

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Gabrys, Ulrike**

## **Schadensfälle an Stahlwasserbauten im Amtsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100878>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gabrys, Ulrike (2013): Schadensfälle an Stahlwasserbauten im Amtsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. In: Vortragsband, 21. Erfahrungsaustausch und Weiterbildung für Schweißaufsichtspersonen und Verantwortliche der werkseigenen Produktionskontrolle im bauaufsichtlichen Bereich, 31.01.2013 Halle; 27.02.2013 Dresden; 28.02.2013 Halle. Halle: GSI-SLV.

### **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.



# Schadensfälle an Stahlwasserbauten im Amtsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

Dipl.-Ing. U. Gabrys, Karlsruhe

**Kurzfassung** 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 [GAB 2012].

Für die teilweise über siebenzig Jahre alten Verschlüsse, deren Schweißbarkeit nicht immer gegeben ist, werden der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Empfehlungen für Reparaturschweißungen zur Verfügung gestellt.

Zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit der Schweißnähte von Schleusenverschlüssen durch höherfrequentes Hämmern werden Empfehlungen erarbeitet, die zukünftig in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung zu beachten sind.

## 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 sind aus unlegiertem Baustahl (S235) hergestellt und haben ihre rechnerische Lebensdauer von 70 Jahren fast erreicht oder bereits überschritten [GAB 2012].

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hat unter anderem die Aufgabe, die WSV bei der Wahrnehmung ihrer Pflichten zu unterstützen. Sie erstellt unter anderem für die WSV Schadensgutachten, die die Schadensursache benennen, aber auch Instandsetzungsmöglichkeiten aufzeigen. Sie erarbeitet bei häufig auftretenden, gleichartigen Schäden Empfehlungen in Form von Merkblättern und Richtlinien, die dann verbindlich anzuwenden sind.

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

Einige dieser Schäden, deren Schadensursache und die mögliche Instandsetzungsstrategie sollen nachfolgend vertieft aufgezeigt werden.

## 2 Schadenstypen

In den letzten fünf Jahrzehnten sind durch die BAW eine Vielzahl von Schadensfällen aufgenommen und beurteilt worden. Aufbauend auf diese Schadensbeispiele wird für Stahlwasserbauten eine Schädenseinteilung vorgenommen:

- Schäden resultierend aus Planung und Herstellung  
(Wahl des statischen Systems, Festlegung der Einwirkungen, Ausführungsqualität, Ermüdung)
- Schäden durch betriebliche Einflüsse über die gesamte Nutzungsdauer  
(Verschleiß, Korrosion, Nutzungsänderungen o. Anpassungen a. Verschluss, Ausfall von Lagern)
- Unplanmäßige Schäden  
(Havarien, Materialversagen)

Bei Planung, Berechnung und Herstellung einer Stahlwasserbaukonstruktion ist derzeit die DIN 19704 „Stahlwasserbauten“, Beuth Verlag, 1998 anzuwenden. Der erste Teil der DIN 19704 regelt die Berechnungsgrundlagen und der zweite Teil die bauliche Durchbildung eines Stahlwasserbauverschlusses. Werden Festlegungen dieser Norm falsch interpretiert oder finden sie keine Beachtung, so kann dies zu Schäden an der fertigen Konstruktion und während des Betriebes führen. Für die WSV ist dieses Regelwerk seit 1958 anzuwenden. Im Laufe der Jahre haben sich jedoch die Lastansätze geändert bzw. 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. Daher wird auch empfohlen, die DIN 19704 mit Ausgabe 1998 nur bedingt für Nachrechnungen bestehender Verschlüsse heranzuziehen.

