



Stahlwasserbau der Schleuse Rothensee

*Hans Joachim Selle, Ulrich Fritz Schleef
WNA Magdeburg*

1 Allgemeines

„Was versteht man hier eigentlich unter Stahlwasserbau?“ wird der interessierte Laie fragen. Ganz allgemein formuliert lautet die Antwort: „Alles was an einer Schleuse aus Stahl ist und sich bewegen lässt, ist Stahlwasserbau“.

Etwas genauer gesagt:

Es sind die Schleusentore sowie die Längskanal (LKV)- und Sparbeckenverschlüsse (SBV). Diese braucht man für den Betrieb der Schleuse. Sie werden daher auch als Betriebsverschlüsse bezeichnet. Sie werden an den Schleusen des Wasserstraßenkreuzes durch elektrisch angetriebene Hydraulikanlagen bewegt und über teil- und vollautomatische Steuerungen vom Leitstand bedient. Antriebe und Steuerungen werden in weiteren separaten Abschnitten beschrieben.

Schleusen sind langlebige Wasserbauwerke. Der Stahlwasserbau wird daher robust konzipiert, kann jedoch die in den einschlägigen Normen geforderte Lebensdauer von mindestens 70 Jahren nur bei regelmäßiger Wartung erreichen. Dazu werden planmäßige Unterhaltungsarbeiten durchgeführt, für die Bauwerksinspektionen bzw. Revisionen erforderlich sind. Um z.B. die Betriebsverschlüsse im Trockenem inspizieren zu können, kann man mit Hilfe der Revisionsverschlüsse die gesamte Schleuse oder bestimmte Abschnitte trocken legen.

Ein sicherer Schleusenbetrieb wird jedoch erst durch die Schleusenausrüstung ermöglicht. Dazu gehören Ausrüstungsteile wie Scheuerleisten, Kantenschutz, Stoßschutzeinrichtung, Poller, Geländer, Leitern und auch die Ausrüstung des Pumpwerkes.

Um eine dem neuesten Stand der Technik entsprechende Schleuse bauen zu können, wurde der Planung des Stahlwasserbaus bereits der Entwurf der neuen Stahlwasserbaunorm (DIN 19704, Teile 1 bis 3), die dann während der Bauphase im Mai 1998 eingeführt wurde, zugrunde gelegt. So konnten bei der Aufstellung der statischen Berechnungen mittels der Betriebsfestigkeitsnachweise die dynamischen Beanspruchungen, die durch jeden Schließvorgang entstehen, für die gesamte Lebensdauer berücksichtigt werden.

Damit wurden die Berechnungen der Stahlkonstruktionen und der Maschinenkonstruktionen nach dem einheitlichen Sicherheitskonzept der Grenzzustände der Tragfähigkeit mit Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten dieser Norm aufgestellt.

Die Stahlkonstruktion der Verschlüsse besteht im Wesentlichen aus den unlegierten Baustählen S235JRG2 und S355J2G3 nach DIN EN 10025. Unter besonderer Beachtung der Wirtschaftlichkeit wurden für die meisten Armierungen, die Lauf- und Führungsschienen sowie für die Achsen und die Lauf- und Führungsrollen nichtrostende Stähle gewählt.

Der Korrosionsschutz wurde entsprechend der zum Zeitpunkt der Auftragserteilung gültigen DIN 55928 ausgeführt. Dabei kommt für die Stahlkonstruktion der Verschlüsse das System 6-302.3, Teil 5, Tab. 6 mit Epoxydharz-Kohlenwasserstoffharz und einer Sollsichtdicke des Gesamtsystems von 450 µm zum Einsatz. Die freien Oberflächen aller wasserberührten Teile aus nichtrostenden Stählen erhalten einen Deckanstrich. Damit wird die Intensität des Spannungspotenzials zu den Bauteilen aus unlegierten Baustählen und damit die Lochfraßgefahr minimiert. Um Kontaktkorrosion weitgehend auszuschließen, erhalten Verschlusskörper, die z.B. an den Endschotten direkt auf Armierungen aus rostfreiem Stahl aufliegen, in diesen Bereichen Aufpanzerungen, die ebenfalls aus rostfreiem Stahl bestehen.



