

Schleuse Anderten: Schaden im Umlaufkanal

Matthias Lutz, Bundesanstalt für Wasserbau
Dr.-Ing. Amir Rahimi, Bundesanstalt für Wasserbau

Einleitung

Das WSA Braunschweig stellte im Rahmen der regelmäßigen Bauwerksinspektionen im östlichen Umlaufkanal der Westkammer der Schleuse Anderten eine deutliche Schadenszunahme an einem kammerseitigen, horizontalen Riss fest. Die Überlegungen zur Schadensursache und die Schadensbewertung durch die beauftragte BAW erforderten neben materialtechnischen und statischen Untersuchungen im Vorfeld eine umfassende Bestandsunterlagenrecherche. Die Untersuchungen sind im Schadensgutachten Rahimi und Lutz (2020) dokumentiert. Derzeit werden die vorgeschlagenen Instandsetzungsmaßnahmen geplant und in einer Probeinstandsetzung durchgeführt.

Veranlassung

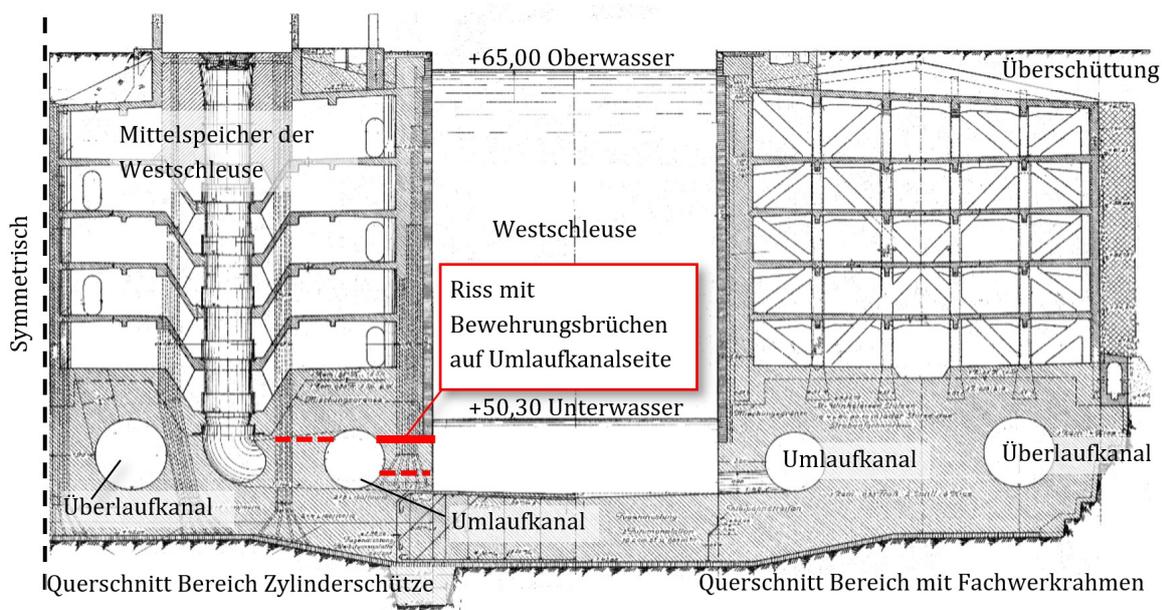


Abbildung 1: Querschnitt durch die Westkammer und die Speicher mit Lage der Schäden im östlichen Umlaufkanal

Bauwerk

Bei der 1928 in Betrieb genommenen Schleuse Anderten handelt es sich aus technischer, konstruktiver und hydraulischer Sicht um ein herausragendes Bauwerk der WSV, bei dem für die damalige Zeit in vielerlei Hinsicht neue Wege beschritten wurden. Die Doppelsparschleuse hat fünf etagenförmig übereinanderliegende Sparbeckenebenen, die seitlich an den Kammern angeordnet sind (Abbildung 1). Sie sind in Längsrichtung in fünf Abschnitte, sogenannte Speicher, unterteilt und werden durch Zylinderschütze und einen Zentralschacht, der an den Umlauf angeschlossen ist, befüllt.

