

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Gabrys, Ulrike**

## **Korrosionsschäden: Ursachen und Lösungsansätze**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100762>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Gabrys, Ulrike (2007): Korrosionsschäden: Ursachen und Lösungsansätze. In: Teubert Kommunikation, Mannheim, 7. Februar 2007.

### **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.



## 1. Einleitung

In der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) gibt es zahlreiche Stahlwasserbauten die der Unterstützung des Schiffsverkehrs, der Wasserstands- und der Wasserabflussregulierung dienen. Unter Stahlwasserbauten werden in erster Linie die beweglichen stählernen Verschlusskörper für Stauanlagen, Wasserkraftanlagen und bauliche Anlagen der Wasserstraßen verstanden /1/. Als Spezialtragwerke haben die Stahlwasserbauten einen hohen Stellenwert für die Funktionsfähigkeit und Tragsicherheit des Gesamtbauwerks und unterliegen zudem speziellen Anforderungen und Einsatzbedingungen /2/. Eine dieser speziellen Einsatzbedingungen ist die Beaufschlagung durch Wasser. Dies führt zu einer erhöhten Korrosionsbeanspruchung des Tragwerks. Im nachfolgenden Beitrag wird auf verschiedene Korrosionsformen und daraus resultierende Schäden eingegangen. Da in den letzten Jahren gravierende Schäden infolge elektrolytischer Korrosion (Bimetallkorrosion) an Bauwerken der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) auftraten, wird daher auf diese Korrosionsform im Vortrag besonders detailliert eingegangen.

## 2. Korrosionsformen und deren Schadensmechanismen

In der Regel sind Stahlwasserbauten aus unlegiertem Stahl (Baustahl) und müssen daher durch geeignete Oberflächenschutzsysteme (organisch, anorganisch oder nichtmetallisch) gegen Korrosion geschützt werden. Unter Korrosion versteht man die chemische oder elektrochemische Reaktion von Metallen mit der Umgebung, durch die die Werkstoffeigenschaften beeinträchtigt werden. Infolge dieser Beeinträchtigung entsteht der Bundesrepublik Deutschland ein nicht unerheblicher volkswirtschaftlicher Schaden in Milliardenhöhe /3/. Nachfolgend werden einige Korrosionsformen vorgestellt, die durch elektrochemische Korrosion entstehen.

Eine der häufigsten Korrosionsformen ist die **Flächenkorrosion**. Darunter versteht man den gleichmäßigen Stahlabtrag über die Bauteilfläche. Im Allgemeinen verläuft der Flächenabtrag bei dieser Korrosionsform relativ langsam, da wegen der großen Flächen die Stromdichten gering bleiben. Diese Korrosionsform tritt in der Regel bei allen ungeschützten Bauwerken auf. In erster Linie sind davon Spundbohlen betroffen. Jedoch unterliegen auch wetterfeste Stähle einer sehr langsam verlaufenden flächigen Korrosion. Ein rapider Stahlabtrag kann sich ebenso bei großflächig zerstörter Beschichtung einstellen (Bild 1a u. b).

In den 80er Jahren wurden durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in großem Umfang Abrostungen an Spundbohlen im Binnenbereich untersucht. Abgeleitet aus diesen Untersuchungen wurde eine Grafik erstellt, mit der man die Abrostungen für unterschiedliche Standzeiten hinreichend genau bestimmen kann. In Bild 2 ist die Grafik zum Bestimmen der Abrostung im Binnenbereich dargestellt.