Die Konstruktion, Herstellung und Montage des Stahlwasserbaus erfolgte durch den ARGE-Partner DSD-Dillinger Stahlbau. Als wesentliche Nachunternehmer haben die Firmen Bosch-Rexroth/Lohr a.M. für die Hydraulikanlagen, SAM/Magdeburg für die Herstellung des Obertores, SB-Metalltechnik/Schönebeck für Konstruktion und Herstellung der Be- und Entlüftungstürme an den Maschinenhäusern mitgewirkt.

Als Prüflingenieur waren Herr Dr. Kremling und Herr Krappe vom Ingenieurbüro Grassl/Hamburg, Niederlassung Magdeburg tätig.

Die Fertigungsüberwachung führte der Germanische Lloyd/Hamburg durch.



Abb. 1 Übersicht der Schleusenanlage Rothen

Foto: LUFTBILD & PRESSEFOTO(R)

2 Betriebsverschlüsse

Als Betriebsverschlüsse werden im Wesentlichen die Verschlussarten Zugsegmenttor, Stemmtor und Rollschütz eingesetzt.

Im Pumpwerke sind Absperrklappen und Absperrschieber angeordnet.

Ihre Steuerung erfolgt im Normalfall vom zentralen Bedienstand im Schleusenbetriebsgebäude. Außerdem ist eine örtliche Steuerung im entriegelten Zustand am Hydraulikaggregat und auf der Schleusenplattform im Bereich der Häupter mittels einer transportablen Schalttafel möglich. Für die SBV ist dieser Anschluss auf der Rückseite der Maschinenhäuser am Unterhaupt und Oberhaupt mit Sicht auf die Sparbecken angeordnet.

2.1 Obertor

Als Obertor wird ein Zugsegmenttor mit einseitigem hydraulischen Antrieb eingesetzt. Diese Bauart hat sich in den vergangenen Jahren am westdeutschen Kanalnetz bereits bewährt.



Das Zugsegmenttor ist gegenüber dem in der Planungsphase mitbetrachteten Drucksegmenttor vorteilhafter, da vor allem keine Vorspannelemente für die Sohlendichtung (beim Drucksegment infolge Durchbiegung erforderlich) notwendig sind, denn es wird vom Wasserdruck automatisch in den Dichtungsanschlag gedrückt. Als Stauwand wurde nicht die zum Oberwasser weisende ebene Vorderwand, sondern die gewölbte Rückwand gewählt, weil man so zu geringeren Antriebskräften kommt. Der größeren Schwingungsempfindlichkeit bei überströmtem Verschluss gegenüber dem Drucksegmenttor bei Eis- oder Geschwemmelabfuhr wird durch Belüftungskanäle, die beidseitig unmittelbar hinter dem Tor angeordnet sind, wirksam begegnet, wie die Praxis inzwischen bewiesen hat.

Eine Luftsprudelanlage hält die Bereiche vor dem Tor und in den Tornischen eisfrei. Die Tornischen sind mit Fenderungen ausgekleidet, die die Zugarme des Tores vor Schiffsanfahrungen schützen.



Abb. 2 Schleusenobertor und Schleusenausrüstung

2.2 Untertor

Als Untertor wurde wegen der im Rothenseer Verbindungskanal durch den Einfluss der Elbe stark wechselnden Wasserstände ein Stemmtor gewählt.

Es ist ca. 22 m hoch und hat mit beiden Torflügeln ein Gewicht von gut 220 t.

Die Wasserlast wird über die oberwasserseitig liegende Stauwand, die Zwischenschotte und die Stemmriegel, die Stemmknaggen und die einbetonierten durchgehenden Mauerplatten-träger in den Massivbau abgeleitet. Die Torsions- und Biegesteifigkeit wird durch die als Torsionskasten gestaltete Wendesäule und die unterwasserseitig bis über BWo reichende über die ganze Breite geschlossene Rückwand erhöht. Die dadurch entstehenden Luftkammern entlasten gleichzeitig die Spurlager. Sie sind über Mannlochdeckel und fest eingebaute Leitern begehbar.

