

Bundeswasserstraße Aller – Schlauchverschlüsse für das Allerwehr Marklendorf

Bau- und Funktionsbeschreibung, erste Erfahrungen

DIPL.-ING. GERHARD MEINE, WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT VERDEN

1 Vorbemerkungen

Die in den Jahren 1908 – 1918 zwischen Celle und der Leinemündung staugeregelte Bundeswasserstraße Aller war ein wichtiger Handelsweg für Getreide, Kali und Erdöl zwischen den Städten Celle und Bremen. Heute findet auf der Aller Fahrgast- und Sportschiffahrt statt.

Um die in den damaligen Planfeststellungsbeschlüssen vereinbarten Stauhöhen garantieren zu können, müssen die vier Wehranlagen nacheinander durch Neubauten ersetzt werden. Der Ersatzneubau des Allerwehres Marklendorf ist 2005 begonnen und im Herbst 2006 abgeschlossen worden. Als Wehrverschlüsse wurden erstmalig an einer Bundeswasserstraße Schlauchverschlüsse eingesetzt. Sie können umweltfreundlich und energiesparend durch ein spezielles wasserhydraulisches Steuerungssystem gefahren werden.

Im folgenden Beitrag werden die Entscheidungsgründe für die Schlauchverschlüsse dargelegt und ein Überblick über den Bauablauf gegeben, wobei die Funktionsweise der Anlage aus Sicht eines „Betonbauers“ beschrieben werden soll.

2 Entscheidungsgründe für das Schlauchverschlusssystem

In der Planungsphase für den Ersatzneubau des Wehres Marklendorf sind unterschiedliche Stauverschlusssysteme untersucht worden (siehe *Der Ingenieur*, Nr. 1, März 2007).

Die Vorteile der Schlauchverschlüsse gegenüber den anderen beweglichen Wehrtypen liegen im einfachen Aufbau der Betonkonstruktion ohne spezielle, den Querschnitt einengende Aussparungen im Pfeilerbereich. Die glatten Pfeilerwände beeinflussen die Abflusshydraulik im Wehrfeld positiv. Daneben bedeuten glatte, einfache Pfeilerformen weniger Bewehrungs- und Schalungsaufwand und somit kürzere Bauzeiten und niedrigere Baukosten.

Außerdem gibt es – abgesehen von den Pumpen und Schiebern für die Füll- und Entleerungseinrichtungen – keinerlei bewegliche Teile wie z. B. Drehgelenke, Lager, Zahnstangen oder Gliederketten, deren Wartung in Wassernähe einen erheblichen Sicherheitsaufwand bedeutet. Auch Korrosion spielt keine große Rolle, da

die Befestigungsmaterialien (Klemmschienen) des Schlauchverschlusses aus feuerverzinktem Stahlguss bestehen oder in Edelstahl (Schrauben, Anker) ausgeführt werden können.

Aus statischer Sicht liegt der Vorteil der Verschlussverankerung an Wehrsohle und Pfeilerwangen in der gleichmäßigen Einleitung der entstehenden Kräfte. Dadurch sind keine schweren Antriebe erforderlich. Hohe Pfeileraufbauten oder tiefe Unterflurkavernen entfallen.

Da das hydraulische System in der Regel so konzipiert ist, dass die Schläuche ohne Energieversorgung absenkbar sind, können die Anforderungen an die (n-1)-Bedingung nach DIN 19700 bei Schlauchverschlüssen reduziert werden. Dahingegen müssen Wehre mit Stahlwasserbauverschlüssen mehrfeldrig ausgeführt werden, damit das Bemessungshochwasser auch bei Versagen eines Verschlusses abgeführt werden kann.

Bei Schlauchverschlüssen kann nur schwer ein faltenfreier Anschluss für *jeden* Betriebszustand hergestellt werden. Es ist daher zu entscheiden, ob eine Faltenfreiheit im gefüllten oder entleerten Zustand wichtiger ist.

Ein weiteres Problem kann bei Schlauchverschlüssen auftreten, wenn sie während der Hochwasserabfuhr völlig entleert auf der Wehrschwelle liegen. Die



Bild 1: Endfalte bei gelegtem Verschluss und mit aufgesetzten Störkörpern

dann am unterstromigen Schlauchende entstandene Falte kann unter Umständen Flatterbewegungen der Schlauchmembran auslösen (Bild 1).

