

Schleusen, Wehre, Schiffshebewerke (1.3)

Schleusen- und Wehrverschlüsse an deutschen Binnenwasserstraßen – Entwicklung bei Entwurf und Konstruktion

Dr.-Ing. Wilfried Meinhold

Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1. Grundsätzliches zur Entwicklung der Konstruktionsmethoden

In Deutschland wie auch in anderen Ländern führte die Entwicklung bei den Verschlusskörpern für Wasserbauwerke von ursprünglich vorwiegend aus Holz gefertigten Konstruktionen zunächst hin zu Nietkonstruktionen aus Flusstahl (Bild 1). Obwohl bereits erste voll geschweißte Verschlüsse in den Jahren 1938-1940 entstanden (Bild 2), wechselte man bei den Verschlusskörpern (Stahlwasserbauten) von Schleusen und Wehren der deutschen Wasserstraßen erst zwischen den Jahren 1950 und 1965 von den früher nahezu ausschließlich genieteten Tragwerksformen mehr und mehr zu geschweißten Konstruktionen über.



Bild 1: Fachwerk-Nietkonstruktion eines Wehrverschlusses (Baujahr 1915)



Bild 2: Voll geschweißtes Hubtor aus dem Jahre 1940

Gleichermaßen folgte ein Wechsel beim Entwurf, bei den Nachweisen, der Auswahl der Tortypen, dem Materialeinsatz und den Möglichkeiten der Fertigung. Die Entwicklung mündete letztlich ein in die heute üblichen, mit modernen Fertigungsmethoden hergestellten und generell geschweißten Konstruktionsformen.

2. Neue Anforderungen und Regelwerke

In den letzten 15 bis 20 Jahren stiegen in Deutschland die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, Sicherheit, Bedienbarkeit und vor allem Ermüdungsfestigkeit von Stahlwasserbauten erheblich. Mit der Herausgabe der neuen deutschen Stahlwasserbaunorm DIN 19704 "Stahlwasserbauten" im Jahre 1998 [1] waren viele Anstrengungen bei der Umsetzung zu bewältigen. Es waren neue und für die Praxisanwendung geeignete Lösungen zu finden, die insbesondere auch die bauliche Durchbildung und Herstellung betrafen. Hinzu kam der infolge der Altersstruktur der Wasserbauwerke ansteigende Aufwand für Instandsetzungen.

Die Einführung der neuen Stahlwasserbaunorm für den Geschäftsbereich der deutschen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung bedeutete gleichzeitig, dass man sich bei der Berechnung vom so genannten σ -Konzept "verabschieden" musste. Die entsprechenden Nachweise werden seit diesem Zeitpunkt nach dem modernen semiprobabilistischen Grenzzustandskonzept des EUROCODE 3 (bzw. der deutschen Stahlbaugrundnorm DIN 18800) in der Form $S_d \leq R_d$ bzw. $\gamma_F \circ \psi \circ \Delta \sigma \leq \Delta \sigma_R / \gamma_M$ geführt.

Die Formulierung von Grenzzuständen und die Verwendung entsprechender Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte ermöglicht nunmehr in Verbindung mit modernen Berechnungsmethoden eine realitätsnahe, stärker auf das jeweilige Bauwerk bezogene Nachweisführung. Das bedeutet letztlich auch Vorteile für die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit der Konstruktionen.

3. Entwicklungsschwerpunkte

Etwa ab 1986 traten an erst 10 bis 15 Jahre alten geschweißten Stahlwasserbauten, vor allem an Schleusentoren, gehäuft Schäden (Rissbildungen) auf, die größtenteils auf unzureichende **Ermüdungsfestigkeit** zurückzuführen waren. In Übereinstimmung mit dem seinerzeit für Stahlwasserbauten gültigen Regelwerk hatte man nur die sehr hohen Lastspielzahlen als maßgeblich für Ermüdungsuntersuchungen angesehen und außer acht gelassen, dass bereits im Zeitfestigkeitsbereich die ertragbaren Spannungen deutlich absinken. Ab 1987 wurde deshalb ein Ermüdungsnachweis zunächst auf Basis Kranbaunorm DIN 15018 vorgeschrieben (vgl. Bild 3). Seit etlichen Jahren ist dieser Nachweis auf der Grundlage der neuen Stahlwasserbauberechnungsnorm DIN 19704-1 gemäß dem genannten neuen Sicherheitskonzept in der Form $\gamma_{Ff} \circ \psi \circ \Delta \sigma \leq \Delta \sigma_R / \gamma_{Mf}$ mit den Ermüdungs-Teilsicherheiten $\gamma_{Ff} = 1,0$ auf der Einwirkungsseite und $\gamma_{Mf} = 1,35$ (1,15) auf der Materialseite zu führen. Bei der Auswahl der Detailkategorien sind die Kerbfalltabellen des EUROCODE 3 bzw. andere verfügbare Kerbfallkataloge zu verwenden.