Die Verschleißteile der Mauerplatten und die Stemmknaggen sind aus nichtrostendem Stahl hergestellt. Sie sind auswechselbar und nachstellbar ausgeführt. Die Wendesäule ist mit zwei Kurvenscheiben ausgestattet, über welche Schiffstöße bei geöffnetem Tor direkt in den Massivbaukörpern abgetragen werden können. Zur Sicherung der Torflügel gegen Ausheben



ist auf dem unteren Hauptträger eine entsprechende Rückhaltung angeschraubt, die unter eine mit eigens dafür durch Schubknaggen gesicherte Mauerplatte greift.

Um die Torflügel für Reparaturen - z.B. Auswechseln der Spurlager - mit Hilfe von Hydraulikpressen anheben zu können, ist der unterste Riegel mit Ansatzpunkten für die Pressen ausgesteift. Zur Sicherstellung einer einwandfreien Schließstellung ist eine Zwangsführung angebracht, die kurz vor Erreichen dieser Stellung wirksam wird. Hierzu wird auf einem Torflügel an der Schlagsäule ein Kurvenstück und auf dem anderen Torflügel eine Gabel angebracht. Die sich berührenden Oberflächen sind rostfrei und verschleißfest gepanzert und bearbeitet. Beide Teile sind nachstellbar und auswechselbar.

Zur Abkürzung der Schleusungsdauer können die Torflügel bereits bei einer maximalen Wasserspiegeldifferenz von 30 cm geöffnet werden. Auf der Unterwasserseite sind Scheuerleisten aus verschleißfestem Kunststoff auf den Riegeln angebracht. Bei geöffneten Torflügeln liegen diese 150 mm hinter der Kammerflucht.

Die Dichtungen an den Wendesäulen bestehen aus Flachgummi, an der Schlagsäule aus einem einseitig gefassten Notenprofil. Als Sohdichtung ist ein Trapezprofil montiert. Die Klemmleisten sind in nichtrostendem Stahl und auf der Dichtseite abgerundet. Es werden rostfreie Schrauben mit Schraubensicherungs-, Dicht- und Unterlegscheiben aus Polyamid zur vollständigen galvanischen Trennung von nichtrostendem Stahl und Torkörper verwendet.

Der Torbereich, die Tornischen und besonders der Wendesäulenbereich werden durch Luftsprudelanlagen geschwemm- und eisfrei gehalten. Zusätzlich erhält die Schlagsäule eine Dichtungsheizung mit wartungsfreien, selbstregulierenden Heizbändern.

Die Spurlager bestehen aus dem Zapfenstuhl aus St 52-3, dem Spurzapfen aus nichtrostendem Stahl und der Spurpanne aus selbstschmierendem Werkstoff. Der Zapfenstuhl ist auf der im Zweitbeton eingebauten Lagerverankerung horizontal justierbar und wurde durch Keile fixiert. Die beweglichen Teile des Spurlagers sind gegen Verschmutzung abgedichtet. Außerdem ist eine Abweherschmierung angebracht, deren Schmierleitung bis zum Laufsteg hochgeführt ist.



Die Halslager bestehen aus dem Halslagerbolzen, den Halslagerstangen und den Federpaketen, die in Halslagerböcken verankert sind. Der Halslagerbolzen ist aus nichtrostendem Stahl, die Lagerbuchse aus selbstschmierendem Werkstoff hergestellt und kann nachgeschmiert werden. Der Anschluss der Halslagerstangen an die Lagernabe ist durch wartungsfreie Gelenklager zwängungsfrei. Die Federpakete der Halslagerstangen sind aus Elastomeren hergestellt.

Die Tore werden in den Tornischen gegen je 2 elastische Puffer gefahren. Bei Eis- und Geschwemm- selabfuhr können sie im Bereich der Schlagsäule von Hand verriegelt werden. Die Torflügel werden von je einem Hydraulikzylinder bewegt, die von einem einseitig aufgestellten Doppelaggregat versorgt werden. Der Gleichlauf der Torflügel wird elektronisch überwacht.

