

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Gabrys, Ulrike

Schäden an Stahlwasserbauten

DVS-Berichte

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100835>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gabrys, Ulrike (2012): Schäden an Stahlwasserbauten. In: DVS Congress 2012, Vorträge der Veranstaltungen in Saarbrücken am 17. und 18. September 2012. DVS-Berichte 286. Düsseldorf: DVS-Verlag. S. 288-292.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Erstveröffentlichung in: DVS Congress, Große Schweißtechnische Tagung, DVS-Studentenkongress. Düsseldorf: DVS Media 2012, S. 288-292.

Für eine korrekte Zitierbarkeit ist die Seitennummerierung der Originalveröffentlichung für jede Seite kenntlich gemacht.

S. 288

Schäden an Stahlwasserbauten

U. Gabrys, Karlsruhe

Stahlwasserbauten, insbesondere die Schleusenverschlüsse, unterliegen wechselnden Wasserständen, die maßgeblich für die vorgefundenen Schäden verantwortlich gemacht werden können. Durch den herstellungsbedingten Wechsel von genieteten auf geschweißte Konstruktionen sind in der Vergangenheit unter anderem eine Vielzahl von Schäden an Stahlwasserbauteilen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit aufgetreten. Diese Schäden sowie Schäden aufgrund von Planungs- und Herstellungsfehlern werden dargestellt. Ergänzt wird die Beispielsammlung durch Schadensbilder, die durch unplanmäßige Beanspruchungen hervorgerufen werden. Anhand von Beispielen werden die Schadensursachen aufgezeigt und mögliche Vorgehensweisen für die Instandsetzung vorgestellt.

Ergänzend wird auf die Schweißbeignung der teilweise über siebzig Jahre alten Verschlüssen eingegangen.

Eine Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit der Schweißnähte von Schleusenverschlüssen durch höherfrequentes Hämmern soll zukünftig in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung verstärkt genutzt werden. Die bis jetzt gewonnenen Erkenntnisse werden vorgestellt.

1 Motivation

Die bundesdeutschen Binnenwasserstraßen haben eine Gesamtlänge von 7300 km mit über 700 Bauwerken wie Schleusen, Wehre, Schiffshebewerke und Kanalbrücken, deren Unterhaltung, einschließlich der Instandhaltung der Bauwerke, der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) obliegt. Daher sind in der WSV zahlreiche Stahlwasserbauten im Einsatz, die als Bestandteil wasserbaulicher Anlagen die Aufgabe haben, Durchflussöffnungen im Gesamtbauwerk zu schließen oder freizugeben bzw. Wasserstände und -abflüsse zu regulieren. Eine Vielzahl dieser Stahlwasserbauten ist aus unlegiertem Baustahl (S235) hergestellt und hat ihre rechnerische Lebensdauer von 70 Jahren fast erreicht oder bereits überschritten.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hat unter anderem die Aufgabe, die WSV bei der Wahrnehmung ihrer Pflichten zu unterstützen und erstellt für die WSV Schadensgutachten, die die Schadensursache benennen, aber auch Instandsetzungsmöglichkeiten aufzeigen. Bei häufig auftretenden, gleichartigen Schäden werden Empfehlungen zur zukünftigen Vermeidung des Schadens formuliert.

Die Schäden an den Stahlwasserbaukonstruktionen werden für gewöhnlich bei den Bauwerksuntersuchungen (jährlich, augenscheinlich und lediglich an den Teilen eines Bauwerkes, die über dem Wasserspiegel liegen) oder bei den Bauwerksinspektionen (handnah, augenscheinlich und am trockenen gelegten Verschluss, alle sechs Jahre) festgestellt.

Nachfolgend sollen einige dieser Schäden, die Schadensursachen und mögliche Instandsetzungsstrategien aufgezeigt werden.

2 Schadenstypen

Man kann bei Stahlwasserbauten eine Schadenseinteilung in:

- Schäden resultierend aus Planung und Herstellung (Wahl des statischen Systems, Festlegung der Einwirkungen, Ausführungsqualität, Ermüdung)
- Schäden durch betriebliche Einflüsse (Verschleiß, Korrosion, Nutzungsänderungen ohne Anpassungen am Verschluss, Ausfall von Lagern)
- Unplanmäßige Schäden (Havarien, Materialversagen)

vornehmen.