Schadensbild

An der kammerseitigen Wand des Umlaufkanals befindet sich auf einer Höhe von rund 2 m ein Längsriss mit großer Rissbreite, der nahezu über die gesamte Kanallänge verläuft und sich auch auf der zur Kammerwand abgewandten Seite des Umlaufkanals in vergleichbarer Höhe weiter in den Querschnitt fortsetzt (Abbildung 1 und 2). Die an entnommenen Bohrkernen (s. u.) festgestellte Durchgängigkeit des Risses über die gesamte Wanddicke bekräftigt die Vermutung, dass es sich bei dem Riss um eine geschädigte Arbeitsfuge handelt. An mehreren Stellen liegen senkrechte Bewehrungsstäbe mit Korrosionserscheinungen frei (Abbildung 3). Einige Bewehrungsstäbe sind durchgerissen. Auch von der Kammer aus betrachtet ist eine in Längsrichtung über weite Strecken aufgehende Fuge im Übergang der Verklinkerung zum betonierten Bereich vorhanden (Abbildung 2).

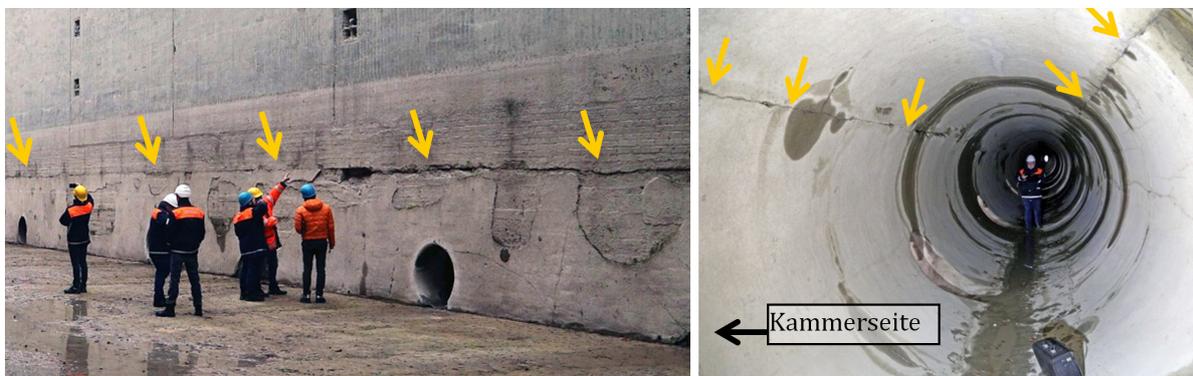


Abbildung 2: Ostwand der Westkammer mit sichtbarem Riss (links), horizontale Risse im östlichen Umlaufkanal der Westkammer (rechts)



Abbildung 3: Durchtrennte Bewehrung im Riss im östlichen Umlaufkanal der Westkammer (links), Nahaufnahme (rechts)

Probenahme und Laboruntersuchungen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zunächst Betonbohrkerne und Bewehrungsproben aus geschädigten Bereichen zur Ermittlung von Baustoffkennwerten entnommen. Es zeigte sich, dass die offene Fuge über die gesamte Wanddicke durchgängig ist. Verschmutzungen und Ablagerungen weisen auf eine starke Durchströmung des Rissbereichs hin und darauf, dass der Verbund zwischen dem Beton und dem Mauerwerksvorsatz der Kammerwand in horizontaler Richtung stark gestört bzw. nicht mehr vorhanden ist. Darüber hinaus weisen die Bohrkern

ausgeprägte Bruchflächen senkrecht zur Fuge auf, die auf mehrere, parallel zur Kammerwand verlaufende Vertikalrisse schließen lassen.

Die in Laboruntersuchungen ermittelten Betonfestigkeiten sind dem Bauwerksalter entsprechend. So liegt die ermittelte Druckfestigkeit bei $f_{c,k} = 9,0 \text{ N/mm}^2$. Der Beton weist ein gut zusammenhängendes, jedoch relativ poröses Gefüge auf.