Abb. 3 Stemmtorflügel



2.3 Längskanal – und Sparbeckenverschlüsse

Die Füllung und Entleerung der Schleusenammer erfolgt über die Längskanal- und Sparbeckenverschlüsse. Die insgesamt vier Längskanalverschlüsse (LKV) sind im Bereich des Oberhauptes bzw. des Unterhauptes in den Schützlamellen angeordnet.

Jedes der drei Sparbecken hat als hydraulische Verbindung zur Schleusenammer zwei Sparbeckenzuläufe. Darin befindet sich jeweils ein Sparbeckenverschluss (SBV). Die Konstruktion beider Verschlüsse ist identisch. Sie sind daher austauschbar. Es werden Rollschütze, die als Trägerrost mit ebener Stauwand ausgebildet sind, eingesetzt. In den Längskanälen zeigt die Stauwand zum Oberwasser und in den Sparbeckenzuläufen zu den Sparbecken.

Die vier fliegend gelagerten Laufrollen sind mit balliger Lauffläche und mit Spurkränzen ausgeführt. Jede Lauffläche hat eine Lagerung, die aus zwei serienmäßigen Kegelrollenlagern besteht und nachstellbar ist. Die Lagerung ist wasserdicht und hat eine Nachschmiermöglichkeit. Die Rollenachsen haben in sich einen Mittenversatz (Exzentrizität), so dass durch das Verdrehen der Achse selbst jede Laufrolle eingestellt werden kann. Jede Laufrolle ist dazu durch zwei Spannfederelemente im Schützkörper fixiert. Die Spannfederelemente sind bei geschlossenem, trockengelegtem Schütz zugänglich. Es sind zwei gefederte, nachstellbare Gegenführungsrollen angeordnet.

Die Seitendichtungen sind doppelte Notenprofile, die in Profilmittte geklemmt sind. Als Stirndichtung werden wegen des doppelt kehrenden Einsatzes der SBV ein Doppelwulstprofil, dreifach gefasst, verwendet. Die Sohdichtung besteht aus einem Flachgummi.

Bei Stromausfall oder einem entsprechenden Steuerbefehl (z.B. NOT AUS) müssen die Schütze selbsttätig unter Eigengewicht schließen. Daher, und auch zur Sicherstellung eines ausreichenden Schließdruckes, müssten die Schütze eigentlich ballastiert werden. Die hier realisierte Alternative ist die Verwendung dickerer Bleche, was hinsichtlich einer kleineren Anzahl von Aussteifungen, kleineren Schweißverzügen, größerer Stabilität und längerer Lebensdauer auch bei eventuell schadhaftem Korrosionsschutz von Vorteil ist. Zur Vermeidung von Schwingungen bei Teilhüben, die bei Ausfall eines oder mehrerer Sparbecken gefahren werden müssen, wird das Schleifblech für die Stirndichtung sowie die Seitendichtungsanschläge über den gesamten Schützhub hochgeführt.

Der Schützschaft wird mit einem druckwasserdichten Deckel verschlossen, auf dem der Antriebszylinder angeflanscht wird. Der Anschluss des Kolbenstangenkopfes am Schütz ist momentenfrei über eine Koppelstange ausgeführt. Für Wartungsarbeiten ist im Schützschaftdeckel ein Mannloch vorgesehen. Das Schütz ist in höchster Betriebsstellung für Reparatur- und Revisionszwecke verriegelbar.



Abb. 4 Maschinenhalle mit Be- und Entlüftungstürmen



Abb. 5 Maschinenhalle innen mit Schützen druckwasserdichten Deckeln



Um die bei Nothalt auftretenden Druckstöße in beherrschbaren Grenzen zu halten, wurden folgende konstruktive Maßnahmen realisiert:

Die Sparbeckenverschlüsse haben zur Ableitung der Druckstöße jeweils zwei kammerseitig und zwei sparbeckenseitig angeschlossene Druckentlastungsleitungen mit je 800 mm lichter Weite erhalten. Diese münden in Be- und Entlüftungstürmen die in Vierergruppen zwischen den Maschinenhallen und den Sparbecken aufgestellt sind.

An den Längskanalverschlüssen wird der Druckstoß über die ober- bzw. unterwasserseitig angeordneten Schächte der Längskanalrevisionsverschlüsse abgebaut. Diese haben daher am oberen Ende einen schwanenhalsartigen Belüftungskanal, der über einen Gitterrost in der Schleusenplanie mit der Umgebungsluft in Verbindung steht.

3 Revisionsverschlüsse

Die Schleusenrevisionsverschlüsse bestehen aus Dammtafeln, die durch Stützböcke gehalten werden. Als Revisionsverschlüsse sind in den Längskanälen, in den Sparbeckenzuläufen und in den Pumpenzulaufkanälen Gleitschütze vorgesehen.

3.1 Schleusenrevisionsverschlüsse

Die Schleusenrevisionsverschlüsse können je nach Erfordernis wahlweise im Oberwasser am Beginn des Einfahrtbereiches oder unmittelbar vor dem Obertor und im Unterwasser zwischen den Ausläufen der Längskanäle und dem unteren Vorhafen gesetzt werden.



Abb.6 Schleusenrevisionsverschluss im Oberwasser

Der jeweilige Verschluss besteht aus Stützböcken mit senkrechten Pfosten aus Doppel-T-Profilen und unter einem Winkel von 40° angekoppelten Streben. Die Stützböcke werden mit Taucherhilfe in einem Mittenabstand von 3230 mm mit Pfostenschuhen und Strebenschuhen, die mittels Zweitbeton in die Sohle einbetoniert sind, gesetzt. Die darauf aufgesetzten Laufstege fixieren die Stützböcke quer zur Schleusenlängsachse. Zwischen den Pfosten werden jeweils vier 1300 mm hohe Dammtafeln mittels Zangenbalken übereinander gesetzt. Die Tafeln haben Flachdichtungen in ihrem Sohlbereich und Not-

tenprofile als Seitendichtungen. Davon weicht nur der Revisionsverschluss im Unterwasser ab. Wegen der wechselnden Elbwasserstände werden hier in jedem Feld sechs Tafeln übereinander angeordnet. Alle Stützböcke und Dammtafeln sind für diesen Einsatzfall bemessen. Das hier beschriebene Revisionsverschlussssystem wird in identischer Ausführung auch an der Kanalbrücke und der Doppelsparschleuse Hohenwarthe verwendet. Weil nie alle Revisionsverschlüsse gleichzeitig gesetzt sind, konnte dadurch die Anzahl der notwendigen Elemente reduziert werden.

3.2 Längskanal- und Sparbeckenrevisionsverschlüsse

Als Revisionsverschlüsse dienen Gleitschütze, die bei ausgespiegeltem Wasserstand von der Schleusenplattform aus mit Hilfe eines Zangenbalkens und eines Kranes ober- und



unterwasserseitig der Betriebsschütze eingesetzt werden können. Danach wird der Raum zwischen den beiden Revisionsverschlüssen über das im Betonbauwerk verlegte Rohrleitungssystem entwässert. Umgekehrt wird beim Ausbau dieser Raum zuerst geflutet.

Die Verschlüsse sind als torsionsweicher Trägerrost mit druckwasserseitiger Stauwand, die auch die Dichtung trägt, gestaltet. Als Stirn- und Seitendichtung sind Notenprofile, als Sohlendichtung ist ein Flachprofil vorgesehen. Die Kraftübertragung auf die rostfreien Gleitschienen erfolgt über die Endschotte. Die Gleitschienen sind ca. 0,50 m über Schützoberkante hochgeführt. Zur Führung der Revisionsverschlüsse dienen Kufen, die auf den Endschotten angeschraubt sind.

3.3 Pumpkanalrevisionsverschluss

Der Pumpkanalrevisionsverschluss ist als Rollschütz ausgeführt und ähnlich aufgebaut wie die Längskanal- und Sparbeckenverschlüsse. Wegen seiner dem Pumpkanal von 3 x 3 m angepassten Größe ist er jedoch nicht mit Spurkranzlaufrollen, sondern zusätzlich mit Seitenführungsrollen ausgerüstet. Die Notendichtung ist im Stirnbereich doppelt und an der Seite nur einfach gefasst.