Bei Planung, Berechnung und Herstellung einer Stahlwasserbaukonstruktion ist derzeit die DIN 19704 „Stahlwasserbauten“, Beuth Verlag, 1998 anzuwenden. Im ersten Teil der Norm sind die Berechnungsgrundlagen für Stahlwasserbauten geregelt und im zweiten Teil die bauliche Durchbildung eines Verschlusses. Finden Festlegungen dieser Norm keine Beachtung, kann dies zu Schäden an der fertigen Konstruktion und während des Betriebes führen. Für die WSV ist dieses Regelwerk seit 1958 anzuwenden, jedoch haben sich im Laufe der Jahre die Lastansätze geändert und die Vorschriften für Planung und Herstellung wurden erweitert. Verschlüsse die gemäß den Vorgängerversionen der DIN 19704 berechnet und hergestellt wurden entsprechen daher nicht den Anforderungen der aktuellen Version. Die DIN 19704 von 1998 sollte daher nur bedingt für Nachrechnungen bestehender Verschlüsse herangezogen werden.

Seit den 50er Jahren sind im Wesentlichen geschweißte Stahlwasserbauverschlüsse geplant und

Gabrys: Schäden an Stahlwasserbauten.
In: DVS Congress, Große Schweißtechnische Tagung, DVS-Studentenkongress.
Düsseldorf: DVS Media 2012, S. 288-292.

S. 289

hergestellt worden, wobei man sich anfänglich noch an der ursprünglich genieteten Konstruktionsform orientierte. Seit den 70er Jahren konnten die Verschlüsse, auf Grund der inzwischen zur Verfügung stehenden elektronischen Berechnungshilfen, schlanker und mit dem geringst möglichen

Materialeinsatz gebaut werden. Diese Tatsache führte bereits Mitte der 80er Jahre zu einer größeren Anzahl von Schadensfällen.

An einer Vielzahl von Verschlüssen traten in den letzten Jahren Schäden infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den alten Bundesländern bis Ende der 80er Jahre Stahlwasserbauten nicht auf Ermüdungsfestigkeit bemessen wurden, obwohl z. B. Schleusenverschlüsse infolge des Schleusungsvorganges wechselnden Lasten unterworfen sind. Erst in der DIN 19704 von 1998 wurden Festlegungen zum Führen eines Ermüdungsnachweises getroffen. Zwischen 1987 und 1998 wurde zur Vermeidung weiterer Ermüdungsfestigkeitsschäden per Erlass gefordert, dass geschweißte Schleusenverschlüsse auf Grundlage der DIN 15018 „Kranbahnen“, Beuth Verlag, 1984 hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit nachzurechnen sind. Die vor genannte Norm war auch bei Neubauten zum Nachweis einer ausreichenden Ermüdungsfestigkeit anzuwenden.

Während des Betriebes der Stahlwasserbauten tritt z. B. an Lagern und Dichtungen Verschleiß auf, der bis zum Ausfall der Bauteile führen kann. Wenn die Dichtungen der Verschlüsse ihre Funktionsfähigkeit (Abnutzung, Materialgütefehler) eingebüßt haben, kommt es bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt und beim Durchströmen der Dichtung zu Vereisungen, die ein Bewegen des Verschlusses verhindern und somit die Regelung der Wasserabfuhr unterbinden.

Vereinzelt konnte festgestellt werden, dass die ursprünglich angesetzten hydrostatischen Einwirkungen (Lasten) sich durch eine nachträgliche Stauerhöhung geändert haben. Die daraus resultierenden Konstruktionsänderungen und Verstärkungen wurden oftmals nicht bis ins letzte Tragglied verfolgt und riefen dann Folgeschäden hervor.

Korrosionsvorgänge, wie z. B. Bimetallkorrosion, haben in der Vergangenheit zu erheblichen Schäden geführt. Aber auch abblätternde Beschichtungen oder unverschlossene Spalte beschleunigen die Mulden bzw. Spaltkorrosion. Daher empfiehlt es sich, bei Stahlwasserbauten verstärkt auf eine Korrosionsschutzgerechte Gestaltung des Verschlusses zu achten und die für Stahlwasserbauten empfohlenen Beschichtungssysteme einzusetzen.

Unplanmäßige Schäden sind auf Havarien, wie Schiffsanfahrungen oder Materialversagen, zurückzuführen.

3 Schadensbeispiele und Instandsetzung

3.1 Schäden aus Planung und Herstellung

Durch eine sorgfältige Planung von Stahlwasserbauverschlüssen und eine verstärkte Bauüberwachung während der Herstellung von Verschlüssen könnten einige Schäden vermieden werden. Zum einen sollten, auch bei vermeintlich untergeordneten Bauteilen, Tragsicherheitsnachweise geführt werden. Darüber hinaus sollten Empfehlungen, wie: statisch bemessen, dynamisch konstruieren Beachtung finden. Auch Bauteile, die dem Maschinenbau zuzuordnen sind, sind hinsichtlich Tragsi-

cherheit und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen und herzustellen. Die beiden nachfolgenden Lagerschäden sind darauf zurückzuführen, dass Querschnittsprünge oder Dickenunterschreitungen und deren Auswirkungen auf die Tragsicherheit rechnerisch nicht nachgewiesen wurden.

Am Rand der Bronzebuchse eines Spurlagers für einen Stemmtorflügel sind Fasen als Verdrehsicherung eingearbeitet worden (Bild 1). Durch die geringe Rest-Wanddicke im Bereich der Fase, einhergehend mit Spannungsüberschreitungen, kam es zum Versagen des Bauteils.



Bild 1: Defektes Spurlageroberteil



Bild 2: Segmentgleitlagerschaden

Gabrys: Schäden an Stahlwasserbauten.
In: DVS Congress, Große Schweißtechnische Tagung, DVS-Studentenkongress.
Düsseldorf: DVS Media 2012, S. 288-292.

S. 290

Ein weiterer Lagerschaden entstand, da die Gleitleisten von Segmentlagern nicht die vom Hersteller empfohlene Materialstärke aufwiesen und dadurch am Rand der Grafitkammern Spannungsspitzen auftraten. (Bild 2). Die Gleitleiste brach und löste sich bei weiteren Bewegungen vom darunter liegenden Grundkörper. Dieser Schaden wird im Laufe der Jahre systematisch bei allen Gleitlagern des Verschlusses auftreten, daher wird zurzeit ein Umbau der Gleitlagerung geplant.

Das nächste Schadensbild steht explizit für eine Vielzahl vorgefundener Ermüdungsfestigkeitsschäden (Bild 3). Ein Teil dieser geschädigten Verschlüsse sind inzwischen ersetzt worden. Teilweise konnten aber die geschädigten Verschlüsse durch Rissverschweißungen und zusätzliche Verstärkungen, zur Reduzierung der vorhandenen Spannungen, instand gesetzt werden.



Bild 3: Risschaden am Endschott eines Schleusenverschlusses infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit

3.2 Betriebsbedingte Schäden

Die nachfolgenden Beispiele zeigen betriebsbedingte Schäden infolge Verschleiß, Korrosion (Bimetallkorrosion) oder Nutzungsänderungen.

An einer horizontalen Dichtung zwischen der Aufsatzklappe und dem unteren Rollschütz eines Wehrverschlusses waren Risse im Dichtungsmaterial aufgetreten, die zu Undichtigkeiten führten (Bild 4). Ein Ersatz der Dichtung war unumgänglich.



Bild 4: Defekte Klappendichtung

Durch den Einsatz von nichtrostendem Stahl in Kombination mit unlegiertem Stahl entsteht die Bimetallkorrosion (Bild 5). Denn aus zwei unterschiedlichen und leitend miteinander verbundenen Metallen, die sich im gleichen Elektrolyt (hier Wasser) befinden, wird ein elektrochemisches Element erzeugt. Derartige Schäden sind inzwischen an einer Vielzahl von Bauteilen aufgetreten, so dass die BAW das Merkblatt „Einsatz von nichtrostendem Stahl“, 2005 zur Anwendung in der WSV herausgab.



Bild 5: Achslagerungsschaden durch Bimetallkorrosion

Infolge häufiger Stellbewegungen eines Wehrverschlusses (Walze) im Zentimeterbereich werden die Zahnkränze an der Walze und die im Massivbau verankerten Zahnstangen überbeansprucht (Hertzsche Pressung). Wehrverschlüsse sind für diese häufigen Stellbewegungen im Zentimeterbereich nicht bemessen und konstruiert worden. Das vorgefundene Schadensbild resultiert aus einer Nutzungsänderung, die nachträglich rechnerisch nicht nachgewiesen wurde (Bild 6). Bei diesem vorgefundenen Schaden ist ebenfalls ein Ersatz der geschädigten Zahnstangen und Zahnkränze erforderlich.



Bild 6: Abgenutzter Zahnkranz an einem Wehrverschlusses

Gabrys: Schäden an Stahlwasserbauten.
In: DVS Congress, Große Schweißtechnische Tagung, DVS-Studentenkongress.
Düsseldorf: DVS Media 2012, S. 288-292.

