



Hydraulischer Belastungsversuch des Sandschlauchsystems der Fa. bsg GmbH zum Hochwasserschutz



Auftraggeber: Fa. bsg GmbH
Am Königholz 5
85411 Eglhausen

Obernach, im Oktober 2008

Projektleiter:

Dr.-Ing. A. Hartlieb

Direktor der Versuchsanstalt:

Prof. Dr. techn. P. Rutschmann

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Aufgabenstellung und Veranlassung	1
2 Versuchsanordnung	1
3 Versuchsbeschreibung	2
4 Wesentliche Erkenntnisse	7

1 Aufgabenstellung und Veranlassung

Die Fa. bsg GmbH, Eglhausen, hat ein Befüllungs- und Verlegesystem für sandgefüllte Kunststoffschläuche zum Hochwasserschutz entwickelt. Ein Radlader nimmt dabei in eine Spezialschaufel Sand auf, der mit einer Förderschnecke über ein Anschlussrohr in Kunststoffschläuche gefüllt wird. Gleichzeitig mit dem Befüllvorgang werden die Schläuche verlegt. Eine mehrlagige Sandschlauchbarriere kann errichtet werden. Die Versuchsanstalt Oberrach erhielt mit Schreiben vom 16.10.2006 den Auftrag, das System einem Belastungsversuch zu unterziehen. Dabei sollten ein- und mehrlagige Sandschlauchbarrieren verschiedenen Ein- und Überstauzuständen ausgesetzt werden. Der Versuch wurde am 27.09.2008 durchgeführt.

2 Versuchsanordnung

Für den Versuch wurde das obere Ende des Zulaufkanals auf dem Freigelände der Versuchsanstalt ausgewählt. Der Abfluss im Zulaufkanal wird mit einem zweifeldrigen Schützwehr reguliert. In einer annähernd rechtwinkligen Kurve unterhalb des Wehrs verjüngt sich der Kanal kontinuierlich und geht am Ende der Kurve in eine gerade Strecke mit konstantem Querschnitt über. Der Kanal weist ein betoniertes Trapezprofil auf. Die Sandschlauchbarriere wurde auf einer Länge von etwa 25 m vom Mittelpfeiler des Wehrs durch die Kurve bis in die gerade Kanalstrecke verlegt. Dabei entstand ein sich verjüngendes Gerinne, das auf der linken Seite von der vorhandenen Kanalböschung und auf der rechten Seite von der Sandschlauchbarriere begrenzt wird. In Abb. 1 ist die Versuchsanordnung im Lageplan schematisch dargestellt. Abb. 2 zeigt das zweifeldrige Schützenwehr und den Kanal im Kurveneingang, Abb. 3 den Kurvenausgang mit dem Übergang in die gerade Kanalstrecke.

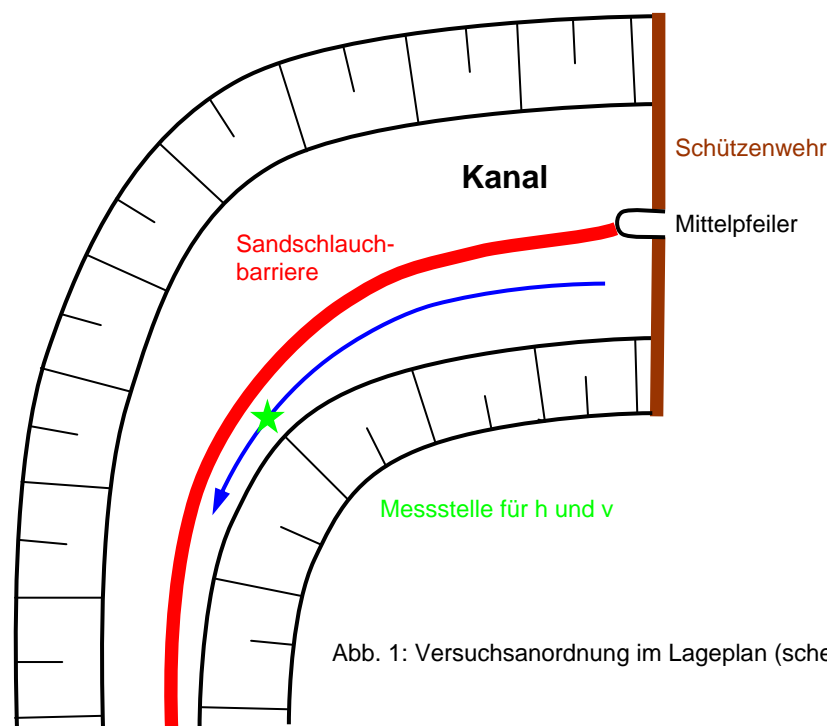


Abb. 1: Versuchsanordnung im Lageplan (schematisch).



