

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.

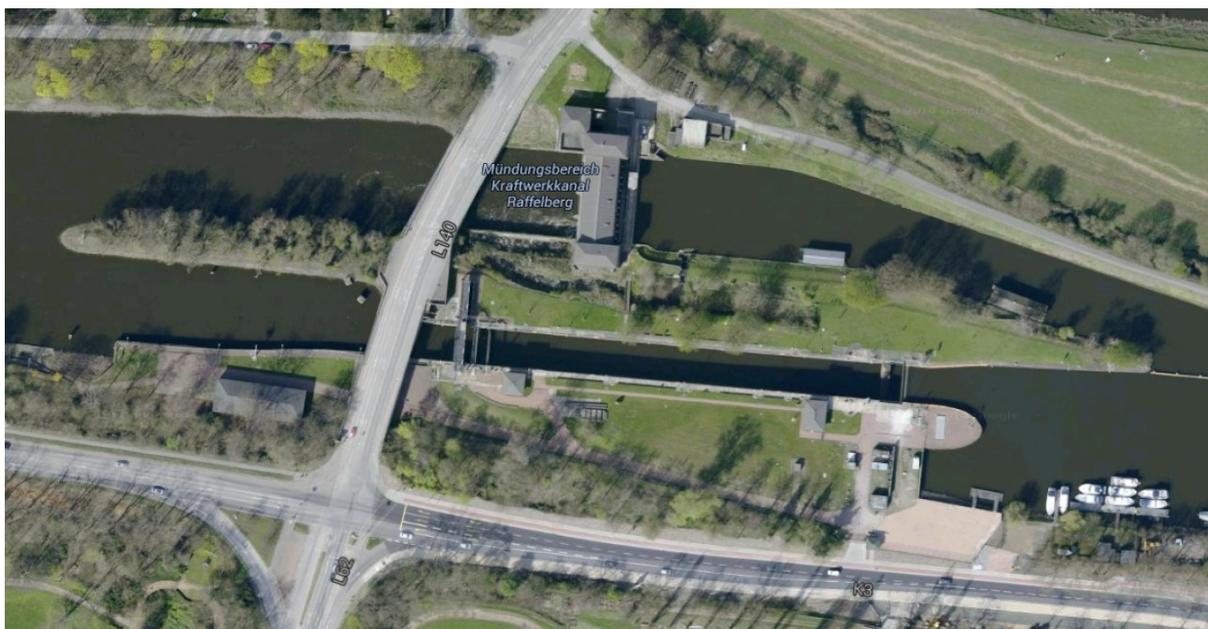


Bild 1: Luftaufnahme (Quelle: Google Maps)

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.

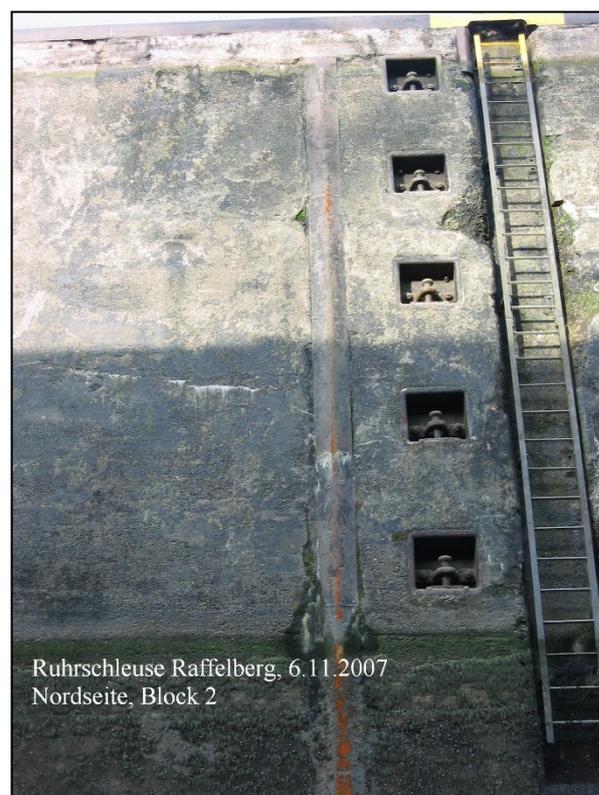


Bild 2 und 3: Schleusenkammer Nordseite - Block 1 und 2 (Quelle: WSA)

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 Herausziehwiderstand (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.

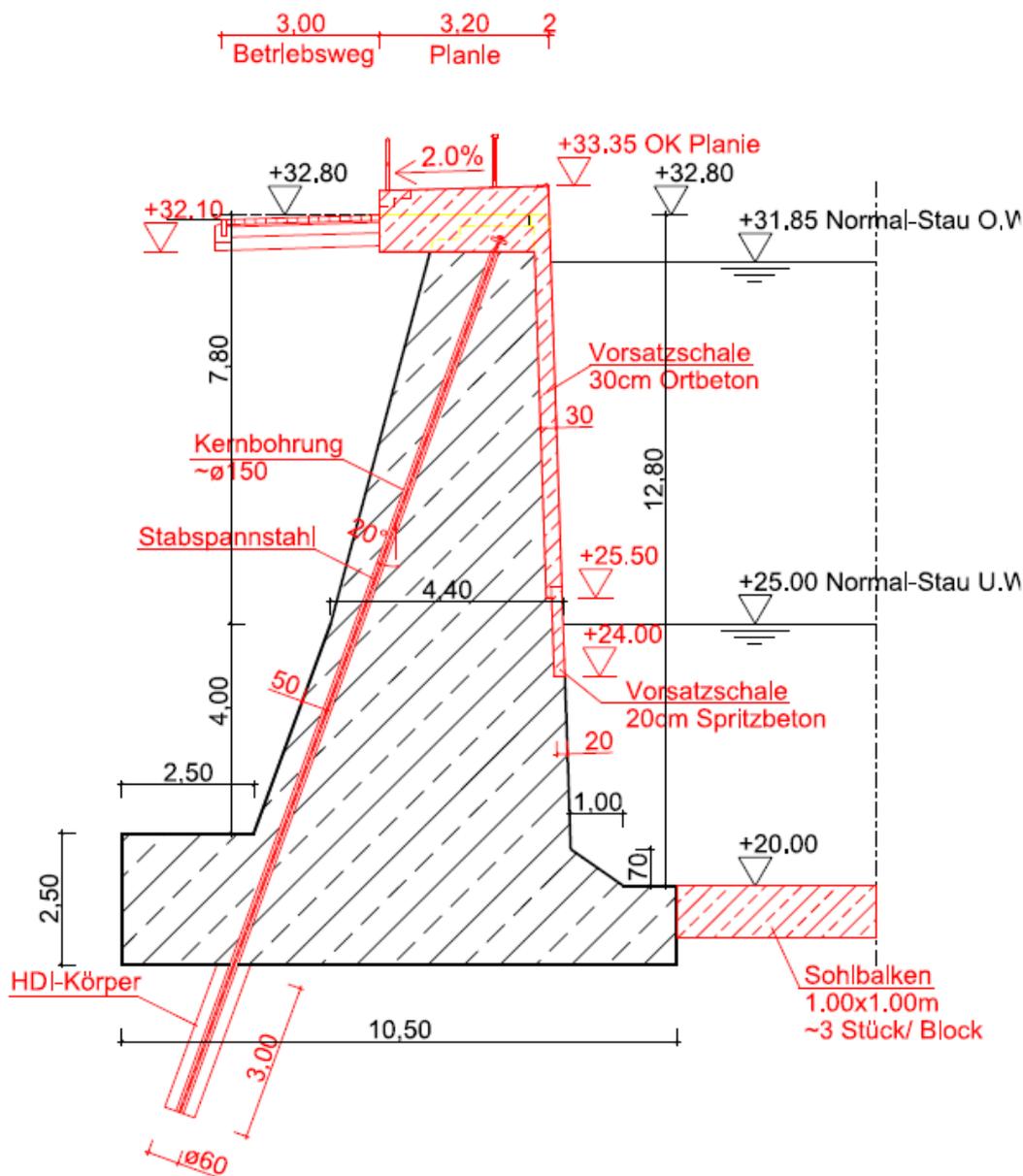


Bild 7: Instandsetzung der Kammerwände

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.