Die entnommenen Proben der Bewehrungsstäbe im Schadensbereich sind an den freiliegenden Stellen mit leichtem flächigem Querschnittsverlust korrodiert. Auf der Oberfläche einer Probe sind zudem zwei Anrisse in den Korrosionsmulden nahe zum, durch Korrosion durchtrennten, Stabende zu erkennen. Diese liegen beide auf der konkaven, dem Umlaufkanal zugewandten Seite des gekrümmten Bewehrungsstabs übereinander. Eine eindeutige, ausgedehnte Einschnürung des Querschnittes im Bruchbereich ist nicht erkennbar. Das Bruchbild weist auf ein eher sprödes Versagen der Bewehrung hin.

Im Labor wurden die Kennwerte Zugfestigkeit und Streckgrenze ermittelt, die von ihrer Größenordnung einem zur Bauzeit oft verwendeten BSt 22/34 zugeordnet werden können.

Als Ursache für die günstigen Korrosionsbedingungen, trotz der dauerhaften Lage unter Wasser, wird eine an Wasserbauwerken bereits mehrfach festgestellte Depassivierung der Bewehrung aufgrund des Auslaugens des Betons, hervorgerufen durch die intensive Durchströmung des Risses mit Wasser gesehen. Die anschließende Ausbildung des kathodischen Teilprozesses erfolgt an entfernten, gut belüfteten Bauwerksstellen oberhalb des Wasserstands in der Kammer.



Abbildung 4: Oberfläche (links) und Querschnitt (rechts) des korrodierten Bereichs einer Bewehrungsprobe nach dem Beizen

Unterlagenrecherche

Eine rechnerische Betrachtung des Bauwerks sollte mögliche Tragfähigkeits- oder Gebrauchstauglichkeitsdefizite im Schadensbereich aufdecken. Hierfür erforderliche Bestandsunterlagen mit konkreteren Informationen über die konstruktive Ausführung des Bauwerks, insbesondere für den massiven Schadensbereich, lagen jedoch nur unzureichend vor.

Im Rahmen einer Recherche nach bauzeitlichen Veröffentlichungen fanden sich mehrere, im Literaturverzeichnis aufgeführte Artikel mit wertvollen Informationen (Goetzcke (1929), Kurz (2014), Schonk; Maaske (1926), Schonk; Maaske (1927), Schonk; Rütjerodt (1928)). Außerdem wurden umfangreiche, zur Bauzeit aufgenommene Photographien aus den Unterlagen des WSA Braunschweig, den Archiven der ehemaligen WSD Mitte und der Literatur zusammengetragen. Weitere Bestandsunterlagen wurden im Landesarchiv Hannover entdeckt, deren Bestandsbuch online einsehbar ist. Hier fanden sich die in Sütterlin verfassten statischen und hydraulischen Berechnungen zur Schleuse Anderten.

Mit den Unterlagen konnte ein Abgleich von den in Textform verfassten Angaben über die verlegte Bewehrung mit Photographien aus der Bauzeit erfolgen, die als Annahmen zur Lage und zur Menge ansetzbarer Bewehrungsmengen in die statischen Untersuchungen eingingen.

Rechnerische Untersuchung

Die statischen Berechnungen wurden in unterschiedlichen Untersuchungstiefen durchgeführt. Sie erfolgten zunächst in grober Näherung auf Querschnittsebene nach Balkentheorie auf Grundlage des BAWMerksblatts TbW (2016) und wurden durch numerische Betrachtungen anhand einer FEM-Berechnung ergänzt, bei der auch Temperaturwirkungen berücksichtigt werden konnten.

Für den massiven Speicher-Gründungsbereich bestehen im Grenzzustand der Tragfähigkeit rechnerisch keine wesentlichen Defizite, wenn die vermutlich eingelegte Kammerwandbewehrung mit angesetzt wird. Die durch den Schleusenbetrieb hervorgerufenen ermüdungsrelevanten Spannungsschwingbreiten der Bewehrung sind verhältnismäßig gering. Daher ist das Auftreten einer Schwingungsrisskorrosion im vorliegenden Fall eher unwahrscheinlich.