Seit den 50er Jahren sind im Wesentlichen geschweißte Stahlwasserbauverschlüsse geplant und auch hergestellt worden. Dabei orientierte man sich anfänglich noch an der ursprünglich genieteten Konstruktionsform, so dass man diese umgangssprachlich manchmal als geschweißte Nietkonstruktion bezeichnete. Anzumerken ist noch, dass bei diesen Konstruktionen die Montagestöße teilweise noch genietet wurden. 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. Die bis dato robusten Verschlüsse wurden nun sehr filigran und somit auch schadensanfälliger. Dieser Umstand führte bereits Mitte der 80er Jahre zu einer größeren Anzahl von Schadensfällen.

An einer Vielzahl von Schleusen- und Betriebsverschlüssen traten in den letzten Jahren vermehrt Schäden infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit auf. In den alten Bundesländern sind bis Ende der 80er Jahre Stahlwasserbauten nicht auf Ermüdungsfestigkeit bemessen worden. Jedoch sind z. B. Schleusenverschlüsse infolge des Schleusungsvorganges wechselnden Lasten unterworfen. Die erforderlichen Festlegungen zum Führen eines Ermüdungsnachweises sind erstmals in der DIN 19704, Ausgabe 1998 formuliert worden. Ab 1987 bis zur Einführung der überarbeiteten DIN 19704 im Jahr 1998 wurde zur Vermeidung weiterer Ermüdungsfestigkeitsschäden für die gesamte WSV per Erlass gefordert, dass geschweißte Schleusenverschlüsse auf Grundlage der DIN 15018 „Kranbahnen“, Beuth Verlag, 1984 hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit nachzurechnen sind. Der vorgenannte Erlass war auch bei Neubauten zum Nachweis einer ausreichenden Ermüdungsfestigkeit anzuwenden.

Beim Betrieb von Stahlwasserbauten tritt z. B. an Lagern und Dichtungen Verschleiß auf. Dieser Verschleiß kann bis zum Ausfall der Bauteile führen. Wenn die Dichtungen der Verschlüsse ihre Funktionsfähigkeit z. B. durch Abnutzung oder Materialgüdefehler eingebüßt haben, kommt es in der Regel bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt und beim Durchströmen der Dichtung oberhalb des Unterwasserspiegels zu Vereisungen. Diese Vereisungen verhindern ein Bewegen des Verschlusses und unterbinden somit die Regelung der Wasserabfuhr.

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 [GAB 2012].

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 [GAB 2012].

Havarien wie Schiffsanfahrungen oder aber auch Materialversagen sind als unplanmäßige Schäden einzustufen.

### **3 Schadensbeispiele und Instandsetzung**

#### **3.1 Schäden aus Planung und Herstellung**

Um einige Schäden während der Planungs- und Herstellungsphase zu vermeiden sollte darauf geachtet werden dass alle Planungsgrundsätze der DIN 19704-2 eingehalten werden. Mit einer verstärkten Bauüberwachung gemäß dem „Merkblatt zur Kontrollüberwachung von Stahlwasserbauten“, Ausgabe 2012 könnten während der Herstellung von Verschlüssen weitere Schäden vermieden wer-

den. Auch bei vermeintlich untergeordneten Bauteilen sind Tragsicherheitsnachweise zu führen. Darüber hinaus sollten Empfehlungen, wie *statisch bemessen*, *dynamisch konstruieren* mehr Beachtung finden. Bauteile, die dem Maschinenbau zuzuordnen sind, sind hinsichtlich Tragsicherheit, Ermüdungsfestigkeit und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen und herzustellen.

Die beiden nachfolgenden Lagerschäden resultieren daraus, dass Querschnittsprünge oder Dickenunterschreitungen und deren Auswirkungen auf die Tragsicherheit rechnerisch nicht nachgewiesen wurden. Stemmtorflügel werden mittels Spur- und Halslager ausgerichtet und auf bzw. mit diesen Lagern bewegt. An etlichen dieser Spurlager konnte am Rand der Bronzebuchsen, an denen Fasen als Verdrehsicherung eingearbeitet wurden (Bild 1) gravierende Abplatzungen lokalisiert werden. Resultierend aus der geringen Restwanddicke im Bereich der Fase, die zu Spannungsüberschreitungen in diesem Bereich führten, kam es zum Versagen des Bauteils.



Bild 1: Defektes Spurlageroberteil (Spurlagerpfanne, Gehäuse aus Bronze)

Ein weiterer Lagerschaden entstand, da die geklebten Gleitleisten von Segmentlagern unter anderem nicht die vom Hersteller empfohlene Materialstärke aufwiesen. Daher traten am Rand der Graphitkammern Spannungsspitzen (Bild 2) auf. Die verklebte Gleitleiste brach und löste sich bei weiteren Bewegungen vom darunter liegenden Grundkörper. Da dieser Schaden im Laufe der Jahre systematisch bei allen Gleitlagern des Verschlusses auftreten wird, ist zur Zeit ein Umbau dieser Gleitlagerung in Planung.

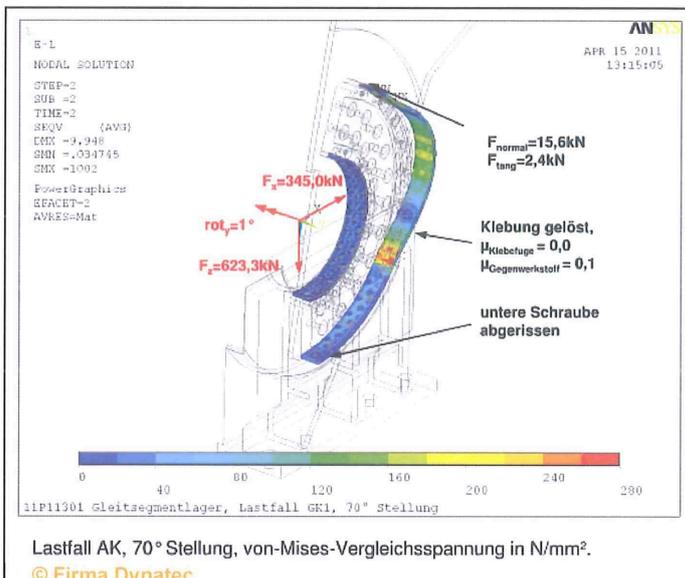


Bild 2: Schaden an einem Segmentgleitlager mit Ergebnis der Finiten-Element-Berechnung

Für eine Vielzahl vorgefundener Ermüdungsfestigkeitsschäden steht explizit das nächste Schadensbild (Bild 3). Ein Teil dieser geschädigten Verschlüsse ist inzwischen durch Neukonstruktionen ersetzt worden. Es sind aber auch Verschlüsse durch Rissverschweißungen und zusätzliche Verstärkungen, zur Reduzierung der vorhandenen Spannungen, instand gesetzt worden.



Bild 3: Risschaden am Mittelschott eines Schiebetores infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit

### 3.2 Betriebsbedingte Schäden

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

Zwischen der Aufsatzklappe und dem unteren Rollschütz waren an einer horizontalen Dichtung eines Wehrverschlusses Risse im Dichtungsmaterial aufgetreten. Klappen werden zur Wasserabfuhr (Feinregulierung des Staus) häufig bewegt. Diese Bewegungen wirken sich auch auf die Klappendichtungen aus und führten nach etlichen Jahren zu Undichtigkeiten (Bild 4). Ein Ersatz der Dichtung war unumgänglich.



Bild 4: Defekte Dichtung zwischen Aufsatzklappe und Zugsegment

Überwiegend sind Stahlwasserbauten aus unlegiertem Stahl (Baustahl) hergestellt, jedoch kommen aus Gründen des Verschleißes und des Korrosionsschutzes auch CrNi-Stähle zum Einsatz. Durch den kombinierten Einsatz von CrNi-Stahl und Baustahl kam es in den letzten Jahren an einigen Stahlwasserbaukonstruktionen zur 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“ zur verbindlichen Anwendung in der WSV herausgab. In der derzeitigen Überarbeitung der DIN 19704 wird die vorhandene Edelstahlproblematik ebenfalls berücksichtigt.



Bild 5: Achslagerungsschaden durch Bimetallkorrosion [GAB 2012]

Infolge häufiger Stellbewegungen eines Wehrverschlusses (Walze) im Zentimeterbereich werden die Zahnkränze an der Walze und die im Massivbau verankerten Zahnstangen überbeansprucht (Hertz'sche 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. [GAB 2012]

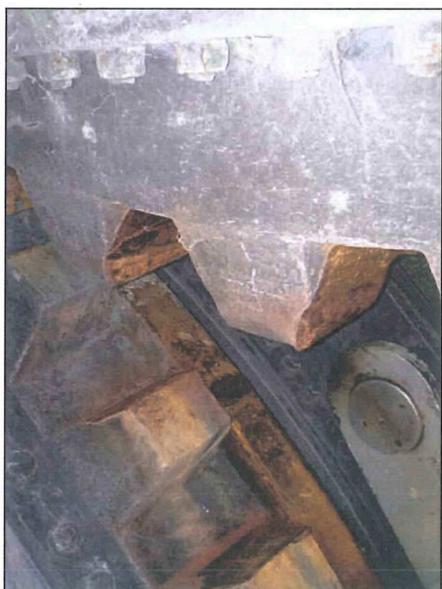


Bild 6: Abgenutzter Zahnkranz an einem Wehrverschlusses [GAB 2012]

### 3.3 Unplanmäßige Schäden

Durch nicht vorhersehbare Ereignisse kommt es zu unplanmäßigen Schäden an Stahlwasserbauten. Dazu zählen in erster Linie Schäden durch Schiffsanfahrung (Bild 7). Inzwischen verfügen die meisten Schleusen vor dem Unterhaupt über einen Stoßschutz (Seil oder Balken). Bei einem defekten Stoßschutz oder dem Fehlen eines solchen sind Anfahrungen des Schleusenverschlusses möglich. Das Bild 7 zeigt einen Anfahrungsschaden an einem Stemmtorflügel. In diesem speziellen Fall war der Ersatz des Stemmtorflügels erforderlich.

In den letzten Jahren kam es auch zu einige Schäden infolge Materialversagen, wie z. B. Kettenlascenbrüche an Wehr- und Hebewerksverschlüssen. Durch ergänzende mikroskopische Untersuchungen an Mikroschliffen konnte die Schadensursache eindeutig geklärt werden. Bei den vorgefundenen Schäden handelte es sich um Vergütungsschäden des Materials. Die vorab durchgeführten Zug- und Kerbschlagbiegeversuche waren unauffällig und entsprachen den geforderten Normwerten.



Bild 7: Schaden an einem Stemmtorflügel infolge Schiffsanfahrung [GAB 2012]

### 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. [GAB 2012]

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. [GAB 2012]

### 3.5 Schäden an Reparaturschweißungen

Für die WSV ist eine Empfehlung für Schweißarbeiten durch die BAW formuliert worden, da immer wieder Schäden nach einer Rissinstandsetzung auftraten (Bild 8). Diese Empfehlung enthält Aussagen hinsichtlich der Rissvorbereitung, der Elektrodenwahl und des Vorwärmens. In der Regel entstanden die vorgefundenen Schäden infolge Kaltrissigkeit oder Heißrissbildung.

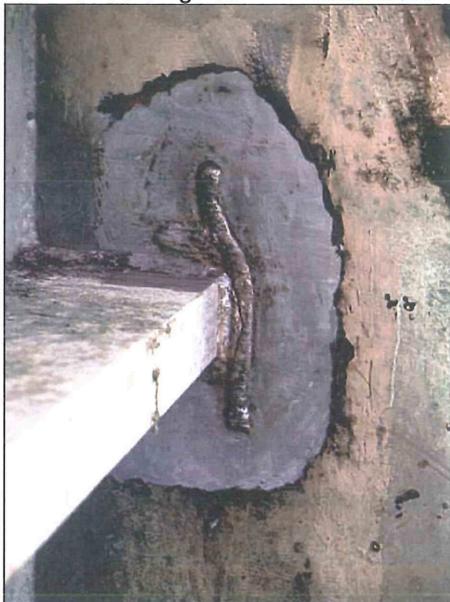


Bild 8: Gerissene Reparaturschweißnaht

Bei Rissverschweißungen am eingebauten Verschluss wird daher durch die BAW 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 und zu den Nieten ein Mindestabstand von 5 cm einzuhalten.

#### 4 Ertüchtigung von Stahlwasserbauten durch Höherfrequentes Hämmern

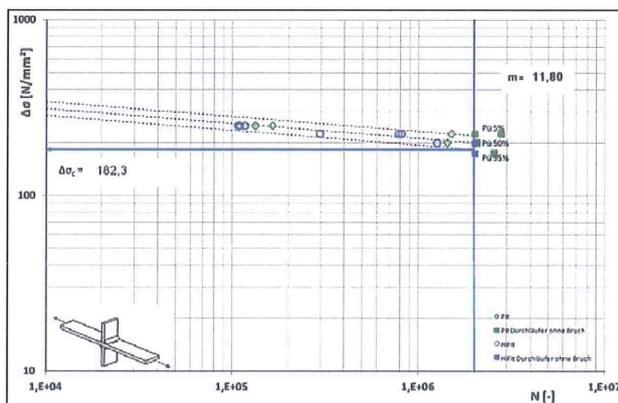
Eine Vielzahl von Stahlwasserbauverschlüssen mussten in den beiden letzten Jahrzehnten infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit ersetzt werden. Aufbauend auf dem Forschungsprojekt D 761 „REFRESH-Lebensdauererweiterung bestehender und neuer geschweißter Stahlkonstruktionen“, FOSTA, 2010, hat die BAW weitere ergänzende 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 Restnutzungszeit 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 Druckeigenspannungen 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. [GAB 2012]

Die drei Versuchsreihen und zum Vergleich eine zusätzliche Versuchsreihe an unbehandelten Proben (Reihe eins) sind nachfolgend aufgeführt:

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

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



© KIT Karlsruhe, Universität Stuttgart

Bild 8: Versuchsergebnisse (Reihe zwei) der Nachbehandlung direkt nach der Schweißung mit HFH an Quersteifen (Neubaurelevant) [GAB 2012]

Die Auswertung der Versuchsergebnisse der Reihen drei und vier zeigte ebenfalls, dass eine Nachbehandlung mit HFH an vorbelasteten Proben (Reihe drei) oder nach Reparaturschweißungen (Reihe vier) ebenfalls zu einer Verlängerung der Nutzungsdauer führt.

Die BAW empfiehlt daher der WSV, zukünftig das HFH zur Nachbehandlung von Schweißnähten an Stahlwasserbauten zur Erhöhung des Ermüdungsfestigkeitswiderstandes einzusetzen. Ziel ist es, den

Austausch oder die Instandsetzung der durch mangelnde Ermüdungsfestigkeit geschädigten Verschlüsse maßgeblich zu verlängern.

## **5 Zusammenfassung**

Stahlwasserbauten, insbesondere die Schleusen- und Betriebsverschlüsse, unterliegen wechselnden Wasserständen. Diese sind in der Regel für die vorgefundenen Schäden verantwortlich.

Eine Schadenseinteilung in Schäden, resultierend aus Planung und Herstellung, Schäden durch betriebliche Einflüsse und unplanmäßige Schäden, ist bei Stahlwasserbauten vorgenommen worden. Anhand von Schadensbeispielen für jede Kategorie wurden die Schadensursachen dargelegt und 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 [GAB 2012].

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. [GAB 2012]

## **6 Literatur**

[GAB 2012] Schäden an Stahlwasserbauten, DVS-Berichtband 286, S. 288-292, 2012

Anmerkung: Literaturverweis gilt immer für den gesamten Absatz