Diese Flatterbewegungen führen zu einem Scheuern der Schlauchmembran auf der Wehrschwelle. Die Folge ist ein Abrieb an der äußersten Elastomerschicht. Hier schafft eine auf der Wehrschwelle unter dem abgelegten Schlauch angeordnete Gummimatte Abhilfe.

Wie bei allen unter- und überströmten Wasserbauwerken, können Schlauchverschlüsse in besonderen Betriebsituationen (bei bestimmten Überströmungshöhen) zu Resonanzschwingungen angeregt werden. Hier schaffen die von der BAW und der Firma Floecksmühle entwickelten Störkörper Abhilfe (siehe Bild 1, Detailausschnitt).

Zusammengefasst sprechen für Schlauchverschlüsse folgende Vorteile:

- Einfacher konstruktiver Aufbau,
- hohe Dichtigkeit,
- keine beweglichen Teile (Gelenke, Lager),
- keine Korrosionsprobleme,
- keine plastische Verformung bei Anprall,
- einfache Form des Betonbauwerkes,
- geringer Wartungs- u. Unterhaltungsaufwand,
- gleichmäßige Krafteinleitung in die Wehrschwelle.

Statische Besonderheiten

Schlauchverschlüsse sind flexible Konstruktionen. Sie verhalten sich bei Lasteintrag anders als starke Stahlkonstruktionen (nach DIN 19704). Die flexible Schlauchmembran ist bei Stoßbelastung nachgiebig und kann einem antreibenden Hindernis (Last) in begrenztem Umfang ausweichen. Bei Lasteinwirkungen aus Eisdruck, infolge einer geschlossenen Eisdecke im Oberwasser, kann der Verschluss dieser Volumenänderung nachgeben.

Wehranlagen mit Schlauchverschlüssen haben keine über die Staulinie hinausragenden Bauteile. Daher können Windlasten nur von der Unterwasserseite auftreten. Diese Lasten wirken entlastend für den Verschluss und müssen in der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

3 Bauablauf

Das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Verden hatte Anfang 2005 den Auftrag zur Errichtung der neuen Wehranlage an eine Arbeitsgemeinschaft vergeben. Nach dem Einbau der Baugrubenumspundung für das rechte Wehrfeld im Mai 2005 wurde auf einer Unterwasserbetonsohle ein Zwischenpodest betoniert, auf dem das gesamte Rohrleitungssystem für den Betrieb des Schlauchverschlusses verlegt wurde (Bild 2).



Bild 2: Rohrleitungssystem im rechten Wehrfeld

Alle Rohrleitungen werden in den Steuerpfeiler geführt, von wo aus die Schlauchverschlüsse wasserhydraulisch einzeln angesteuert werden können. Nach dem Fixieren der Rohrleitungen und der unteren Klemmschiene wird die Wehrsohle in der von der BAW abflusshydraulisch optimierten Form (sog. Jambor-Schwelle) fertig betoniert. Anschließend werden die Wehrpfeiler mit einer Wangenneigung von 3 : 1 hergestellt (Bild 3).



Bild 3: Mittlerer Wehrpfeiler

Die abschließende Montage der Schlauchmembrane im rechten Wehrfeld erfolgte in drei Arbeitstagen. Alle Arbeiten sind dann im Jahr 2006 für das linke Wehrfeld wiederholt worden, sodass die Wehranlage im Dezember 2006 in Betrieb gehen konnte (Bild 4).



Bild 4: Inbetriebnahme der Wehranlage

Zurzeit wird ein nach neuestem Erkenntnisstand geplanter Fischpass um das Wasserkraftwerk Marklendorf geführt. In diesem und im nächsten Jahr soll am Allerwehr Bannetze ein weiterer Wehrneubau mit Schlauchverschlüssen errichtet werden. Baubeginn ist Anfang Juni 2007.

4 Die Stauverschlüsse

Auf Grund der Ergebnisse von Laboruntersuchungen der BAW wurden zwei wassergefüllte Schlauchkörper für die Wehranlage Marklendorf ausgeschrieben. Die Schlauchmembran der Verschlüsse besteht aus einem 12 mm dicken, durch zwei Gewebefolien verstärkten Elastomer. Sie wird durch eine oberstromige und eine unterstromige Befestigungsschiene an der Wehrsohle befestigt. Nach Einlegen der Membranlochung in die Bolzen der Unterschien wird die Oberschiene aufgesetzt und fest klemmend mit der Unterschiene verschraubt. Gleiches geschieht an den Seitenwandschienen der Wehrpfeiler, sodass eine umlaufende Verklebung der Membran entsteht. Aus der Elastomerbahn entsteht so ein Schlauch als Stauverschluss (Bild 5).



Bild 5: Klemmschiene am Pfeiler und auf der Wehrsohle

Über die Schienen und die Ankerbolzen werden die auf den Schlauchverschluss wirkenden Lasten gleichmäßig in den Beton der Wehrsohle eingetragen. Die erforderlichen Rohrleitungen (PE-HD, Druckstufe PN 6) zum Befüllen und zum Entleeren der Schläuche sowie die Leitungen für die Umwälzung und das Entlüften verlaufen in der Wehrsohle. Dabei liegen die Einlauföffnungen für die Füll-/Entleerungsleitung nahe der unterstromigen Klemmschiene, die Eintrittsöffnungen für die Umwälzleitungen nahe der oberstromigen Klemmschiene (Bild 6).

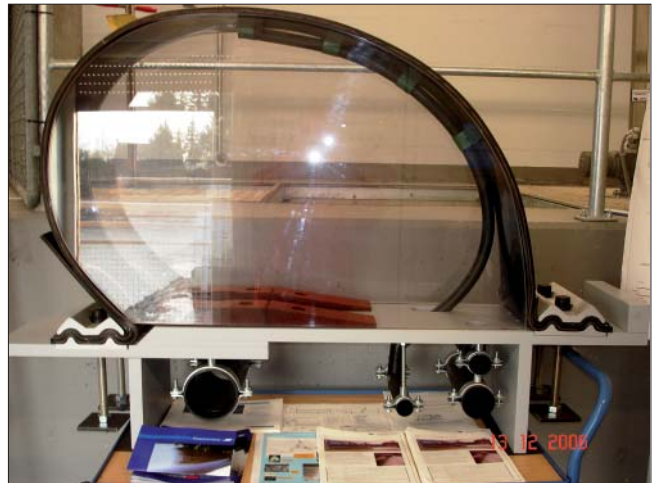


Bild 6: Klemmschienen am Modell

5 Die Wehrsteuerung

Die Wehranlage ist mit einer speicherprogrammierten Steuerung ausgestattet, welche die Schlauchverschlüsse in Abhängigkeit vom Oberwasserspiegel automatisch aufrichtet oder absenkt. Der Schlauchverschluss wird dabei durch eine Veränderung des Innendrucks und durch entsprechenden Wasserzulauf (Füllen = Heben des Verschlusses) oder -ablauf (Leeren = Senken des Schlauches) im Schlauch bewegt. Im Steuerschacht wird die erforderliche Druckhöhe im Standrohr mit aufgesetztem Steuerbalg vorgegeben. Das Füllen und Entleeren erfolgt über die entsprechenden Füll- und Entleerungsleitungen (Bild 7).

Das zwischen Standrohr und Schlauchinnenraum kommunizierende Rohrleitungssystem ist mit minimalem Energieeinsatz steuerbar. Alle erforderlichen Armaturen und Standrohre befinden sich unter dem Steuerhaus im rechten Landpfeiler. Hier sind folgende Schächte angeordnet:

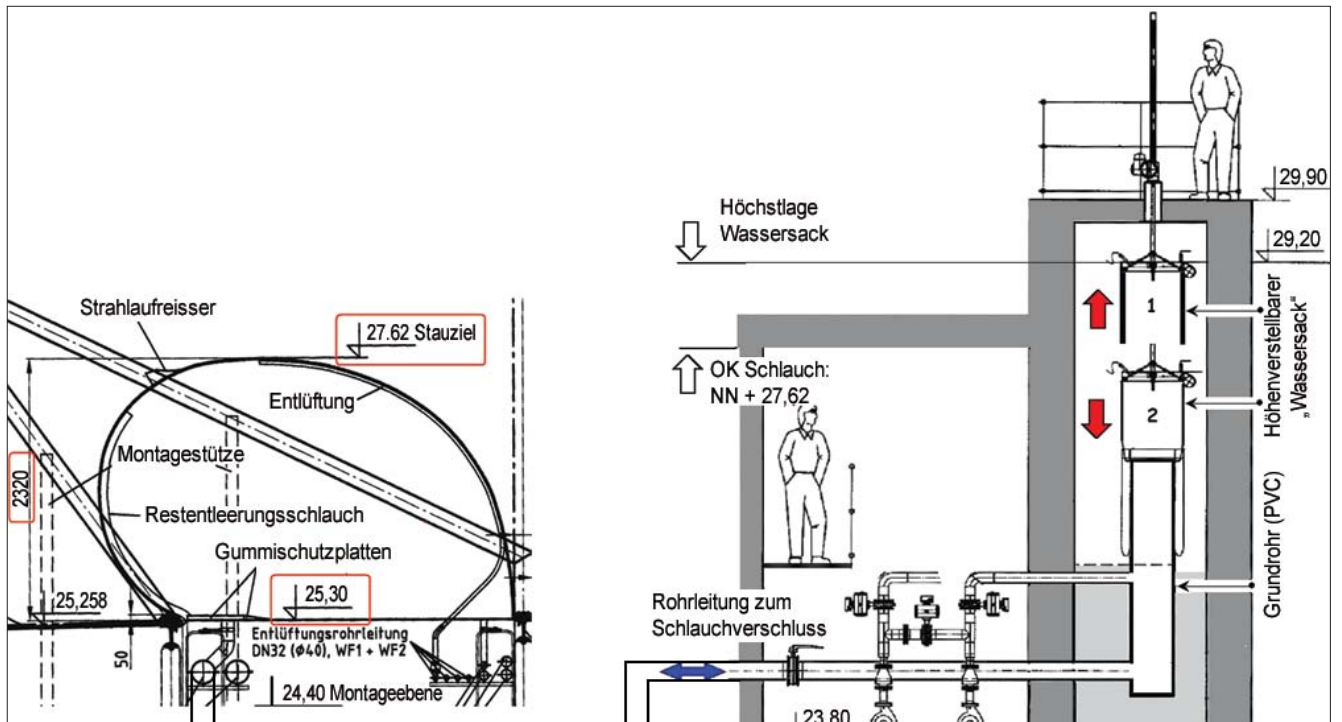


Bild 7: Zusammenwirken von Steuerschacht und Schlauchverschluss

- 1.) Der **Entnahmeschacht** mit einer Verbindung zum Oberwasser der Aller,
- 2.) der **Steuerschacht** mit je einem Standrohr mit Wasserbalg (Bild 8) für jeden Schlauchverschluss und dem dazwischen liegenden **Entsorgungsschacht** mit einer Verbindung in das Unterwasser und
- 3.) der **Armaturenschacht** mit Schieber, Pumpen usw.

Schlauches die Summe der auf den Schlauch einwirkenden äußeren Kräfte (Gewicht des Gummis, Wasserauflast) übersteigt, hebt sich der Schlauchkörper an. Die Höhe der Wassersäule im Steuerschacht mit Steuerbalg bestimmt den Schlauchinnendruck und damit die Höhe des aufgerichteten Schlauchverschlusses. Im Betrieb kann der größtmögliche Innendruck das 1,6-fache der Schlauchhöhe betragen. Der Schlauchinnendruck kann aber nicht über diesen Wert ansteigen, da die Steuerbalgoberkante nicht weiter angehoben werden kann und das Füllwasser über die Oberkante des Steuerbalgs abläuft (siehe Bild 9).



Bild 8: Steuerbalg in Höchst- und Tiefstellung

5.1. Aufrichten des Schlauchverschlusses

Nachdem die Antriebsspindel den höhenverstellbaren Steuerbalg des Standrohres angehoben hat, wird zum Aufrichten des Verschlusses Wasser vom Versorgungsschacht in das jeweilige Standrohr gepumpt. Über die Rohrleitungen in der Wehrsohle (Regulierrohrleitung) fließt das Füllwasser durch zwei Stutzen DN 100 und zwei Stutzen DN 70 in den jeweiligen Schlauchverschluss. Sobald der Wasserdruck im Innern des



Bild 9: Überlauf am Steuerbalg

5.2. Absenken des Schlauchverschlusses

Steigt der Oberwasserpegel auf Grund eines höheren Abflusses an, beginnt der Spindelantrieb, den oberen Rand des Steuerbalgs abzusenken und so den Wasserrücklauf aus dem Schlauchverschluss in den Steuerschacht freizugeben. Das ausströmende Wasser fließt in den Entsorgungsschacht und von dort aus in das Unterwasser der Wehranlage.

Zur schnelleren Absenkung des Schlauchverschlusses kann zusätzlich der Grundablass geöffnet werden, der unter der Oberkante der Wehrfeldsohle in Höhe des Regulierrohres liegt. Dann fließt das „Schlauch“wasser nicht über den Steuerbalg, sondern direkt aus dem Schlauch in den Entsorgungsschacht und von hier aus in das Unterwasser. Bei hohen Unterwasserständen wird eine Pumpe zugeschaltet, die für die Förderung aus dem Entsorgungsschacht nach „außenbord“ sorgt.

6 Bisherige Betriebserfahrungen und Ausblick

Die Wehranlage Marklendorf ging am 27. Oktober 2006 in einen fünftägigen Probebetrieb. Seit 1. November 2006 läuft die Anlage störungsfrei und fernüberwacht im Dauerbetrieb.

Welche Erfahrungen konnten bisher nach ca. zehnmönatigem Betrieb gewonnen werden?

Vorausgeschickt werden muss, dass die letzte Winter-Hochwasserperiode 2006/2007 mit $Q_{\max} = 109,0 \text{ m}^3/\text{sec}$ nur bei rd. $\frac{1}{4}$ des Bemessungsabflusses lag. Auch war die Anzahl der Frosttage derart gering, dass sich kein Eis, sei es Treibeis oder Randeis, gebildet hat.

6.1 Erfahrungen mit der Steuerung der Schlauchwehrkörper

Die Steuerung der Wehrkörper mit den jahreszeitlich geänderten Stauzielen (Sommerstau/Winterstau) regelt den Wasserstand präzise und höhengenaue. Wird das eingestellte Stauziel länger als die vereinbarte Verzögerungszeit über- oder unterschritten, übernimmt die Steuerung die Regelung des Oberwasserstandes.

Nach **Ablaufen einer Hochwasserwelle** mit gelegtem Stauverschluss regelt die Steuerung das Stauziel auch nach **Anlaufen** der Turbinen des Wasserkraftwerkes und dem damit verbundenen Sunk zeitnah und stauzielgenau.

Bei einer **auflaufenden Hochwasserwelle** ist generell steuerungstechnisch der Zeitpunkt des schlagartigen Schließens der Turbinenzuläufe des Wasserkraftwerkes kritisch. Da gewöhnlich zu diesem Zeitpunkt der Unterwasserstand recht hoch ist, wird in Marklen-

dorf zum Entleeren des Schlauches über den Entsorgungsschacht eine Pumpe zugeschaltet. Die Förderleistung dieser Pumpe ist ausreichend zu wählen, da sonst das Schlauchwasser im Entsorgungsschacht zu hoch steigt und der Senkvorgang des Schlauches automatisch gestoppt wird.

Für lang anhaltende **Frostperioden** ist ein Umwälzbetrieb der Füllwassermenge (richtiger Wassertauschbetrieb) in Abhängigkeit von der Außentemperatur vorgesehen. Bei tieferen Temperaturen wird der Schlauch soweit abgesenkt, bis er leicht mit wärmerem, sohlenahem Wasser überströmt wird.