Die durchgeführten FEM-Berechnungen zeigen allerdings, dass durch jahreszeitliche Zwangsbeanspruchungen große Dehnungen in der Umfassungsbewehrung des Umlaufkanals hervorgerufen werden, die, insbesondere im Winter, unter Gebrauchslasten deutlich über der Streckgrenze des Bewehrungsstahls liegen können. Hauptgrund hierfür ist, dass die Zwangsbeanspruchungen der massiven Betonbereiche in den minderfesten Arbeitsfugen Risse und damit auf wenige Ebenen konzentrierte Verformungen erzeugen, die dem Bewehrungsstahl in Bereichen mit sehr geringen örtlichen Bewehrungsgraden fast vollständig als Dehnungsweg aufgezwungen werden.

Durch den gekrümmten Verlauf der Umfassungsbewehrung führen Zugbeanspruchungen zu zusätzlichen Biegemomenten in den Bewehrungsstäben. Im Rissbereich bewirken sie eine weitere Erhöhung der Zugdehnungen auf der konkaven Seite der Bewehrung. Es entstehen Kräfte auf die

Betondeckung, die zu den im Schadensbereich des Umlaufkanals beobachteten Betonabplatzungen längs der Bewehrung führen können.

Schadensursache

Das Durchtrennen der Bewehrungsstäbe ist höchstwahrscheinlich die Folge einer kombinierten Einwirkung von mechanischer Beanspruchung und Bewehrungskorrosion. Mit dem Fortschreiten der Bewehrungskorrosion wird das Gefüge der Bewehrung durch Korrosionsmulden und -anrisse geschwächt. Gleichzeitig führen die im jahreszeitlichen Wechsel auftretenden großen Zwangsdehnungen in der Bewehrung mit der Zeit zu einer Ausbreitung dieser Korrosionsanrisse bis zum spröden Abriss des Bewehrungsquerschnitts auch bei verhältnismäßig geringen Lastwechseln.

Empfohlene Instandsetzungsmaßnahmen

Für die globale Tragfähigkeit des Bauwerks spielt die gerissene Umlaufbewehrung des Umlaufkanals keine wesentliche Rolle. Die Kräfte zur Sicherstellung der Tragfähigkeit müssen vielmehr von der vertikalen Kammerwandbewehrung aufgenommen werden.

Durch die günstigen Korrosionsbedingungen in der geschädigten Arbeitsfuge der Kammerwand können allerdings auch Schäden an der Kammerwandbewehrung verursacht werden, die im Endeffekt zum Verlust der Tragfähigkeit des Bauwerks führen.

Aus diesem Grund müssen auch die Oberflächen der geschädigten Bereiche des Umlaufkanals instandgesetzt und, soweit möglich, abgedichtet werden. Die weiterhin zu erwartenden Rissverformungen durch den zyklisch auftretenden Risswasserdruck und den Temperaturzwang müssen ebenso begrenzt werden.