Bild 1a: Flächige Korrosion mit Durchrostung

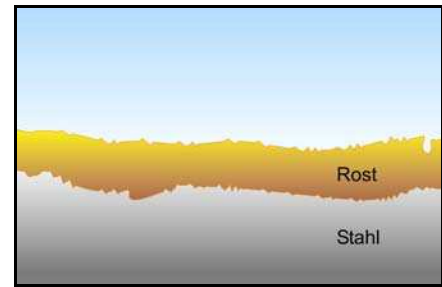


Bild 1b: Systemskizze flächige Korrosion

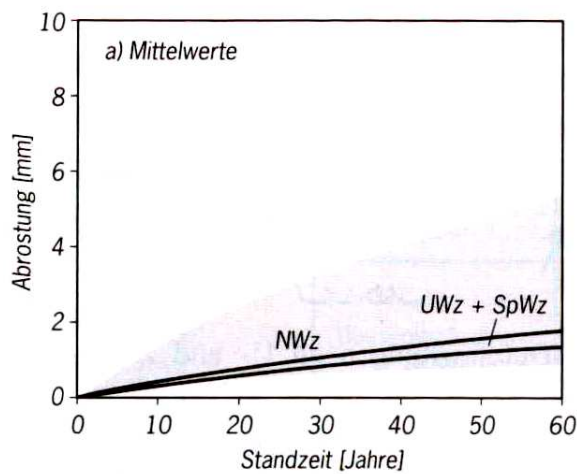


Bild 2: Abrostung über die Standzeit im Binnenbereich /4/

Eine weitere Korrosionsform ist die **Narben- bzw. Muldenkorrosion**. Hierbei handelt es sich um eine Erscheinungsform der flächigen Korrosion bei der die Bauteildicke punktuell korrosiv abgetragen wird (Bild 3b). Narben bzw. Mulden können bei allen häufig bewegten Verschlüssen die Ermüdungsfestigkeit nachteilig beeinflussen. Jedoch ist erst eine Muldenkorrosion mit einer Narbentiefe von über 2 mm und einem flächigen Anteil von über 30% tragfähigkeitsrelevant. Bild 3a zeigt das Schadensbild einer Narben- / Muldenkorrosion



Bild 3a: Narben- / Muldenkorrosion

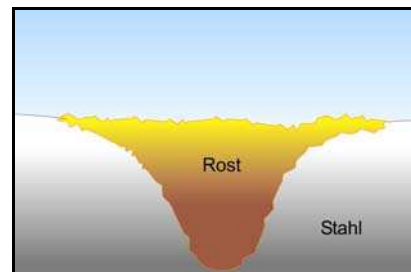


Bild 3b: Systemskizze Muldenkorrosion

Des Weiteren kann bei Stahlwasserbauten die so genannte **Spaltkorrosion** auftreten. Diese entsteht in engen Spalten, wie z. B. zwischen Beiwinkeln, Verstärkungslaschen, Lamellenkonstruktionen, Blechstößen und dem Hauptbauteil. In den Spalten entsteht ein lokales, so genanntes Belüftungselement. Dies beruht auf unterschiedlichen Sauerstoffzutritt und führt zu dem in Bild 4 dargestellten Schaden.



Bild 4: Spaltkorrosion (aus "Online-Hilfe zur Unterstützung der Schadensqualifizierung bei der Bauwerksprüfung" WSV-Pruf)

Auf Grund der so genannten Kantenflucht einer Beschichtung bei der Neukonservierung eines Bauteils ist oftmals die Schichtdicke an den Kanten unzureichend und wird zudem durch mechanische Beanspruchungen beschädigt, so dass es zu Anrostung in größerem Umfang kommt. In Bild 5 ist ein derartiger Schaden dargestellt.

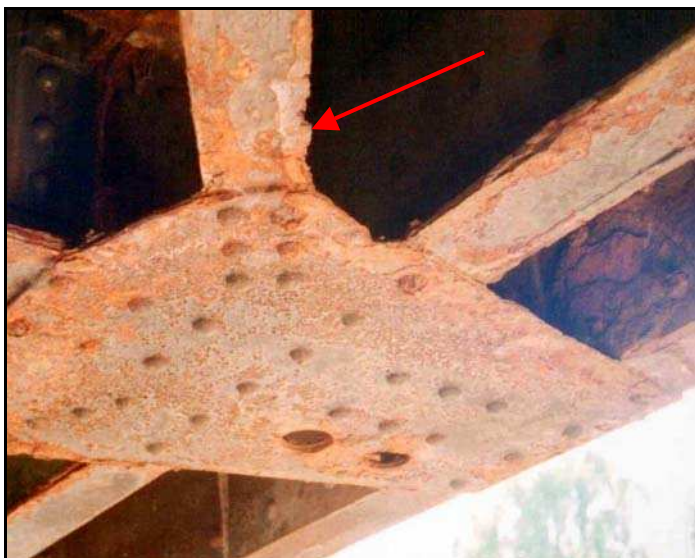


Bild 5: Kantenabrostung

Aus Gründen des Verschleißes und des Korrosionsschutzes kommen auch nichtrostende Stähle zum Einsatz. Der kombinierte Einsatz von nichtrostendem Stahl und Baustahl führt in der Regel zu nicht unerheblichen Schäden. Im folgenden Kapitel wird daher ausführlich auf die elektrolytische Korrosion (Bimetallkorrosion) eingegangen.

### 3. Schäden infolge elektrolytischer Korrosion (Bimetallkorrosion)

(Kapitel 3.1 und 3.2 aus /5/)

#### 3.1 Grundsätze der galvanischen Elementbildung

Durch den kombinierten Einsatz von nichtrostendem Stahl und Baustahl kam es in den letzten Jahren an einigen Stahlwasserbaukonstruktionen zu Schäden. Diese Schäden entstanden vorwiegend infolge Kontaktkorrosion. Zwei Metalle, die leitend miteinander verbunden sind bilden bei Benetzung mit einem Elektrolyten ein Korrosionselement (Bild 6) /3/.

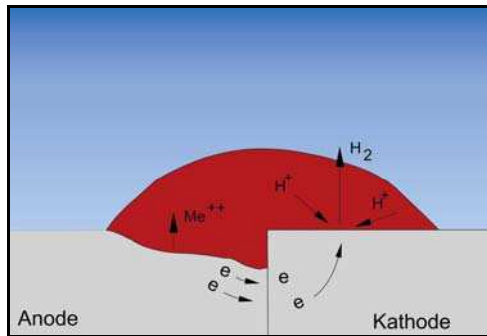


Bild 6: Wirkprinzip eines elektrochemischen Elementes

Bei dieser Elementbildung ist immer das edlere Metall vor Korrosion geschützt und das unedlere Metall wird zersetzt. Grundsätzlich laufen zwei verschiedene Reaktionen ab. Im Bereich der Eisenauflösung (Anode) werden gleichzeitig Elektronen und Eisenionen freigesetzt. Dabei reichern sich positiv geladene Eisenionen an der Grenzfläche an. Hohe Salzgehalte und niedrige pH-Werte des Immersionsmediums fördern die Eisenauflösung. Die dazu korrespondierende Kathode bildet sich an Stellen relativer Sauerstoffanreicherung oder elektrochemisch edlerer Bereiche aus. Kennzeichnend ist der Elektronenverbrauch durch Reduktion von Sauerstoff und dadurch ermöglichter Hydroxylbildung.

Welches der Metalle das edlere ist kann anhand der Spannungsreihe bestimmt werden. In der nachstehenden Tabelle 1 ist die elektrochemische Spannungsreihe für Metalle in Süß- und Meerwasser aufgeführt.

Metall	Potential in mV		
	Süßwasser (pH = 6)	Meerwasser (pH = 7,5)	
Gold	+ 306	+ 243	zunehmende Beständigkeit ↑ ↓ abnehmende Beständigkeit
Silber	+ 195	+ 149	
Kupfer	+ 140	+10	
Nickel	+ 118	+46	
Wasserstoff	0	0	
<b>CrNi-Stahl</b>	<b>- 84</b>	<b>-45</b>	
Al Cu Mg	+21	- 339	
Al Mg Si	- 124	- 785	
Rein-Aluminium	- 169	- 667	
Zinn	- 175	- 809	
Blei	- 283	- 259	
<b>Stahl</b>	<b>- 350</b>	<b>- 335</b>	
Cadmium	- 574	- 519	
Zink	- 823	- 284	
Magnesium	- 1460	-1355	

Tabelle 1: Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle für Süßwasser und Meerwasser (Elektrolyt belüftet, Temperatur 25°C) /6/

Je weiter die Metalle in der Spannungsreihe voneinander entfernt sind, um so stärker arbeitet das elektrochemische Element die Korrosionsgefahr steigt. Weitere Einflüsse auf die Entstehung von Bimetallkorrosion sind die Einwirkzeit des Elektrolyten (z. B. dauernde Flüssigkeitseinwirkung), und die „Flächenregel“. Diese Regel besagt, dass das unedlere Metall (Baustahl) um so stärker geschädigt wird, je kleiner dessen Oberfläche im Vergleich zur Oberfläche des edleren Metalls (nichtrostender Stahl) ist.

### 3.2 Schäden an Bauwerken

Häufig werden die nachfolgend aufgeführten Konstruktionsteile bei Stahlwasserbauten aus nichtrostendem Stahl hergestellt:

- Seitenschilder (Gleitfläche für Dichtungen) und Anschlagleisten (für Dichtungen) wegen der Ebenflächigkeit (siehe Kap 6.3 DIN 19704-2) /7/
- Dichtungsklemmleisten und / oder deren Schrauben wegen des regelmäßigen Austausches der Dichtungen
- Torsionsrohre kleinerer Klappen als ebene Gleitfläche für die Elastomerdichtungen wegen der Ebenflächigkeit
- Leitungen für Hydraulikmedien, Luftsprudelanlagen und Schmiermittel wegen des Korrosionsschutzes
- Achsen (für Lauf- und Führungsrollen) und Gelenkbolzen bis 300 mm Durchmesser sollen nach Kap. 10.19 DIN 19704-2 /7/ aus nichtrostendem Stahl hergestellt oder mit nichtrostender Auftragsschweißung ausgeführt werden

In den letzten Jahren konnten auf Grund der Ausführung der vor genannten Bauteile aus nichtrostendem Stahl Schäden unterschiedlichster Art festgestellt werden. Nachfolgend werden Schadensbilder gezeigt und die Schadensursache benannt.

Die **Seitenschilder** (Schleiffläche der Dichtung) einer Fischbauchklappe sind aus nichtrostendem Stahl gefertigt und die Fischbauchklappe aus Baustahl (Bild 7). An den Kanten der Fischbauchklappe haben sich infolge Kontaktkorrosion Rostpusteln trotz Beschichtung entwickelt (Bild 8).



Bild 7: Seitenschild einer Klappe



Bild 8: Rostpusteln am Baustahl der Wehrklappe, Ansicht vom Unterwasser

Durch die so genannte Kantenflucht des Korrosionsschutzes und unter mechanischer Einwirkung (Sandschliff, Steine) entstehen Fehlstellen an der Beschichtung des Baustahls der Klappe. Diese kleinen Fehlstellen sind flächenmäßig gering gegenüber der Fläche des Seitenschildes aus nichtrostendem Stahl (Flächenregel) und eine beschleunigte Korrosion ist die Folge. Durch eine Beschichtung der Seitenschilder könnte die Kontaktkorrosion minimiert werden. Jedoch sind an diese Beschichtung hohe Anforderungen hinsichtlich Haftfähigkeit, Härte, Ebenheit, Temperaturbeständigkeit und Glätte zu stellen. In /7/ Kap. 6.3 sind diese Anforderungen genau definiert.

Auf Grund von Schäden an der Beschichtung einer Klappe aus Baustahl und eines mit der Klappe verschweißtem Torsionsrohr aus nichtrostenden Stahl wurde das Rohr 1988 konserviert. Dies sollte den Potentialunterschied der beiden eingesetzten Stähle minimieren



Bild 9a: Torsionsrohr und angeschweißtes Blech (unlegierter Stahl) einer Klappe

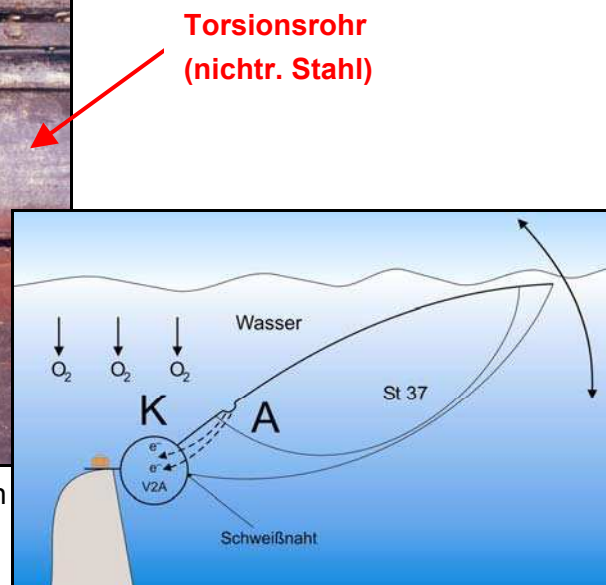


Bild 9b: Systemskizze der Klappe

Bei einer 1992 durchgeführten Bauwerksinspektion waren weitere Schäden an der Beschichtung der Klappe festgestellt worden. Die Klappenbeschichtung war unterrostet und hatte sich teilweise bereits abgelöst (Bild 9). Die Unterrostungen an der Klappe korrespondieren mit Fehlstellen in der Beschichtung des Torsionsrohres und sind ca. 15 cm von der Schweißnaht zwischen dem Torsionsrohr und dem Blech der Klappe entfernt (Bild 9b). Die

geringen Fehlstelle und die Bildung von Hydroxylionen am nichtrostenden Stahl (Kathode) könnten am Baustahl (Anode) zur Blasenbildung geführt haben.

Eine weitere Möglichkeit der Blasenbildung (an der Kathode) und des Eisenabtrages (an der Anode) sind durchgängige Poren bzw. Strukturporen in der Beschichtung (Bild 10). Der Baustahl ist somit gleichzeitig Anode und Kathode.

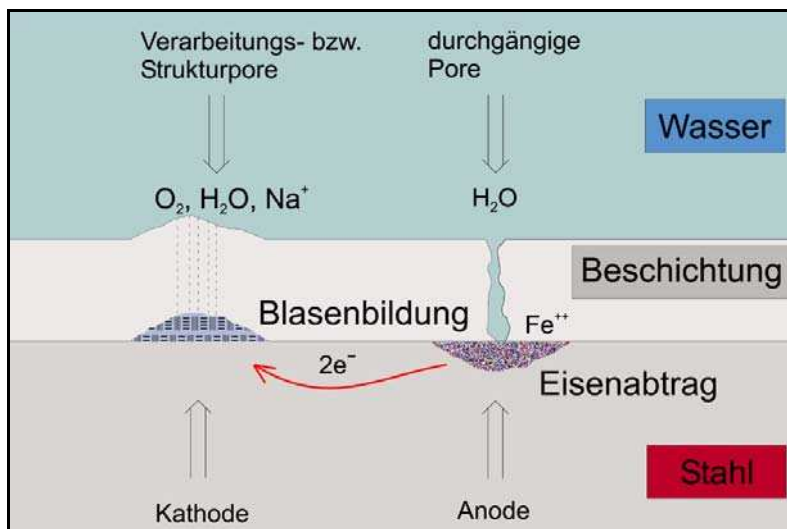


Bild 10: Ausbildung eines Korrosionselementes infolge Poren in der Beschichtung

Ein anderer, häufiger Schadensfall sind Abrostungen unter bzw. neben den **Schrauben für Dichtungsklemmleisten**. Meistens sind die Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl und die Klemmleisten aus Baustahl. Durch den direkten Kontakt der beiden Stähle und dem Elektrolyten Wasser wird ein elektrochemisches Element erzeugt. Die Dichtungsklemmleiste rostet und die einfache Austauschbarkeit der Schrauben zum Dichtungswechsel ist nicht mehr gegeben. Jedoch können auch die Schrauben aus Baustahl sein und die Klemmleiste aus Edelstahl. In diesem Falle findet der gleiche Schadensmechanismus statt, aber mit gravierenden Abrostungen an den Schrauben (Bild 11).



Bild 11: Abrostungen an einer verzinkten Schraube

Nach /7/, Kap. 10.19 sollen **Achsen** (Lauf- und Führungsrollen) und **Gelenkbolzen** bis 300 mm Durchmesser aus nichtrostendem Stahl oder aus Stahl mit einer nichtrostenden Auftragsschweißung hergestellt werden. Infolge des direkten Kontaktes zwischen der Achse aus nichtrostendem Stahl und dem Rollenkörper aus Baustahl bildet sich ein elektrochemi-



ches Element. Insbesondere bei Lauf- und Führungsrollen, die sich ständig unter Wasser befinden.

Ein Gelenkbolzen aus nichtrostendem Stahl bewirkte die Anrostung des Augenstabes aus Baustahl (Bild 12). Durch die ständige Be- und Entlastung werden die Rostprodukte abgearbeitet und die Bimetallkorrosion kann durch direkten Kontakt weiter fortschreiten.



Bild 12: Schaden am Augenstab eines Umlaufverschlusses infolge Bimetallkorrosion

#### 4. Maßnahmen zur Minimierung der elektrolytischen Korrosion (Bimetallkorrosion)

(Kapitel aus /5/)

Der Einsatz von nichtrostenden Stählen im Stahlwasserbau ist zu begrenzen. Jeder, auch der von der DIN 19704 vorgeschriebene, Einsatz von nichtrostendem Stahl sollte während der Planungsphase auf die erforderliche Notwendigkeit hin überprüft werden. Während der Planungsphase von Stahlwasserbauten sollten alle Flächen aus nichtrostendem Stahl ermittelt werden, um ein eventuelles, schädigendes Potential zu bestimmen und um über einen eventuellen Einsatz von Opferanoden zu entscheiden. Durch den Einsatz von Opferanoden können die Flächen am Baustahl geschützt werden, an denen durch mechanische Einwirkungen der Oberflächenschutz zerstört wurde. Der direkte Kontakt von nichtrostendem Stahl mit Baustahl ist zu vermeiden. Im nachfolgenden sind einige Maßnahmen zur Verhinderung von Kontaktkorrosion aufgelistet:

- Seitenschilder: z. B. *Beschichten*, um die Kathodenfläche zu verkleinern. Der Nachteil liegt bei nichtrostenden Stählen in der geringen Oberflächenrauheit, so dass das Haftvermögen der Beschichtungen herabgesetzt ist. Des weiteren können mechanische Einwirkungen die Beschichtung zerstören. Eine weitere Möglichkeit wäre der Einsatz von *Opferanoden*, um den angrenzenden Baustahl vor Abrostungen zu schützen.
- Schrauben oder Dichtungsklemmleisten aus nichtrostendem Stahl: Zur Vermeidung des direkten Kontaktes zwischen Schraube (Nichtrostenden Stahl) und der Klemmleiste (Baustahl) können *Kunststoffhülsen* über die Schrauben gezogen werden (Bild 13).

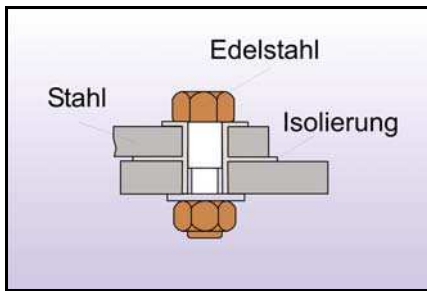


Bild 13: Isolierung von Schrauben aus nichtrostendem Stahl

- Achsen oder Gelenkbolzen: Zur Vermeidung von Kontaktkorrosion sollte eine Trennung zwischen nichtrostendem Stahl und Baustahl erfolgen. Dies kann durch *Kunststoffhülsen* (bei geringer Belastung und starren Verbindungen) oder durch Gleitlagerung (gelenkig, hohe Belastung) erfolgen. Bei der Wahl einer *Gleitlagerung* empfiehlt es sich, Lagerungen aus Bronze mit einem Festschmierstoffdepot aus Graphit zu wählen (Bild 14). Die Stirnflächen der Achsen und Gelenkbolzen sind zu beschichten.



Bild 14: Hülsen für gelenkige Lagerung und größere Kräfte aus Bronze

Ende 2005 wurde durch die BAW ein Merkblatt "Einsatz von nichtrostendem Stahl im Stahlwasserbau" erstellt in dem konkrete Planungshilfen zur Vermeidung des Einsatzes von nichtrostendem Stahl formuliert sind. U.a. werden die zuvor beschriebenen Maßnahmen empfohlen. Des weiteren sollen zukünftig die Achsen von Laufrollen aus unlegiertem Stahl hergestellt und lediglich die Sitz- und Lagerflächen mit einem Schweißdraht aus nichtrostendem Stahl aufgeschweißt werden (Bild 15). Eine Verfahrensanweisung für diese Vorgehensweise liegt der BAW vor.

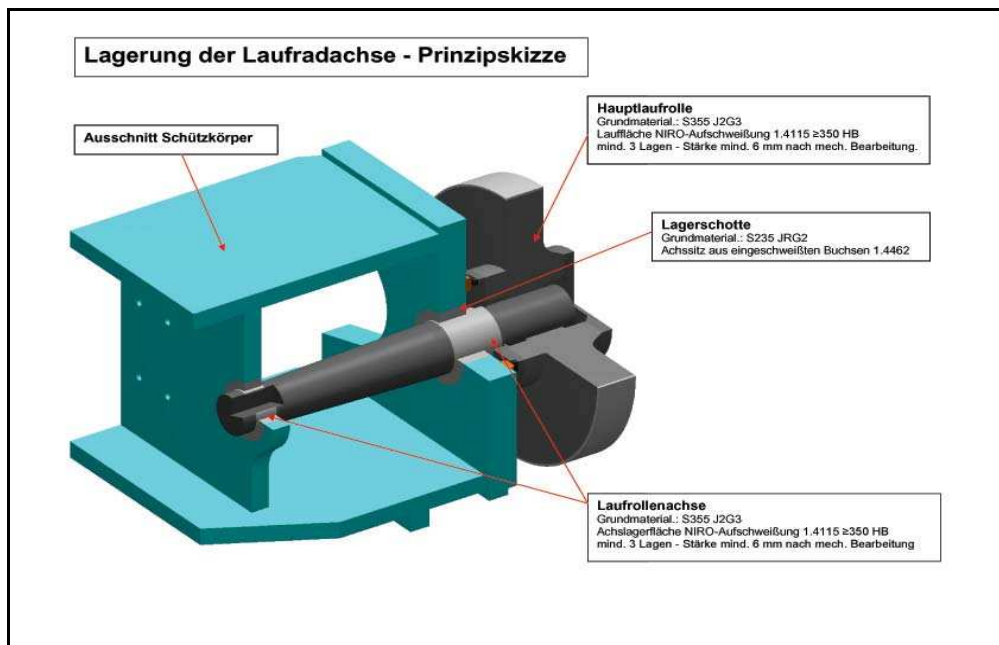


Bild 15: Achse mit Auftragsschweißung der Sitz- und Lagerflächen /9/

Des Weiteren ist zur Zeit ein Beschichtungssystem zum Beschichten von Stahlflächen aus nichtrostendem Stahl bei der BAW in Prüfung. Jedoch liegen noch keine endgültigen Ergebnisse vor.

Auch sollte beim vermehrten Einsatz von nichtrostendem Stahl ein Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) vorgesehen werden. Der KKS kann sowohl durch Fremdstrom als auch durch Opferanoden erfolgen.

## 5. Maßnahmen zur Vermeidung der anderen Korrosionsformen

Flächige Korrosion:

- Schutz des Stahls durch passiven Korrosionsschutz.
- Überdicken bei ungeschützten Bauwerken wie z. B. Spundwände (pro Standjahr ca. 0,025 mm für eine 50jährige Nutzungsdauer im Binnenwasser) .

Narbenkorrosion:

- Schutz des Stahls durch passiven Korrosionsschutz.
- Gegebenenfalls vor einer Neukonservierung mit einem Zweikomponentenspachtel (Polymermetall) die Narben spachteln.

Kantenabrostungen:

- Zur Vermeidung der Kantenflucht bei Neubeschichtungen sind die Kanten vorab manuell vorzustreichen.

Spaltkorrosion:

- Spalte vor einer Neukonservierung mit Zweikomponentenspachtel (Polymermetall) spachteln bzw. mit einer dauerelastischen Masse verschließen.

In der Regel ist der beste Schutz des Metalls im Stahlwasserbau die Beschichtung. Beschichtungen haben inzwischen Standzeiten zwischen 20 und 25 Jahre, jedoch ist eine einwandfreie Ausführung erforderlich und es dürfen auch nur Stoffe eingesetzt werden, die in

der Liste der zugelassenen Systeme aufgelistet sind /10/. Als zusätzliche Maßnahme und zur Verringerung von Korrosionserscheinungen ist der Einbau einer KKS-Anlage erforderlich.

## **6. Zusammenfassung**

Bei Stahlwasserbauten kommt es auf Grund der rauen Bedingungen zu Korrosionserscheinungen, die in der Regel auf elektrochemischen Vorgängen beruhen. Es wurden verschiedene Korrosionsformen vorgestellt.

Vertiefend wurde auf die elektrolytische Korrosion eingegangen, da in den letzten Jahren etliche Schadensfälle infolge dieser Korrosionsform auftraten. Zur Minimierung dieser Schäden sind konstruktive Maßnahmen erforderlich, die über eine Reduzierung der nichtrostenden Stahlflächen bis hin zum Kathodischen Korrosionsschutz durch z. B. Opferanoden reichen. Eine Trennung der direkten Kontaktflächen durch Kunststoffhülsen oder anderen konstruktiven Maßnahmen (Gleitlagerung, Folien) verhindert maßgeblich die Ausbildung eines elektrochemischen Elementes.

Jedoch sind auch für die anderen Korrosionsformen Maßnahmen zur Vermeidung der Korrosion vorgestellt worden.

## **Literaturverzeichnis**

- /1/ Wickert & Schmaußer: Stahlwasserbau, Springer Verlag Berlin · Heidelberg · New York, 1971
- /2/ Meinhold: Ermüdungsfestigkeit von Stahlwasserbauten; Stahlbaukalender, Ernst und Sohn, 2006
- /3/ Bargel & Schulze: Werkstoffkunde, VDI Verlag, 1988
- /4/ Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen Ernst und Sohn, 1996
- /5/ Gabrys, Baumann & Binder: CrNi-und Baustahl im Stahlwasserbau: Schadensbilder-Problemanalysen-Lösungsansätze; BAW-Kolloquium: Aktueller Stand und Entwicklungstendenzen im Stahlwasserbau und Korrosionsschutz, 2002
- /6/ Elze, J. & Oelsner, G: Metalloberfläche 5 (1958) 129-133
- /7/ DIN 19704-2 "Stahlwasserbauten: Bauliche Durchbildung und Herstellung" Ausg. 05/98
- /8/ Binder, G.: Korrosionsschaden durch Elementbildung – Fallbeispiel aus dem Stahlwasserbau; Werkstoffe und Korrosion 50 (1999) 477-483
- /9/ Merkblatt Einsatz von nichtrostendem Stahl im Stahlwasserbau, BAW, 2005
- /10/ Liste der geprüften Systeme, 19. Ausgabe, 2006, abrufbar unter:  
[www.baw.de/vip/abteilungen/baut/empfehlungen/index.php.html](http://www.baw.de/vip/abteilungen/baut/empfehlungen/index.php.html)