S. 291

3.3 Unplanmäßige Schäden

Des Weiteren kann es durch nicht vorhersehbare Ereignisse zu unplanmäßigen Schäden an Stahlwasserbauten kommen. Dazu zählen in erster Linie Schäden durch Schiffsanfahrung (Bild 7). Vor den meisten Schleusenverschlüssen ist inzwischen ein Stoßschutz (Seil oder Balken) angeordnet. Bei einem defekten Stoßschutz oder dem Fehlen eines solchen sind Anfahrungen des Verschlusses möglich. In diesem speziellen Fall war der Ersatz des Stemmtorflügels erforderlich.



Bild 7: Schaden an einem Stemmtorflügel infolge Schiffsanfahrung

In den letzten Jahren konnten einige Schäden infolge Materialversagen festgestellt werden. Es kam zu Kettenlaschenbrüchen an Wehr- und Hebewerksverschlüssen. Durch Mikroskopische Untersuchungen der Mikroschliffe konnte die Schadensursache eindeutig geklärt werden. Bei den ange troffenen Schäden handelte es sich um eine Vergütungsschäden des Materials. Die vorab durchgeführten Zug- und Kerbschlagbiegeversuche waren unauffällig und entsprachen den geforderten Normwerten.

3.4 Instandsetzungsempfehlungen

Zur Gewährleistung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Stahlwasserbauten sind über die Nutzungsdauer Instandsetzungen unterschiedlichster Art erforderlich. Verstärkungen bei mangelnder Tragsicherheit oder Ermüdungsfestigkeit oder Reparaturen und Konstruktionsänderungen resultierend aus Planungs- und Herstellungsfehlern sind durchzuführen.

Durch die betrieblichen Einwirkungen während der Nutzung der Stahlwasserbauverschlüsse kommt es zu Schäden infolge Verschleiß oder Korrosion, die durch Austausch von Lagern, Dichtungen oder Antriebsmitteln behoben werden. Die Erneuerung des vorhandenen Korrosionsschutzes ist während der Nutzungsdauer derartiger Konstruktionen mindestens zweimal durchzuführen. Für häufig auftretende und vergleichbare Schäden, wie z. B. die Schäden infolge Bimetallkorrosion, werden Merkblätter durch die BAW erarbeitet und der WSV zur Verfügung gestellt.

3.5 Schäden an Reparaturschweißungen

Da immer wieder Schäden nach einer Rissinstandsetzung auftraten, ist für die WSV eine Empfehlung für Schweißarbeiten formuliert worden, die Aussagen hinsichtlich der Rissvorbereitung, der Elektrodenwahl und des Vorwärmens und enthält. In der Regel entstanden die vorgefundenen Schäden infolge Kaltrissigkeit oder Heißrissbildung.

Bei Rissverschweißungen am eingebauten Verschluss wird empfohlen, rückgetrocknete, basische Elektroden zu verwenden und die zu verschweißenden Bauteile auf ca. 100°C vorzuwärmen. Bei geplanten Schweißarbeiten an genieteten Konstruktionen ist vorab eine Chemische Analyse an den zu verschweißenden Bauteilen durchzuführen.

4 Ertüchtigung von Stahlwasserbauten durch Höherfrequentes Hämmern

In den beiden letzten Jahrzehnten mussten eine Vielzahl von Stahlwasserbauverschlüssen infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit ersetzt werden. Daher hat die BAW, aufbauend auf dem Forschungsprojekt D 761 „REFRESH-Lebensdauererlängerung bestehender und neuer geschweißter Stahlkonstruktionen“, FOSTA, 2010, weitere Untersuchungen an unlegierten Stählen (S235) beauftragt. Ziel dieser Untersuchungen ist die Anwendung des Höherfrequenten Hämmerns (HFH) zur Ertüchtigung bestehender Konstruktionen, wenn der Nachweis der Ermüdungsfestigkeit für die Restlebenszeit des Verschlusses nicht mehr geführt werden kann.

Es wurden drei unterschiedliche Versuchsreihen mit zwei verschiedenen HFH gefahren. Mittels des HFH werden die Einbrandkerben einer Schweißnaht ausgerundet und gleichzeitig Druckeigenstressungen eingetragen. Das Zusammenwirken dieser beiden Effekte kann die Lebensdauer eines Bauwerkes maßgeblich verlängern. Durch die drei unterschiedlichen Untersuchungsreihen sollen Aussagen über die Auswirkung des HFH beim Neubau, bei einer nachträglichen Ertüchtigung (ohne vorherige Schadensanzeige) und bei einer Reparaturschweißung getroffen werden. Die drei Versuchsreihen und eine zusätzliche Versuchsreihe an unbehandelten Proben zum Vergleich sind nachfolgend gelistet:

- Unbehandelt
- Geschweißt, Nachbehandelt
- Geschweißt, belastet bis zur rechnerischen Lebensdauer, Nachbehandelt
- Geschweißt, belastet bis zum technischen Anriss, Reparaturschweißung, Nachbehandlung

S. 292

Gabrys: Schäden an Stahlwasserbauten.
 In: DVS Congress, Große Schweißtechnische Tagung, DVS-Studentenkongress.
 Düsseldorf: DVS Media 2012, S. 288-292.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigte, dass mit einer signifikanten Lebensdauerverlängerung bei einer Nachbehandlung direkt nach dem Schweißen der Konstruktion gerechnet werden kann (Bild 8).

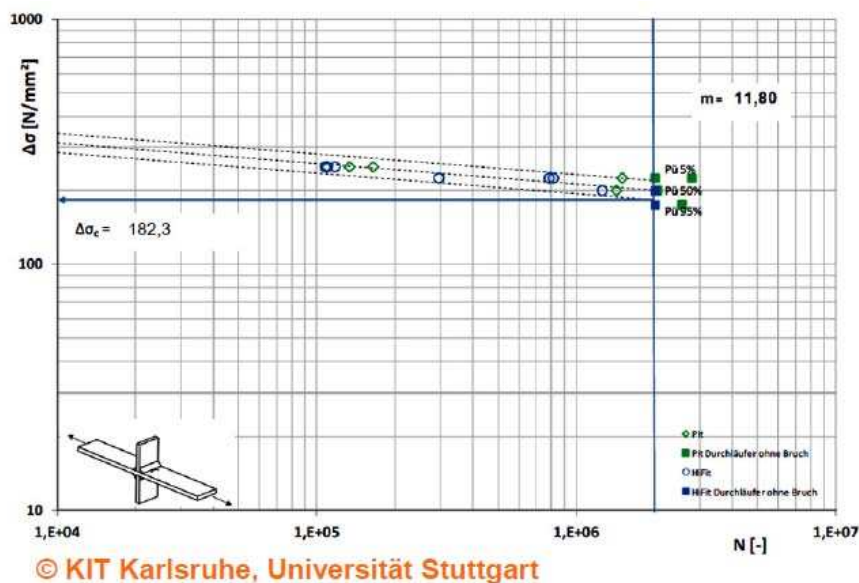


Bild 8: Versuchsergebnisse der Nachbehandlung direkt nach der Schweißung mit HFH an Querstreifen

Auch die Auswertung der weiteren Versuchsergebnisse zeigte, dass eine Nachbehandlung mit HFH an vorbelasteten Proben oder nach Reparaturschweißungen ebenfalls zu einer Verlängerung der Nutzungsdauer führt.

Die BAW empfiehlt daher, zukünftig das HFH zur Nachbehandlung von Schweißnähten an Stahlwasserbauten zur Erhöhung des Ermüdungsfestigkeitswiderstandes einzusetzen. Ziel ist es, den Austausch geschädigter Verschlüsse um mindestens zwei Jahrzehnte zu verlängern, ohne zusätzliche Verstärkungsmaßnahmen durchführen zu müssen.

5 Zusammenfassung

Stahlwasserbauten, insbesondere die Schleusenverschlüsse, unterliegen wechselnden Wasserständen, die maßgeblich für die vorgefundenen Schäden verantwortlich sind.

Bei Stahlwasserbauten ist eine Schadenseinteilung in Schäden resultierend aus Planung und Herstellung, Schäden durch betriebliche Einflüsse und unplanmäßige Schäden möglich. Anhand von Schadensbeispielen wurden Schadensursachen dargelegt und mögliche Instandsetzungen vorgeschlagen.

Um häufig auftretende, vergleichbare Schäden zu vermeiden, hat die BAW in der Vergangenheit Merkblätter oder Empfehlungen (z. B. zu Reparaturschweißungen) erarbeitet und der WSV zur Verfügung gestellt.

Zur Ertüchtigung von Konstruktionen, die eine mangelnde Ermüdungsfestigkeit aufzeigen, hat die BAW ein Forschungsvorhaben über die Nachbehandlung mit HFH an unlegiertem Stahl (S235) initiiert. Forschungsstellen waren die Universität Stuttgart und das KIT in Karlsruhe. Die an den beiden Forschungsstellen durchgeführten Versuche zeigten, dass mit dem HFH sowohl beim Neubau als auch bei bestehenden Bauwerken eine signifikante Verlängerung der Nutzungsdauer möglich ist.