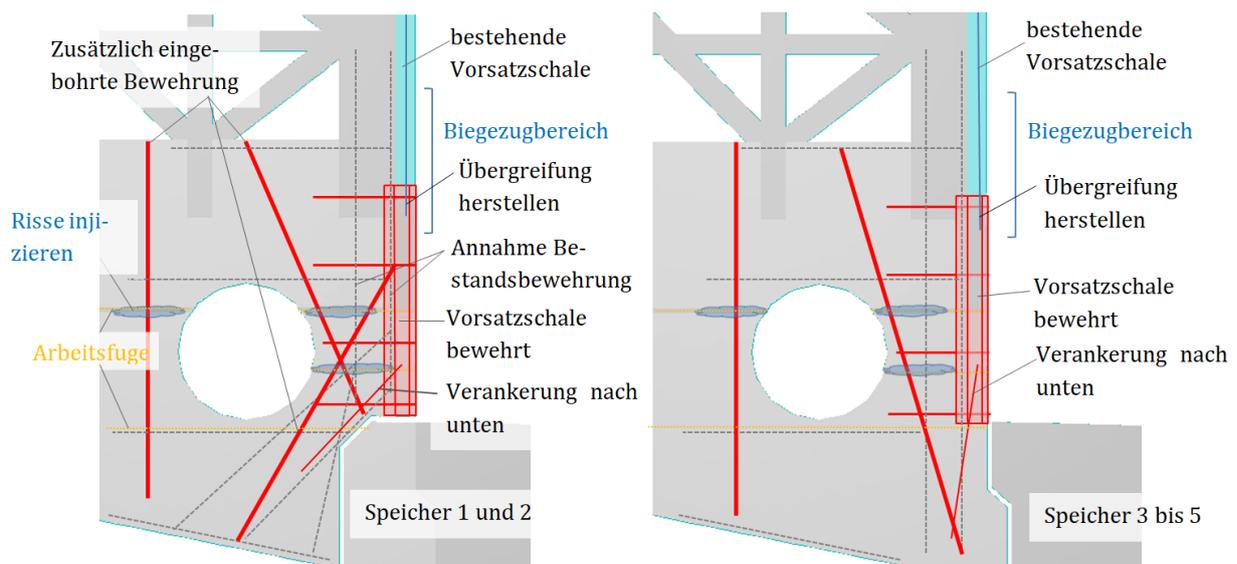


Abbildung 5: Skizze zu möglichen Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen

Zur Instandsetzung der Kammerwand wurde eine bewehrte und verankerte Vorsatzschale (Maßnahme Nr. 1) empfohlen (Abbildung 5). Die eingebaute Bewehrungsmenge in der Vorsatzschale muss mindestens der rechnerisch erforderlichen Bewehrungsmenge entsprechen. Sie wird in ausreichender Dicke bis zur bestehenden Bewehrung ausgeführt, damit auch der Bereich der ausgeprägten, parallel zur Kammerwand verlaufenden Vertikalrisse erfasst und instandgesetzt wird.

Durch das Einbohren von zusätzlichen, vertikalen Bewehrungsstäben seitlich des Umlaufkanals (Maßnahme Nr. 2) können die weiterhin zu erwartenden Rissverformungen reduziert werden. Sie erhöhen die Wirksamkeit und Dauerhaftigkeit einer außerdem empfohlenen Rissinjizierung (Maßnahme Nr. 3) mit zementgebundenen Materialien.

Schließlich sollen die Umlaufinnenkanalflächen durch eine flächige Applikation eines Spritzmörtels in einer Schichtdicke von etwa 30 mm instandgesetzt werden. Es wurde angeregt, im Rahmen einer Probeinstandsetzung hierfür den Einsatz einer textilbewehrten Spritzbetonschicht gemäß **BAW** Merkblatt MITEX „Flächige Instandsetzung von Wasserbauwerken mit textilbewehrten Mörtel- und Betonschichten“ (2020) zu planen (Maßnahme Nr. 4).

Literatur

- Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2016): BAW Merkblatt Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW). Ausgabe Juli 2016. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
- Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2020): BAW Merkblatt Flächige Instandsetzung von Wasserbauwerken mit textilbewehrten Mörtel- und Betonschichten (MITEX). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
- Ems-Weserkanal (neuer Kanal). Schachtschleuse Anderten Band 4. Verzeichnis Nr. 4. Inhalt: 82 Aufnahmen der Schleuse während der Bauzeit. Eigentum der Wasserstraßendirektion Hannover.
- Goetzcke (1929) Die Hindenburgschleuse in Anderten am Mittellandkanal, Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Band 41/1929.
- Kurz L. (2014) Der Schleusenbau in Anderten eine Fotodokumentation mit 170 Abbildungen vom Bau und Betrieb der Hindenburgschleuse.
- Rahimi, A.; Lutz, M. (2020) Begutachtung des Schadensfalls im östlichen Umlaufkanal der Westkammer der Schleuse Anderten. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.
- Schonk; Maaske (1926) Praktische Versuche zur Feststellung der Festigkeit und Wasserdurchlässigkeit des Betons für den Schleusenbau Anderten. Die Bautechnik 1926, Heft 13, S. 187.
- Schonk; Maaske (1927) Die Betriebseinrichtungen für den Bau der Schleusen bei Anderten. Zentralblatt der Bauverwaltung 1927, Nr. 30.
- Schonk; Rütjerodt (1928) Die neuen Schleusen des Mittellandkanals bei Hannover in: Die Bautechnik, Heft 25, S. 345-373.

Weirich, T. (2013) Ermüdungsverhalten des Betonstahls unter Berücksichtigung möglicher Korrosionseinflüsse. Dissertation, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart.