vollständige Abdichtung Eckbereiche möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau Führungsschienen: aufwendige Vorarbeiten und Schleusensperrung im Vorfeld notwendig • Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab • Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte • Erhöhte Fugenanzahl: Gefahr eines vergrößerten Volumens an Leckagewasser • Einsatz größerer Dammtafelsegmente: Verkantens beim Einhebevorgang in Widerlager möglich

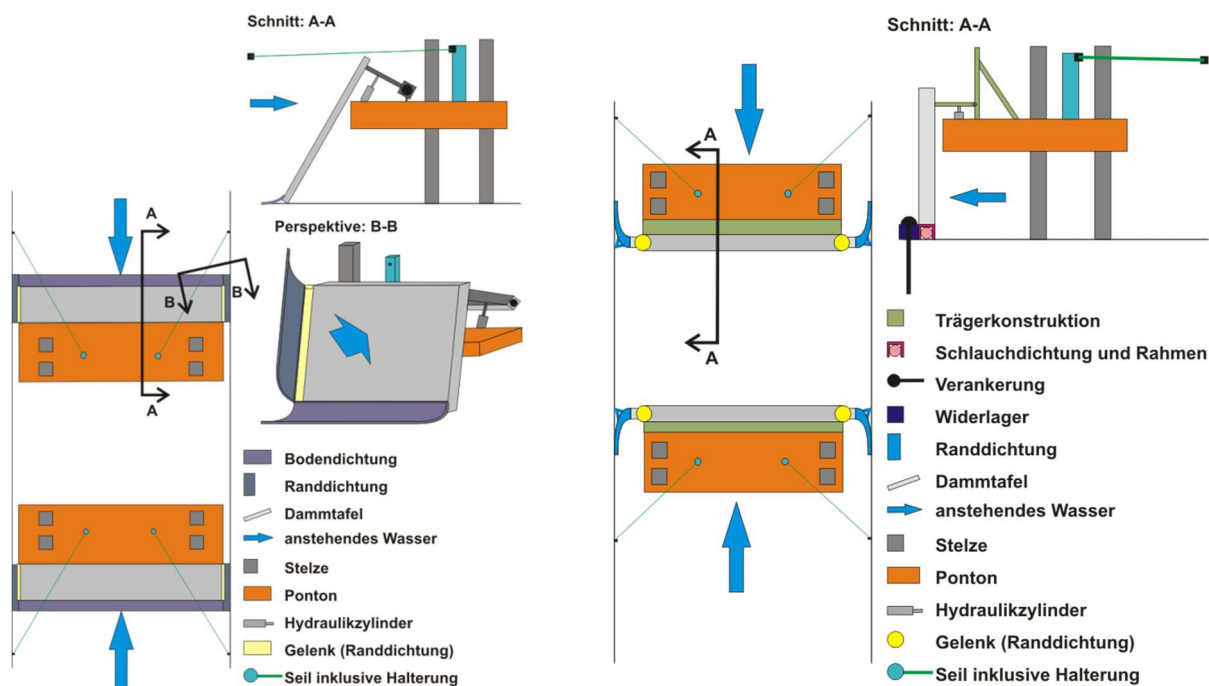


Abb. 3: Variante Dammtafel mit Hubinsel (links) und mit Stelzenponton (rechts) (Münzl et al. 2014)

Im Nachgang an die Machbarkeitsuntersuchung des TMB wurden von der Projektgruppe „Instandsetzung unter Betrieb“ zwei weitere Systeme vorgeschlagen, die in Zukunft weiter untersucht werden sollen. Die Variante *Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in Planie und Sohle* soll die Horizontalkräfte durch mindestens vier Widerlager in das Bauwerk einleiten können. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, werden zwei Widerlager auf der Planie sowie zwei Widerlager in der Sohle vorgeschlagen. Die Widerlager in der Sohle sollen über Bohrlöcher (30 cm) realisiert werden. Um an der Sohle die Horizontalkräfte gleichmäßig abtragen zu können, sind an den HEM 160 Profilen wassergefüllte Schläuche angebracht. Auf der Planie können ebenfalls Bohrlöcher genutzt oder separate Widerlager betoniert werden. Die Widerlager auf der Planie können unabhängig vom Schleusenbetrieb und die Widerlager in der Sohle im Rahmen der vorgesehenen arbeitstäglichen Sperrpausen erstellt werden.

Bei der zweiten Alternative sind keine Arbeiten in der Schleusenkammer erforderlich. Die *L-förmige Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie* ist schematisch und im Querschnitt in Abbildung 5 dargestellt. Die Ausbildung der Widerlager auf der Planie ist identisch wie bei der bereits beschriebenen Variante. Auf die Widerlager in der Sohle wird verzichtet. Stattdessen ist die Rahmenkonstruktion L-förmig ausgebildet, damit die Vertikalkraft des anstehenden Wassers positiv genutzt werden kann. An der Sohle befindet sich ein 16 mm dickes Blech, das durch die Auflast des Wassers an die Sohle gedrückt wird. Ein Unterspülen soll durch eine umlaufende Dichtungsebene (z. B. Schlauchdichtung) verhindert werden. Das Gewicht des gesamten Systems ist somit deutlich höher als das der anderen beiden Systeme. Daraus ergibt sich ein höherer maschineller und logistischer Aufwand beim Ein- und Ausbau.

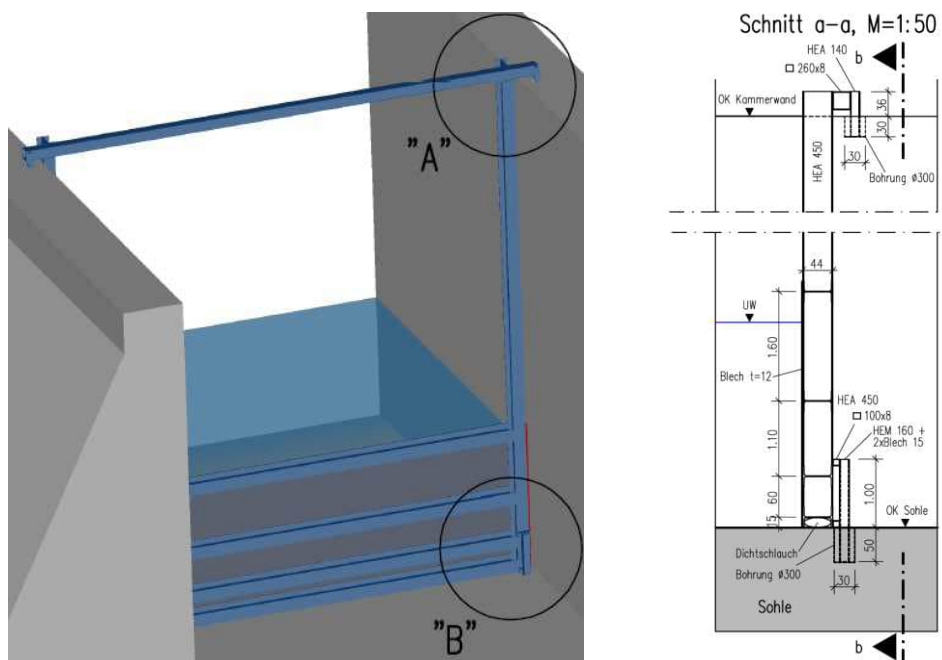


Abb. 4: Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in Planie und Sohle (Becker und Möhle 2017)

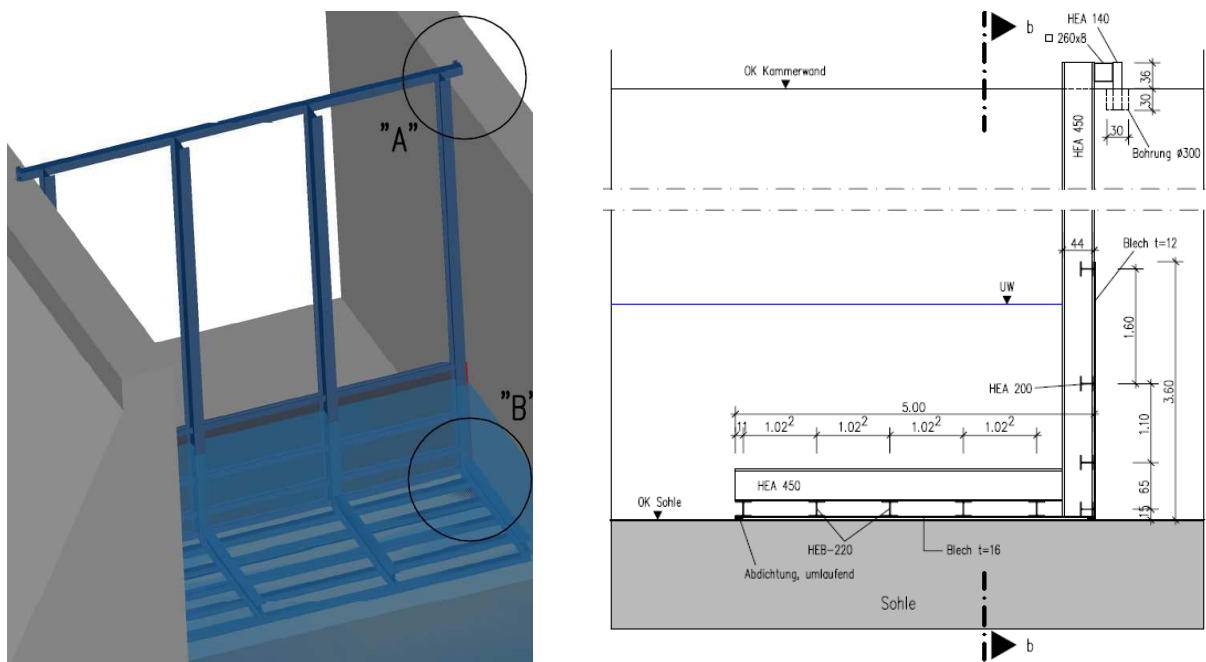


Abb. 5: L-förmige Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie (Becker und Möhle 2017)

3. Arbeitsablauf partielle Trockenlegung

Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchung des TMB wurde der Arbeitsablauf für die partielle Trockenlegung untersucht. Der Einbau der Führungsschienen wurde hierbei nur am Rande betrachtet. In der Variantenuntersuchung des NBA Hannovers wurde die Erstellung einer Revisionsverschlussnische betrachtet, weshalb sich diese Untersuchungen gut ergänzen. In der Folge sollen die Ergebnisse der Untersuchungen für die Variante *Dammtafeln in Führungsschienen* aufgezeigt werden. Zur Ausarbeitung des Arbeitsablaufs vor und nach den Instandsetzungsarbeiten wurden die Randbedingungen aus dem Pilotprojekt Schwabenheim als Grundlage herangezogen. In Abbildung 6 wird eine Übersicht über den Arbeitsablauf gegeben.

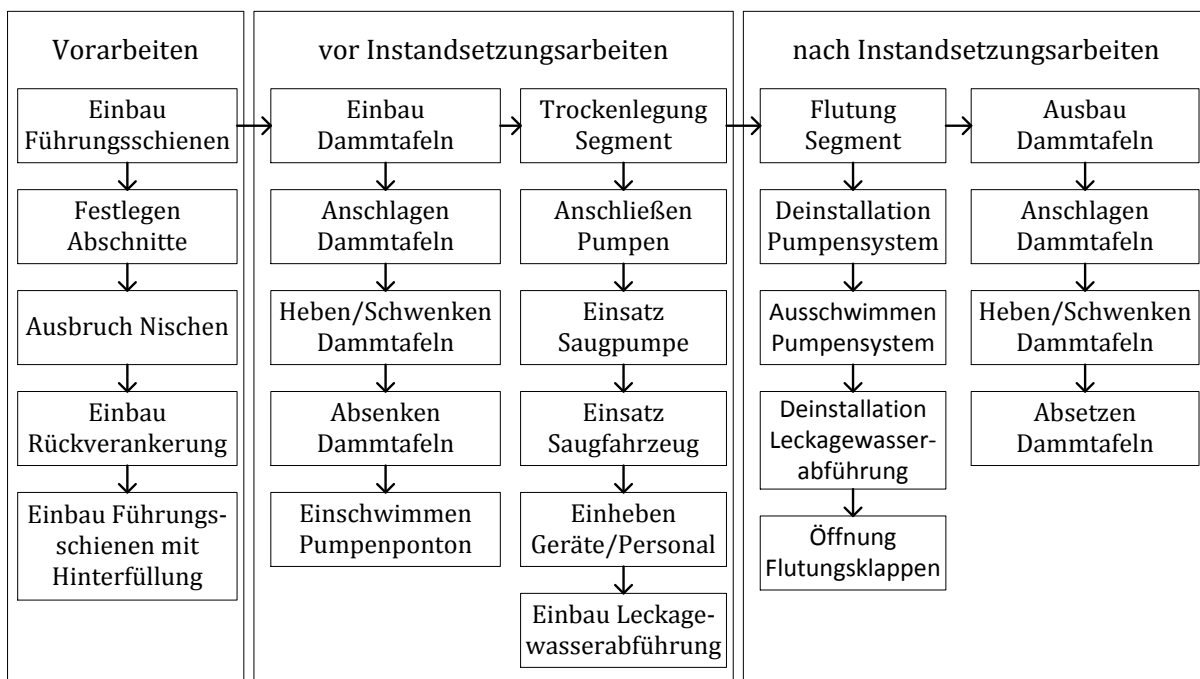


Abb. 6: Arbeitsablauf Trockenlegung Dammtafeln in Führungsschienen

Vorarbeiten

Am Beispiel der Schleuse Hollage am Stichkanal nach Osnabrück wurde vom NBA Hannover (2013) in Zusammenarbeit mit Krebs & Kiefer Ingenieure GmbH die Machbarkeit einer Grundinstandsetzung der Kammerwände unter laufendem Schiffsverkehr dargestellt. Unabhängig von den Verfahren zur Kammerwandinstandsetzung wurde der Einbau einer Revisionsverschlussnische am Unterhaupt untersucht. Um den Schiffahrtsbetrieb möglichst nicht zu stören, soll der Ausbruch der Nischen über Kernbohrungen und Sägeschnitte erfolgen. Mithilfe eines Mobilkrans werden Einbauteile für die Nische eingestellt, ausgerichtet und vergossen. Hierbei müssen die Materialanforderungen an den Vergussbeton den Vorgaben der ZTV-W LB 219 entsprechen. Für die Abbrucharbeiten, die die Schifffahrt nicht beeinträchtigen, wird mit einem dreiwöchigen Vorlauf gerechnet. Für den endgültigen Abbruch einer Nische wird eine Wochenendsperrpause angesetzt. Eine weitere Wochenendsperrpause muss für die endgültige Erstellung der Nische angesetzt werden.

Vor Instandsetzungsarbeiten

Um einen Zeitansatz für das Einbauen von Dammtafeln festlegen zu können, wurde ein fiktiver Baustelleneinrichtungsplan erstellt. Über Aufwandswerte und die angesetzten Kranwege wurde für den Einbau der Dammtafeln mithilfe von zwei Kränen eine Einbauzeit von ca. 60 min ermittelt. Die Zeitdauer für die Trockenlegung des Segments hängt maßgebend von der Geometrie und dem Wasserstand des Segments sowie der Förderleistung der Pumpen ab. Folgende Pumpen wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Zeitansätze verwendet:

- Tauchmotorpumpe Xylem Flygt 3301 mit $Q=25$ [l/min] und Mindestwasserstand 0,64 m
- Saugpumpe Börger XL 5300 mit $Q=30$ [l/min] bis Mindestwasserstand $>1,5$ m und $Q=21,67$ [l/min] ab Mindestwasserstand $\leq 1,5$ m
- Saugfahrzeug ESE 32 mit $Q=1,75$ [l/min] ohne Einfluss Mindestwasserstand

Durch das Dividieren der angegebenen Förderleistungen durch das trocken zu legende Volumen können Zeitansätze bestimmt werden. Für ein Segment mit den Abmessungen 35x12 m mit einem Wasserstand von 5 m benötigen 3 Börger XL 5300 27 min für die Trockenlegung. Hierbei ist bereits ein 0,5 m tiefer Ausbruch in einem 15 m breiten Streifen an beiden Kammerwänden berücksichtigt. Falls im Sohlbereich ebenfalls ein solcher Streifen ausgebrochen werden soll, müsste für die Trockenlegung dieser zusätzlichen Vertiefung aus baubetrieblichen Gründen ein Saugfahrzeug eingesetzt werden. Das Saugfahrzeug ESE 32 würde für das zusätzlich trocken zu legende Volumen 29 min benötigen. Hieraus resultiert eine Gesamtzeit von 56 min. Die Installation der Leckagewasserabführung kann parallel zu den Instandsetzungsarbeiten erfolgen.

Nach Instandsetzungsarbeiten

Bevor mit der Flutung des Segments begonnen werden kann, müssen die instand zu setzenden Bereiche gesichert, die Pumpen deinstalliert und ausgeschwommen sowie die Leckagewasserabführung abgebaut werden. Die Flutung erfolgt über 4 Flutungsöffnungen (0,2x0,4 m) in der unterwasserseitigen Dammtafel. Der Flutungsvorgang des bereits beschriebenen Segments dauert 41 min. Nachdem die Wasserpegel ausgeglichen sind, können die Dammtafeln in ca. 60 min ausgehoben und gelagert werden. Anschließend kann die Schleuse wieder geöffnet werden.

4. Eignung für Instandsetzung unter Betrieb und weiteres geplantes Vorgehen

Ziel der Machbarkeitsuntersuchung war es aufzuzeigen, ob der Arbeitsablauf der partiellen Trockenlegung in 240 min durchlaufen werden kann. Die Aufbereitung des Arbeitsablaufs hat gezeigt, dass dies mit der Variante Dammtafeln in Führungsschienen unter den gegebenen Voraussetzungen voraussichtlich in einer Gesamtdauer von 221 min bewältigt werden kann. Allgemein gilt, dass Schleusenkammern für die Anwendung der partiellen Trockenlegung folgende Voraussetzungen erfüllen müssen:

- Kammerwände und -sohle müssen weitestgehend wasserdicht sein.
- Die Lasten müssen in den Bestand abgeleitet werden können. Hierzu müssen Führungsschienen/Widerlager in den Bestand eingebunden/verankert werden können.
- Es muss aufgrund der Grundbruchgefahr eine geschlossene Sohle vorhanden sein.

Die Ergebnisse beruhen auf theoretischen Betrachtungen, die im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchungen und den nachträglichen Überlegungen angestellt wurden. Um diese Betrachtungen zu verifizieren, müssen mindestens praxisnahe Bauteilversuche durchgeführt werden. Aus diesem Grund wird derzeit geprüft, wie solche Bauteilversuche gestaltet werden können. Hierbei wird untersucht, welche Rahmenbedingungen für solche Versuche erfüllt sein und ob durch einen Versuchsstand auf dem Versuchsgelände des TMB belastbare Ergebnisse erzielt werden können. Sollte dies nicht ausreichen, muss geprüft werden, wie die partielle Trockenlegung realitätsnah erprobt werden kann, ohne den Schifffahrtsbetrieb zu behindern. Es besteht die Überlegung, Schleusenkammern, die zukünftig außer Betrieb gehen, für Feldversuche zu nutzen.

Neben der Vertiefung der ganzheitlichen Verfahren sollen in naher Zukunft weitere Varianten erarbeitet werden, um den Instandsetzungsfall „Instandsetzung über Unterwasserstand bis 1 m unter Unterwasserstand“ zu realisieren. Es soll geprüft werden, ob es ggf. ausreicht, die vorhandenen Schleusen-

tore so zu verstärken, dass der Wasserstand ohne weitere Dichtungsebene um 1-2 m abgesenkt werden kann. In diesem Fall könnte zusätzliche Zeit eingespart werden.

Literatur

- Becker, H.; Möhle, T. (2017): Instandsetzung unter Betrieb – Revisionsverschluß. Bundesanstalt für Wasserbau (intern)
- Kiehne, U. (2015): Zustand der Wasserbauwerke in der WSV. Tagungsband zum BAW-Kolloquium „Nachrechnung von (massiven) Wasserbauwerken“
- Münzl, N.; Schlick, H.; Waleczko, D. (2014): Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenkammern. Projektbericht im Auftrag von Bundesanstalt für Wasserbau (intern)
- Neubauamt Hannover (2013): Erläuterungsbericht zur Variantenuntersuchung Grundinstandsetzung der Schleusenkammerwände unter Betrieb am Beispiel der Schleuse Hollage. Projektbericht (intern)
- Reschke, T. (2016): Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb – Überblick. Tagungsband zum BAW-Kolloquium „Instandhaltung von Wasserbauwerken“
- Waleczko, D.; Haghsheno, S.; Westendarp, A. (2017): Instandsetzung von Einkammerschleusen unter laufendem Betrieb – Notwendigkeit eines Entscheidungsunterstützungssystems zur Verfahrensauswahl. Tagungsband zum TAE-Kolloquium „Erhaltung von Bauwerken“

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

Dipl.-Ing. Thomas Boehme, Dipl.-Ing. Tobias Rolf (Züblin Spezialtiefbau GmbH)

Kurzfassung

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 werden im Rahmen der Planung die beiden Varianten Einschub- und Einschwimmverfahren untersucht.

1. Technische Historie des Södertälje-Kanals

Der Södertälje-Kanal in Schweden verbindet als Schifffahrtsstraße den Mälarsee (Mälaren) im Hinterland von Stockholm über den Saltsjön mit der Ostsee. Der Mälarsee ist nach dem Vänern und dem Vättern der drittgrößte Binnensee Schwedens und wird mit Seeschiffen befahren.

Im kommerziellen Verkehr dient der Södertälje-Kanal der Anbindung der Häfen Västerås und Köping, die beide am Mälarsee gelegen sind. In den Sommermonaten wird der Kanal zudem von zahlreichen Sportbooten genutzt.

Historisch betrachtet geht die Nutzung dieser Wasserstraße auf die Wikingerzeit zurück. Durch postglaziale Landhebungen war die Verbindung jedoch zwischenzeitlich nicht mehr nutzbar. Erst als im Jahr 1819 eine erste Schleuse fertiggestellt wurde, war wieder durchgängige Schifffahrt auf der Strecke des Södertälje-Kanals möglich [1].

In den Jahren 1917 bis 1924 erfolgte ein erster umfangreicher Ausbau des Kanals. Im Zuge dessen wurde auch die heute noch in Betrieb befindliche Schleuse Södertälje erbaut [2].

Die bestehende Schleuse ist mit einer Kammergröße von 135,00 m x 19,60 m und einer Drempeltiefe von 8,00 m (bei mittlerem Wasserstand) noch heute die Größte im Königreich Schweden. Abbildung 1 zeigt ein historisches Foto aus der Bauzeit.

Die Hubhöhe der Schleuse ist von den Wasserständen im Mälarsee und dem Saltsjön abhängig. Nach den aktuellen Bemessungswasserständen beträgt die mittlere Differenz zwischen Ober- und Unterwasser etwa 0,80 m. In seltenen Fällen steigt der Wasserstand im Saltsjön (Unterwasser) über den des Mälarsees (Oberwasser), so dass die Schleuse in diesen Fällen auch das Eindringen des stärker salzhaltigen Wassers des Saltsjön in den Mälarsee verhindert. Dies ist wichtig, da der Mälarsee u.a. der Landeshauptstadt Stockholm als Bezugsquelle für ihr Trinkwasser dient.



Abbildung 1: Bau der bestehenden Schleusenanlage (Quelle: Sjöfartsverket)



Abbildung 2: Drehtore am Oberhaupt der bestehenden Schleuse

Die beiden Häupter der Schleuse sind mit Drehtoren ausgestattet (siehe Abbildung 2). Die Füllung und Entleerung der Schleusenkammer erfolgt durch das langsame Öffnen der Tore am Ober- bzw. Unterhaupt.

2. Ausbau des Södertälje-Kanals im Rahmen des Mälärprojektes

Um den Anforderungen der für die Zukunft erwarteten Schifffahrt gerecht zu werden, ist von der schwedischen Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung „Sjöfartsverket“ unter dem Namen „Mälärprojektet“ ein umfangreicher Ausbau des Södertälje-Kanals geplant und ausgeschrieben worden.

Bestandteile des Mälärprojektes sind neben der Modernisierung der Schleusenanlage auch der Ausbau des Kanalquerschnittes durch den Einbau von Spundwänden anstelle der geböschten Ufer. Ein Begegnungsverkehr wird so auch für größere Schiffe ermöglicht.

Zudem werden vor allem im Bereich der vorhandenen Brücken neue Leitwerke erstellt, die die verkehrstechnisch zum Teil sehr bedeutsamen Brücken (u.a. Querung Europastraße E4) über den Kanal im Havariefall vor Beschädigungen durch große Schiffe schützen sollen.

Vor dem Unterhaupt der zu erneuernden Schleusenanlage ist außerdem die bestehende durch eine neue Klappbrücke zu ersetzen, um der vergrößerten Durchfahrtsbreite gerecht zu werden.

Der Auftrag zur Umsetzung des Mälärprojektes wurde als Ergebnis einer europaweiten Ausschreibung an die Züblin Scandinavia AB vergeben. Die Vergabe erfolgte als Design-and-Build-Vertrag, in dessen Rahmen vom ausführenden Unternehmen noch umfangreiche Planungsleistungen zu erbringen sind. Die Ausschreibungsplanung entspricht in etwa einer Vorplanung nach dem Maßstab der HOAI.

Zur Umsetzung des Projektes wurde mit Sjöfartsverket auf Grundlage eines Garantierten-Maximalpreis-Vertrages (GMP) eine partnerschaftliche Zusammenarbeit vereinbart.

3. Technische Anforderungen an die neue Schleusenanlage

Der Ausbau der Schleusenkammer besteht aus einer Vergrößerung der Nutzlänge von derzeit 135,00 m auf 170,00 m und der Kammerbreite von 19,60 m auf 25,30 m. Die Drempeltiefe der Schleuse bleibt durch den Ausbau unverändert, so dass die mit Betonfertigteilen gesicherte Sohle der Schleusenkammer weitgehend bestehen bleiben kann.

Als Verschlüsse am Ober- und Unterhaupt sind zwei baugleiche Drehsegmenttore vorgesehen. Ein drittes Drehsegmenttor ist als Ersatzteil zu liefern und im Schleusenbereich zu lagern.

Für die beiden Drehsegmenttore sind je 5 Betriebslagen vorgesehen. Im Normalbetrieb ist neben der Geschlossen- und Geöffnet-Stellung eine Öffnung des Schleusentores um 5° vorgesehen, über welche die Füllung und Entleerung der Schleusenkammer realisiert wird. Füllmuscheln an den Toren werden somit nicht erforderlich.

Als Antriebstechnik ist ein zweiseitiger hydraulischer Antrieb vorgesehen. Dieser wird so dimensioniert, dass bei Ausfall eines Antriebs das jeweilige Schleusentor mit dem verbleibenden Antrieb (unter verminderter Geschwindigkeit) weiter betrieben werden kann.

Ferner werden noch eine Wartungs- und eine Montagelage vorgesehen. In der Wartungslage ist u.a. ein Säubern der Torgrube und eine Inspektion der Dichtungsanschlänge möglich. In der Montagelage ist das Tor senkrecht nach oben gestellt und ragt vollständig aus dem Wasser heraus. Auch eine vollständige Inspektion des Tores im Trockenen ist auf dieser Weise möglich.

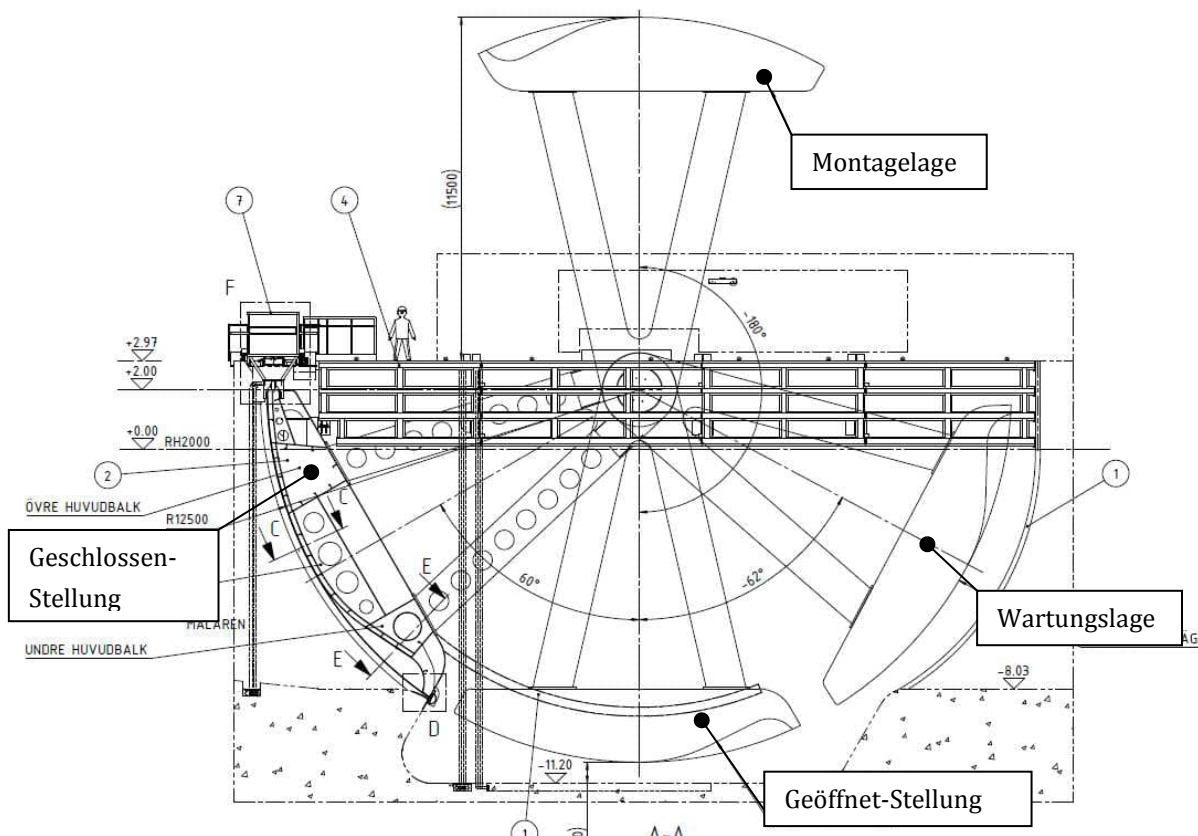


Abbildung 3: Betriebslagen der neuen Drehsegmenttore (Quelle: Sjöfartsverket)

Die Wartungs- und Montagelage werden nicht über die regulären hydraulischen Schleusenanstriebe angefahren; stattdessen ist für das Einstellen dieser Lagen planmäßig der Einsatz von Mobilkränen vorgesehen. Eine Darstellung der verschiedenen Betriebslagen zeigt Abbildung 3.

Als Besonderheit zu erwähnen ist, dass die Herstellung der Drehsegmenttore vollständig aus einem nicht beschichteten Lean-Duplex-Edelstahl vorgesehen ist (Werkstoffnummer 1.4162). Hierdurch soll eine Lebensdauer der Schleusentore von 100 Jahren erreicht werden.

Infolge des Klimawandels wird erwartet, dass bis zum Jahr 2100 jene Betriebszustände stark zunehmen werden, in denen der Wasserspiegel des Saltsjön (Korrelation mit der Ostsee) über dem des Mälarsees liegen wird. Während dieser Zustand derzeit durchschnittlich nur wenige Stunden im Jahr eintritt, werden derlei Ereignisse künftig auf bis zu 5 Wochen im Jahr prognostiziert. Um auch diesen künftigen Betriebszuständen zu entsprechen, werden die beiden Drehsegmenttore als doppelkehrende Verschlüsse mit entsprechenden Dichtungsprofilen ausgeführt.

Die Planung und Bemessung der Baugrube für die Schleusenhäupter, des Massivbaus sowie der Stahlkonstruktionen erfolgen auf Grundlage der jeweiligen Eurocodes unter Berücksichtigung der zugehörigen schwedischen Anwendungsregeln gemäß nationaler Anhänge [3], [4], [5], [6], [7].

Zur Definition der besonderen Anforderungen an ein Schleusenbauwerk wurden für die Bereiche der Schleusenausrüstung und den Stahlwasserbau hingegen die entsprechenden DIN-Normen als Planungsgrundlage vereinbart [8], [9], [10], da für den schwedischen Raum hierfür keine entsprechenden Regelwerke vorliegen.

4. Ersatzneubau der Häupter

Die möglichst durchgängige Verfügbarkeit der Wasserstraße während der Baumaßnahme ist eine maßgebliche Anforderung in der Ausschreibung des Auftraggebers gewesen. Die nach den Vertragsunterlagen maximal zulässige Sperrpause der Schleuse beträgt 7 Tage. Insgesamt sind während der gesamten Bauzeit nur 5 Sperrungen dieser Dauer zulässig.

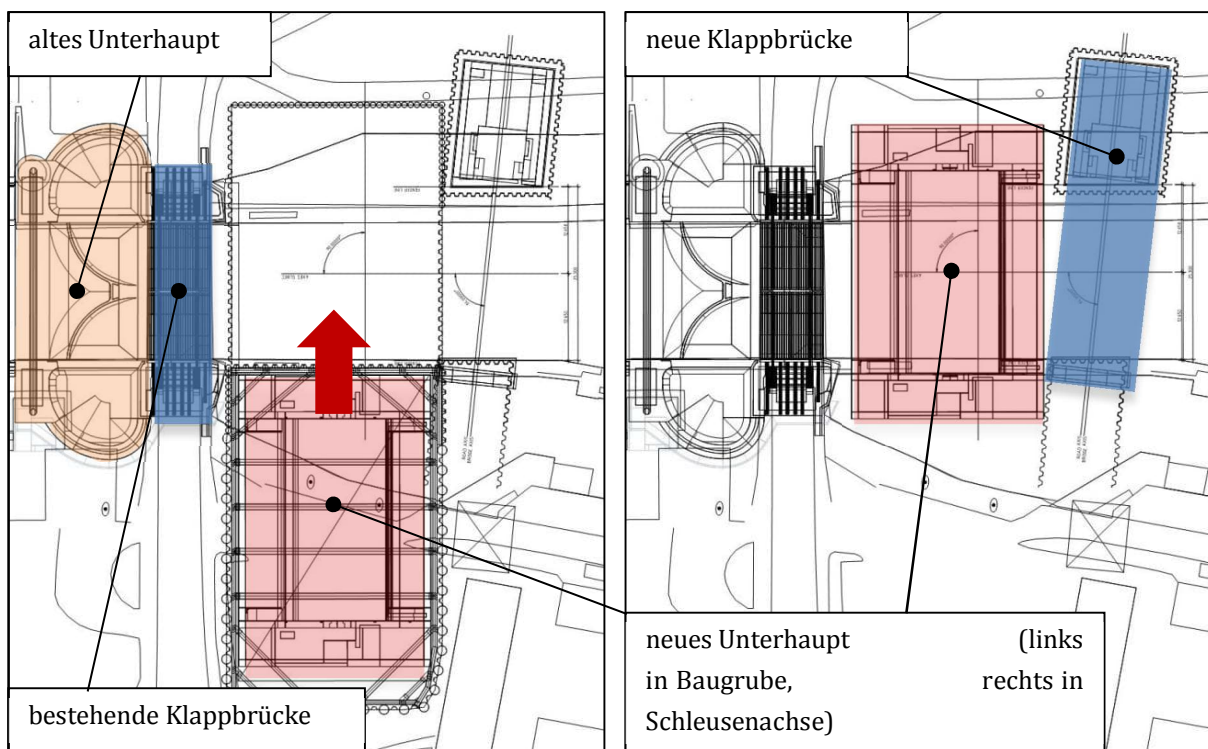


Abbildung 4: Lageplan mit altem und neuem Unterhaupt und Klappbrücken

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 hierfür erforderlichen Baugruben mit einer Tiefe von 17,2 m werden mittels einer kombinierten Wand (Kombiwand) aus Stahlrohren (\varnothing 1420 mm) und Spundwandprofilen AZ 26-700, einer rückverankerten 1 m dicken Unterwasserbetonsohle und einer weiteren einlagigen Baugrubenaussteifung am Kopf der Kombiwand hergestellt.

In den trockenen Baugruben kann dann nach Abschluss der Massivbauarbeiten der Häupter bereits ein großer Teil der Tor- und Antriebstechnik eingebaut sowie diverse Inbetriebsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Die Abbildung 4 zeigt einen Lageplan des Unterhauptes vor und nach dem Einbringen des Bauwerks in die Schleusenachse sowie die Lage der Klappbrücke vor und nach dem Ersatzneubau.

Da das Bewegen der Häupter aus den Baugruben in den Kanalquerschnitt unterhalb der weiterhin lastabtragenden Baugrubenaussteifungsebene zu erfolgen hat, können die oberhalb der Häupter vorgesehenen aufgehenden Betriebsgebäude erst nach dem Erreichen der endgültigen Positionen der Bauwerke errichtet werden.

4.1 Bisherige Erfahrungen mit verschiedenen Bauverfahren

Das Bewegen von Bauteilen oder von ganzen Bauwerken ist im Bereich des Ingenieurbaus heute ein gängiges Verfahren.

Ein Pilotprojekt des sogenannten Taktschiebeverfahrens für Spannbetonrücken war Anfang der 1960er Jahre der Bau der Brücke über den Río Caroní in Venezuela. Züblin war hieran im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft beteiligt [11]. Seitdem hat sich der Vershub von Brückenbauteilen kontinuierlich zu einem häufig angewandten Bauverfahren entwickelt. Mit dem Kaisersaal in Berlin wurde im Jahr 1996 durch Züblin innerhalb einer Arbeitsgemeinschaft ein bestehendes Gebäude mit einem Gewicht von ca. 1.000 t erfolgreich um ca. 75 m verschoben [12].

Unter Anwendung eines Einhebeverfahrens wurde die Schleuse Rahe in Ostfriesland erneuert. Dies erfolgte ebenfalls unter eng bemessenen Sperrzeiten. Eine Binnenschleuse (nutzbare Kammerabmessungen ca. 70,0 x 8,6 m) wurde hierbei in einzelnen Fertigteilen hergestellt. Diese wurden anschließend unter laufendem Betrieb in den Schleusenquerschnitt eingehoben und dann mit einem selbstverdichtenden Unterwasserbeton oder alternativ mit einem hoch fließfähigen Zementleim vergossen [13].

Überlegungen zur Herstellung von Schleusenhäuptern im Einschubverfahren wurden im Bereich der WSV bereits bei der Schleuse Schwabenheim angestellt. Seitens der BAW wurde dabei darauf hingewiesen, dass sich für solche Bauverfahren eine frühzeitige Einbindung der Bauindustrie empfiehlt [14].

Das Einschwimmen und Absenken von Bauwerken im Wasser ist ein Verfahren, das bislang vor allem bei tunnelartigen Bauwerken angewandt worden ist. Im Bereich der WSV erfolgte bspw. der Neubau des Emscher-Durchlasses am Rhein-Herne Kanal mit diesem Verfahren [15]. In Stockholm führte Züblin innerhalb einer Arbeitsgemeinschaft vor kurzem den Bau des Söderströmstunnels in dieser Bauweise erfolgreich aus [16].

4.2 Ausführungsvariante Einschubverfahren

Bei Beginn der Planung für die Schleuse Södertälje war seitens Züblin das Bewegen der Häupter aus den Baugruben in den Kanalquerschnitt mittels Vershub vorgesehen. Dieses Verfahren wurde im Rahmen der Projektbearbeitung bereits detailliert geplant.

Es war beabsichtigt, den Vorschub auf speziellen Schienenkonstruktionen auszuführen, die auf der Baugrubensohle und im Kanalquerschnitt zu verlegen und zu verankern gewesen wären. Diese Schie-

nen hätten hierbei gleichermaßen die Führung der Häupter und die Rückverankerung der Hydraulikpressen übernommen. Das regelmäßig notwendige Versetzen der Hydraulikpressen während des Verschiebeprozesses wäre automatisiert ohne zusätzliche Montagearbeiten unter Wasser möglich gewesen.

Da in den trockenen Baugruben der Lastabtrag der zu betonierenden Häupter nicht allein über die Schienenkonstruktionen hätte erfolgen können, hätten die verbleibenden Zwischenräume mit Sand oder Gesteinskörnung verfüllt werden müssen, so dass sich ein vollflächiger Lastabtrag auf die trocken gelegte Unterwasserbetonsohle ergeben hätte. Nach Flutung der Baugruben und Aktivierung der auf die Häupter wirkenden Auftriebskräfte wäre ein Ausspülen der lastabtragenden Verfüllung unter Tauchereinsatz erfolgt.

Zum Verschieb der Häupter wäre nach Installation der Hydraulikpressen im gefluteten Zustand ein erster Funktionstest der Verschiebeeinrichtung durchgeführt worden. Nach dem Entfernen des kanalseitigen Verbaus wäre dann der planmäßige Verschieb erfolgt.

Bezüglich der Schienenkonstruktionen für den Verschiebeprozess ist zwischen der geplanten Konstruktion in der trockenen Baugrube neben dem Kanal und der unter Wasser gelegenen Konstruktion im Kanal zu unterscheiden gewesen.

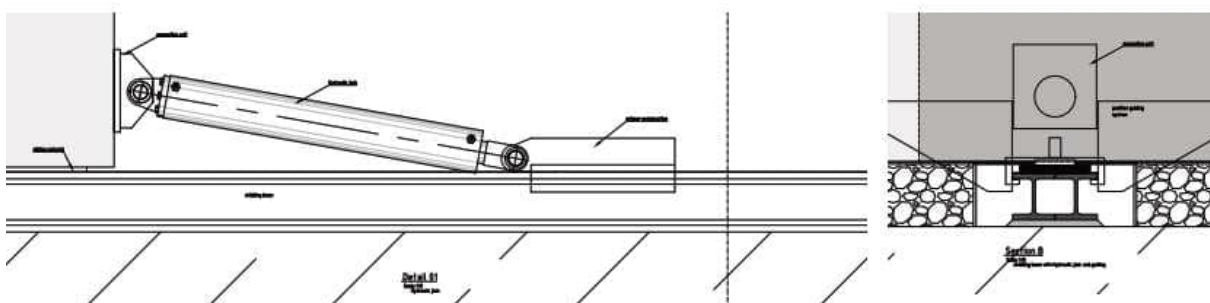


Abbildung 5: Geplante Schienenkonstruktion für den Verschiebeprozess.

Während die Konstruktion in der Baugrube auf der trocken gelegten Unterwasserbetonsohle zielsicher herstellbar gewesen wäre, hätte im Kanalquerschnitt der Einbau einer Schienenkonstruktion unter Wasser auf einer Unterwasserbetonsohle durch Bautaucher erfolgen müssen.

Die geplante Schienenkonstruktion mit einer Hydraulikpresse für den Verschiebeprozess ist in Abbildung 5 dargestellt. Vor dem Verschiebeprozess hätten umfangreiche Kontrollen und Messungen zur Sicherstellung der korrekten Positionierung der Schienenkonstruktion durchgeführt werden müssen.

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Risikoanalyse

Im Rahmen der baubegleitenden Planung des Ersatzneubaus der Häupter wurde parallel zum Verschieb auch das Einschwimmen an den endgültigen Bestimmungsort untersucht.

Mithilfe einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und einer Risikoanalyse der beiden Bauverfahren wurde festgestellt, dass das Umstellen des Bauverfahrens vom Einschubverfahren zum Einschwimmverfahren

ren sowohl wirtschaftlich, als auch technologisch überwiegende Vorteile bringt. Es wurde daraufhin beschlossen, im Weiteren das Einschwimmverfahren als bevorzugtes Bauverfahren zu verfolgen.

Als vorteilhaft hat sich vor allem der Verzicht auf die aufwändige Schienenkonstruktion unter Wasser gezeigt. Der Einbau der Schienen unter Wasser hätte einen bedeutend umfangreicheren Einsatz von Tauchern erforderlich gemacht, als dies beim Einschwimmverfahren notwendig ist. Neben den anfallenden hohen Kosten stellen Taucherarbeiten grundsätzlich auch ein hohes Sicherheitsrisiko dar.

Zudem zeigten sich bei der Detaillierung des Einschubverfahrens Risiken, die nur schwer zu evaluieren waren. Hier ist insbesondere der Reibungswert zwischen den Schienen und der Sohle der Häupter zu nennen, der durch Verschmutzungen (bspw. Sandablagerungen) maßgeblich negativ beeinflusst werden könnte. Die Verschublasten hätten sich hierdurch so stark erhöhen können, dass die Kraft der planmäßigen Hydraulikpressen nicht mehr ausgereicht hätte und zusätzliche Maßnahmen notwendig geworden wären.

4.4 Ausführungsvariante Einschwimmverfahren

Bei Anwendung des Einschwimmverfahrens können hingegen nun sowohl die aufwändigen Schienenkonstruktionen, als auch die unter Wasser zu betreibenden Hydraulikpressen entfallen.

Maßgeblich für die erfolgte Wahl des Einschwimmverfahrens waren auch erhebliche zeitliche Vorteile. Durch den Entfall der Schienenkonstruktion ist es nunmehr möglich, die Massivbauarbeiten sofort nach Trockenlegung der Baugrube zu beginnen. Um später den sicheren Auftrieb des Bauteils zu gewährleisten, ist unter den Sohlen der Häupter lediglich eine wasserdurchlässige Schicht aus Schotter oder Drainbeton vorzusehen.

Das spätere Bewegen der Häupter im Einschwimmverfahren erfordert hingegen insbesondere hinsichtlich der Sicherstellung des detailliert auszutarierenden Auftriebes und der erforderlichen Schwimmstabilität sehr sorgfältige Vorbereitungen und Berechnungen.

Der erforderliche Auftrieb der Häupter soll durch den Einbau von temporären Schottwänden auf beiden Stirnseiten der Häupter erreicht werden. Derzeit ist es vorgesehen, diese Schotte auf Basis einer herkömmlichen Systemschalung unter Verwendung zusätzlicher Queraussteifungen zu errichten. Der gesamte Bereich der Tormaske steht somit als Auftriebskörper für das jeweilige Haupt zur Verfügung.

Das Bauteilgewicht eines Hauptes beträgt während des Einschwimmens etwa 11.000 Tonnen. Ohne Ballastierung der abgeschotteten Tormaske beträgt das Gewicht des verdrängten Wassers etwa 14.000 Tonnen.

Ferner gilt es bei der Auftriebsplanung zu beachten, dass der Freibord nur so hoch eingestellt wird, dass ein sicheres Unterqueren der oberen Baugrubenaussteifungen möglich ist (siehe Abbildung 6). Die Feinjustierung des Freibordes erfolgt durch eine kontrollierte Ballastierung des Bauteils in verschiedenen Kammern.

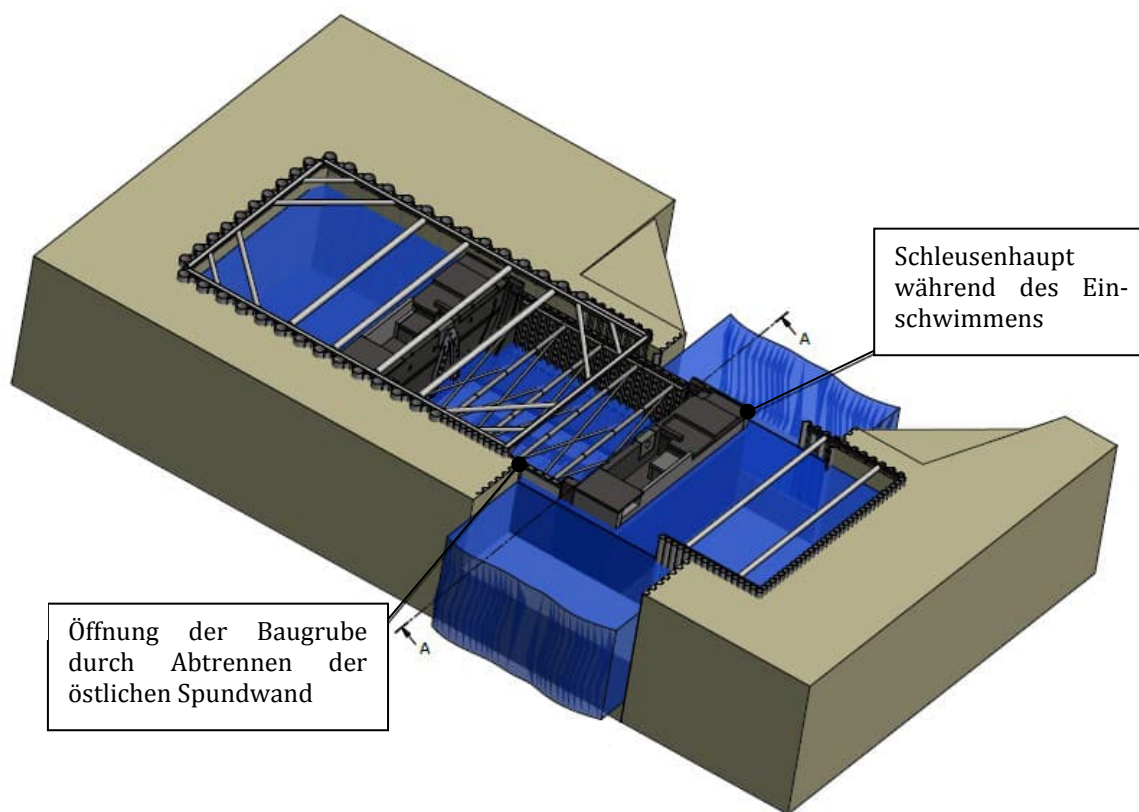


Abbildung 6: Schleusenhaupt während des Einschwimmvorgangs

Der Einschwimmvorgang selbst muss in einer frühzeitig zu beantragenden Sperrpause der Schleuse erfolgen. Nach dem Erreichen der endgültigen Position erfolgt das kontrollierte Absenken des Hauptes. Hierfür werden derzeit entsprechende Hydraulikvorrichtungen geplant.

Nach der höhenmäßigen Ausrichtung erfolgt eine kraftschlüssige Verfüllung unterhalb der Sohle des eingeschwommenen Bauteils. Hierfür können neben Unterwasserbeton auch Injektionskissen (sog. Grout-Bags) zum Einsatz kommen, welche bereits beim Bau des Söderströmstunnels erfolgreich eingesetzt worden sind.

Anschließend erfolgt der Einbau der Schleusentore und die abschließende Inbetriebnahme der Antriebs- und Steuerungstechnik sowie der Rückbau der alten Häupter.

5. Verbreiterung der Schleusenkammer

Als weitere Baumaßnahme im Bereich des Schleusenbauwerkes erfolgt die Verbreiterung der Schleusenkammer von 19,60 m auf 25,30 m. Zu diesem Zweck wird die bestehende rückverankerte Spundwandkonstruktion auf der Ostseite der Schleusenkammer temporär zu einer ursprünglich in diesem Bereich vorhandenen Böschung zurückgebaut.

In diese Böschung wird eine neue Spundwand eingebracht und mit einem Kopfbalken aus Stahlbeton ergänzt. Die Rückverankerung der neuen Kammerwand ist mit Ankertafeln vorgesehen.

Auf der gegenüberliegenden Seite bleibt die vorhandene Kammerwand bestehen und wird weiterhin genutzt. Die Sicherung der verbreiterten Kammersohle erfolgt mit Betonfertigteilen analog zur bestehenden Sohlsicherung. Abbildung 7 zeigt den Ausbau der Schleusenkammer in einem systematischen Schnitt.

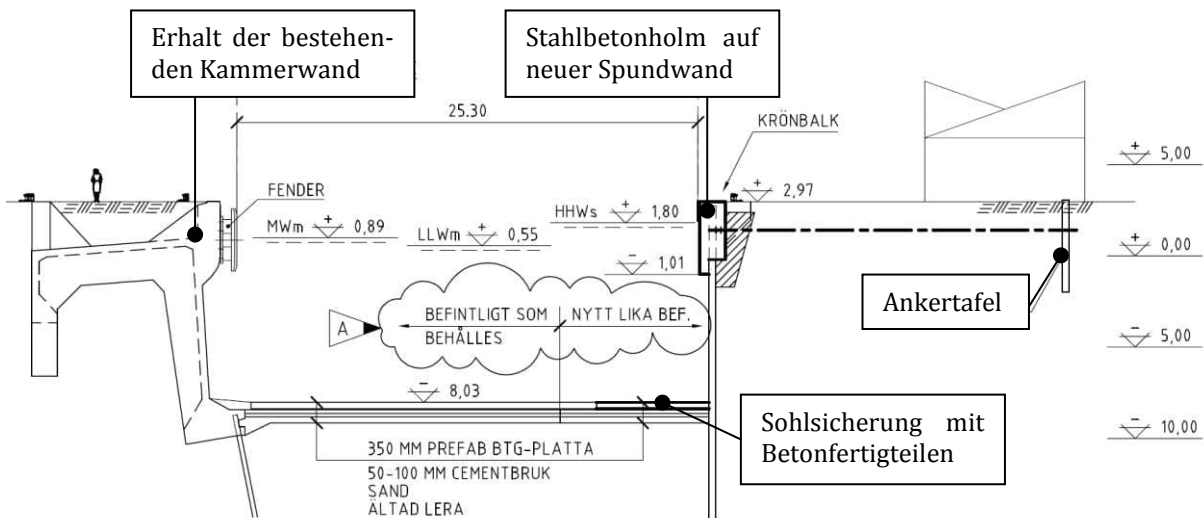


Abbildung 7: Ausbau der Schleusenkammer im Querschnitt (Quelle: Sjöfartsverket)

6. Aktueller Stand der Arbeiten und Ausblick

Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Arbeiten an den Baugrubenumschließungen für die neuen Häupter nahezu abgeschlossen. Parallel arbeiten das Technische Büro Tiefbau der Ed. Züblin AG (TBT) sowie niederländische und schwedische Planungsbüros (MH Poly Consultants & Engineers b.v., Iv-Infra b.v. und Sting - Svenska Teknikingenjörer AB) an der Fertigstellung der Ausführungsplanung für die Erneuerung der Schleusenanlage und der Klappbrücke.

Die Betonage der Unterwasserbetonsohlen und das Lenzen der Baugruben sind nach dem aktuellen Zeitplan für den Beginn des nächsten Jahres (2018) vorgesehen. Unmittelbar anschließend sollen die Massivbauarbeiten an den Häuptern beginnen. Die Fertigstellung soll mit Betriebsfreigabe der Schleusenanlage bis Ende des Jahres 2019 erfolgen.

Das Gesamtprojekt hat ein Auftragsvolumen von ca. 127 Mio. €.

Abbildung 8 zeigt eine Visualisierung der Schleusenanlage nach Fertigstellung der Ausbaumaßnahmen.



Abbildung 8: Visualisierung der fertiggestellten Schleusenanlage (Quelle: Sjöfartsverket)

Literaturverzeichnis

- [1] Bring, Samuel E.: Södertälje kanals historia till 1819. In: Södertälje Kanal: Historik och beskrivning utg. med anledning av öppnandet av kanalen i des ombyggda skick den 17. Nov. 1924 av Kungl. Vattenfallsstyrelsen, Stockholm, 1924.
- [2] Lawski, Lars: Södertälje kanal efter 1819 och des ombyggnad 1916-1924. In: Södertälje Kanal: Historik och beskrivning utg. med anledning av öppnandet av kanalen i des ombyggda skick den 17. Nov. 1924 av Kungl. Vattenfallsstyrelsen, Stockholm, 1924.
- [3] SS EN 1997-1:2005: Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules. Swedish Standards Institute, Stockholm.
- [4] SS EN 1992-1-6:2005: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Swedish Standards Institute, Stockholm.
- [5] SS EN 1993-1-1:2005: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Swedish Standards Institute, Stockholm.
- [6] SS EN 1993-1-4:2006: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-4: General rules - Supplementary rules for stainless steels. Swedish Standards Institute, Stockholm.
- [7] BFS 2015:6 - EKS 10: Boverket mandatory provisions amending the board's mandatory provisions and general recommendations (2011:10) on the application of European design standards (Eurocodes), EKS. Boverket - National Board of Housing, Building and Planning, Stockholm.
- [8] DIN 19703:2014-06: Schleusen der Binnenschiffahrtsstraßen - Grundsätze für Abmessungen und Ausrüstung. Beuth Verlag, Berlin.
- [9] DIN 19704-1:2014-11: Stahlwasserbauten - Teil 1: Berechnungsgrundlagen. Beuth Verlag, Berlin.

- [10] DIN 19704-2:2014-11: Stahlwasserbauten - Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung. Beuth Verlag, Berlin.
- [11] Leonhardt, Fritz; Baur, Willi; Trah, Wolfgang: Brücke über den Rio Caroni, Venezuela. Beton- und Stahlbetonbau 61 (1966), Heft 2, S. 25 - 38.
- [12] Brand, Thomas; Sänger, Christof; Werner, Jürgen: Die Verschiebung des Kaisersaals. Bautechnik 73 (1996), Heft 7, S. 421 - 428.
- [13] Lohaus, Ludger; Petersen, Lasse; Schönebeck, Dieter: Innovative Bauweisen mit Sonderbetonen: Lösung bautechnischer Herausforderungen beim Umbau der Schleuse Rahe ermöglicht Schleusenbetrieb während der Baumaßnahme. Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft 10, S. 811 - 817.
- [14] Reschke, Thorsten: Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb - Überblick. Beitrag zum Kolloquium Instandhaltung von Wasserbauwerken am 25. und 26. Oktober 2016, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.
- [15] Skrezek-Boß, Matthias; Pohl, Carsten; Terlau, Ulrich: Der Neubau des Emscher-Durchlasses am Rhein-Herne-Kanal in km 42,8. Bautechnik 88 (2011), Heft 8, S. 546 - 556.
- [16] Pöllath, Klaus; Glückert, Johannes: „Söderströmtunneln“ - Technische Herausforderungen bei Planung und Bau des Söderströmtunnels, Stockholm. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 10, S. 749 - 756.

Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb

Dipl.-Ing. Matthias Maisner (BAW)

1. Einleitung

Ein wichtiges Thema für die Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken ist die Instandsetzung von Bewegungsfugen. Wasserdurchtritte durch undichte Bewegungsfugen von Verkehrswasserbauwerken können im ungünstigen Fall Bodenumlagerungen verursachen und Standsicherheitsprobleme verursachen. Für die Ertüchtigung von Bewegungsfugen werden in der WSV bereits verschiedene Materialien und Verfahren eingesetzt, die in der Regel nicht unter Betrieb anwendbar sind. Hierbei handelt es sich in erster Linie um nachträglich an der schleusenkamerseitigen Wandoberfläche aufgesetzte Fugenbänder (z. B. Schleusen Uelzen 1, Leerstetten und Eibach) oder die Injektion von Bewegungsfugen mit Produkten auf der Basis von PUR und Acrylatgelen (diverse Schleusen am MDK). Die bisherigen nachträglich aufgesetzten Fugenbandkonstruktionen sind zeit- und kostenaufwändig. PUR und Acrylatgele müssen unter technischen und umweltrelevanten Aspekten kritisch hinterfragt werden. Eine Außerbetriebnahme dieser Bauwerke für eine konventionelle Fugeninstandsetzung würde eine erhebliche Beeinträchtigung des Schifffahrtsbetriebes bedeuten. Bislang gibt es nur unter Betrieb anwendbare Instandsetzungsmethoden, die Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene ausschließen. In Anbetracht der voraussichtlich weiter zunehmenden Anzahl an schadhafte Fugen wurde im Rahmen eines FuE-Vorhabens eine unter Teilbetrieb anwendbare Instandsetzungsvariante entwickelt, die auch Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene ermöglicht.



Bild 1: Auf dem Altbeton der Sohle befestigtes Klemmfugenband nachdem unter Teilbetrieb die Kammerwandfuge überbohrt wurde (Quelle: BAW)

2. Definition

Unter "Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb" werden im Rahmen des Projektes Instandsetzungs- bzw. Ersatzmaßnahmen am Massivbau von Schleusenanlagen verstanden, die bereits unter Betrieb des Bauwerkes begonnen werden können. Der Abschluss der Instandsetzungsmaßnahme kann dann ggfs. in einer Sperrpause erfolgen.

3. Bereits ausgeführte Instandsetzungsmaßnahmen

Für die Instandsetzung von Bewegungsfugen unter Betrieb der Schleusenbauwerke wurden bereits verschieden Verfahren angewendet. Beispielsweise wurde die patentgeschützte Methode "Überbohren der Fuge und Einsetzen eines Elastomer-Schlauches" im Bereich der WSV erstmalig in 2007 für die vertikalen Blockfugen der Großen Seeschleuse Wilhelmshaven angewendet. Bei dieser Methode wird die Bewegungsfuge zunächst vertikal von der Plattform aus mit einem Kernbohrgerät überbohrt. Daher kann diese Methode auch unter Betrieb angewendet werden. Anschließend wird ein Elastomer-Schlauch eingezogen und mit einem schwindkompensierten Mörtel bei 8 bis 10 bar Druck verfüllt. Dadurch erfolgt eine einmalige Aufweitung des Elastomer-Schlauches insgesamt und eine Kompression des Elastomers. Im Falle einer Fugenaufweitung erfolgt die Dichtwirkung des Dichtelementes ausschließlich aus der Elastizität und dem Dehnvermögen des Schlauches. Die beidseitige Wandungskompression muss die eintretende Fugenbewegung kompensieren. Bei der Wahl der Wandungsdicke des Elastomer-Schlauches und des erforderlichen Einpressdruckes des Mörtels müssen die zu erwartenden Fugenbewegungen berücksichtigt werden. Der Einbauzeitpunkt, im Winter stellt sich im Regelfall die größte und im Sommer die kleinste Fugenweite ein, ist ebenfalls ein zu berücksichtigender Parameter. Das nachfolgende Bild 2 zeigt das Funktionsprinzip dieser Instandsetzungsvariante.

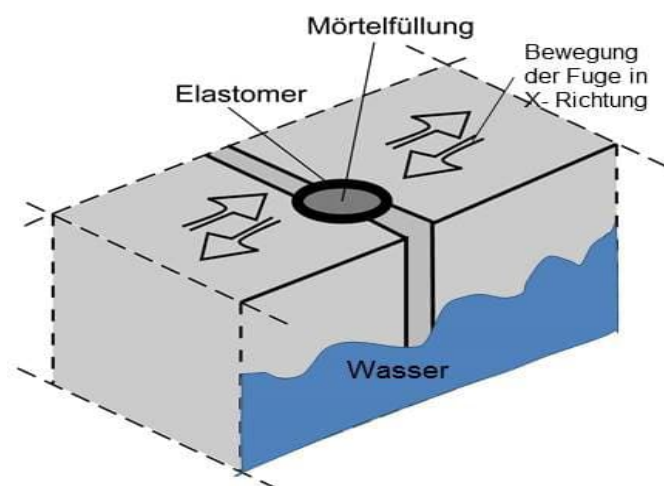


Bild 2: Funktionsprinzip "Überbohren der Fuge und mörtelgefüllter Elastomer-Schlauch(Quelle: BAW)

Das Verfahren kann unter Betrieb und Teilbetrieb einer Schleuse eingesetzt werden. Hinsichtlich der Anwendungsgrenzen sind jedoch die folgenden Einschränkungen zu berücksichtigen:

- keine Richtungsänderung in der Abdichtungsebene möglich
- keine kraftschlüssige Endlosverbindung für z. B. Umlaufkanäle möglich

- in der WSV bislang nur für vertikale Fugen eingesetzt
- nicht für große Fugenweitenänderungen geeignet
- keine langen Schlauchlängen verfügbar

Das nachfolgende Bild 3 zeigt Fugenverläufe für die die obige Methode nicht eingesetzt werden kann.

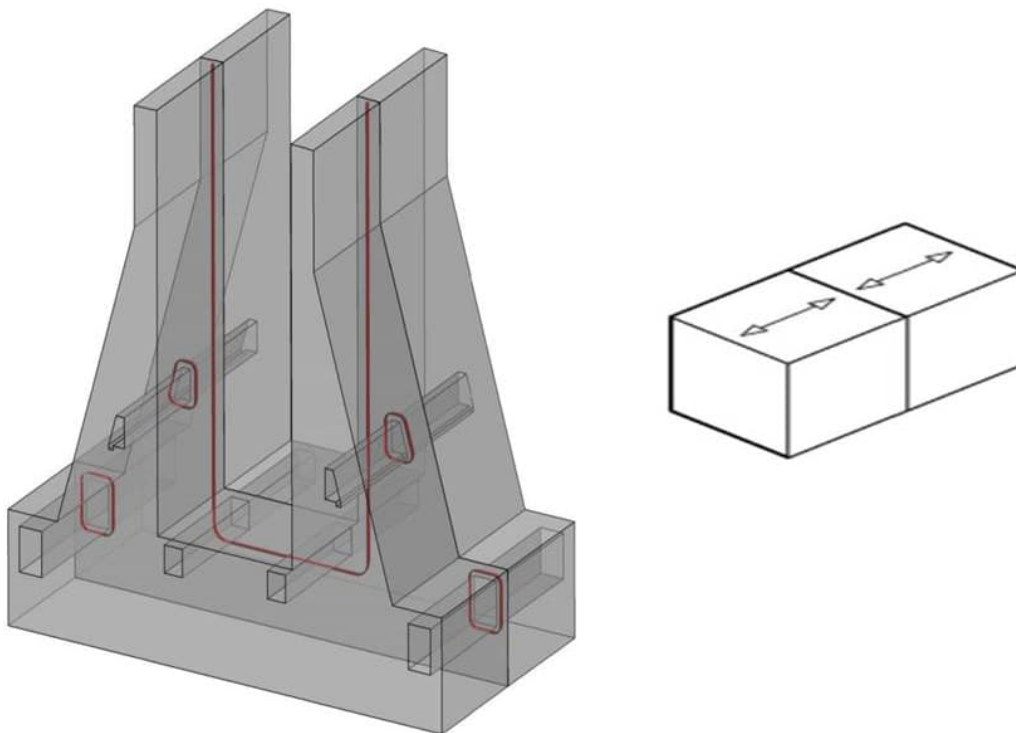


Bild 3: Schleusenquerschnitt mit rot gekennzeichneten Bewegungsfugenverlauf und Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene (links) und temperaturbedingte Bewegung der Kammerblöcke in Richtung der Schleusenachse (rechts) (Quelle: BAW)

Das Abdichten undichter Bewegungsfugen mit Kompressionsdichtungen aus Elastomer erfordert saubere, ebene und glatte Fugenflanken. Für diese Vorarbeiten ist eine Trockenlegung mit einem Zeitfenster von 12 h erforderlich. In dieser Zeit darf an der Fuge kein rückseitiger Wasserdruck anstehen. Die Dichtwirkung erfolgt über die Rückstellkraft des Elastomers. Zu unterscheiden sind handelsübliche Hohlkammerprofile, Vollgummi und wasserquellfähige Elastomere. Das Einbringen erfolgt über maschinelles oder manuelles Eindrücken in die Bewegungsfuge. Bei der Anordnung von Abdeckblechen als Widerlager ist ein geringer Eingriff in den Altbeton erforderlich. Polymerinjektionen erfordern zugängliche Fugenbereiche und können ebenfalls in einem Zeitfenster von 12 h ausgeführt werden. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass eine Erhärtung bei drückendem und strömendem Wasser in der Regel nicht möglich ist. Dauerhaft wirksame Fugeninstandsetzungen mit Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene erfolgten in der WSV bislang meist mit geklemmten gewebeverstärkten elastomeren Fugenbändern im Rahmen von zweiwöchigen Trockenlegungen. Eine Variante dieser Dichtelemente sind die sogenannten Omega-Fugenbänder, die aufgrund ihrer Schlaufenform auch Abdichtungen bei großen Fugenbewegungen ermöglichen. Um Verbindungen und Übergänge herstellen zu können, ist die Gewebeverstärkung in der Regel hier zweilagig. Bei einer Richtungsänderung in der

Abdichtungsebene ist bei derartigen Dichtungsbändern eine aufwendige Flanschkonstruktion erforderlich. Daher sollte im Rahmen dieses FuE-Vorhabens eine Alternative für die Fugeninstandsetzung von Massivbauwerken im Verkehrswasserbau entwickelt werden, die eine einfachere Flanschkonstruktion erfordert und unter Teilbetrieb begonnen werden kann. In der Automobilindustrie werden stahlseilbewehrte Hubgurte z. B. für den horizontalen und vertikalen Transport von Pkw-Karosserien eingesetzt. Für die Untersuchungen wurde aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen das als Lagerware verfügbare Produkt mit der größten Querschnittsfläche nach dem Datenblatt des Herstellers gewählt. Das nachfolgende Bild 4 zeigt den Querschnitt des als Stahlseilbewehrtes Klemmfugenband (SBK) gewählten dicken Hubgurts. Der Zugträger aus Stahlseilen mit einem Durchmesser von 2,75 mm verläuft in der Fugennachse. Im Bereich des Fugenspaltes verlaufen keine Stahlseile.

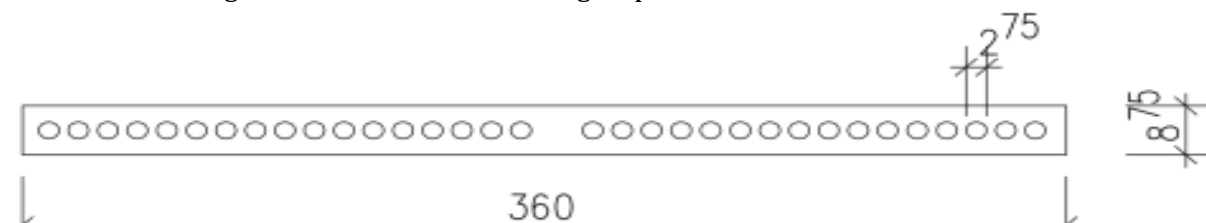


Bild 4: Querschnitt des gewählten Hubgurtes (Stahlseilbewehrtes Klemmfugenband, SBK)
(Quelle: BAW)

Das in Bild 4 dargestellte SBK hat eine Breite von 360 mm, eine Masse von 5,1 kg/ lfd. m und laut Hersteller einen Biegeradius von nur 50 mm. Um die Retardation (Kriechen) und die Relaxation des Fugenbandwerkstoffes zu kompensieren werden Konstruktionen mit einer dauerhaft spannungshaltenden Klemmung benötigt. Im Winterhalbjahr vergrößert sich der Fugenspalt aufgrund der reduzierten Wärmedehnung des Betons. Mit der Fugenaufweitung ist auch eine Zugbewegung des Elastomer-Fugenbandes verbunden. Elastomere sind als inkompressible Flüssigkeiten zu betrachten, bei Zug verjüngt sich der Querschnitt durch Querkontraktion dargestellt.

Für Elastomere gilt der 2. Hauptsatz der Thermodynamik nach Rudolf Clausius, wonach die Entropie als Maß für die Unordnung in einem abgeschlossenem System nicht abnimmt ($dS \geq 0$). Aufgrund der sog. Entropieelastizität der Elastomere gilt kein Hookesches Gesetz. Die aus dem Stahlbau bekannten Zusammenhänge für Schraubverbindungen und erforderliche Drehmomente sind daher nicht anwendbar. Das spezielle Materialverhalten des Elastomers muss durch ein technisches Bauteil kompensiert werden, das sich im praktischen Gebrauch dauerhaft elastisch verformen lässt. Metallische Federn können in Kombination mit dem Federelement aus Elastomer eine dauerhafte Klemmung bewirken. Um den Eingriff in den Bestandsbeton im Falle einer Fugeninstandsetzung zu minimieren, müssen Federn mit einem geringen Raumbedarf verwendet werden. Tellerfedern nach DIN 2093 (2006) haben die Form eines flachen Kegelstumpfes und können bis zu einer flachen Scheibe verformt werden. Sie sind sehr kompakt und haben eine hohe Federkraft bei kleinem Federweg. Durch das wechselsinnige Aufeinanderschichten (Reihenschaltung) von Tellerfedern wird der Federweg vergrößert. Bild 5 zeigt beispielhaft eine Federkennlinie für ein Elastomer-Klemmfugenband. Im Druckversuch wurde zunächst eine maximale Federkraft von 21,2 kN bestimmt. Im Anschluss wurde der Abfall der Federkraft ($F=f(t)$) über einen Zeitraum von 28 h gemessen. Danach muss die nach DIN 2093 (2006) zu wählende Tellerfeder eine Kraft von 21,2 kN - 9,6 kN = 11,6 kN aufnehmen.

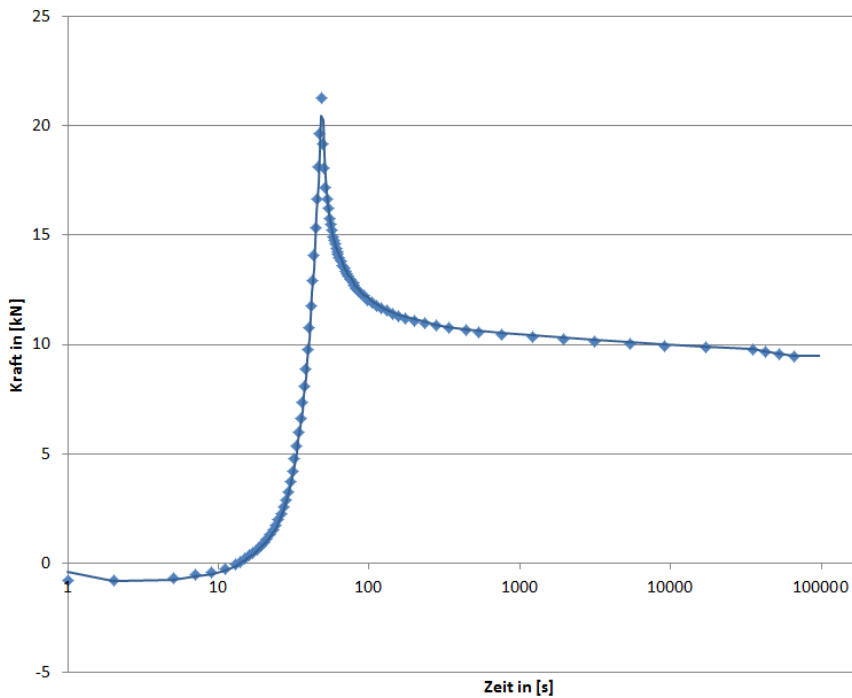


Bild 5: Beispiel für die Federkennlinie eines Elastomer-Klemmfugenbandes (Quelle: BAW)

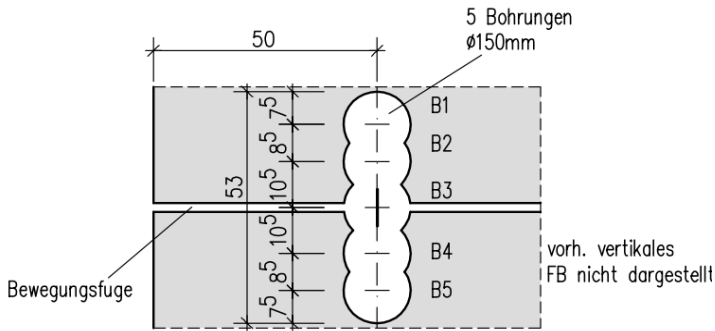
Das nachfolgende Bild 6 zeigt einen Auszug aus der Tabelle 1 der DIN 2093 (2006).

Gruppe	D_e		t bzw. $(t')^a$	h_0	l_0		l_t	σ_{III}^b	σ_{OM}
	h12								
1	8		0,4	0,2	0,6		0,45	1218	-1605
	10		0,5	0,25	0,75		0,56	1218	-1595
	12,5		0,7	0,3	1		0,77	1382	-1666
	14		0,8	0,3	1,1		0,87	1308	-1551
	16		0,9	0,35	1,25		0,99	1301	-1555
	18		1	0,4	1,4		1,1	1295	-1558
	20		1,1	0,45	1,55		1,21	1290	-1560
	22,5		1,25	0,5	1,75		1,37	1296	-1534
	25		1,5	0,55	2,05		1,64	1419	-1562
	28		1,5	0,65	2,15		1,66	1274	-1562
2	31,5		1,75	0,7	2,45		1,92	1296	-1570
	35,5		2	0,8	2,8		2,2	1332	-1611
	40		2,25	0,9	3,15		2,47	1328	-1595
	45		2,5	1	3,5		2,75	1296	-1534

Bild 6: Auszug aus der Tabelle 1 der DIN 2093 (2006) für die Abmessungen von Tellerfedern der Reihe A (Quelle: DIN 2093)

Für die in Bild 9 dargestellte Klemmkonstruktion ergibt sich aus der Ankerbemessung ein Bolzendurchmesser, der den Innendurchmesser der Tellerfeder mit $D_i = 25,4$ mm festlegt. Die Tellerfeder mit einem Außendurchmesser von 50 mm und einem Innendurchmesser von 25,4 mm kann eine Federkraft F_t von 11976 N bei einer Kraft von 75% des Federweges ($s = 0,75 \times h_0$) aufnehmen. Wäre diese Kraft kleiner als die empirisch aus Bild 5 abgeleitet erforderliche Kraft (11976 N > 12,6 kN) sind zwei Federn in gleichsinniger Anordnung nötig, um die Kraft zu addieren ($2 \times 11976 \text{ N} = 23952 \text{ N}, \approx 24 \text{ kN} >$

12,6 kN). Das zweite Pilotprojekt in der Doppelschleuse Kleinostheim wurde im Frühjahr 2016 ausgeführt. Hierbei handelt es sich um die zuvor im Modell erprobte und für eine Instandsetzung unter Teilbetrieb geeignete Variante „Kombination SKB und Überbohren der Fuge“. Das Prinzip "Überbohren der Fuge" ist aus Bild 7 zu ersehen.



Reihenfolge der Bohrungen:

- 1.) B3
- 2.) B2 , B4
- 3.) B1 , B5

Bild 7: Prinzip "Überbohren der Fuge", Draufsicht von der Schleusenplattform (Quelle: BAW)

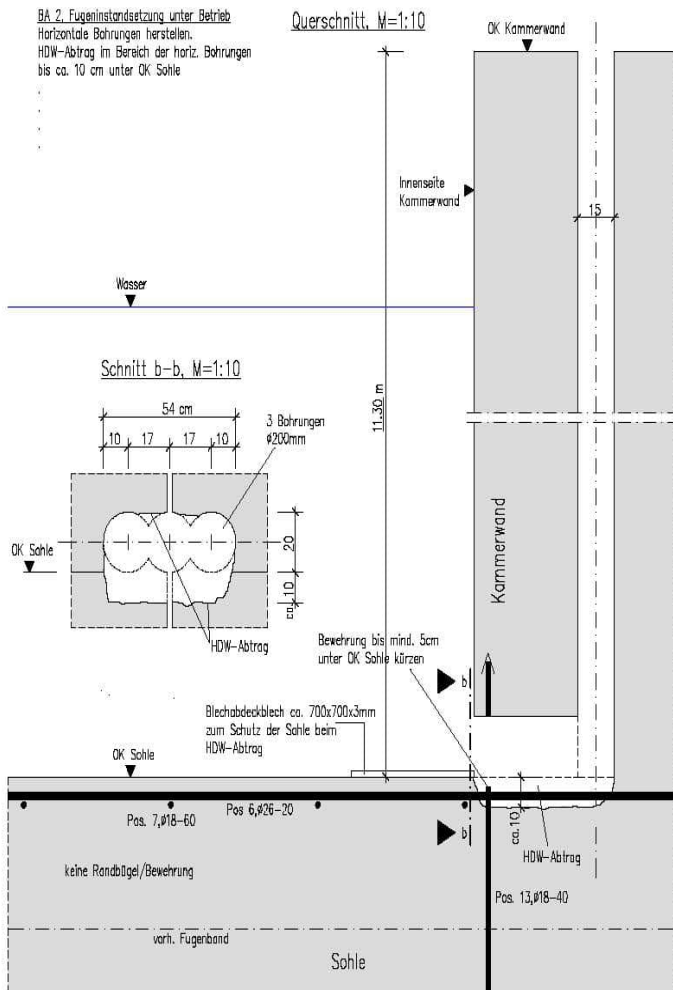


Bild 8: Überbohren der Fuge, Ausführungsdetail Richtungsänderung in der Abdichtungsebene (Quelle: BAW)

Aus Bild 9 sind Details der Verschraubung der Klemmkonstruktion zu ersehen. Zwischen den Ankern und dem SBK wurde ein bei Wasserkontakt quellfähiger Dichtstoff aus PUR vorgesehen.

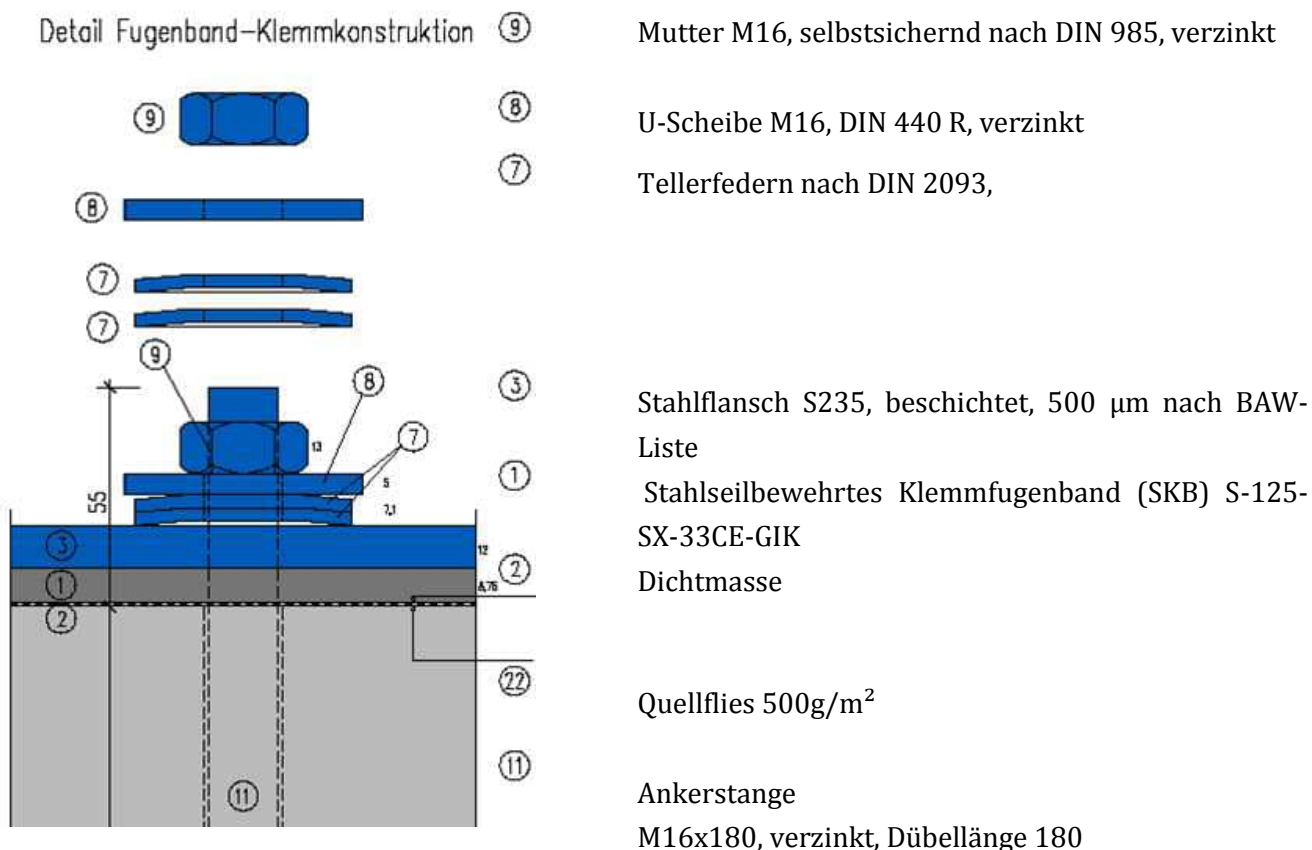


Bild 9: Details der Fugenband-Klemmkonstruktion mit Tellerfedern (Quelle: BAW)

Für das Überbohren der Fuge mit den 5 aneinandergereihten und überschrittenen vertikalen Bohrungen wurde ein Bohrgerät mit Einfachkernrohr, Durchmesser 150 mm, auf der Schleusenplattform montiert. Von der trockengelegten Sohle aus wurden drei Horizontalbohrungen mit einem Durchmesser ausgeführt.

Für den Einbau wurde das SBK wie aus Bild 10 (links) zu ersehen auf eine Haspel aufgewickelt und auf der Plattform über dem überbohrten Fugenspalt fixiert. Das SBK wurde auf jeder Kammerwandseite von der vertikalen Öffnung abgelassen und durch die Horizontalöffnung gezogen und später durch Vulkanisation verbunden. Hierzu war eine Trockenlegung der Schleuse erforderlich. In der horizontalen Öffnung wurde das SBK mit einer Fugenfüllplatte aus Styrodur in der Lage fixiert. Das Verfüllen der Bohrlöcher erfolgte von der horizontalen Öffnung oberhalb der Sohle aufwärts mit zwei Pumpen, um ein gleichmäßiges Aufsteigen des Vergussstoffes sicher zu stellen. Um ein Durchlaufen des Vergussmörtels in den Fugenspalt zu verhindern, wurde das SBK mit einem Fugenfüllmaterial abgestellt. Es wurde ein hochfließfähiger Vergussmörtel für den vertikalen Einbau des SBK gewählt.



Bild 10: Einbau des SBK von der Plattform (links); Lagesicherung nach der Abwicklung im Dichtteil (Quelle: BAW)

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die wesentlichen Aspekte und Erkenntnisse für das BAW/WSV-Projekts „Instandsetzung unter Betrieb“ können wie folgt zusammengefasst werden:

Fugendichtelemente in Bewegungsfugen von Verkehrswasserbauwerken müssen im Extremfall Wasserdruckdifferenzen bis etwa 46 m widerstehen. Gleichzeitig sollten sie in der Lage sein, Verformungen auch über planmäßige Nutzungsdauern von 100 Jahren hinweg sicher aufzunehmen. Aus heutiger Sicht wurden für eine langfristige Nutzung oftmals ungeeignete Materialien verwendet und es wurden fallweise Wasserdurchtritte festgestellt. Im ungünstigen Fall können solche Wasserdurchtritte zu Bodenumlagerungen und daraus resultierenden Standsicherheitsproblemen für einzelne Bauteile bzw. die gesamte Anlage führen. Für die Zukunft ist insbesondere vor dem Hintergrund unzureichender Materialeigenschaften der Fugendichtelemente mit einem Zuwachs derartiger Probleme zu rechnen. Der genaue Ort von Undichtigkeiten bzw. Fehlstellen ist oftmals nicht genau zu bestimmen. Daher ist eine gezielte lokale Schadensbeseitigung kaum möglich. Für Fugeninstandsetzungen unter Betrieb/Teilbetrieb stehen keine universal einsetzbaren Methoden zur Verfügung. Die Methoden unterscheiden sich hinsichtlich der erforderlichen Zeitfenster. Im Vorfeld einer Maßnahme müssen daher alle Randbedingungen evaluiert werden.

Literatur

DIN 2093 (2013), Tellerfedern, Qualitätsanforderungen, Maße, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2013-02

Instandsetzung der Ruhrschleuse Raffelberg unter Betrieb

Dipl.-Ing. Carsten Voigt (Ingenieurbüro grbv)
Dipl.-Ing. (FH) Britta Rath (WSA Duisburg-Meiderich)

Einführung

Der Auftrag mit den Planungsleistungen zur Instandsetzung der Ruhrschleuse Raffelberg wurde 2013 vom WSA Duisburg-Meiderich an die Arbeitsgemeinschaft „Ruhrschleuse Raffelberg“ bestehend aus den Ingenieurbüro LPI Ingenieurgesellschaft mbH und grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co.KG, beide in Hannover ansässig, vergeben.

Die Ruhrschleuse Raffelberg (Ruhr-km 7,935, unmittelbar vor dem Hafen Mülheim) wurde im Jahr 1927 als Einkammerschleuse mit einem Hub von 6,3 m fertiggestellt. Die Kammerlänge betrug damals 135 m, die Breite auf Unterwasserstand ca. 13,3 m. Die eigentliche Schleusenkammer bestand aus 6 Blöcken mit jeweils ca. 21,7 m Länge. Die Kammerwände wurden als weitgehend unbewehrte Schwergewichtswände aus Stampfbeton hergestellt. Bewehrung wurde nur in den unteren 5 m zur Sicherung gegen Bergsenkungen und für die Wandsporne eingebaut. Die Kammersohle wurde mit unbewehrten Betonblöcken 2,0 x 1,0 x 1,0 [m] befestigt, in deren Zwischenfugen Ziegelsteine hochkant trocken versetzt wurden. Das Unterhaupt wurde mit einem Schiebetor und Umläufen ausgeführt, das Oberhaupt mit einem Klapptor und ebenfalls mit Umläufen.

Aufgrund von Kriegsschäden und Ausführungsmängeln beim Bau wurde in den Jahren 1953 und 1954 die Betonoberfläche an den Kammerwänden zumindest bereichsweise abgetragen, mit Instandsetzungsmörtel ausgebessert und anschließend verputzt. Genaue Ausführungsunterlagen liegen dazu nicht vor.



Bild 1: Luftaufnahme (Quelle: Google Maps)

1999 erfolgte eine Schleusenverlängerung, wobei das alte Oberhaupt zu einem Kammerblock (Block 7 als U-Rahmen) umgebaut und die Schleuse um ein neues Oberhaupt mit Drehsegmenttor als Verschluss erweitert wurde. Hierdurch vergrößerte sich die Kammerlänge auf 148 m. Im Unterhaupt wurden alle Verschlüsse und die Torbrücke erneuert, sowie die Planie um ca. 0,5 m angehoben. Zum Schutz des neuen Untertores erfolgte auch der Einbau eines Stoßschutzbalkens.

Logistisch ist die Schleuse nur von Süden von der Ruhrorter Straße aus erreichbar. Die Schleuseninsel (zwischen Schleuse und Kraftwerk) kann nur über eine Behelfsbrücke erreicht werden, die auf dem Schleusengelände aufbewahrt wird. Sie kann auf vorbereitete Lager an der Fuge zwischen Block 1 und 2 aufgelegt werden.

Baulicher Zustand

Die 1999 umgebauten oder ergänzten Bauteile (Block 7, Oberhaupt) sind in einem guten Zustand und bedürfen keiner Instandsetzung.

Das Unterhaupt hat besonders in den Umlaufkanälen deutlich erkennbare tiefe Trennrisse, die sich teilweise bis in die Torkammer fortsetzen. Bei der letzten Trockenlegung zeigten sich diese feucht bis leicht wasserführend. Eine bereits früher aufgebrachte, dünne Mörtelschicht in den Umlaufkanälen beginnt sich wieder abzulösen. Im Bereich der unterwasserseitigen Revisionsverschlüsse wurden Undichtigkeiten festgestellt. Eine Umläufigkeit durch den Beton konnte jedoch nicht beobachtet werden. An den Kammerwänden der Blöcke 1 – 6 sind durch Schiffsanfahrung, Frosteinwirkung und Auswaschung hauptsächlich oberhalb des Unterwasserstands an den Wandflächen und an Kanten- und Eckbereichen verschieden ausgeprägte Abplatzungen und Ausbrüche (bis zu 30 cm Tiefe) entstanden. Die im Rahmen einer früheren Instandsetzungsmaßnahme aufgebrachten Reprofilierungen alter Schadensstellen liegen großteilig hohl mit stellenweisen Ausbrüchen an den Flanken.

Die aus der Bauzeit stammenden, teilweise offenen und wasserführenden Betonier- bzw. Arbeitsfugen sind deutlich sichtbar, weisen jedoch nur selten Rissbreiten über 0,2 mm auf. Oberhalb des Oberwasserstands sind die Kammerwände planmäßig über eine Höhe von 40 cm verklankert. Die heute darüber befindliche Mörtelschicht könnte im Rahmen einer früheren Instandsetzungsmaßnahme aufgebracht worden sein. Dieser Mörtel ist teilweise abgängig und die darunterliegenden Klinkersteine weisen zum Teil erhebliche Abplatzungen auf. Des Weiteren bilden die bereichsweise wasserführenden Mauerwerksfugen den Ausgang von Aussinterungsfahnen. Die Steigleitern sind teilweise abgängig. Die Reibleisten im Bereich der Wasserwechselzone liegen bereichsweise hohl und es besteht die Gefahr, dass sie durch den Schifffahrtsbetrieb abgerissen werden. Die vorhandenen Plattform- und Nischenpoller entsprechen nicht mehr den betrieblichen Anforderungen. Letztere wurden nach einigen Schadensfällen komplett für die Schifffahrt gesperrt und unbrauchbar gemacht.

An der aus einzeln betonierten Betonblöcken aufgebauten Kammersohle sind zum Oberhaupt hin zunehmende Abrasionserscheinungen erkennbar. Sowohl am Beton als auch an den Ziegelsteinen sind starke Kantenausbrüche und Abplatzungen zu verzeichnen. An einigen wenigen Stellen sind bereits Löcher in der Sohle zu erkennen.

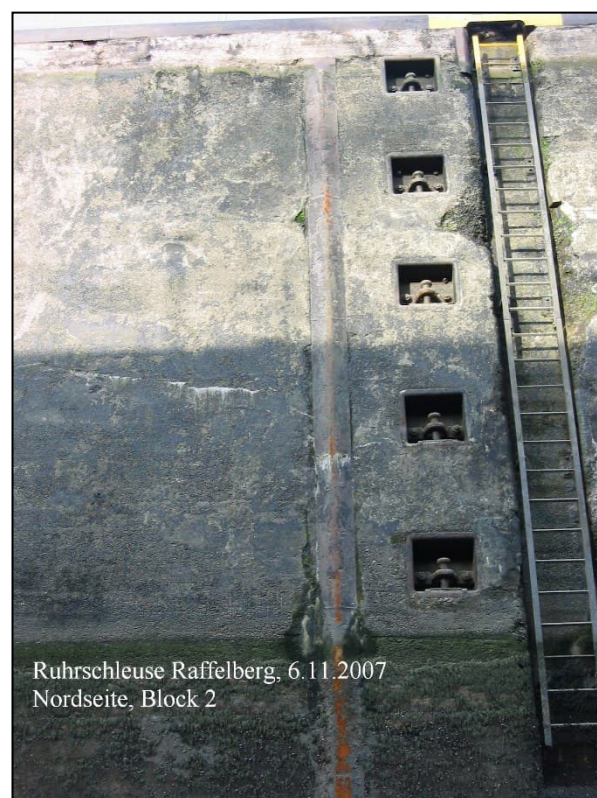


Bild 2 und 3: Schleusenkammer Nordseite - Block 1 und 2 (Quelle: WSA)

Baustoffliche Untersuchungen

Zur Vorbereitung einer Instandsetzungsplanung wurden im September 2013 baustoffliche Untersuchungen an der Schleusenkammer und am Unterhaupt durchgeführt. Zusätzlich erfolgten Radarmessungen zum Detektieren von Hohlräumen und der vorhandenen Bewehrung. Infolge der vorwiegend hohen Betondeckung von bis zu mehreren Dezimetern konnte die wenige planmäßig vorhandene Bewehrung mittels Radaruntersuchungen nur stellenweise gesichert detektiert werden.

Anhand von Bohrkernentnahmen wurden charakteristische Druckfestigkeiten von ca. $14,0 \text{ N/mm}^2$ (Kammerwände) bzw. 24 N/mm^2 (Unterhaupt) und charakteristische Zugfestigkeiten von $1,46 \text{ N/mm}^2$ (Kammerwände) bzw. $2,11 \text{ N/mm}^2$ (Unterhaupt) ermittelt (Auswertung nach BAW-Merkblatt TbW). Der Mörtelanteil ist recht niedrig, der verwendete Zuschlag gut abgestuft. Er besteht aus natürlich gerundeten Gestein mit Korngrößen von 0-32 mm (Überkorn bis 80 mm). Das Gefüge kann als dicht bezeichnet werden, was auch durch die Betondichte von 2330 kg/m^3 (Kammerwände) bzw. 2370 kg/m^3 (Unterhaupt) bestätigt wird. Weiße Ablagerungen in Poren und an Rissen deuten auf eine Alkali-Kieselsäurereaktion (AKR) hin. Die Nebelkammerlagerungen über ca. 6 Monate zeigten allerdings nur eine geringe AKR-Restdehnung. Die Sulfatgehalte sind mit $< 2,0 \%$ bezogen auf den Bindemittelanteil als niedrig einzustufen und erfordern keine besonderen Maßnahmen. Sämtliche im Zuge der Bohrkernentnahme angetroffene Bewehrung zeigte keine nennenswerten Korrosionserscheinungen. In Kombination mit der nur wenige Zentimeter in den Bauwerksbeton hineinreichenden Carbonatisierungsfront ist auch zukünftig das Risiko einer durch Carbonatisierung verursachten Bewehrungskorrosion als gering einzustufen. Desweiteren wurden die Abreißfestigkeiten der Betonoberfläche in mehreren Tiefenstufen geprüft. Es wurde keine Erhöhung der Werte mit zunehmender Tiefe

festgestellt. Insgesamt lassen die Werte in Verbindung mit der Druckfestigkeit überwiegend nur eine Einstufung in die Altbetonklasse A2 zu.

Als Vorgriff auf ein mögliches Sanierungskonzept wurden zusätzliche Ankerausziehversuche (Betonstahl \varnothing 12 mm, Verbundlänge 50 cm) durchgeführt, dabei trat kein Versagen bis zur Streckgrenze des Stahls auf.



Bild 4 bis 6: Einbringen des Vergussmörtels in die Ankerlöcher, Ermittlung des Herauszieh Widerstand (Quelle: LPI)

Untersuchungen der Betonblöcke in der Kammersohle ergaben jedoch ein ganz anderes Bild. Verschiedene Bohrkernentnahmen ergaben Sohlstärken zwischen 40 cm und 70 cm mit Kiesnestern und/oder unterliegendem losen Kies. Sollte die Sohle ursprünglich mit der in den Planunterlagen verzeichneten Sohlstärke von 1 m hergestellt worden sein, wurde der Beton an der Unterseite im Laufe der Zeit stark ausgewaschen. Die Betonqualität war teilweise so schlecht, dass allein durch das Bohrwasser der Zement aus den Bohrwandungen ausgewaschen wurde. Auf Basis der wenigen Sohlbohrungen ist eine flächendeckende Aussage über das Ausmaß der Zementsteinauswaschungen nicht möglich. Neben einer AKR-Schädigung wurde auch ein Gipstreifen festgestellt.

Zusätzlich wurde mittels Druckaufnehmer über mehrere Monate der Sohlwasserdruck gemessen. Er korrespondierte mit dem Schleusenwasserstand.

Planungsvorgaben

Soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar soll bei der Instandsetzung die aktuelle Vorschriftenlage und der Stand der Technik (DIN 19703 – Schleusen der Binnenschifffahrt; WSV-Fachkonzept Schiffsschleusenanalgen) umgesetzt werden. Dies schließt den Einbau von Schwimmpollern und senkrechten zur Schleusenachse angeordneten Steigeleitern aus. Allerdings soll die Planie gegenüber dem Bestand, auch in Folge eines höheren Oberwasserstands, um ca. 0,5 m angehoben werden. Abweichend von der üblichen Ausrüstung mit Kantenpoller für den Binnenbereich sollen Poller für den Küstenbereich eingebaut werden, um den regelmäßig verkehrenden Küstenmotorschiffen mit hohem Freibord gerecht zu werden.

Voruntersuchungen haben ergeben, dass die innere Standsicherheit der Kammerwände in einem horizontalen Schnitt über dem Fundament gefährdet ist. Ihre äußere Standsicherheit hängt hauptsächlich von der aussteifenden Wirkung der Sohle ab, die sich in einem schlechten Zustand befindet. Die Standsicherheit muss dauerhaft sichergestellt werden.

Das grundsätzliche Ziel einer Instandsetzung ist ein Weiterbetrieb der Schleuse bis mindestens 2069 (planmäßige Restnutzungsdauer der Schleusentore).

Da die Ruhrschleuse Raffelberg den einzigen schiffbaren Zugang vom Rhein zum Hafen Mülheim darstellt, ist eine Vollsperrung der Schleuse nicht gewünscht, da ansonsten die Gefahr besteht, dass die dort ansässigen Unternehmen sich von der Wasserstraße als Logistikweg abwenden. Eine Instandsetzung „unter Betrieb“ stellt die einzig mögliche Alternative dar, wobei früh mit den Unternehmen abgestimmte Schleusensperrungen von bis zu 4 Wochen möglich sind. Alle anderen Arbeiten erfolgen so, dass zumindest außerhalb der täglichen Arbeitszeiten und an den Wochenenden Schleusungen möglich sind (100 – 300 Schiffe / Monat im Jahr 2016).

Instandsetzungskonzept für die Kammerwände

Angesichts des schlechten Zustands der Betonoberflächen kommen als Instandsetzungskonzept nur bewehrte und verankerte Vorsatzschalen in Frage. Wo möglich werden dabei die Vorgaben der DIN 19703 hinsichtlich der Anordnung von Nischenpollern, Kantenpollern und Steigeleitern eingehalten. Die kurzen Steigeleitern reichen zurzeit nur bis ca. 1 m unter den Unterwasserstand. Abweichend von den Vorgaben der Norm (gefordert sind 1,5 m unter Unterwasserstand) wird auf eine Verlängerung der Leiternischen verzichtet, da der dafür notwendige Betonausbruch mit der vorhandenen Bewehrung kollidiert. Die langen Steigeleitern reichen auf die Sohle. Ihre Lage muss aus gleichem Grund beibehalten werden.

Aus Gründen der Verträglichkeit wäre für die Wände ein Beton mit ähnlichen Festigkeitseigenschaften wie im Bestand zu bevorzugen (z.B. C20/25_{56d} LP). Seine langsame Erhärtung hat aber erhebliche Nachteile für eine Instandsetzung unter Betrieb. Daher wird ein Beton mit hoher Frühfestigkeit (z.B. C34/45) vorgesehen. Für die Planie ist ein LP-Beton erforderlich (z.B. C30/37).

Unter Betrieb kann nur der Wandbereich (erster Bauabschnitt) bis ca. 0,5 m über den Unterwasserstand instandgesetzt werden. Dazu wird auf dieser Höhe ein horizontaler Sägeschnitt hergestellt. Der Beton oberhalb wird durch Fräsen (Walzenfräse) oder Stemmen (im Bereich der Nischenpoller und Steigeleitern) abgetragen. Hier wird eine bewehrte Ortbetonvorsatzschale in mindestens 30 cm Dicke hergestellt, die auch die neuen Nischenpoller aufnimmt. Die Verankerung im Altbeton erfolgt über eing Bohrten Betonstahl und bauaufsichtlich zugelassene, eing Bohrte Anker, die gleichzeitig als Schalungsanker dienen. Sie müssen so rückbaubar sein, dass sie zwar als Anker wirken, nicht aber an der Betonoberfläche sichtbar sind. Wasserführende Risse werden mit Zementsuspension/ -leim (NA-Zement) ggf. Polyurethanharz injiziert. Die Schalung für die neuen Vorsatzschalen wird auf der Sägekante aufgestellt. Die Bewehrung wird je Richtung zweilagig verlegt. Zum Anschluss des zweiten Bauabschnitts werden Schraubanschlüsse für die Bewehrung vorgesehen.

Die Planie wird bis auf die Unterkante des Ziegelmauerwerks, d.h. um ca. 0,7 m abgetragen und neu in einer Dicke von ca. 1,25 m hergestellt. Hierdrin sind auch die neuen Kantenpoller (über jeder Nischenpollerreihe) verankert.

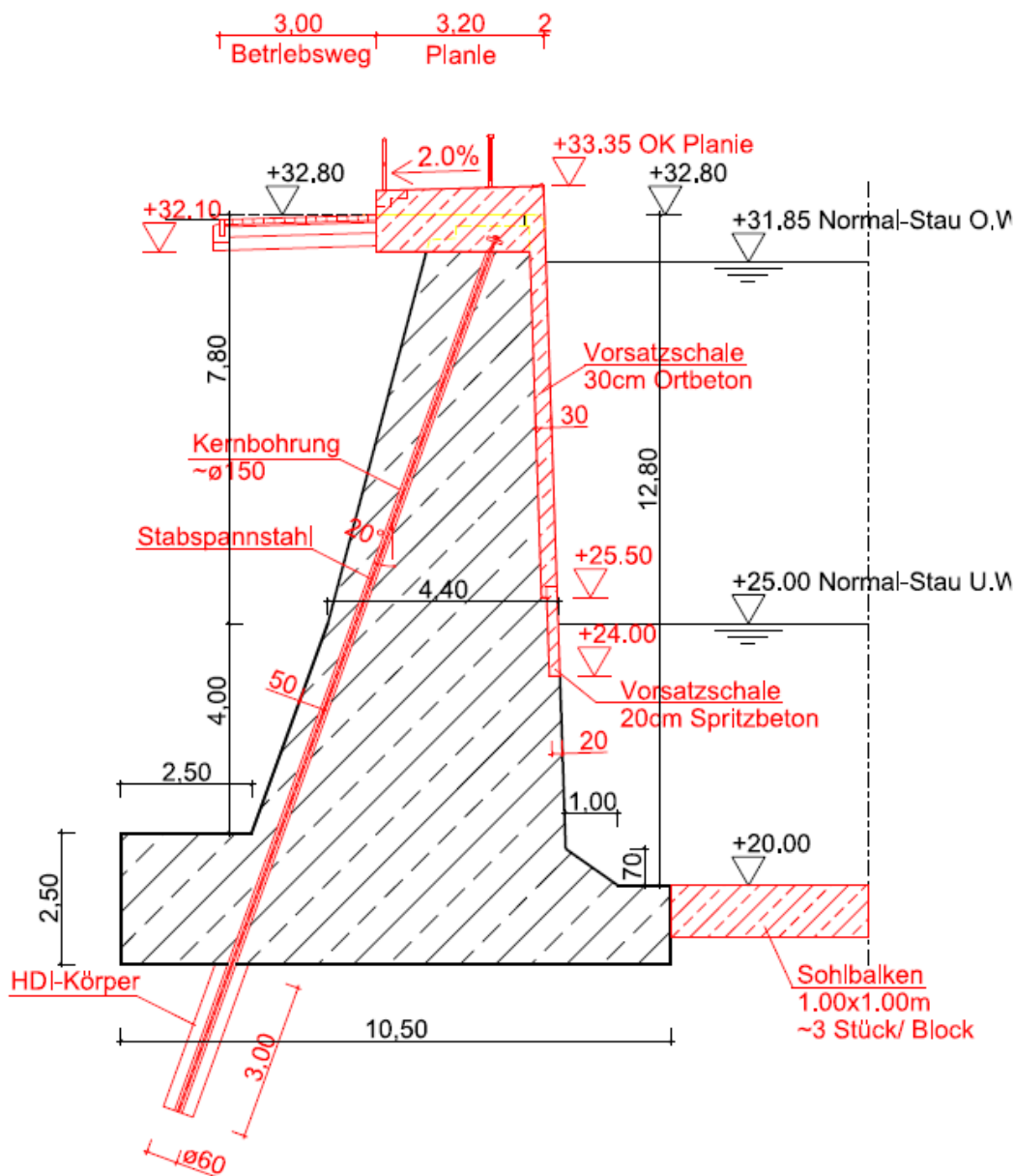


Bild 7: Instandsetzung der Kammerwände

Da der schadhafte Beton bis ca. 1 m unter den Unterwasserstand reicht, muss der Bereich von 0,5 m über dem Unterwasserstand bis 1,0 m unter dem Unterwasserstand in einem zweiten Bauabschnitt während einer Vollsperrung mit gelenzter Kammer instandgesetzt werden. Die Arbeiten erfolgen von der Kammersohle aus. Da in diesem Bereich Bewehrung oberflächennah liegt, erfolgt der Abbruch durch Höchstdruck-Wasserstrahlen (HDW). Wasserführende Risse werden wiederum mit Zementsuspension/ -leim injiziert. Die Dicke der Vorsatzschale soll ca. 20 cm betragen. Die Bewehrung wird je Richtung zweilagig verlegt. Als Anker in den Bestand wird eingeborhter Betonstahl vorgesehen. Der Beton wird im Spritzverfahren in zwei Lagen eingebaut, um einen besseren Verbund der Bewehrung

mit dem Spritzbeton zu gewährleisten. Die zweite Lage wird nach Sandstrahlen der erhärteten ersten Lage aufgebracht und anschließend geglättet.

Zur Sicherstellung der inneren Standsicherheit sind Spannglieder an der Erdseite vorgesehen. Hierzu wird jeweils eine Kernbohrung bis zur Fundamentunterkante hergestellt. Anschließend wird ein HDI-Körper gedüst, in dem das Spannglied mittels eines Verpresskörpers verankert wird. Nach dem Anspannen gegen eine vergossene Stahlplatte auf dem Altbeton wird die Kernbohrung verpresst. Die Vorspannung erzeugt Druckspannungen auf der Zugseite der Kammerwand und wird so eingestellt, dass der Querschnitt nahezu überdrückt wird.

Instandsetzungskonzept für die Kammersohle

Eine Instandsetzung kann nur durch den Ersatz der Sohlbefestigung erfolgen. Wichtig ist vor allem die aussteifende Funktion der Sohle sicherzustellen. Hierzu sollen je Kammerblock je 3 Streifen der Betonquader abgebrochen und durch je einen bewehrten Betonbalken ersetzt werden. Die hydraulische Durchlässigkeit bleibt dabei erhalten. Weitere Betonbalken sollten zukünftig während der planmäßigen Trockenlegungen (alle 6 Jahre) hergestellt werden. Im Endzustand wäre dann jede zweite Quaderreihe durch Betonbalken ersetzt und die Zwischenbereiche 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 ist vollständig mittels Hochdruckwasserstrahlen bzw. Stemmen zu entfernen. Im Anschluss sind offene ggf. noch feuchte Risse > 0,25 mm von der Innenseite der Umlaufkanäle durch Injizieren mittels Zementsuspension / Polyurethanharz abzudichten und zu verschließen. Die Wiederherstellung der Oberfläche erfolgt durch Spritzmörtelauftrag (unbewehrt) S-A2 gemäß ZTV-W LB 219 mit einer Dicke von ca. 2 cm. Mit den Rissen in der Torkammer ist wie zuvor zu verfahren. Hinsichtlich der Umläufigkeiten müssen die Risse ggf. später noch einmal nachverpresst werden. Für feinere Oberflächenrisse an der Kammerseite, als deren Ursache eine leichte AKR-Schädigung vermutet wird, wird lediglich ein Monitoring empfohlen.

Geplanter Bauablauf

Grundsätzlich soll nur an einer Kammerseite gearbeitet werden. Die andere Seite wird für die Schifffahrt freigehalten. Schleusungen erfolgen außerhalb der täglichen Arbeitszeit und am Wochenende.

Die Instandsetzung für jede Seite erfolgt blockweise. Die Ortbetonvorsatzschale wird von Pontons aus hergestellt, wozu die Schleuse auf Unterwasser stehen muss. Arbeiten an der Planie werden vom Gelände aus durchgeführt. In Arbeit befindliche Blöcke werden durch schwimmende Stoßbalken gegen Schiffsanfahrung geschützt. Nachdem an einer Kammerseite alle Blöcke oberhalb des Unterwasserstands instandgesetzt wurden, soll die Schleuse in einer kurzen Sperrzeit gelenzt werden, um den Unterwasserbereich der Wände instandzusetzen und einige neue Sohlbalken einzubauen. Anschließend erfolgt der gleiche Ablauf auf der anderen Kammerseite.

Die Arbeiten am Unterhaupt werden ebenfalls in den Sperrzeiten durchgeführt. Die Gesamtbauzeit beträgt ca. 2 Jahre.

Betrachtungen zur Instandsetzung unter Betrieb am Beispiel der Schleuse Hollage

Dipl.-Ing. Dirk Biskupek (NBA Hannover)

1 Einleitung

Die Schleusenanlagen der WSV zeichnen sich durch ein zunehmend hohes Alter und entsprechende Defizite im Bauwerkszustand auf. Zur Aufrechterhaltung und Gewährleistung des Verkehrs auf den betroffenen Wasserstraßen resultiert daraus ein wachsender Instandsetzungsbedarf dieser Anlagen. Das NBA Hannover wird zunehmend bundesweit mit der Planung und Durchführung der entsprechenden Maßnahmen beauftragt.

Eine wesentliche Anzahl der betroffenen Schleusen besitzt nur eine Kammer. Größere Instandsetzungen, hier vor allem Maßnahmen am Massivbau der Schleusen, bedingen bei „konventioneller“ Ausführung eine Sperrung der Schleuse für ca. ein bis zwei Jahre. Genau dies ist das Problem: Durch diese Sperrung ist der Verkehr auf der betroffenen Wasserstraße oder auf dem Abschnitt der Wasserstraße „tot“, die Versender müssen auf andere Verkehrsträger bzw. Transportwege ausweichen. Neben den beträchtlichen, wirtschaftlichen Auswirkungen auf das Schifffahrtsgewerbe führt dies zu der Frage, ob sich nach abgeschlossener Instandsetzung und Wiedereröffnung der Wasserstraße ein solcher Verkehr wieder einstellt, der Betrieb und Unterhaltung der Wasserstraße rechtfertigt. Anders formuliert: Führen die Instandsetzungsmaßnahmen zur weiteren Gewährleistung eines sicheren Verkehrs nicht zu dessen Entfall?

So stellte sich für das NBA Hannover die Aufgabe, grundsätzliche Möglichkeiten zur Instandsetzung von Schleusen ohne dauerhafte Sperrung – somit unter Betrieb - zu untersuchen. Da schon anfänglich klar wurde, dass diese Betrachtungen, Untersuchungen und Planungen verschiedener Möglichkeiten den Umfang und den Zeitrahmen einer „normalen“, projektorientierten Planung mindestens deutlich ausdehnen würden und das Ergebnis dieser Planungen völlig offen war, sollten die Untersuchungen als „Musterplanung“ an einer repräsentativen Schleuse durchgeführt werden.

2 Planungsziel und Randbedingungen

2.1 Auswahl einer repräsentativen Schleuse

Für die Auswahl einer repräsentativen Schleuse galten in einem ersten Schritt folgende grundsätzliche Randbedingungen:

- Schleuse mit einer Kammer (nicht redundant),
- Alter der Schleuse mindestens 50 Jahre.

Eine Schleuse mit zwei Kammern muss in der Regel nicht unter Betrieb mit den dabei zu erwartenden Erschwernissen und zusätzlichen Kosten instandgesetzt werden. Das Mindestalter wurde auf Grund bisheriger Kenntnisse und Erfahrungen mit dem Bauwerkszustand der Schleusenanlagen festgelegt.

Mit diesen Randbedingungen wurde eine Analyse der Schleusenanlagen der WSV durchgeführt. Betrachtet wurden dabei Parameter wie Redundanz, Alter, Bauweise, Anzahl der jeweiligen Schleusentypen. Die Auswertung ergab folgende Ergebnisse:

- Von den für den Güterverkehr bedeutenden 165 Binnenschiffschleusen besitzen 90 nur eine ausreichend große Kammer, deren Ausfall zur Blockierung der betreffenden Wasserstraße führt.
- Fast 50 % der Schleusen sind älter als 75 Jahre.

Folgende Parameter einer repräsentativen Schleuse für eine Instandsetzung unter Betrieb wurden dabei ermittelt:

- Schleuse in massiver, gegliederter Bauweise (Beton, ggf. in Verbindung mit Mauerwerk),
- Kammerwände in Schwergewichtsbauweise aus unbewehrtem oder niedrig bewehrtem Beton (kein Stahlbeton nach heutigem Verständnis),
- Sohle aus bewehrtem Beton (ggf. geringerer Bewehrungsgrad),
- Schleusenverschlüsse in Stahlbauweise.

2.2 Festlegung der Randbedingungen einer Instandsetzung unter Betrieb als Grundlage der Planung

Zentrale Forderung ist es, eine Grundinstandsetzung bei Aufrechterhaltung des Verkehrs durchzuführen. *Unter Verkehr* bedeutet hierbei, dass der Schifffahrt über die gesamte Bauzeit zu vorher fest vereinbarten Zeiten die Durchfahrt ermöglicht wird. Die Einschränkungen sollten das Maß, das üblicherweise von der Schifffahrt aufgrund von Reparatur- und Inspektionsarbeiten in Kauf zu nehmen ist, nicht wesentlich überschreiten. Dazu sollen die Arbeiten der Grundinstandsetzung in folgenden Sperrpausen ausgeführt werden:

- Nachtsperrrpausen (Annahme 19.00 Uhr bis 8.00 Uhr)
- Wochenendsperrrpausen (Annahme Freitag, 15.00 Uhr bis Montag, 8.00 Uhr)
- Sperrpausen längerer Dauer (Annahme 2 x 6 Wochen)

Als unabdingbare Voraussetzung dafür, dass eine Grundinstandsetzung während der vorgesehenen Sperrpausen überhaupt wirtschaftlich umsetzbar ist, muss die Schleuse sehr schnell trocken zu legen sein. Anteilige Arbeiten können zwar auch ohne Trockenlegung durchgeführt werden, für die meisten Arbeiten ist jedoch eine trockene Schleuse erforderlich bzw. technisch und wirtschaftlich vorteilhaft.

Um in einer Nachtsperrrpause acht Stunden für die Ausführung der Arbeiten inklusive eines notwendigen zeitlichen Puffers zur Verfügung zu haben, sollten vom Sperren der Schifffahrt bis zur vollständigen Trockenlegung der Schleusenkammer nicht mehr als drei Stunden vergehen (eine Stunde zum Setzen der Kammerrevisionsverschlüsse, zwei Stunden zum Leerpumpen der Kammer). Das Fluten der Kammer bis zur Freigabe der Schifffahrt darf nicht länger als zwei Stunden dauern (eine Stunde zum Ausheben der Kammerrevisionsverschlüsse, eine Stunde zum Fluten der Kammer).

Als weitere Randbedingung wird festgelegt, dass die nutzbaren Maße der Schleuse der Schifffahrt auf längere Sicht genügen und im Rahmen der Grundinstandsetzung nicht verändert werden. Eine Verbreiterung oder insbesondere eine Vertiefung der Kammer würde die notwendigen Arbeiten und den

Bauablauf (Bauzustände) wesentlich komplizieren und soll daher in dieser ersten Untersuchung nicht betrachtet werden.

Und grundsätzlich sollen die zu findenden Lösungen in technischer und baubetrieblicher Hinsicht robust sein.

2.3 Umfang der notwendigen Planung

Im Rahmen einer Grundinstandsetzung einer Schleuse sind regelmäßig folgende Bau- und Anlagenteile zu erneuern bzw. zu sanieren:

- Kammerwände (hier über die gesamte Höhe betrachtet) und ggf. die Sohle (umfasst auch die Häupter),
- Einbauteile wie Poller und Leitern,
- Schleusenverschlüsse mit den zugehörigen Antrieben und der Steuerung,
- Revisionsverschlüsse,
- Technische Ausrüstung.

Der Umfang dieser Untersuchung beschränkte sich auf die Möglichkeiten der Instandsetzung der Kammerwände mit dem Ersatz der Einbauteile und auf die vorlaufende Herstellung von geeigneten Revisionsverschlüssen als Voraussetzung für eine Grundinstandsetzung unter Betrieb.

3 Ergebnisse der Untersuchung

Auf Grund der Parameter einer repräsentativen Schleuse nach Abschnitt 2.1 wurde die Schleuse Hohlage am Stichkanal Osnabrück für die Untersuchungen gewählt. Sie ist durch folgende Daten gekennzeichnet:

- Baujahre 1913 bis 1915,
- Schleuse mit einer Kammer in massiver Bauweise,
- Kammerwände in Schwergewichtsbauweise aus unbewehrtem Beton (nur Anschlussbewehrung aus der Sohle),
- Stahlbetonsohle,
- Fugenlose Bauweise, für die Planung Annahme einer Blockeinteilung von 15 m,
- Nutzlänge $l = 82,00$ m, Breite $b = 10,00$ m, Fallhöhe $\Delta h = 4,75$ m, $t = 3,50$ m

Die Untersuchungen erfolgten wesentlich durch die **KREBS + KIEFER Ingenieure GmbH** Karlsruhe in sehr enger fachlicher Zusammenarbeit mit dem NBA Hannover

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst dargestellt.

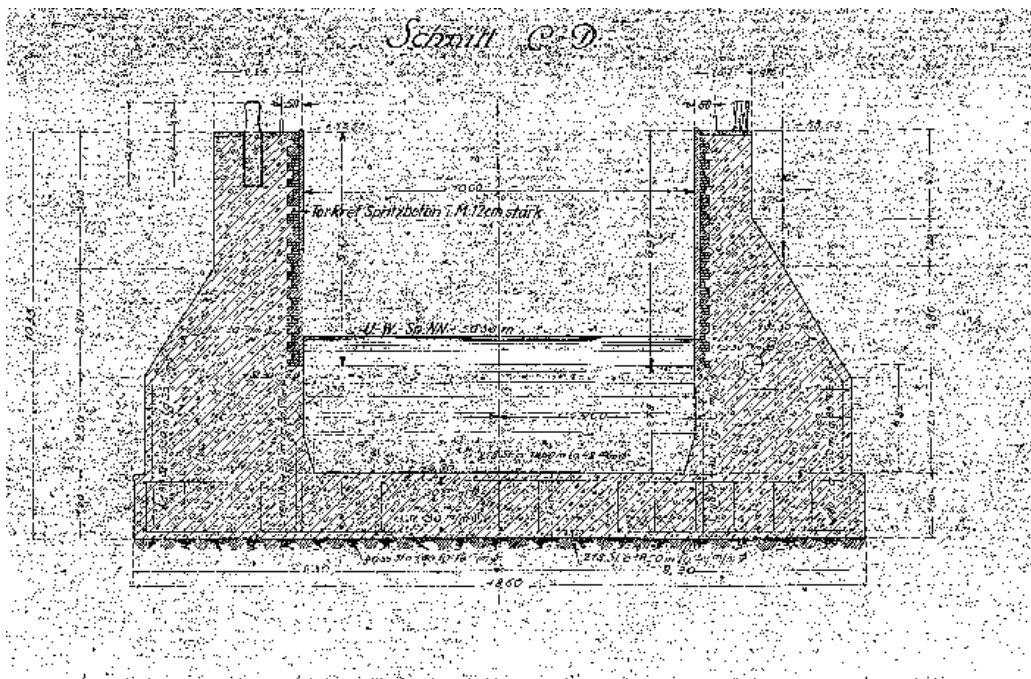


Bild 1: Kammerquerschnitt der Schleuse Hollage

3.1 Herstellung eines Revisionsverschlusses am Unterhaupt

Ausbildung des Revisionsverschlusses

Als bewährtes System, das schnell und sicher gesetzt und wieder gezogen werden kann, soll ein Dammbalkensystem zum Einsatz kommen. Zur Minimierung der Ein- und Ausbaueiten wird ein System aus wenigen Dammbalken – z.B. vier Stück mit $h = 1,00\text{ m}$ - oder ein einteiliger Dammbalken vorgesehen. Dieser hätte Abmessungen von $b = 10,60\text{ m}$ und $h = 4,00\text{ m}$ und ein Gewicht von ca. 16 bis 17 Tonnen. Die Anlieferung muss auf Grund der Maße über die Wasserstraße erfolgen. Der Ein- und Ausbau erfolgt dann jeweils mit einem Mobilkran von Land. Bei einem Dammbalkensystem aus wenigen Dammbalken könnte die Anlieferung auch über die Straße erfolgen. An der Unterseite wird der (unterste) Dammbalken mit einer Notendichtung ausgerüstet, um auf den Einbau einer Sohlschwelle bei der Herstellung der Revisionsverschlussschlitzen zu verzichten.

Zur Erreichung der vorgesehenen Kammerentleerungszeiten wird eine sehr leistungsfähige Pumpe vorgesehen, die – mindestens bei dem einteiligen Dammbalken – fest an diesem montiert ist.

Lage und Ausbildung der Revisionsverschlussschlitzen

Um das Volumen der zu entleerenden Kammer klein zu halten, werden die neuen Revisionsverschlussschlitzen zwischen Unterhauptbrücke und Untertor hergestellt.



Bild 2: Lage der Revisionsverschlusnischen

Die Kanten der Nische werden um einen Zentimeter von der Wandflucht nach innen versetzt, um diese vor Schiffsanfahrung zu schützen. Die Nischengröße wird mit 35 cm x 40 cm gewählt.

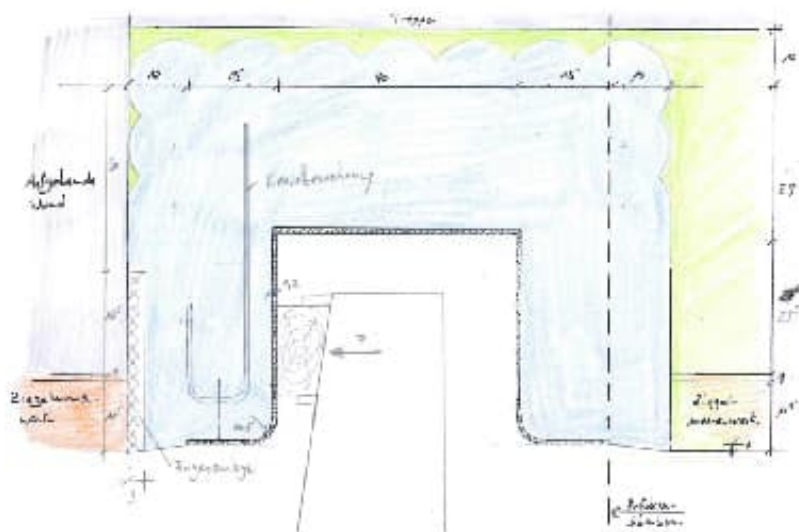


Bild 3: Nischenausbildung

Herstellung der Revisionsverschlusnischen

Der Abbruch erfolgt im Wesentlichen durch überschneitene Kernbohrungen mit $d = 150 \text{ mm}$ bei laufendem Schiffsverkehr und Sägeschnitte im Schutz von Arbeitskisten während Wochenendsperrpausen. Schalung, umlaufender Kantenschutz und Bewehrung werden als komplettes Einbauteil eingesetzt. Die Betonage erfolgt im Nassen unter Verwendung einer entsprechenden Betonrezeptur. Folgender Bauablauf ist vorgesehen:

Abbruch

- Herstellung der Kernbohrungen für beide Nischen (2 x 11 Stück) innerhalb von drei Wochen
- weiterer Abbruch (Sägeschnitte, Ausheben, teilweiser Handabbruch, Vorbereiten der Schnittflächen) für eine Nische in einer verlängerten Wochenendsperrpause (60 Stunden)
- weiterer Abbruch der zweiten Nische in einer verlängerten Wochenendsperrpause (60 Stunden)

Herstellung

- Herstellung der Nischen (Einsetzen der Einbauten, Betonieren) in einer dritten verlängerten Wochenendsperrpause (90 Stunden)

Die Kosten für die Herstellung der Nischen betragen ca. 40.000 Euro.

3.2 Instandsetzung der Kammerwände

Lösungsvarianten

Für die Grundinstandsetzung der Kammerwände wurden folgende Lösungsmöglichkeiten untersucht:

- A. Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung,
- B. Spundwand mit Ortbetonhinterfüllung,
- C. Halffertigteile mit Ortbetoneergänzung.

Zusätzlich wurde auch die Herstellung der Vorsatzschale mit Spritzbeton sowie mit Fertigteilen betrachtet. Die Spritzbetonvariante ist generell machbar und wurde in der Vergangenheit auch schon in Teilbereichen getestet. Allerdings werden Nachteile z.B. hinsichtlich der Ausbildung der Blockfugen und des Einbaus von Schwimmpollern gesehen. Für die bei der Fertigteillösung notwendige wasserdichte und kraftübertragende Ausbildung der Stoßfugen wurde keine technische Lösung gefunden.

Bei allen drei Varianten wurde auch der Einbau der Schleusenausrüstung berücksichtigt. Untersucht wurden zwei Varianten:

- Leiter parallel zur Schleusenachse und Nischenpollerreihe,
- Leiter senkrecht zur Schleusenachse und Schwimmpoller mit Nischenpollerreihe.

Grundsätzlich sollen der Abbruch und die Herstellung der neuen Vorsatzschale zeitlich übergreifend erfolgen, um die Gesamtdauer der Maßnahme zu optimieren und den Schiffsverkehr technisch zu ermöglichen.

Standicherheit der Kammerwände

Die rechnerische Untersuchung der Standicherheit ergab, dass verstärkende Maßnahmen erforderlich sind, um das nach aktuellem Regelwerk geforderte Sicherheitsniveau für den Bau- und den zukünftigen Endzustand zu erreichen. Gewählt wurde eine Verstärkung mit schrägen, vorgespannten Verpressankern (Einstabanker) mit einem horizontalen Ankerabstand von 1,25 m.

Die Herstellung der Verankerung erfolgt der Instandsetzung der Kammerwände vorlaufend in 12 Nachtsperrrpausen je Kammerwandblock ohne Einschränkung des Schiffsverkehrs. Die Kosten liegen bei ca. 40.000 Euro je Kammerwandblock.

Abbruch

Der Abbruch für die neuen Vorsatzschalen erfolgt blockweise durch Fräsen, im Bereich von Ausrüstungsteilen durch Hydraulikmeißel in Nachtsperrrpausen. Der Abbruch muss immer über eine Blockfuge hinausgehen, um bei der nachfolgenden Herstellung der Vorsatzschale die Blockfuge ausbilden zu können. Nach dem ersten Teilabbruch eines Blockes ist die Kante der dahinter liegenden neuen Vorsatzschale mit einer Konstruktion gegen Beschädigung durch Anfahrung zu schützen.

Die Abbruchleistung kann entsprechend den bisherigen Erfahrungen in der WSV und nach Auskünften von Herstellern von Fräsen in einem größeren Bereich zwischen 1,0 bis 1,5 m³/h und 10 bis 15 m³/h schwanken. Auf Grund des Platzbedarfes für Baugeräte und Pontons für das Abbruchgut können maximal zwei bis drei Abbruchkolonnen gleichzeitig in der Kammer arbeiten und jeweils eine Blockseite abbrechen. Bei einem konservativen Ansatz werden ca. fünf Nachtsperrrpausen von 12 Stunden für das Abbrechen einer Kammerblockseite und das Vorbereiten der Betonoberfläche benötigt.

Verbundanker

Bei allen Lösungsvarianten ist die Verankerung der Vorsatzschale im Bestandsbeton notwendig. Probleme können sich hier auf Grund niedriger Betonfestigkeiten des Bestandes ergeben - bei der Schleuse Hollage unter C 12/15, für die die Anwendung der zugelassenen Ankersysteme nicht geregelt ist.

Die Herstellung der Verbundanker kann in Nachtsperrrpausen und Wochenendsperrrpausen erfolgen. Ein Schutz von blockweise hergestellten Verbundankern gegen Anfahrung erscheint auf Grund der geometrischen Verhältnisse nicht notwendig.

A. Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung

Die Herstellung einer Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung ist in technischer Hinsicht eine erprobte Lösung. Bei einer Verankerung der einhäuptigen Schalung sind die gleichen Probleme wie bei den Verbundankern zu beachten.

Die Herstellung erfolgt blockweise (eine Seite). Der Einbau der zweilagigen Bewehrung soll auch 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.

B. Spundwand mit Ortbetonhinterfüllung

Bei dieser Variante wird die Spundwand als verlorene Schalung und als dichtendes Element eingesetzt. Hierdurch verkürzt sich die notwendige Sperrzeit (nur anteilige Nachbehandlung während der Sperrzeit und Entfall des Ausschalens). Zudem kann die Bewehrung zur Rissbreitenbegrenzung entfallen, da an den Beton keine entsprechenden Anforderungen mehr gestellt werden. Die Spundwand ist mit Schalungsankern zur Aufnahme des Frischbetondrucks im Bestandsbeton zu befestigen. Diese

Anker werden als Kleinverpresspfähle ausgebildet und sind speziell konstruiert, um die Montage der Spundwand von oben mit folgendem Festlegen der Verankerung zu ermöglichen. Die Verbindung der Spundwand mit dem Beton der Vorsatzschale erfolgt mittels angeschweißter Kopfbolzendübel.

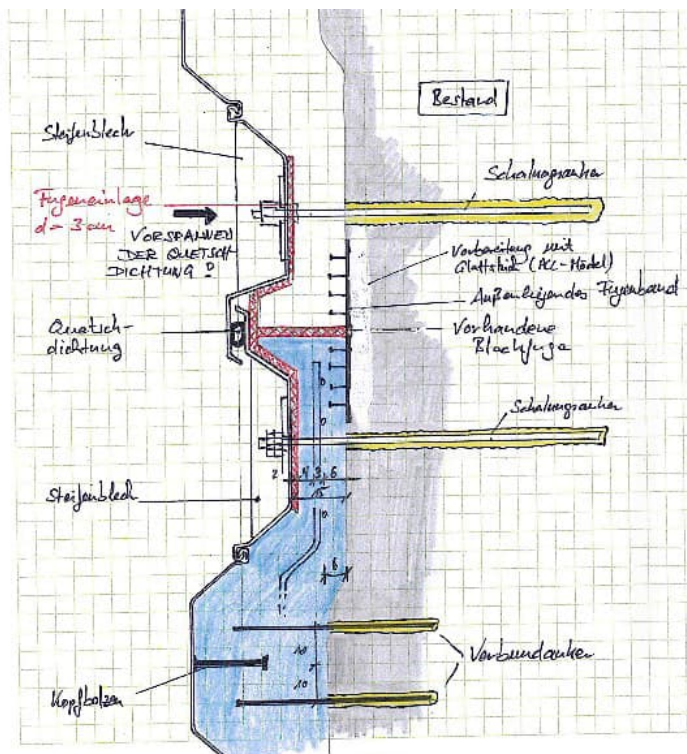


Bild 4: horizontaler Schnitt mit Ausbildung der Blockfuge

Die Herstellung erfolgt blockweise. Die Schalungsanker werden zusammen mit den Verbundankern während Nachsperrpausen hergestellt. Für das Stellen der Spundwandprofile, den Betoneinbau und die anteilige Nachbehandlung ist eine Sperrung von mindestens vier Tagen bei Ansatz eines Zweischichtbetriebes vorgesehen. Die Sperrung könnte z.B. von Mittwoch Abend bis Montag früh angesetzt werden.

C. Halbfertigteile mit Ortbetoneingängung

Bei dieser Variante sollen die Halbfertigteile als verlorene Schalung wirken, um auch hier die Sperrzeit durch den Entfall des Ausschalens und die nur anteilige Nachbehandlung während der Sperrzeit zu verkürzen. Die Vorsatzschale wird aus Halbfertigteilen mit $d = 18$ cm und einer Ortbetoneingängung mit $d = 22$ cm ausgebildet. Im Ortbeton wird eine einlagige Bewehrung, die an der Seite des Bestandsbetons liegt, eingebaut. Die luftseitige Bewehrungslage der Vorsatzschale liegt in den Halbfertigteilen. Diese sind u.a. auf den Frischbetondruck zu bemessen. Maßgeblich ist hier der Schubnachweis. Die Halbfertigteile müssen mit Schalungsankern im Bestandsbeton befestigt werden. Die Herstellung dieser Verankerung stellt erhöhte Anforderungen an die Montage. Die Halbfertigteile haben eine Länge von ca. 7 m und eine Höhe zwischen 2,00 und 2,40 m. Damit ergeben sich über die Höhe der Kammerwand vier Halbfertigteile. Die Bewehrung der Halbfertigteile wird über Übergreifungsstöße verbunden. Für einen qualifizierten Betoneinbau wird auf ungefähr halber Wandhöhe an der Oberkante des zweiten Halbfertigteils eine Arbeitsfuge im Ortbeton angeordnet.

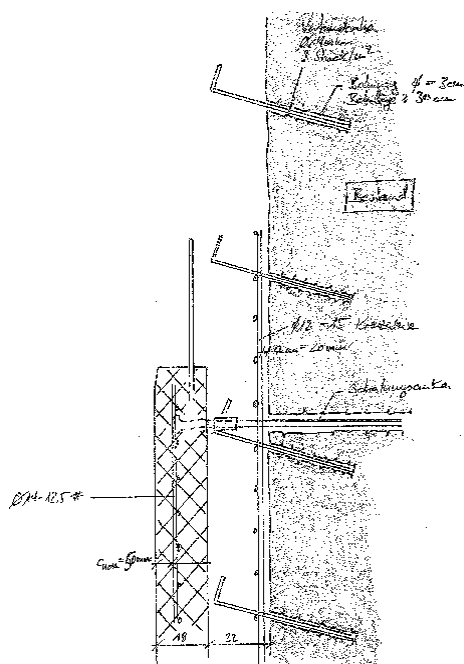


Bild 5: vertikaler Schnitt

Die Herstellung erfolgt blockweise. Die Schalungsanker werden zusammen mit den Verbundankern während Nachsperrpausen hergestellt. Für das Stellen der Halbfertigteile, den Betoneinbau und die anteilige Nachbehandlung ist eine Sperrung von mindestens vier Tagen bei Ansatz eines Zweischichtbetriebes vorgesehen. Die Sperrung könnte z.B. von Mittwoch Abend bis Montag früh angesetzt werden.

Schleusenausrüstung

Die Herstellung der Schleusenausrüstung wurde für die verschiedenen Varianten untersucht und Lösungen entwickelt. Insbesondere für die Herstellung von Schwimmpollern und Nischen für Leitern senkrecht zur Schleusenachse musste die Kammerwand durch ihre relativ geringe Breite im oberen Bereich nach hinten verbreitert werden. Dies machte eine Baugrubensicherung erdseitig und einen angepassten Bauablauf auch hinsichtlich der Verankerung zur Gewährleistung der Standsicherheit notwendig.

4 Fazit

Die Kostenermittlung der einzelnen Varianten auf Grundlage der bisherigen Untersuchungen zeigt, dass die drei Varianten wirtschaftlich in der gleichen Größenordnung liegen.

Die Variante A – Vorsatzschale mit konventioneller Rahmenschalung ist technisch erprobt, benötigt aber wesentlich größere Sperrzeiten. Die anderen beiden Varianten – Spundwand bzw. Halbfertigteile mit Ortbetoneingängung – 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.

Die Wahl einer Variante für eine Grundinstandsetzung unter Betrieb muss objektspezifisch erfolgen.

Quellenverzeichnis

[1] Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH: Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände unter Betrieb, Karlsruhe, 2013

Bild 1: Auszug aus Bestandsplan Schleuse Hollage, WSV

Bild 2: Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände unter Betrieb, Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH, Karlsruhe 2013

Bild 3: Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände unter Betrieb, Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH, Karlsruhe 2013

Bild 4: Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände unter Betrieb, Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH, Karlsruhe 2013

Bild 5: Grundinstandsetzung der Schleusenammerwände unter Betrieb, Krebs + Kiefer Ingenieure GmbH, Karlsruhe 2013

Schnellbetone für besondere Baumaßnahmen

Dr. Robert Bachmann (HeidelbergCement)

Einleitung

Verfügbarkeit ist das Schlagwort im modernen Infrastrukturmanagement. Demgegenüber steht eine alternde und sich teilweise bereits im kritischen Zustand befindliche Bausubstanz. Dabei sind die Möglichkeiten für einen Ersatzneubau jedoch häufig nicht mehr gegeben. Vielmehr muss über grundlegende Instandsetzungsmaßnahmen entschieden werden, die bei konventioneller Vorgehensweise langfristige Ausfälle und Unterbrechungen verursachen.

Langjährige Erfahrungen aus dem Bereich der Verkehrswegeflächen, wie z.B. bei der Reparatur von Flugbetriebsflächen oder stark befahrenen Autobahnabschnitten, können hier Anregungen und Lösungsvorschläge auch für Wasserbauwerke aus Beton bieten. Die für diesen Anwendungszweck entwickelten Schnellbetonsysteme bieten interessante Möglichkeiten, die über ihren ursprünglichen Einsatzzweck hinausgehen.

Im Bereich der öffentlichen Verkehrsinfrastruktur stehen in der Regel nur sehr enge Zeitfenster, von der kompletten Demontage bis zur Wiederherstellung, zur Verfügung. Innerhalb weniger Stunden muss die Verfügbarkeit vollständig wieder hergestellt sein. Dies bedeutet, dass Reparatursysteme innerhalb weniger Stunden die für eine Verkehrsfreigabe erforderlichen Festigkeiten erreichen müssen. Das System kann dabei nicht nur für Flugbetriebsflächen oder auf Autobahnen eingesetzt werden, sondern eignet sich auch für Spezialanwendungen im konstruktiven Ingenieurbau und bei der Herstellung von Fertigteilen.

Schnellbetone für die bauliche Erhaltung

Moderne Schnellbetone erreichen ihre erforderlichen Festigkeitswerte bereits schon 3 bis 5 Stunden nach Einbauende (Abbildung 1). Außerdem müssen sie eine ausreichende Verarbeitbarkeitszeit und einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen. Für das Erreichen dieser Eigenschaften muss neben einem Spezialzement mit schneller Festigkeitsentwicklung eine geeignete Betonzusammensetzung verwendet werden. Die Konsistenz kann dabei von weich bis fließfähig eingestellt werden.

Die maßgeblichen Anforderungswerte sind in den Regelwerken der FGSV (ZTV und TL BEB-STB 15) [2,3] definiert. Als Ausgangsstoffe können Zemente nach DIN EN 197-1, DIN 1164-11 oder Spezialzemente mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden. Der Alkaligehalt der Zemente oder Zementgemische darf ein Na_2O -Äquivalent von 0,80 M.-% nicht überschreiten. Für die Gesteinskörnungen sind die Anforderungen gemäß TL Beton-StB einschließlich der Feuchtigkeitsklasse WS einzuhalten. Schnellbetonsysteme werden allgemein nach ihren Lieferformen und Herstellungsprozessen unterschieden (Tabelle 1).

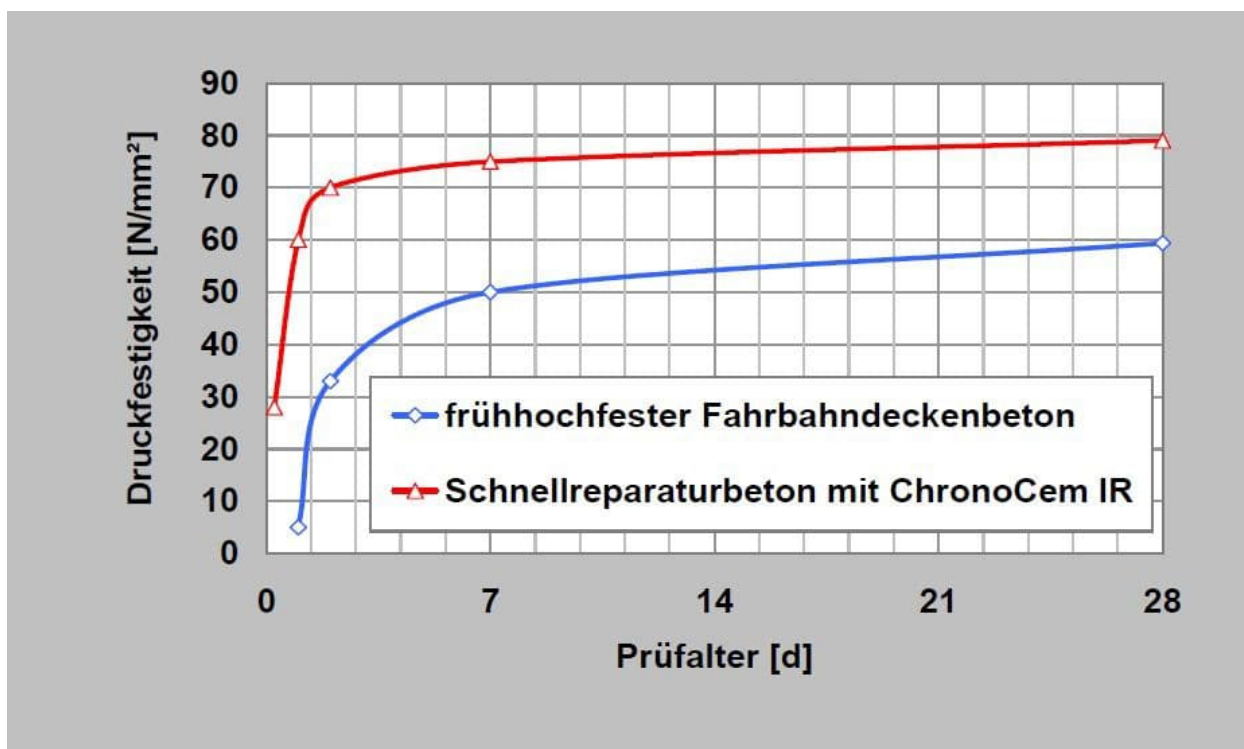


Abbildung 1: Vergleich der Festigkeitsentwicklung von Schnellreparaturbeton [1]

Tabelle 1: Schnellbetonsysteme

Typ A	Transportbeton (D_{\max} 22 mm)
Typ B	werksmäßig zementgebundener Trockenmörtel (Basismischung D_{\max} 4 mm) und bauseitig zugemischte grobe Gesteinskörnung (D_{\max} 22 mm)
Typ C	werksmäßig hergestellter zementgebundener Trockenbeton (D_{\max} 22 mm)

Wärmeentwicklung

Als wesentlich wird bei Systemen die auf Portlandzement nach DIN EN 197-1 basieren und demzufolge auch die Zulassung für ZTV-W Bauwerke erhalten, die Wärmeentwicklung des Betons betrachtet. Die schnelle Frühfestigkeitsentwicklung ist mit einer hohen Hydratationswärmeentwicklung verbunden. Eine hohe Frischbetontemperatur fördert die schnelle Festigkeitsentwicklung verkürzt aber auch die zur Verfügung stehende Verarbeitbarkeitszeit. Grundsätzlich gilt für alle Systeme, dass die Festigkeitsentwicklung im Bauteil deutlich schneller ist, als die an gesondert hergestellten Probekörpern. Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen aus Praxisanwendungen mit Chronocrete® ist beispielsweise ersichtlich, dass die durchschnittlichen Temperaturen im Bauteil nach 5 Stunden bei ca. 55 °C und die Maximaltemperaturen bei ca. 60 °C liegen (Abbildung 2). Bei diesen Bedingungen lagen die Druckfestigkeiten im Bauteil nach 5 Stunden immer zielsicher über 20 N/mm². Diese Temperaturbedingungen im Bauteil können im Reifesimulator nicht zu 100 % simuliert werden.

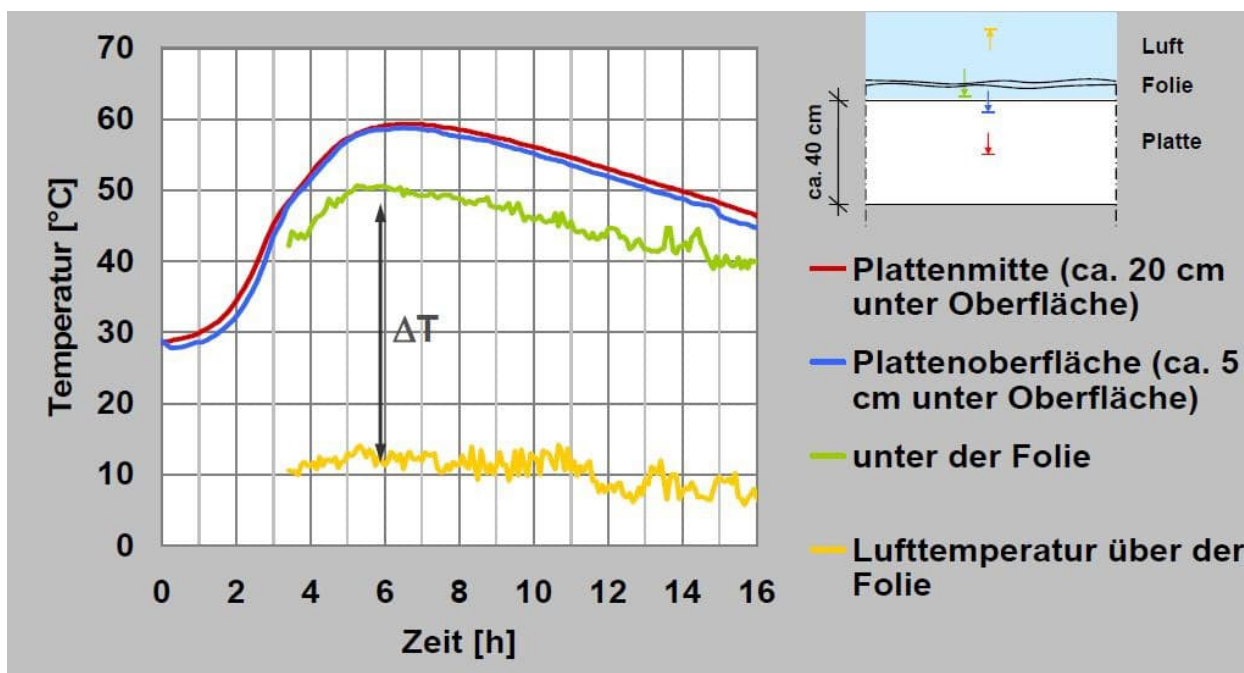


Abbildung 2: Temperaturentwicklung einer Betonplatte unter Praxisbedingungen [1]

Dauerhaftigkeit

Um eine ausreichende Dauerhaftigkeit zu gewährleisten müssen auch Betonreparatursysteme einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand aufweisen. Aufgrund der hohen Druckfestigkeiten und den üblicherweise niedrigen w/z Werten ($w/z < 0,40$) kann Schnellbeton auch ohne künstliche Luftporen hergestellt werden. Der Nachweis wird dann an im Labor hergestellten Prüfkörpern mit dem CDF-Test nach DIN CEN/TS 12390-9 [4] im Rahmen der Erstprüfung erbracht. In Abbildung 3 sind exemplarisch die Abwitterungen aus dem CDF-Test im Vergleich für sowohl im Labor hergestellte Prüfkörper als auch an Bohrkernen, die aus Probestellen gewonnen wurden, dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass der ermittelte Frost-Tausalz-Widerstand des Betons im sicheren Bereich liegt.

Erfahrungen und Praxisanwendungen

Die langjährigen Erfahrungen aus dem Verkehrswegebau und der Fertigteilerstellung zeigen, dass mit heutigen Schnellbetonsystemen eine nachhaltige und schnelle Instandsetzung bereits erreicht werden kann. Damit kann das Primärziel, die Verfügbarkeit von Infrastruktur, optimal unterstützt werden. Zur Sicherstellung und dem Nachweis der Leistungsfähigkeit solcher Systeme, wie die Frühfestigkeit, wird die Prüfung der Druckfestigkeit mit dem sogenannten Pendelhammer in-situ am Bauteil erbracht (Abbildung 4). Dazu muss vorab im Labor eine Korrelationskurve zwischen Pendelhammerwerten und Druckfestigkeitsergebnissen erstellt werden. In Zusammenhang mit den Nachweisen zur Dauerhaftigkeit im Rahmen der Erstprüfung und der Einsatzfähigkeit für alle Expositionsklassen nach DIN EN 206/DIN1045-2 (Ausnahme Sulfatangriff $> 600 \text{ mg/l}$) eignen sich schnell erhärtende Reparaturbetone ideal zur Instandsetzung schadhafter Betonflächen.

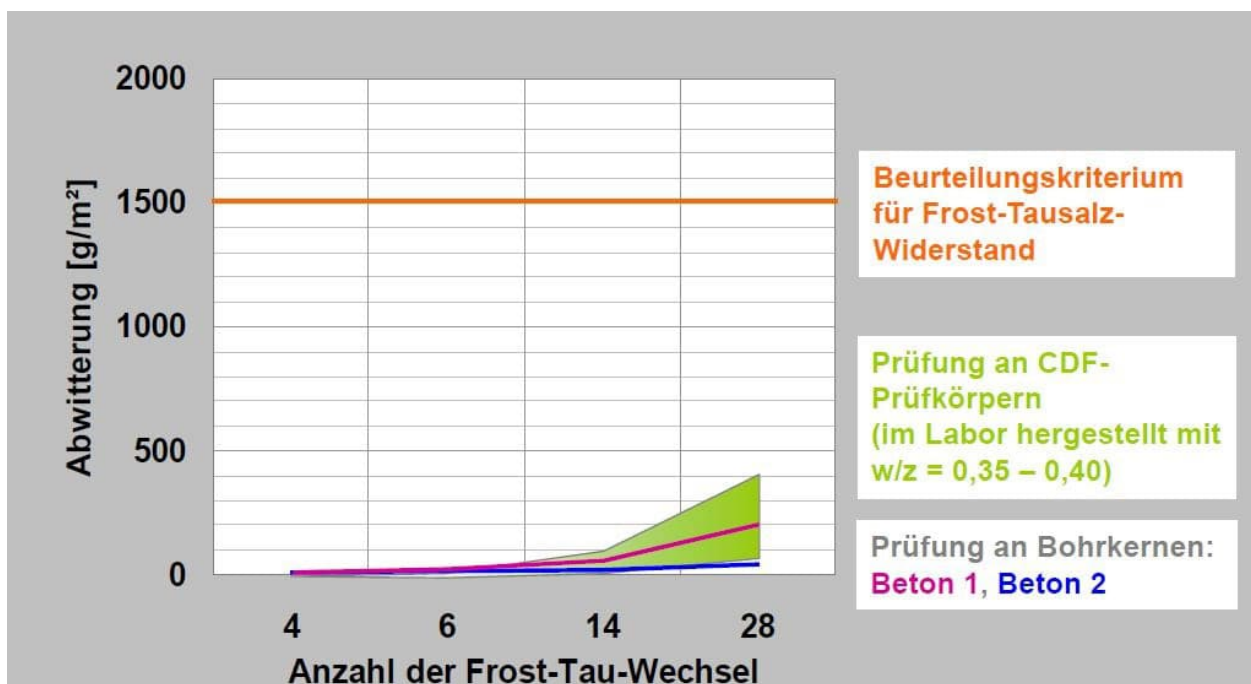


Abbildung 3: Frost-Tausalz-Widerstand (CDF-Test) an Laborprüfkörpern und Bohrkernen [1]



Abbildung 4: Zerstörungsfreie Prüfung der Betondruckfestigkeit mit dem Pendelhammer [1]



Abbildung 5: Trafostation Fertigteilherstellung mit Chronocrete®

Literaturverzeichnis

- [1] Dr. M. Dietermann und D. Küchlin: ChronoCem IR – Ein neuer Spezialzement für die schnelle Reparatur von Verkehrsflächen, in Straße und Autobahn, Sonderdruck Ausgabe 10/2010
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen (ZTV BEB-StB), Ausgabe 2015, Köln
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen – Betonbauweisen (TL BEB-StB), Ausgabe 2015, Köln
- [4] DIN CEN/TS 12390-9 Prüfung von Festbeton – Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz Widerstand – Abwitterung; Deutsche Fassung CEN/TS 12390-9:2016, Ausgabe Mai 2017

Austausch von Stemmtoren am Main in einer Schleusensperre

Dipl.-Ing. (TH) Katrin Stein (WSA Schweinfurt)

1. Einleitung

Mit 19 Staustufen und den dazugehörigen Schiffsschleusenanlagen an der Wasserstraße Main gehört das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Schweinfurt zu durchaus interessanten Betreibern innerhalb der WSV. In diesem Mainabschnitt werden u. a. 50 Schleusentore betreut: Davon sind 37 als Stemm-Tore einfacher Bauart, 11 als Schütz betriebene Stemm-Tore, 1 als Drehsegmenttor sowie 1 als Hubsenktor ausgebildet. Bedingt durch den Ausbau des Mains zur Großschifffahrtsstraße in den 30er und nach dem Krieg in den 50er/60er Jahren weisen die Anlagen nunmehr ein Alter von über 70 Jahren aus. Alle, bis auf 6 Tore wurden daher schon einmal gegen neue ersetzt.

Die Gründe für den Torersatz sind zum einen das Betriebsalter (rechnerische Nutzungsdauer), jedoch auch Schadensfälle durch Anfahrungen, zu gering ausgelegte Betriebsfestigkeit, unkorrekte Toreinstellungen sowie höhere rechnerisch anzusetzende Belastungen durch Änderung des Regelwerkes, Umbau auf Fernsteuerung und Einführung neuer Standards.

Nach fast abgeschlossenem Torersatzprogramm ist eine fortlaufende geplante Grundinstandsetzung nach 20 Jahren, vergleichbar mit der Checkheftpflege beim Auto durchaus möglich. Ziel ist, „den Schaden zu beheben, bevor er auftritt“, um den funktionellen Erhalt unserer Schiffsschleusen zu gewährleisten.

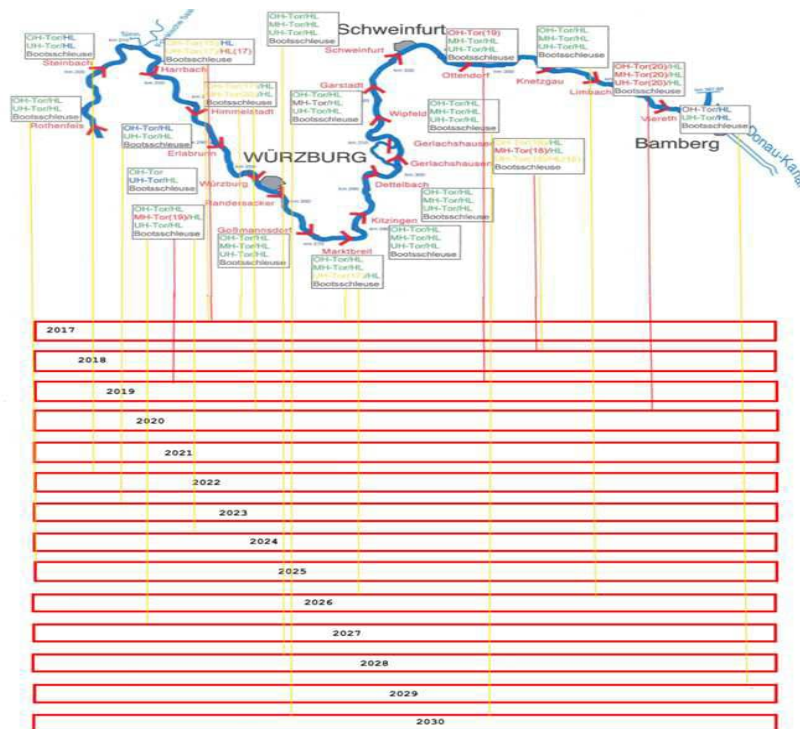


Abb.1: „Checkheftpflege am Main“ Auszug aus geplanten Grundinstandsetzungen im Bereich des WSA Schweinfurt

2. Standardisierung als Entscheidungshilfe

Durch das Bestreben nach weitest gehendem Erhalt der bestehenden Anlagen unter Berücksichtigung aktueller Anforderungen hat die Modernisierung inzwischen eine dem Neubau gleichwertige Bedeutung erhalten. Eine allgemeingültige, die sehr unterschiedlichen Randbedingungen eines Wasserbauwerkes erfassende Modernisierungsrichtlinie existiert nicht. Hierzu sind die hydrologischen, hydraulischen, bodenmechanischen sowie sonstigen baulichen und betrieblichen Voraussetzungen zu unterschiedlich. „Standardisierung“ scheint hier das Zauberwort zu sein. Nun was spricht gegen eine Vereinheitlichung von Bauteilen und Bauteilgruppen, um eine sinnvolle aufwands- und mittel reduzierte Ersatzteilverhaltung bzw. –Beschaffung zu ermöglichen? Voraussetzung sind hierfür jedoch Erfahrungen hinsichtlich eines störungsfreien Betriebsablaufes. Durch eine positive Fehlerkultur erhält man die Chance auf Weiterentwicklung und stetige Verbesserung, um künftig gleiche Fehler zu vermeiden und aus neuen Fehlern zu lernen. Standardisierte Bauteile bzw. Bauteilgruppen, welche bereits im Bereich des WSA Schweinfurt , basierend auf einer Standardisierten Torausschreibung, eingeführt worden, sind Halslager, Spurlager, Knaggen, Dichtungen und Torpuffer.

Womit sich die Frage stellt, was überhaupt alles erneuert werden soll bzw. sollte: Nun der Ersatz der Torkonstruktion, welche mittlerweile nach DIN EN 1090, DIN 19704 mit 30 Torspielen pro Tag an 365 Tagen im Jahr statisch berechnet, konstruiert und gebaut wird, ist hierbei kompromisslos. Die Halslager einschließlich deren Rückverankerung sind im Bereich des WSA Schweinfurt seit 20 Jahren standardisiert und genau wie die ehemals elektromechanischen Antriebe komplett gegen hydraulische Kompaktantriebe zu ersetzen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass ein korrekter Spurlagersitz unabdingbar mit dem sicheren Betrieb der Torkonstruktion als Ganzes verbunden ist. Üblicherweise werden die Tore geometrisch auf Sollmaß, d.h. Ursprungsmaß gebaut. Das Spurlager sollte daher auch auf Sollmaß sitzen. Leider ist die gemachte Erfahrung eine andere. Die Tore werden z. T. einem unkorrekten Spurlagersitz, welcher sich im Laufe eines Torlebens vielfältig durch Dichtanpassung usw. verschoben hat, mit Hilfe der Halslagerspannung angepasst. Es wird nur Wert auf Dichtigkeit als entscheidendes Abnahmekriterium gelegt. Unplanmäßige Verschleißerscheinungen sind die Folge, da zusätzliche, rechnerisch nicht erfasste Horizontalkräfte als Abriebkräfte auf die Knaggen wirken. Dadurch entstehen zusätzliche Momente an der Schlagsäule. Es kommt zur Kräfteüberlagerung, für welche die Tore in keiner Weise berechnet und konstruiert worden sind. Dies führt dann unweigerlich zu Problemen bezüglich der Betriebsfestigkeit und einem unerwarteten Torverschleiß. Ein entsprechender Versatz des Spurlagerunterteils auf Soll-Maß ist nicht nur die Alternative sondern ein „Muss“. Besonders bewährt hat sich hierbei der Einsatz von Mauerplattenträgern mit integriertem Spurlager. Wenn nun das Tor und der Spurlagersitz auf Sollmaß angelegt worden sind, ist auch die Tor-Maske, d.h. der Drempe- und Wendesäulendichtanschlag auf korrekte Einbaulage und entsprechende Ebenheit hin messtechnisch zu überprüfen. Es wurde z.T. Lot-Abweichungen am Wendesäulenanschlag von 13 cm festgestellt. Wenn nun die Tore zum Nachweis der eingehaltenen Dichtigkeit soweit an das Bauwerk, egal ob schiefwinklig oder uneben, angepasst werden, ist der Reserveanteil der Dichtungen für spätere Feinregulierung von Beginn an aufgebraucht. Der Einbau der Tore erfolgt schiefwinklig durch entsprechendes Nachspannen über die Halslageranker, was zwangsläufig zu Verschleißerscheinungen führt.

Die rechnerisch zugrunde gelegte Torstatik entspricht damit nicht mehr den tatsächlichen Gegebenheiten.

3. Stahlwasserbauliche Teilerneuerung am Beispiel der SSA Dettelbach

Die vielen Einzelmaßnahmen, welche bei einem Neubau selbstverständlich sind, stellten das WSA Schweinfurt vor das Problem, einen Großteil dieser innerhalb kurzer Schifffahrtssperren (14 Tage bis 21 Tage) zu bewältigen mit dem Ergebnis 100 %iger Betriebsbereitschaft unmittelbar nach der jeweiligen zeitlich einzuhaltenden Sperre. Es war also sehr schnell klar, dass diese Gesamtmaßnahme sich nur über den Zeitraum mehrerer Jahre unter Nutzung mehrere Schleusensperren realisieren lies. Gegenstand öffentlicher Ausschreibungen waren nach genehmigten Entwürfen- HU und -AU die Leistungen für die Verankerung der Spundwand, Erneuerung der Schleusenausrüstung (Poller, Lampen, Spundwandholme), Erneuerung der Wege- und Straßenplanie mit Entwässerung, Neubau von 6 Antriebshäusern unter Planieanpassung der Häupter und einer Einfeld -Lehne für die notwendige Schleusentrockenlegung am OH, den Ersatz(Nebau) der Tor- und Schützantriebe, der Halslager einschl. deren Rückverankerungen sowie der drei Schütz betriebenen Tore. Die ursprünglich eingebauten Tore waren genau wie die neu zu ersetzenden als Riegel-Stemmtore ausgebildet und das Füllen bzw. Entleeren der Kammer erfolgte über Tor-Schütze. Im Zuge des Umbaus der Anlage auf Fernsteuerung wurden die Antriebe der Tore selbst und die Halslager bereits 2011 in einer SSP gegen neue ersetzt. Die Tore werden jetzt, genau wie die Schütze über einen hydraulischen Kompaktantrieb ferngesteuert. Dieser Umbau der Torantriebe war zum Zeitpunkt des Torersatzes bereits abgeschlossen. Die Umstellung der ursprünglichen elektro-mechanischen Schütz-Antriebe auf elektrohydraulische hingegen erfolgte innerhalb der Schleusensperre 2015 im Zusammenhang mit dem Torersatz.

Wie gestaltete sich nun die weitere Vorgehensweise des eigentlichen Torersatzes in Hinblick auf das zur Verfügung stehende kurze Zeitfenster vom 13.04.-29.04.2015?

Nachdem der Maßnahmen-Rahmen für diesen abgesteckt und die verschiedenen konstruktiven Details hinreichend geklärt waren, ging es nun an die Vorbereitung des **Baublaufes**.

Die Halslager einschließlich deren Rückverankerungen und Torantriebe waren im Zusammenhang mit Planieumbau und Spundwandverankerung 2011 bis 2014 bereits ersetzt worden.

2014 erfolgte im Rahmen einer Schleusensperre ein Aufmaß der Spurlagersitze und Mauerplatten, in deren Ergebnis die Notwendigkeit des Spurlagerversatzes im Zusammenhang mit der Ersatztorphilosophie des WSA Schweinfurt erkannt worden ist.

Die Technische Bearbeitung, d. h. die statische Berechnung und konstruktive Bearbeitung der Tore und Schütze, fand im Zeitraum 2014-2015 durch den mit dem Torersatz beauftragten AN statt. In dieser Bauphase erst kam es zur Feststellung einer notwendigen Maßnahmenenerweiterung – dem Ersatz der Mauerplattenträger.

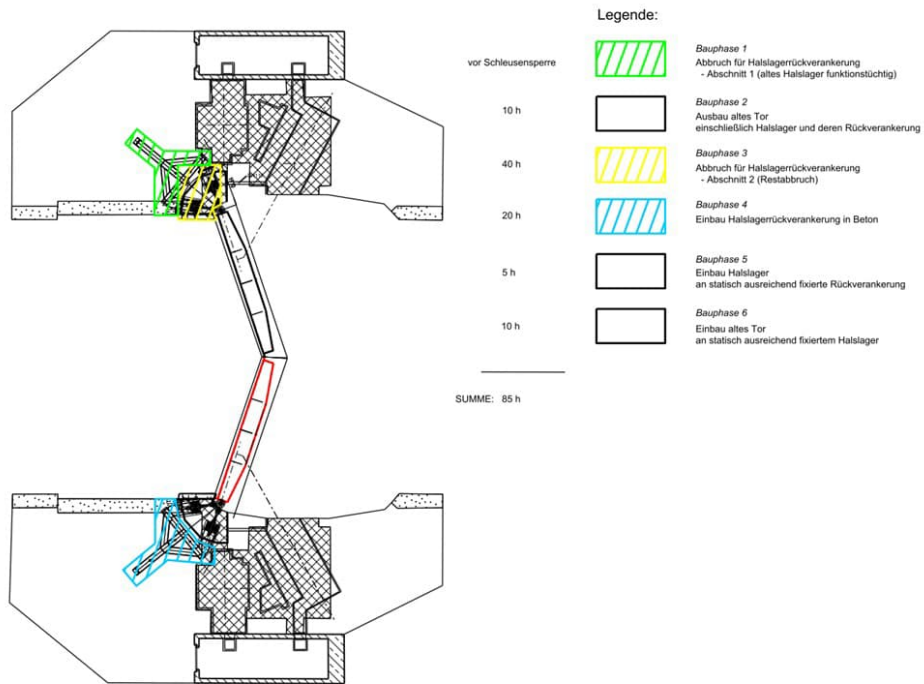


Abb.2: Bauphasenplan 1 Ersatz der Halslager einschl. deren Rückverankerung

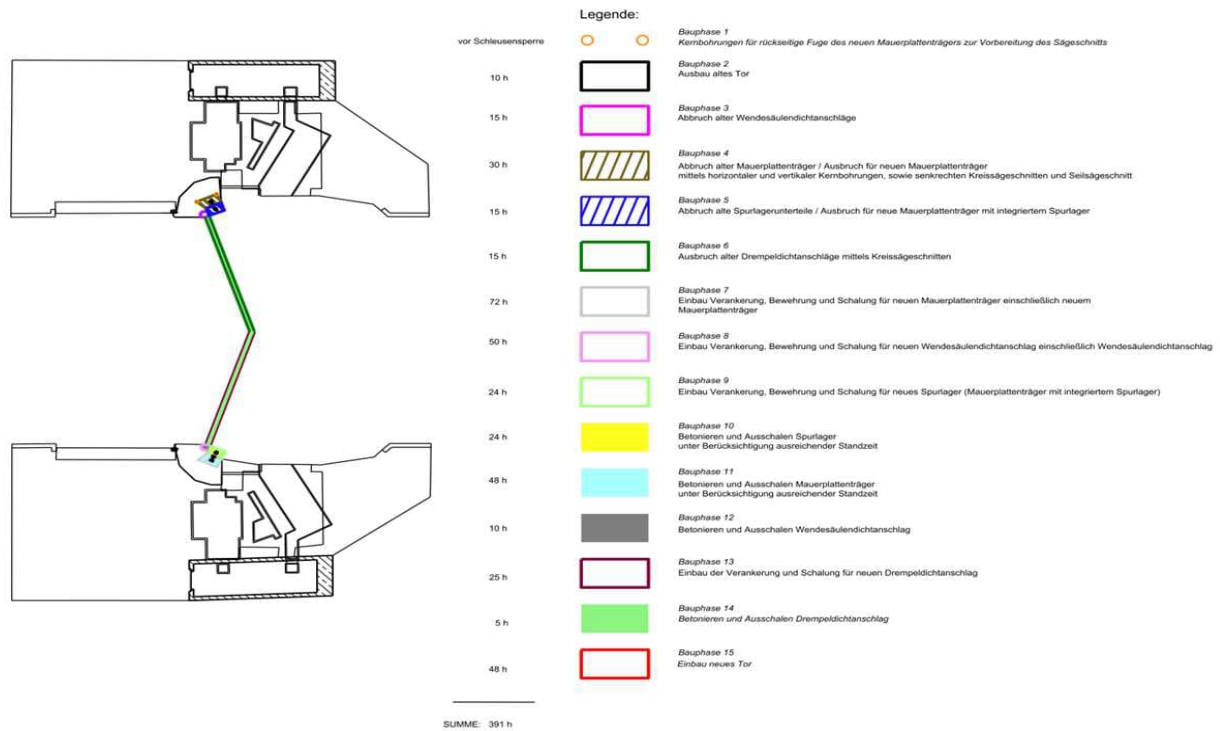


Abb.3: Bauphasenplan 2 Ersatz der Wendesäulen- und Drempele-Dichtanschläge sowie der Mauerplattenträger

Die Fertigung der Tore, Schütze und Mauerplattenträger im Werk war an einen vertraglich vereinbarten Zeitplan gebunden und wurde sehr engmaschig durch Dritte überwacht. Nur so konnte in vor- und ausgeschriebener Qualität termingerecht geliefert werden.

Nach Feststellung der Notwendigkeit zusätzlichen Ersatzes der Mauerplattenträger mussten die bis dahin auf gestellten Bauzeitenpläne, welche sich ohnehin mehrfach geändert hatten, wieder aktualisiert werden. Die besondere Herausforderung bestand nunmehr darin, das nahezu verdoppelte Auftragsvolumen in derselben kurzen Schleusensperre umzusetzen.

Und so begann die Eröffnung der Baustelle selbst bereits im Februar unter stundengenauer Planung mit größtmöglicher Vorbereitung und Vorfertigung von z.B. Bewehrungskörben, Schalungselementen sowie der Konzeptionierung eines frühhochfesten Betons mit ausgezeichneten Fließeigenschaften und nicht allzu hoher Erwärmung.

Eine besondere Herausforderung stellte in diesem Zusammenhang der Abbruch der alten Mauerplattenträger dar. Diese mussten zumindest an Ober- und Unterhaupt bis zur Schleusensperre selbst voll funktionstüchtig bleiben. Das Mittelhaupt wurde unter Berücksichtigung der Schifffahrt früher aus dem Betrieb genommen. Rückseitige Kernbohrungen hinter den auszubrechenden Mauerplattenträgern im statisch unproblematischen Bereich zur Freilegung der Rückenfuge erfolgten ebenfalls rechtzeitig vor der Sperre. In dieser wurden dann zeitgleich an allen Häuptern sowohl land- als auch wasserseitig Abbruch-, Bewehrungs-, Schalungs- und Betonierarbeiten im 24-Stunden-Betrieb durchgeführt.

Die bereits angesprochene Betonkonzeptionierung erfolgte in mehreren Versuchen: So basierte das erste und bereits beauftragte Angebot des AN auf dem Einsatz von Pagel, um die Mauerplattenträger mit integriertem Spurlager frühestmöglich ausschalen und belasten zu können. Zur weiteren Optimierung wurde dann der Einsatz von Stahlfaser bewehrtem Beton untersucht. Dieses Konzept ließ sich statisch jedoch nicht umsetzen. Sodass es unter Absprache mit der BAW Karlsruhe, dem TÜF Rheinland als Betonüberwacher, Heidelberger Zement und dem ausführenden Baubetrieb zur Entwicklung einer Spezialrezeptur, d.h. eines frühhochfesten Reparaturbetons, unter gleichzeitiger Ersparnis von ca. 55.000,- Euro kam.

In Vorbereitung der Baustelle waren durch den ausführenden Subunternehmer des AN für den Torersatz extra Modelle der zu bewehrenden und betonierenden Nische gefertigt worden, um die Ankerbohr- und Verpress-, Bewehrungs- sowie Schalungsarbeiten weitestgehend zu optimieren.

Dennoch blieben für den Einbau der Tore selbst, neben dem Umbau der Schützenantriebe, nur jeweils 2 Tage und das entsprechend parallel. Auch hier führte ein Sondervorschlag zum angestrebten Erfolg: „Toreinpassung mittels Spaltverguss“ - eine wirklich zu empfehlende Montagevariante aus dem Brückenbau. Dieses Verfahren war bereits durch andere WSÄ's erfolgreich getestet worden und das eingesetzte Material („DIAMANT“) hatte eine bauaufsichtliche Zulassung.



Abb. 4/5/6: Verschiedene Modellbauten der auszubrechenden Nische für den Einbau der künftigen Mauerplattenträger einschl. der notwendigen Verankerung, Bewehrung und Schalung

Danach Einbau der Tore und deren Schützenantriebe die Zeit für deren Feinanpassung dann doch nicht mehr ausreichte - üblicher Weise werden mindestens 5-6 Tage eingeplant -, mussten bei der ersten Flutung starke Undichtigkeiten sowohl an Toren als auch an den Schützen festgestellt werden. Bedingt durch die vorhandenen starken Unebenheiten an den Dichtflächen des Wendesäulenanschlages, wurden die Tore mittels Halslager dicht gespannt. Eine zusätzliche Schleusensperre 2016 war erforderlich, um die notwendigen Anpassungs- und Dichtarbeiten durchzuführen, was auch gelang.



Abb.7: Mittelhaupttor der SSA Dettelbach



Abb.8.: Luftbildaufnahme der SSA Dettelbach

4. Fazit

- Die Tatsache, dass in der Planung bereits 90 % des Erfolgs liegen ist hinlänglich bekannt. Daher ist eine rechtzeitige Vorbereitung in der technischen Bearbeitung ein „Muss“. Die Technische Bearbeitung wird aufgrund gemachter Erfahrungen im Bereich des WSA Schweinfurt mittlerweile vorweg genommen und von dem eigentlichen Bauauftrag getrennt. Nur so erhält man letztendlich den komplexen Überblick, welcher auch immer in einer Hand mit der notwendigen Erfahrung liegen sollte!
- Eine Aufmaß-Kontrolle sollte anlässlich einer vorherigen Trockenlegung stattfinden, um rechtzeitig Maßnahmen wie den Ver- bzw. Ersatz von Spurlagern, Tormasken, Stemmwinkel u. ä. planen zu können. An dieser Stelle ergeht nochmal die ausdrückliche Empfehlung für den Einsatz eines Mauerplattenträgers mit integriertem Spurlager, ggf. mit Kopplung der Tormaske.
- Eine umfangreiche Fertigungsüberwachung ist mittlerweile Vorschrift. Um diese ausreichend sicher zu stellen, sind Fremdbüros unumgänglich.
- Umfassende Arbeitskräfte-, Geräte- und Materialeinsatzplanung mit entsprechenden Nachweisen, wenn es geht, vor Auftragsvergabe und deren ständige tägliche Mehrfachkontrolle bilden mit die Voraussetzungen für das erfolgreiche Gelingen einer solch komplexen Ersatzbaumaßnahme innerhalb kurzer Schleusensperren.

5. Quellenverzeichnis

Der vorstehende Bericht basiert auf Protokollen und Dokumenten bezüglich der Baumaßnahme Neubau(Ersatz) und Montage der OH-, MH- und UH-Tore der SSA Dettelbach einschließlich der Halslager und deren Rückverankerungen an der SSA Dettelbach.

- Abb.1: „Checkheftpfleger am Main“ Auszug aus geplanten Grundinstandsetzungen im Bereich des WSA Schweinfurt, 2016 (Quelle: Bildarchiv des WSA Schweinfurt)
- Abb.2: Bauphasenplan1 – Ersatz der Halslager einschl. deren Rückverankerung, 2017 (Quelle: Zeichnungsarchiv des WSA Schweinfurt)
- Abb.3 : Bauphasenplan2 – Ersatz der Wendesäulen- und Drempeldichtanschlüsse sowie der Mauerplattenträger, 2017 (Quelle: Zeichnungsarchiv des WSA Schweinfurt)
- Abb. 4/5/6: Verschiedene Modellbauten der auszubrechenden Nische für den Einbau der künftigen Mauerplattenträger einschl. der notwendigen Verankerung, Bewehrung und Schalung (Quelle : Power Point Präsentation zur Baustelle der Schleuse Dettelbach 2015/Archiv Karl Köhler GmbH, Bauunternehmung)
- Abb.7: Mittelhaupttor der SSA Dettelbach, 2015 (Quelle: Bildarchiv des WSA Schweinfurt)
- Abb.8.: Luftbildaufnahme der SSA Dettelbach, 2015 (Quelle: Bildarchiv des WSA Schweinfurt)

Weserschleusen – Erneuerung Stahlwasserbau, Elektro-, Steuerungs- und Maschinentechnik

Dipl.-Ing. Lutz Einhoff (NBA Hannover)

Ausgangslage

An der Mittelweser befinden sich zwischen Minden und Bremen 6 Schleusenanlagen, die zwischen 1936 und 1960 erbaut wurden und vom Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt in Verden betrieben werden. Die fünf Schleusen in Petershagen, Schlüsselburg, Landesbergen, Drakenburg und Langwedel sind Einzelschleusen und überwiegend baugleich bzw. baulich sehr ähnlich gestaltet.

Bei der sechsten Schleusenanlage in Dörverden wurde kürzlich die 2. Kammer durch einen Neubau ersetzt. Die Anlagen in Dörverden sind nicht Bestandteil der derzeitigen Instandsetzungsplanung.

Bei den 5 erstgenannten Mittelweserschleusen hat der Stahlwasserbau mit einem Alter von rund 60 Jahren das Ende seiner Nutzungsdauer erreicht, bei den Antrieben ist die übliche Nutzungsdauer bereits überschritten. Die Elektro- und Steuerungstechnik wurde bisher sukzessiv nach Bedarf abschnittsweise erneuert und erreicht ebenfalls in Kürze das Ende ihrer üblichen Nutzungsdauer.



Technische Daten der Mittelweserschleusen:

Schleusen-anlage	Breite [m]	Länge [m]	Stauhöhe [m]	Baujahr
Petershagen	12,34	212,00	6,00	1936, 1951 – 1953
Schlüsselburg	12,40	211,00	4,50	1953 – 1956
Landesbergen	12,30	221,00	5,50	1959 – 1960
Drakenburg	12,30	223,00	6,40	1938 – 41, 1953 - 56
<i>Dörverden</i>	<i>12,50/12,50</i>	<i>139,00/85,00</i>	<i>4,60</i>	<i>2009- 2013 / 1939</i>
Langwedel	12,36	215,00	5,50	1953 – 1958

Da sich der Instandsetzungsbedarf an den 5 Mittelweserschleusen wegen ihres Alters und ihrer baugleichen Konzeption grundsätzlich ähnlich darstellt, wurden die anstehenden Maßnahmen in einem Projekt gebündelt. Den Projektauftrag hat das NBA Hannover erhalten.



Bild 1: Schleuse Schlüsselburg

Projektvorstellung, Projektziele

Das Projekt umfasst i. W. folgende Maßnahmen:

1. Erneuerung der Stahlwasserbauausrüstung
 - Ersatz der Ober- und Untertore (Stemmtore) einschließlich der festen Teile
 - Ersatz der Umlaufkanalverschlüsse (Rollkeilschütze)
 - Ersatz der Reserve-Stemmtore (1 Reserve-Obertor und 1 Reserve-Untertor für 6 Schleusen)
 - Ersatz der Revisionsverschlüsse
2. Erneuerung der Antriebstechnik
 - Ersatz der Stemmtorantriebe (Triebstockantriebe) durch Elektrohubzylinder
 - Ersatz der Kettenantriebe der Umlaufkanalverschlüsse
3. Erneuerung der Elektro- und Steuerungs- und Nachrichtentechnik einschl. Kabelwege

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf den Punkten (2) und (3), d.h. der Erneuerung der technischen Ausrüstung.

Für das Projekt wurden noch weitere Randbedingungen festgelegt:

- Gleichteilekonzept:
Die Komponenten sollen möglichst baugleich oder zumindest funktional gleichartig sein, um die Unterhaltung zu vereinfachen.
- Minimierung der Sperrzeiten:
Bei den 5 Weserschleusen handelt es sich um Einzelschleusen. Jede Sperrung einer Einzelschleuse führt unmittelbar zu einer Unterbrechung des Verkehrsweges. Ein Ausweichen über

den Umweg Mittelweser – DEK – MLK ist zwar theoretisch möglich, aber der Umweg ist so lang, dass dies der Schifffahrt nur kurzzeitig zugemutet werden kann. Folglich ist die Dauer von Schleusensperrungen soweit wie möglich zu minimieren; es wurde festgelegt, dass keine Sperrung länger als 6 Wochen andauern darf.

- Die Berücksichtigung der Belange der Arbeitssicherheit und der Maschinenrichtlinie sind obligatorisch.

Zur technischen Bearbeitung hat das NBA Hannover Planungsaufträge an Ingenieurbüros vergeben.

Vorüberlegungen

Erfahrungsgemäß beansprucht der Neubau der technischen Ausrüstung einer Schleuse mindestens 1 Jahr Zeit. Damit scheidet eine Erneuerung der technischen Ausrüstung während der 6-wöchigen Schleusensperrzeit aus. Die 6-wöchige Sperrzeit reicht bei guter Arbeitsvorbereitung aus, um die festen Teile zu erneuern und die Verschlüsse zu tauschen. Verworfen wurde auch der Gedanke, während der Sperrzeit andere Gewerke außer Stahlwasserbau und Massivbau auf dem Schleusengelände arbeiten zu lassen, weil die Gefahr von Behinderungen zu offenkundig ist.

Die Erneuerung der Technischen Ausrüstung muss somit unter laufendem Schleusenbetrieb erfolgen. Die Sicherheit des Schleusenbetriebs und die Arbeitssicherheit der Bauhandwerker muss dabei jederzeit gewährleistet sein.

Theoretisch könnte man Komponenten der technischen Ausrüstung sukzessive erneuern, d.h. schrittweise während kurzer Sperrungen. In der Praxis läßt sich die fehlerfreie Funktion der Anlage jedoch nur gewährleisten, wenn nach jeder Änderung an der technischen Ausrüstung, d.h. hier nach jeder der kurzen Sperrungen, ein Probetrieb erfolgt. Erfahrungsgemäß dauert Probetrieb mindestens 1-2 Wochen. Damit würde der Schleusenbetrieb zu stark behindert.

Unabhängig davon sind die alten Betriebsgebäude mit der vorhandenen Elektro- und Steuerungstechnik und dem Bedienpult belegt. Somit scheidet die Möglichkeit aus, zuerst die neue technische Ausrüstung aufzubauen und anschließend die alte technische Ausrüstung zurückzubauen. Die alte Technik muss also als erstes ausgebaut werden, anschließend erfolgt der Einbau der neuen Technik in die Betriebsgebäude. Um diese Bauzeit zu überbrücken, wurde der Einsatz einer provisorischen technischen Ausrüstung geplant. Die Lösungsansätze werden im Folgenden beschrieben.

Lösungsansatz 1: kleines Provisorium

Der erste Lösungsansatz sah vor, die provisorische technische Ausrüstung auf das unbedingt notwendige Minimum zu beschränken. Vorgesehen wurden:

- Stemmtor-Hilfsantriebe, auf der Planie befestigt, mit Zahnstangen zur Torbewegung (Bild 2)
- einfache Hilfssteuerung und provisorische Verkabelung
- Vor-Ort-Steuerung durch Bedienpult oder Mobilpanel



Bild 2: Stemmtor-Hilfsantrieb (Bauart FMM Minden)

Der Bauablauf wäre bei Lösungsansatz 1 wie folgt möglich:

1. Sperrzeit mit Tausch der Stemmtore und der festen Teile
2. zum Ende der Sperrzeit: Aufbau der Stemmtor-Hilfsantriebe, Aufbau der provisorischen Steuerung und der provisorischen Verkabelung
3. Außerbetriebnahme der alten Steuerung und Stemmtorantriebe, Inbetriebnahme der Stemmtor-Hilfsantriebe, Weiterbetrieb der alten UKV mit der provisorischen Steuerung
4. Rückbau der alten technischen Ausrüstung, Einbau der neuen technischen Ausrüstung, einseitig Erneuerung der UKV und UKV-Antriebe
5. Außerbetriebnahme der Hilfsantriebe und Hilfssteuerung; Inbetriebnahme der neuen technischen Ausrüstung
6. Austausch der zweiten Seite UKV und UKV-Antriebe

Das o.g. Provisorium sollte im Rahmen der Instandsetzung der ersten Schleuse beschafft werden und anschließend auch bei den weiteren 4 Schleusen genutzt werden.

Kritik zu Lösungsansatz 1

Der Lösungsansatz 1 wurde mit GDWS, Fachstellen und Unterhaltungsamt abgestimmt. Dabei sind von diesen folgende Randbedingungen formuliert worden:

- Die Maschinenrichtlinie muss auch beim Provisorium berücksichtigt werden, weil das Provisorium eine wesentliche Änderung der Maschine ist; somit verliert die Antriebs- und Steuerungstechnik mit Inbetriebnahme des Provisoriums ihren Bestandsschutz. Außerdem reicht es nicht aus, wenn zunächst nur die erneuerten Teile der technischen Ausrüstung der Maschinenrichtlinie genügen, sondern ab dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Provisoriums muss die gesamte Antriebs- und Steuerungstechnik der Maschinenrichtlinie genügen. Daraus folgt, dass nach Inbetriebnahme des Provisoriums praktisch kein Teil der alten technischen Ausrüstung mehr in Betrieb bleiben darf und dass auch beim Provisorium die Elektro- und Steuerungstechnik fehlersicher aufzubauen ist.

- Hinzu kommt, dass die WSV-Anforderungen an örtliche Bedienstände auch beim Provisorium zu erfüllen sind:
 - fester Raum für den provisorischen Leitstand, beheizbar und klimatisiert
 - Bedienpult gemäß FVT-Empfehlung, höhenverstellbar
 - Bildschirme für 7 Kameras
 - Sanitäre Anlage, Küche

Anschließend wurde ein Provisorium geplant, das allen o.g. Anforderungen genügt.

Lösungsansatz 2: großes Provisorium

- Stemmtor-Hilfsantriebe, auf der Planie befestigt, mit Zahnstangen zur Torbewegung
- Vor-Ort-Steuerung aus einem provisorischem Leitstand (Containerlösung)
- Container-„Dorf“: Leitstand-Container, WC- und Küchencontainer, Elektrotechnik- und Nachrichtentechnik-Container, Steuerungstechnik-Container
- fehlersichere Sensorik und Steuerung des Provisoriums
- doppelte temporäre Verkabelung

Der Bauablauf wäre bei Lösungsansatz 2 wie folgt möglich:

1. vor der Sperrzeit: Aufbau der Stemmtor-Hilfsantriebe, Aufbau Container-„Dorf“ und provisorische Verkabelung
2. Erneuerung der UKV und UKV-Antriebe nur auf einer Kammerseite
3. Sperrzeit mit Tausch der Stemmtore und der festen Teile
4. Außerbetriebnahme der alten Steuerung und der alten Stemmtorantriebe, Inbetriebnahme der Stemmtor-Hilfsantriebe und der provisorischen Steuerung, Inbetriebnahme der neuen UKV-Antriebe (erste Kammerseite), Außerbetriebnahme der alten UKV-Antriebe (zweite Kammerseite)
5. Rückbau der alten technischen Ausrüstung, Einbau der neuen technischen Ausrüstung
6. Außerbetriebnahme der Hilfsantriebe und Hilfssteuerung, Inbetriebnahme der neuen technischen Ausrüstung
7. Erneuerung der UKV mit UKV-Antriebe auf der zweiten Kammerseite, Inbetriebnahme

Kritik zu Lösungsansatz 2

- Der Aufwand für die provisorische technische Ausrüstung ist bei Lösungsansatz 2 beinahe ebenso hoch wie für die endgültige technische Ausrüstung.
- Auch dieses Provisorium sollte im Rahmen der Instandsetzung der ersten Schleuse beschafft werden und anschließend auch bei den weiteren 4 Schleusen genutzt werden. Durch den stark erhöhten Aufwand wird wesentlich mehr Zeit dafür benötigt, das Provisorium aufzubauen, zu betreiben und abzubauen. Wenn die Gesamtbauzeit von ca. 5 Jahren für die Instandsetzung aller 5 Schleusen eingehalten werden soll, müsste an 2 Anlagen gleichzeitig gebaut werden; dafür müsste das gesamte Provisorium in 2-facher Ausfertigung beschafft werden. Dies erhöht die Kosten zusätzlich.

Die umfangreichen o.g. Anforderungen an das Provisorium werden mit Lösungsansatz 2 zwar erfüllt, jedoch ist der Aufwand für das Provisorium unverhältnismäßig hoch im Vergleich zu den Kosten der

endgültigen Technischen Ausrüstung. Um die Kosten zu reduzieren, wurde nach einem dritten Lösungsansatz gesucht. Dabei ging man von dem Gedanken aus, dass das Provisorium ohnehin vergleichbar aufwendig ist wie die endgültige technische Ausrüstung, und es wurde ein Lösungsansatz gesucht, bei dem das Provisorium als endgültige TA weitergenutzt werden kann. Daraus wurde Lösungsansatz 3 entwickelt.

Lösungsansatz 3: neues Betriebsgebäude

Bei Lösungsansatz 3 wird auf dem Schleusengelände ein neues Betriebsgebäude errichtet. Im neuen Betriebsgebäude wird prinzipiell all das eingebaut, was bei Lösungsansatz 2 im Containerdorf eingebaut würde, nämlich Elektro-, Steuerungs- und Nachrichtentechnik, Leitstand, WC, Küche. Das neue Betriebsgebäude wird während der Bauzeit für die Steuerung der Schleuse und der Hilfsantriebe verwendet. Nach Fertigstellung der Baumaßnahme verbleibt die gesamte Technik in dem neuen Betriebsgebäude und die „endgültigen“ Antriebe werden von derselben Steuerungstechnik gesteuert wie die Hilfsantriebe. Das alte Leitstandgebäude wird bei diesem Lösungsansatz grundsätzlich aufgegeben.

Der Bauablauf wäre bei Lösungsansatz 3 wie folgt möglich:

1. Neubau Betriebsgebäude, mit neuer Elektro-, Steuerungs- und Nachrichtentechnik sowie Leitstand, Neubau Kabelwege und Verkabelung (soweit möglich)
2. Aufbau Stemmator-Hilfsantriebe
3. Erneuerung der UKV und UKV-Antriebe auf einer Kammerseite
4. Sperrzeit mit Tausch der Stemmtore und der festen Teile, Außerbetriebnahme der alten Steuerung und Stemmatorantriebe, Außerbetriebnahme der alten UKV-Antriebe (zweite Kammerseite)
5. Inbetriebnahme der neuen Elektro- und Steuerungstechnik mit Stemmator-Hilfsantrieben und den neuen UKV-Antrieben (erste Kammerseite)
6. Tausch der Stemmatorantriebe, Erneuerung der UKV mit UKV-Antrieben auf der zweiten Kammerseite
7. Außerbetriebnahme der Hilfsantriebe; Inbetriebnahme der neuen Stemmatorantriebe und der restlichen 2 neuen UKV

Kritik zu Lösungsansatz 3

- Vorteile:
 - Aufwand für Provisorien wesentlich geringer als bei Lösungsansatz 2
 - geringere Anzahl von Inbetriebnahmen
 - Platzreserve im Betriebsgebäude für zukünftige Maßnahmen
 - neuer Leitstand barrierefrei
- Nachteile:
 - zusätzliche Bauzeit für das Betriebsgebäude
 - Ansicht der Schleuse wird verändert
 - weniger Sichtkontakt vom neuen Leitstand zur Schleusenkammer

Fazit und Ausblick

Die Planung von Instandsetzungsmaßnahmen an Einzelschleusen muss an der Minimierung von Schleusensperrzeiten ausgerichtet werden. Einfache Steuerungen, die in der Vergangenheit als Provisorien eingesetzt wurden, kommen angesichts der Maschinenrichtlinie nicht mehr infrage. Auch provisorische Antriebe und Steuerungen müssen der Maschinenrichtlinie genügen.

An den Mittelweserschleusen werden neue Betriebsgebäude errichtet, um den Aufwand für Provisorien zu vermindern.

Die Planung für die erste Schleuse wird in Kürze abgeschlossen, die Bauabwicklung soll ab 2018 erfolgen.

Bildnachweis:

Bild 1: Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover

Bild 2: Fachstelle Maschinenwesen Mitte, Minden

Bild 3: BAW Karlsruhe



Bild 3: Hochbaugestaltung BAW

Instandsetzung unter Betrieb – Feststellungen eines Betreibers

Dipl.-Ing. Jörg Huber (WSA Heidelberg)

Aus Sicht des Leiters eines Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes werden Bedarf, Risiken, Schnittstellen und Verantwortlichkeiten einer Instandsetzung unter Betrieb kritisch analysiert.

1. Definition Instandsetzung unter Betrieb aus Betreibersicht

Das Thema Instandsetzungsmaßnahmen an Massivbau- und Stahlwasserbauteilen von Schleusenanlagen unter Betrieb ist in der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung schon lange gängige Praxis. Aus Betreibersicht gibt es diese Fragestellung prinzipiell bei der Unterhaltung wasserbaulicher Anlagen. Der Fokus wird nun auf Wasserstraßen gerichtet, an denen nur eine Schleusenkammer zur Verfügung steht und ein grundlegender Instandsetzungsbedarf besteht, welcher lang andauernde Maßnahmen nach sich zieht.

Was bedeutet Betrieb bei Wasserbauanlagen? Wehranlagen müssen jederzeit für den ausgelegten Wasserabfluss zur Verfügung stehen, bzw. ihrer Aufgabe einen definierten Stau zu halten, gerecht werden. Instandsetzungsmaßnahmen werden deshalb im Regelfall immer nur unter Berücksichtigung auch von temporären Risiken im „n-1-Fall“ an einem Wehrfeld möglich sein (Abb. 1). Eine Instandsetzung von mehreren Wehrfeldern gleichzeitig ist an staugeregelten Bundeswasserstraßen im Regelfall nicht möglich. Selbst Wehrneubauten müssen so konzipiert werden, dass ein geordneter Wasserabfluss während der Bauzeit möglich ist.



Abb. 1: Wehrbaustelle: Instandsetzung unter Betrieb im n-1-Fall

Bei einem Hochwassersperrtor spitzt sich das Thema zu, da dieses im Regelfall nur ein Verschlussorgan besitzt. Hier müssen weitere Vorkehrungen getroffen werden, da die Betriebsbereitschaft jederzeit gegeben sein muss. Zudem kann eine Instandsetzung unter Betrieb immer nur örtlich begrenzt an der Stahlkonstruktion erfolgen, da jederzeit das Tor wegen auflaufendem Hochwasser geschlossen werden muss (Abb.2). Die bessere Lösung ist hier, dass ein Neubau an anderer Stelle als Instandsetzungskonzept aus Gründen der Hochwassersicherheit realisiert wird.



Abb. 2: Hochwassersperrtor: Instandsetzung unter Betrieb

Bei Doppelschleusen kann bei erforderlichen Instandsetzungsarbeiten an der Schleusenanlage der Betrieb relativ einfach sichergestellt werden. Liegen umfangreiche Maßnahmen im Massiv- und/oder Stahlwasserbau an, wird eine Kammer außer Betrieb genommen, die andere steht weiter für die Schifffahrt zur Verfügung. Das Gleiche gilt für Maßnahmen an der Antriebs- und Steuerungstechnik. Diese Maßnahmen haben immer auf die in Betrieb befindliche Kammer Auswirkungen. Gerade bei Abbrucharbeiten im Massivbau können Betriebsstörungen/Betriebseinschränkungen auch an der für die Schifffahrt freigegebenen Kammer auftreten. Angefangen von Staubentwicklung, Funkenflug, Ausfall von Bauteilen durch starke Vibrationen usw. gibt es viele Interaktionen zwischen Baustelle und Schiffsverkehr (Abb. 3). Deutlich komplizierter stellt sich die Sachlage dar, wenn eine Schleusenanlage mit zwei parallelen Kammern nur eine gemeinsame Hydraulikanlage oder Steuerungstechnik besitzt. Die Abhängigkeiten führen zu umfangreichen Maßnahmen und letztendlich erfahrungsgemäß auch zu Störungen des gesamten Schleusenbetriebs.



Abb. 3: Neckarschleuse: Instandsetzung unter Betrieb bei einer Doppelschleuse

Bei Wasserstraßen mit Einkammerschleusensystemen, wie beispielsweise am Main oder an der Mosel, gibt es etablierte Schleusensperren. Das sind rd. 14 tägige Zeiträume in denen eine gesamte Schleusenkettenkette außer Betrieb geht und die Schifffahrt nicht mehr durchgehend möglich ist. In dieser Zeit werden alle erforderlichen Bau- und Inspektionsmaßnahmen durchgeführt. Diese Sperrzeiten sind über Jahre hinweg praktiziert worden und werden mit den Schifffahrtsverbänden im Vorfeld abgestimmt. Am Main wurden schon Schleusenaggregate unter laufendem Betrieb ausgetauscht. Hier wur-

den dann im Handbetrieb die Tore gefahren. Diese Beispiele belegen, dass Instandsetzung unter Betrieb in der Unterhaltung der Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter schon lange praktiziert wird. Die Auswirkungen dieser Sperren auf die Transportmengen sind temporär und führen nicht zu einer Verkehrsverlagerung weg von der Wasserstraße. Folglich ist auch dieses Unterhaltungskonzept als Instandsetzung unter Betrieb einzuordnen.



Abb. 4: Mainschleuse: Instandsetzung unter Betrieb im 14 tägigen Sperrfenster

Betrieb bei Wasserbauanlagen bedeutet, dass sie jederzeit ihrem Zweck entsprechen, d.h. eine Schleusenanlage erfüllt dann ihre Aufgabe, wenn ihre Verfügbarkeit dazu ausreicht, die Schifffahrtsbelange an einer Wasserstraße sicherzustellen. Temporäre Sperrungen führen nicht automatisch dazu, dass Verkehre dauerhaft abwandern und eine Wasserstraße ihren Zweck verliert. Insofern gilt: Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb ist ein Ansatz, der zum Erhalt der Infrastruktur Wasserstraße zwingend gegangen werden muss. Ergänzend wird festgestellt, dass die bautechnischen Anforderungen und Ziele bei den Verfahren für Schleuseninstandsetzungen unter Betrieb gleichermaßen wie bei konventionellen Baumaßnahmen an Wasserbauwerken gelten.

2. Welche Wasserstraßen vertragen welche Sperrzeiten?

Sperrungen von Wasserstraßen haben Auswirkungen auf den Transportmarkt und damit auf die Schifffahrt. Diese sind für jede Wasserstraße anders gelagert, abhängig von den transportierten Gütern sowie der Industrie, die die Wasserstraße nutzen und der Art und Weise, wie die Schifffahrt eine Wasserstraße bedient.

Wenn nun aus Erfahrungen an Main und Mosel gefolgert werden kann, Sperrzeiten bis zu 14 Tagen führen bei Wasserstraßen nicht zu einem fortwährenden Gütertransportrückgang, lautet die nächste Frage, welche Sperrzeiträume sind noch verträglich?

Für das im Kolloquium vorgestellte Pilotprojekt Schwabenheim sind aus der Planungssituation heraus folgende Sperrzeiten über 3 Jahre Gesamtbauzeit vorgesehen:

Bauzeit	Sperrungen
- ca. 3 Jahre	- täglich 12 h
	- insgesamt 12 x 60 h
	- jährlich 4 bis 6 Wochen

Tab.1: *Projektierte Sperrzeiten im Pilotprojekt Schwabenheim*

Die Konkurrenzsituation, in der sich derzeit die Binnenschifffahrt befindet, ist erheblich und in den letzten Jahren immer schwieriger. Größere Störungen können Verkehre hin zur Bahn oder auf den LKW verlagern. Verschärft wird das Ganze durch die geplante Senkung der Trassenpreise im deutschen Schienennetz. Die Situation im Transportzweig Schifffahrt wird zunehmend schwieriger.

So ist die Leistungsfähigkeit einer Schleuse direkt von den Betriebszeiten abhängig. Dabei ist die Dauer des Schleusenvorgangs (Kreuzungsschleusungsdauer) die entscheidende Größe. Dies soll anhand einer Beispielberechnung für die Schleuse Schwabenheim am Neckar (unterstellt wird ein tatsächlicher Einkammerbetrieb) erklärt werden (siehe Diagramm 1).

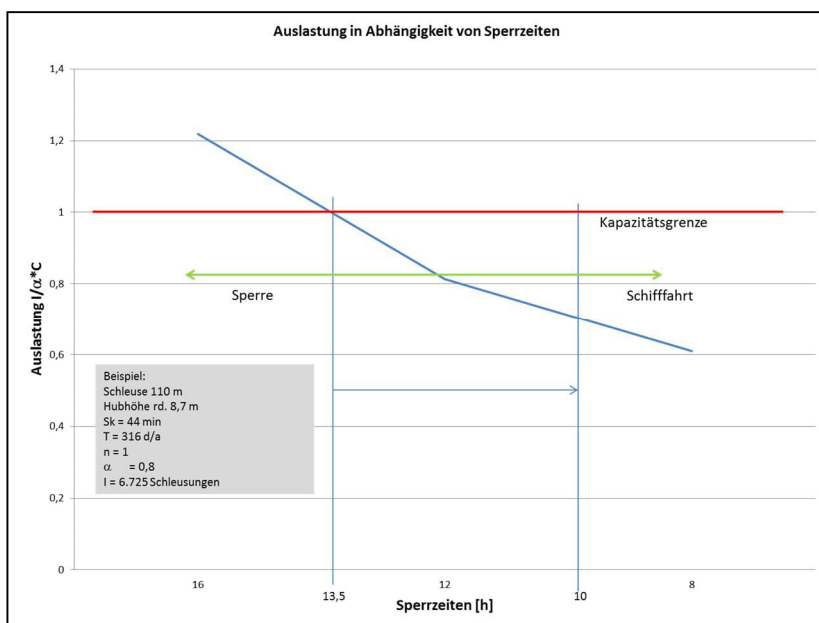


Diagramm 1: *Auslastung in Abhängigkeit von den Sperrzeiten*

Die Kapazitätsgrenze einer Schleuse ist dann erreicht, wenn das Verhältnis der tatsächlichen Schleusungen dem der praktisch möglichen Schleusungen gleich ist. In Schwabenheim liegt beim tatsächlichen Verkehrsaufkommen im Jahr 2016 dieser Wert bei rd. 13,5 Stunden Sperrzeit. In dieser einfachen Betrachtung wurden noch nicht die schifffahrtspolizeilichen Eingriffe durch Vorschleusungsrechte berücksichtigt, die maßgeblich über den reibungslosen Verkehrsablauf entscheiden. Diese betreffen rd. 410 Fahrgastschiffschleusungen und rd. 450 Containerschiffe. Der Verkehrsablauf wird hierdurch deutlich gestört. Zudem muss damit gerechnet werden, dass sich die Kreuzungsschleusungsdauer durch die Baustellensituation (langsamere Ein- und Ausfahrt, schwierigere Festmachbedingungen ...)

erhöhen wird. Werden diese Aspekte in der Berechnung berücksichtigt, dann wird sich die Kapazitätsgrenze schon bei täglichen Sperrzeiten von 10 Stunden einstellen. Dies zeigt, dass die planerischen Vorgaben für das Pilotprojekt Schwabenheim (Tab.1) erheblichen Probleme bei der Bewältigung des Schiffsaufkommens erwarten lassen.

Des Weiteren geht die Betrachtung nicht auf die tatsächlichen Effekte wie Stoßzeiten ein. Die Auswertung der Verkehrstagebücher zeigen auf, dass Schwankungsbreiten zwischen 4 bis 40 Schleusungen in zwei Schichten möglich sind. Dies kann im Extremfall bei einer baustellenbedingten Reduzierung der Betriebszeiten zu langen Wartezeiten führen.

Befrachter und Schifffahrt brauchen Verlässlichkeit. Diese ist bei schwer zu kalkulierenden Fahrzeiten und dem baubedingten Risiko (bleibt es wirklich bei den veröffentlichten Sperrzeiten?) nicht mehr gegeben. Dies könnte in der Folge auch zu einem Mangel an Schiffsraum in einem Flussabschnitt führen und somit in der Konsequenz zur Verlagerung auf andere Verkehrsträger. Reedereien und Partikulare müssen die Schiffe in Fahrt haben. Reviere in denen mit erheblichen Behinderungen gerechnet werden muss, werden gemieden, da laufende Kosten gedeckt werden müssen.



Abb. 5: Fahrgastschiff begegnet Containerschiff

Die Frage welche Güter durch zu lange Sperrzeiten betroffen sein werden, hängt vom Marktumfeld ab. Massengüter oder Container werden z.B. in längerfristigen Verträgen transportiert. Hier sind lange vor angekündigte Sperrungen von bis zu 3 Wochen Dauer weniger problematisch zu sehen, als permanente Einschränkungen in der Betriebszeit von z.B. 12 Stunden. Schwierig wird diese andauernde Einschränkung für Terminfrachten, die aufgrund der zu erwartenden Wartezeiten an der betroffenen Schleuse nicht mehr wirtschaftlich möglich sein werden. Bei der Halbierung der Betriebszeit fehlt die Flexibilität für die Schifffahrt. Am Neckar wären das beispielsweise die Salztransporte, die immer wieder schnell auch auf Störungen in der Produktion reagieren müssen.

In Gesprächen mit Experten der Verwaltung und Schifffahrtstreibenden werden Vollsperrungen einer Wasserstraße von über vier Wochen als nachhaltig schädigend erachtet. Bei diesen Sperrzeiten gibt es keine Lagerkapazitäten, durch die die Vollsperrungen zu überbrücken sind. Werden solche Sperrungen dann mehrere Jahre nacheinander eingeplant, führt das zu einer dauerhaften Abwanderung von Verkehren.

Auch die Betriebsform spielt eine Rolle im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Schifffahrt. So werden Schiffseinheiten, die auf die A2- oder B-Fahrt (14 h bzw. 24 h-Betrieb) kalkuliert wurden, an Wasserstraßen mit einer massiven Einschränkung in der Betriebszeit dauerhaft nicht wirtschaftlich verkehren können. Auch für die Fahrgastschifffahrt und ihr Marktumfeld ergeben sich durch eine eingeschränkte Schleusenverfügbarkeit große Schwierigkeiten bei der Reise- und Fahrplangestaltung. Diese Branche wird mit erheblichen Einschränkungen leben müssen, vermutlich werden die Reisepläne für die Flusskreuzfahrten ausgedünnt. Dies hat auch Auswirkungen auf die Kommunen an den Flüssen, die in die Infrastruktur der Fahrgastkabinenschiffe investiert haben.

Ob an einer Wasserstraße eine Instandsetzung von Schleusen unter Betrieb zielführend ist, muss eine fundierte Analyse ergeben. Die oben angerissenen Einschätzungen müssen erfasst, analysiert und bewertet werden. Es macht keinen Sinn eine Schleuse unter Betrieb instand zu setzen, wenn danach der Verkehr dauerhaft abgewandert ist. Dies ist von Wasserstraße zu Wasserstraße unterschiedlich. Es stellt sich auch in Einzelfällen die Frage: Gibt es überhaupt eine Alternative, um die Wasserstraße zu erhalten? Grundsätzlich gilt: Je größer die Bedeutung einer Wasserstraße derzeit ist, desto größer ist die Gefahr, durch lang anhaltende Beeinträchtigungen, dauerhaft Verkehre zu verlieren. Das Gesetz des Marktes ist hier stringent und spricht nicht für den Verkehrsträger Wasserstraße.

3. Verantwortlichkeiten

Eine weitere Frage beim Betrieb einer Schleusenkammer, die wechselweise Baustelle und Verkehrsweg ist, muss geklärt werden: Wer trägt die Verantwortung für die Verkehrssicherungspflicht bzw. kann diese überhaupt gewährleistet werden? Die Verkehrspflicht bzw. Verkehrssicherungspflicht ist eine deliktrechtliche Verhaltenspflicht, die der Abwehr von potentiellen Gefahrenquellen dient.

Eine Baustelle ist per se ein Bereich mit vielen Gefahrenquellen. Insbesondere die Baumaßnahmen am Massivbau einer Schleusenkammer führen zu baubedingten Zuständen, die für einen sicheren Schleusenbetrieb besondere Bedeutung haben. So werden im Rahmen der Bauarbeiten Abbrucharbeiten, Bohrarbeiten, Bewehrungs- und Verankerungsarbeiten, Betonarbeiten usw. erforderlich. Die Herausforderung ist hier, Bauzustände zu erreichen, die eine Schiffsdurchfahrt sicher zulassen. Bei alten Schleusenanlagen stehen zwischen voll abgeladenem Schiff und Kammersohle gerade mal 40 cm Wasser. Hier darf durch den Bauablauf keinerlei Einschränkung erfolgen. Die Kammerbreite beträgt 12 m, die breitesten zugelassenen Schiffe haben 11,45 m. Auch hier können kleinste Einschränkungen zu Problemen führen. Alle Sicherheitselemente wie z.B. Schleusensteuerung und Kameraeinrichtungen müssen funktionieren bzw. dürfen nicht einfach abgebaut werden. Zwangsläufig kommt es bei Abbrucharbeiten dazu, dass die erforderliche Schleusenausrüstung, wie Poller und Steigleitern, bereichsweise fehlen werden.

Dass auf dieser Thematik aus Betreibersicht ein besonderes Augenmerk liegt, ist in dem Beschluss des Schifffahrtsobergerichts Karlsruhe vom 31. Juli 2013 begründet (Az.: 22 U 3/13 BSch). Hier ein Auszug aus der Begründung des Gerichtsurteiles zur Verkehrssicherungspflicht in einer Schleusenkammer am Neckar: „Der Verkehrssicherungspflichtige haftet dafür, dass sich die Anlage in einem verkehrssicheren Zustand befindet, und er haftet für Schäden, die einem Benutzer der Anlage aus deren ordnungswidriger Beschaffenheit entstehen, wenn er es aus Mangel an der von ihm im Verkehr zu beachtenden

Sorgfalt versäumt hat, die Gefahrenquelle zu beheben, für die Zeit bis zu ihrer Beseitigung den Verkehr warnend auf die Gefahrenquelle hinzuweisen und gegebenenfalls den Gefahrenbereich zu sperren. Mindestens bei Unregelmäßigkeiten oder Auffälligkeiten während des Schleusenvorganges ist das Schleusenpersonal verpflichtet, den gesamten Schleusungsvorgang zu beobachten und erforderlichenfalls sofort pflichtgemäß den Notstoppschalter zu betätigen, falls Gefahr für ein zu schleusendes Schiff bemerkbar wird“[1].



Abb. 6: Schleusenammer sperren oder freigeben. Wer ist verantwortlich?

Kommt es in einer Schleusenammer, die gleichzeitig Baustelle ist, zu Schäden an Gegenständen oder gar Leib und Leben, sind im ersten Zugriff immer der Schichtleiter und der objektverantwortliche Amtsleiter im Fokus. Große Instandsetzungsmaßnahmen werden auf die Neubauämter übertragen, dort liegt dann die bauaufsichtliche Verantwortung der Umsetzung. Für den Betrieb der Schleuse ist jedoch nach derzeitiger Lesart das Betreiberamt verantwortlich. Hier ergibt sich eine Unschärfe in der Verantwortungshierarchie. Auf wessen Geheiß schleust der Schichtleiter? Wer haftet in der Konsequenz bei Schadensfällen? Welche Verantwortung hat ein planendes Ingenieurbüro, welche liegt bei der Bauüberwachung bzw. der Baufirma?

4. Zusammenfassung und Folgerungen

Die Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb ist heute schon eine Hauptaufgabe der Wasserstraßen- und Schifffahrtsämter. Dies wird zum Beispiel im Rahmen von Schifffahrtssperren von bis zu 14 Tagen erfolgreich praktiziert. Aber auch bei Bauwerken wie Wehren und Hochwassersperrrtoren ist diese Anforderung schon heute existent.

Schifffahrtssperren an Wasserstraßen, von länger als vier Wochen Dauer, werden nach Expertenmeinung zu Verkehrsverlagerungen auf Bahn und Straße führen. Langfristige Beeinträchtigungen durch eine Einschränkung der täglichen Schleusenbetriebszeiten werden die gleichen Effekte haben. Hinsichtlich der Frage, wer für die Verkehrssicherheit verantwortlich ist, bzw. ob es überhaupt zulässig ist, Schifffahrt durch eine Baustelle zu leiten, gibt es derzeit Unsicherheiten.

Aus Betreibersicht folgt deshalb:

- Analyse der Wasserstraßen hinsichtlich ihrer Sensibilität für Sperrungen
- Juristische Auseinandersetzung mit der Verantwortungsfrage beim Schleusenbetrieb durch Baustellen und daraus folgend klare Regelungen
- Aus Betreibersicht ist die beste Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb wenn möglich, der Bau einer zweiten Kammer

Quellenverzeichnis

Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3, Abb. 5, Abb. 6 WSA Heidelberg

Abb. 4 WSA Aschaffenburg

[1] Binnenschifffahrt – ZfB – 2014 – Nr. 10, Sammlung Seite 2317 - 2321

Notizen

Notizen



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 9726-0 · Fax: +49 (0) 721 9726-4540

Wedeler Landstraße 157 · 22559 Hamburg
Tel.: +49 (0) 40 81908-0 · Fax: +49 (0) 40 81908-373

www.baw.de