6.2 Schwingungen der Wehrkörper

In Marklendorf sind nur auf dem rechten Schlauchverschluss Strahlaufreißer montiert. Der linke Verschluss, der wegen nicht Erreichen der Weiterreißprüfkriterien noch in diesem Jahr gewechselt werden muss, besitzt keine Strahlaufreißer. Bei gleichem Überlauf beginnt der linke Schlauchverschluss pumpend zu schwingen, während der rechte Schlauchverschluss mit Strahlaufreißern stabil und ruhig liegt. Erst bei größeren Abflüssen setzt auch beim rechten Verschluss ein leichtes Schwingen über einen kurzen Fahrweg ein. Diese kurze Zone kann schadensfrei durchfahren werden. Durch Verringerung des Abstandes der Strahlaufreißer untereinander sollte dieses Problem gelöst werden können. Generell schafft die Form der Strahlaufreißer eine ausreichende Hinterlüftung des Überfallstrahles.

6.3 Trockenlegen des Wehrfeldes

Bedenken wegen eines unkontrollierten, faltigen Ablegens des Schlauchverschlusses bei gesetztem oberstromigen Revisionsverschluss erwiesen sich als unbegründet. Die Wassermenge zwischen oberstromigem Revisionsverschluss und Schlauchverschluss zwingt den sich ablegenden Schlauch in voller Breite auf den Sohlbeton. Dieser Vorgang dauert etwas länger als im Wehrbetrieb, wo die zulaufende Wassermenge, die die Auflast auf den sich leerenden Schlauch bildet, zusätzlich das Schlauchwasser aus dem Verschluss „drückt“.

6.4 Geräuschimmission

Das alte Wehr Marklendorf war mit unterströmten Stauverschlüssen ausgestattet. Messungen bei den überströmten Schlauchverschlüssen haben ergeben, dass die Nacht-Grenzwerte für ländliche Regionen überschritten werden. Die Tagwerte lagen innerhalb der Grenzen. Gemessen wurde auf dem Ufergrundstück in Nähe des Wasserkraftwerkes, dem ehemaligen Maschinenhaus.

6.5 Schalthaus

Die Steuereinrichtungen für die Wehranlage befinden sich im Schalthaus über dem rechten Landpfeiler. Im Armaturenschacht unter dem Schalthaus laufen alle Rohrleitungen mit Pumpen und Schiebern zusammen und münden letztendlich in den Nassschächten. Bei bestimmten Wetterlagen bildet sich *Kondenswasser* auf den Zulaufrohrleitungen im Armaturenschacht, welches das Raumklima negativ beeinflussen könnte. Ein Klimagerät schafft hier Abhilfe.

6.6 Dichtigkeit der Verschlüsse

Durch die *hohe Dichtigkeit* der Verschlüsse kann für den Fischpass eine ausreichende Wassermenge zur Verfügung gestellt werden, ohne diese vom „Kraftwerkswasser“ abzweigen zu müssen.

6.7 Ausblick auf den zweiten Neubau in Bannetze

Die neue Wehranlage Marklendorf besteht aus zwei Wehrfeldern mit einer Schlauchhöhe von je 2,32 m und einer Wehrfeldbreite am Pfeilerkopf von je 23,60 m. In Bannetze wird die Wehranlage ebenfalls aus zwei Wehrfeldern bestehen, von denen jedes Wehrfeld oben 24,50 m breit ist. Die Schlauchhöhe liegt ebenfalls bei rd. 2,30 m.

Das Schlauchverschlusssystem, die Steuerung und der Tiefbauteil dieses Typs Wehranlage zeichnen sich durch einen einfachen konstruktiven Aufbau aus. Sie haben keine Gelenke, Lager oder Antriebseinheiten im oder nahe am Wasser, die Verschlüsse verformen sich nicht dauerhaft bei Anprall und korrodieren nicht. Die einfache Pfeilerform ist weitgehend aussparungs- und nischenfrei und wirkt sich somit optimal auf die Abflusshydraulik aus.

Der Schlauchverschluss als Stauverschluss ist eine wirtschaftliche Alternative zu den bisher eingesetzten Verschlussarten. Voraussetzung ist, dass der Werkstoff „Gummi“ anforderungsgemäß hergestellt wird und dass die Schlauchmembran die geforderten Materialkennwerte wie Shore Härte, Zugfestigkeit, Rissdehnung, Druckverformungsrest, Weiterreißfestigkeit, Wärme- und Ozonalterung usw. erfüllt. Hier gilt es in enger Zusammenarbeit mit den Baustoffprüfern die Kennwerte festzulegen und zu überprüfen.