Auf dem Gebiet des **Stahlmaterialeinsatzes** ergaben sich mit der Entwicklung moderner Stahlsorten, wie zum Beispiel den Feinkornbaustählen, entsprechend bessere schweißtechnische Verarbeitungseigenschaften und Einsatzmöglichkeiten.

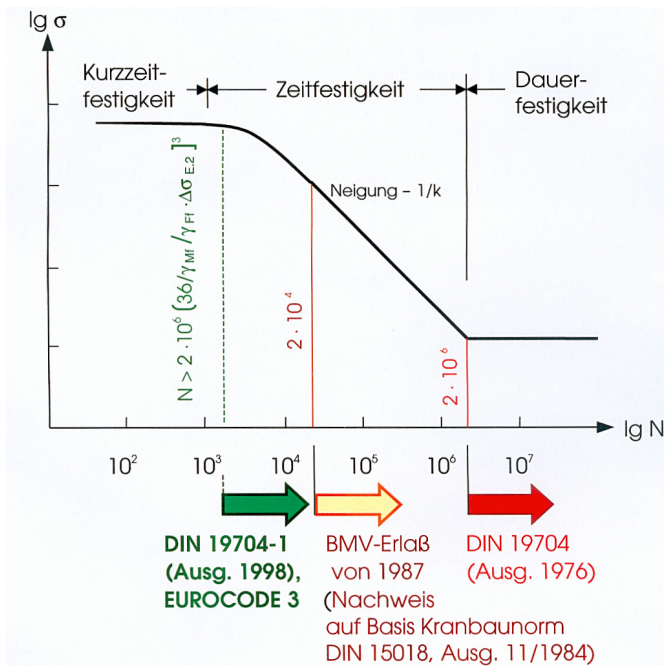


Bild 3: Ermüdungsnachweis von Stahlwasserbauten, Entwicklung der Nachweisnotwendigkeit (aus [2])

Am unlegierten Baustahl von Verschlüssen und Fixteilen war es in den zurückliegenden Jahren infolge elektrochemischer Korrosion verstärkt zu Schäden gekommen (Bild 4). Aus diesem Grunde soll künftig der Einsatz von **nichtrostenden Stählen im Stahlwasserbau** minimiert bzw. generell vermieden werden. Zur dafür erforderlichen Verfahrensweise, die auch ein teilweises Abweichen von bisherigen normativen Festlegungen beinhaltet, hat die Bundesanstalt für Wasserbau in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis 216/217 „Standardleistungskatalog (StLK) Stahlwasserbau“ ein Merkblatt erarbeitet, welches Anfang Dezember 2005 für den Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung eingeführt wurde.



Bild 4: Elektrochemische Korrosion (Bimetallkorrosion) an einem Revisionsverschluss

In konstruktiver Hinsicht orientiert man sich in Deutschland in letzter Zeit wieder verstärkt darauf, insbesondere Hubverschlüsse mit Gleitelementen auszurüsten, zumal für die entsprechenden **Gleitpaarungen** neuartige Materialien zur Verfügung stehen und die Bewältigung ggf. etwas vergrößerter Aufzugskräfte für die heutige Antriebstechnik unproblematisch ist. Zur Untersuchung der Reibbeiwerte und des Verschleißverhaltens spezieller Gleitpaarungen laufen Forschungsvorhaben.

In der **Stahlbau-Fertigung** sind heute i.d.R. numerisch gesteuerte Zuschneidemaschinen im Einsatz. Deshalb

stellt die Fertigung auch komplizierterer, für den jeweiligen Einsatzzweck besonders geeigneter Konstruktionsformen und -teile kein Problem mehr dar. Damit haben sich neue Möglichkeiten bei der konstruktiven Gestaltung der Verschlusskonstruktionen ergeben, die entsprechend genutzt werden.

Für bestimmte Aufgabenstellungen werden gewisse **Tor- bzw. Schützttypen** bevorzugt eingesetzt. So stellen zum Beispiel Stemmtore an den Schleusen der deutschen Binnenwasserstraßen das am häufigsten anzutreffende Verschlussystem dar. Bei Wehren bilden Segmentverschlüsse, gefolgt von Schütz- und Walzenverschlüssen, den größten Anteil. Dennoch gibt es nach unseren Erfahrungen wegen der vorhandenen Typenvielzahl und unterschiedlichsten Randbedingungen keine Standard- bzw. generell gültigen Optimallösungen für den universellen Einsatz eines speziellen Verschlussystems.

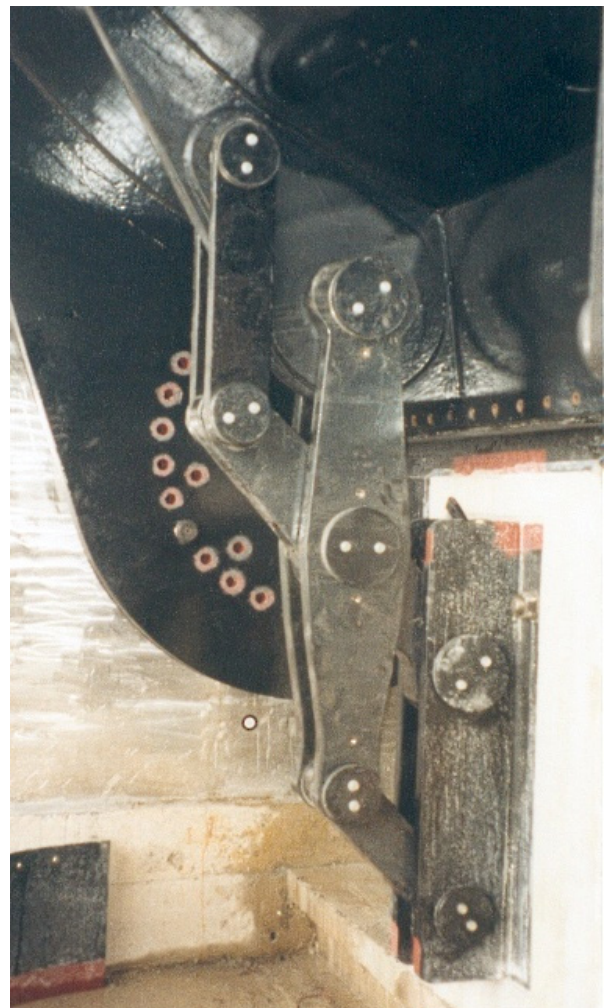


Bild 5: Hebelgruppenlager einer Fischbauchklappe

Hinsichtlich der Antriebe kommen in letzter Zeit anstelle von Hydraulikzylindern in verstärktem Maße Elektrohübsylinder zum Einsatz. Bei Klappen- und Drehsegmentverschlüssen hat, bei Vorliegen ausreichender Platzverhältnisse, ein Antrieb über Torsionsrohre Vorteile, da die eigentliche Antriebs- und Steuerungstechnik in den Wehrpfeilern oder Kammerwänden geschützt und gut zugänglich untergebracht werden kann. Bei Fischbauchklappen haben sich spezielle Hebelgruppen-

lager als eine vorteilhafte Ausführungsvariante für die hinsichtlich der Lastabtragung maßgebliche Klappenlagerung erwiesen (Bild 5).

In den letzten Jahren wurden Verschlusskörper - vor allem Stemmtore, aber auch Hub- und Schiebetore - als so genannte **Faltwerkkonstruktionen** entworfen und z.T. auch schon gebaut [3]. Faltwerktore bieten neben hoher Tragwerksredundanz, vereinfachter Wartungs- und Inspektionsmöglichkeit und günstigen Korrosionsschutzmerkmalen unter anderem auch Vorteile in Hinblick auf die Ermüdungsfestigkeit, da ungünstige Kerbfälle weitestgehend vermieden werden können. Insofern liefert diese für Stahlwasserbauten neue Konstruktionsform ein Beispiel für die gelungene Verbindung von ermüdungsgerechter, instandhaltungsfreundlicher und dauerhafter Konstruktionsweise (Bild 6 und 7), weshalb sie beim Entwurf neuer Verschlusskonstruktionen als ggf. mögliche Bauart immer in eine Variantenbetrachtung einbezogen werden sollte.

Zu berücksichtigen ist allerdings, dass sich für Faltwerkkonstruktionen infolge konkret vorliegender geometrischer und/oder hydraulischer Randbedingungen Einsatzgrenzen ergeben können und dass an den Hersteller speziellere, zum Teil höhere Anforderungen zu stellen sind, als dies bei der Fertigung einer herkömmlichen Riegelkonstruktion der Fall ist.



Bild 6: Linker Torflügel eines Faltwerk-Stemmtors (ohne Füllschütze)

Bei der Wahl von Füll- und Entleerungsverschlüssen in Toren sollte künftig Segmenten gegenüber Rollschützen der Vorzug gegeben werden. Dabei wird es sich i.d.R. um Drucksegmente handeln (vgl. Bild 7), unter bestimmten Voraussetzungen können jedoch auch Zugsegmente verwendet werden.



Bild 7: Faltwerk-Stemmtor mit Segment-Torschützen

Literatur

- [1] DIN 19704 STAHLWASSERBAUTEN, Teil 1: Berechnungsgrundlagen / Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung / Teil 3: Elektrische Ausrüstung; Ausgabe Mai 1998; Beuth Verlag Berlin
- [2] MEINHOLD, W.: Zur Übertragbarkeit von Anforderungen aus dem Kranbau auf Stahlwasserbauten - In: STAHLBAU, 69. Jahrgang, April 2000, Heft 4; Ernst & Sohn Berlin
- [3] FUNDER, K./MÜCHER, F.: Horizontales Faltwerk als innovative Verschlusskörper-Konstruktion.

In: Schmauß, G./Nölke, H./ Herz, E.: Stahlwasserbauten, Kommentar zu DIN 19704, Ernst & Sohn, Berlin 2000

Verfasser

Dipl.-Ing. Wilfried Meinhold
Referat Stahlbau, Korrosionsschutz
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
Tel.: 0721 9726 – 4820
E-Mail: wilfried.meinhold@baw.de