Der Verschluss ist im oberen Ende des Pumpkanals im Oberhauptblock aufgehängt und kann mittels Zangenbalken von einem Autokran auch gegen strömendes Wasser gesetzt werden.

3.4 Pumpwerksrevisionsverschluss

Von den fünf Pumpenzuläufen können jeweils zwei durch zweiteilige Gleitschütze dichtgesetzt werden. Dazu wird nur ein Zangenbalken und ein Autokran benötigt.

Die Gleitschütze und der Zangenbalken werden bei Nichtgebrauch in einer direkt neben den Pumpenzuläufen angeordneten Dammtafeltasche gelagert.

4 Ausrüstung

4.1 Schleusenausrüstung

Die Schleuse hat auf ihrer Planie als Absturzsicherung ein aus eloxierten Aluminiumprofilen zusammengesetztes Geländer, das in den Zugangsbereichen zu den Leitern und Schwimmpollern automatischen Klapptüren ausgerüstet ist.

Die Anordnung der Kantenschütze, Scheuerleisten, Leitern und Poller erfolgte grundsätzlich nach DIN 19703. Abweichend davon sind jedoch die Leitern senkrecht zur Wand in den Nischen an den großen Blockfugen angebracht, so dass die Omega-Bänder und ihre Klemmvorrichtungen ohne Aufwand direkt von der Leiter aus inspiziert werden können.



Abb. 7 Stoßschutz in der Endmontage

Auf der Seite des Steuerstandes sind in der Kammerwand 8 Schwimmpoller angeordnet. Es wurde die Ausführung mit vorn liegenden Laufgarnituren gewählt, weil dadurch Wartungsarbeiten ohne Pollerausbau möglich sind.

4.2 Stoßschutz

Der Stoßschutz bewahrt das Untertor vor Schiffsanfahrungen. Die Stoßschutzeinrichtung ist als drehbar gelagerte Stoßschutzschwinge ausgeführt, wobei sich die Lager auf Betonkonsolen an den Kammerwänden abstützen. Der



torsionssteife geschlossene Hohlkasten der Anfahrwand ist mit vollflächiger Fenderung aus Polyäthylen (Elastomer-Fender nach EAU E 62) ausgestattet. Beim Anfahrvorgang führt die Schwinge eine Schwenkbewegung um die Drehlagerachse aus, wobei die Bremskräfte über Federelemente (Jarretpuffer) umgewandelt werden, die für ein Arbeitsvermögen von 1500 kNm bei einem Bremsweg von ca. 1,70 m ausgelegt sind. Die Rückstellbewegung wird ebenfalls durch die Jarretpuffer bewirkt, ohne dass eine Zusatzeinrichtung erforderlich ist.

4.3 Pumpwerk

Zu beiden Schleusen gehören Pumpwerke, die das Schleusungsverlustwasser zurück pumpen. Das Pumpwerk Rothensee ist mit fünf einstufigen, halbaxialen Schraubenradpumpen mit nach oben aus dem Rohrgehäuse herausziehbaren Lauf- und Leitzeug ausgerüstet.



Jede Pumpe hat eine Leistungsaufnahme von 800 kW und eine Fördermenge von 3,5 m³/s. Vor dem Pumpeneinlauf ist ein Rechen mit einer Rechenreinigungsmaschine angeordnet. In Strömungsrichtung folgen die Nischen für die oben beschriebenen Pumpwerksrevisionsverschlüsse. Die Pumpenzuläufe können über Taucherschächte auch ohne Trockenlegung inspiert werden.

Abb. 8 Pumpwerk mit Rechenreinigungsmaschine

5 Literatur

- [1] Stahlwasserbau, Wickert-Schmaußer
- [2] Kommentar DIN 19704
- [3] DIN 18800
- [4] Selle/ Schleef, Aufsatz in STAHLBAU 12/2000