Abb. 2: Schützwehr und Kanal im Kurveneingang.



Abb. 3: Kurvenausgang und gerade Kanalstrecke.

Nach dem Verlegen einer ein- oder mehrlagigen Sandschlauchbarriere wurde das in Fließrichtung linke Schütz stufenweise zur Erzeugung verschiedener Abflüsse und damit Belastungszustände angehoben. Beim Erreichen stationärer Verhältnisse in den einzelnen Belastungsstufen wurde in Kurvenmitte (siehe Abb. 1) überschlägig die Fließtiefe h und mit einer Flügelmessung die Fließgeschwindigkeit v ermittelt. Das rechte Schütz blieb bei allen Versuchen geschlossen.

3 Versuchsbeschreibung

● „1er Barriere“: der erste Schlauch wurde bei einer kleinen Schützöffnung, d.h. bei einem bereits vorhandenen Abfluss im Kanal ohne Probleme auf die von Kiesablagerungen weitgehend befreite Betonsohle des Kanals verlegt. Selbst der Anschluss an den Pfeiler, bei dem der Schlauch schon einem beachtlichen Strömungsdruck direkt unterhalb des Schützes ausgesetzt war, verlief problemlos (siehe Abb. 4). An der Messstelle wurde eine Fließtiefe $h = 10$ cm (keine Überströmung des Sandschlauchs) und eine Fließgeschwindigkeit $v = 0,6$ m/s im schießenden Abfluss gemessen.



Abb. 4: Verlegen des ersten Sandschlauchs kurz vor dem Anschluss an den Mittelpfeiler bei vorhandenem Abfluss.

Das Schütz wurde schrittweise geöffnet und eine deutliche Überströmung des Sandschlauchs erzeugt (siehe Abb. 5 und Abb. 6). Der Schlauch war dabei in seiner Lage stabil. An der Messstelle wurden $h = 20 \text{ cm}$ und $v = 0,9 \text{ m/s}$ im schießenden Abfluss ermittelt.



Abb. 5: Überströmte 1er Barriere unterhalb des Schützes.



Abb. 6: Überströmter 1er Barriere in der Kurve.

🔴 „3er Barriere“: Nach Schließen des Schützes wurden zwei weitere Sandschläuche verlegt, einer auf der Luftseite des ersten Schlauchs und der zweite mittig auf den beiden anderen. In den beiden zusätzlichen Schläuchen wurden bewusst nicht überlappende Stöße an der gleichen Stelle in der Kurve angeordnet. Im Belastungsversuch mit einer deutlichen Überströmung der Barriere (siehe Abb. 7) kam es innerhalb kurzer Zeit zu zwei unabhängigen Schadensfällen: im ersten Fall wurden die Schlauchenden des oberen und hinteren Schlauchs am Stoß in der Kurve ca. 50 cm in Richtung Luftseite verschoben, so dass sich auf einer Länge von etwa 3 m eine Fehlstelle ergab (siehe Abb. 8 und Abb. 9). Der vordere, als erstes verlegte Schlauch blieb dabei in seiner Lage stabil. Im zweiten Fall wurden der obere und hintere Schlauch in der geraden Strecke vor dem Barriereende um maximal ca. 30 cm in Richtung Luftseite verschoben, so dass der obere Schlauch zwischen den beiden unteren zum Liegen kam (siehe Abb. 10). Auch hier blieb der vordere Schlauch in seiner Lage stabil. Vor dem Versagen konnten keine Messwerte für h und v aufgenommen werden.



Abb. 7: Überströmte 3er Barriere in der Kurve vor Eintreten des Schadens.



Abb. 8: Überströmte 3er Barriere in der Kurve nach Eintreten des Schadens.



Abb. 9: Beschädigte 3er Barriere in der Kurve nach Abflussreduzierung.



Abb. 10: Beschädigte 3er Barriere in der Gerade nach Abflussreduzierung.

⊗ „4er Barriere“: Bei geschlossenem Schütz wurden die Fehlstellen in der 3er Barriere repariert, die Stöße der Schläuche versetzt angeordnet und ein zusätzlicher, dritter Schlauch an der Sohle verlegt. Abb. 11 zeigt die fertig gestellte 4er Barriere. Dann wurde das Schütz bis zum Erreichen des bordvollen, jetzt strömenden Abflusses mit $h = 30 \text{ cm}$ und $v = 0,3 \text{ m/s}$ geöffnet (siehe Abb. 12). Die Barriere war in diesem Zustand stabil.



Abb. 11: 4er Barriere ohne Belastung.



Abb. 12: 4er Barriere mit bordvollem Abfluss.


 „7er Barriere“: Bei gleich bleibendem Abfluss wurden insgesamt drei weitere Sandschläuche an der Sohle, in der zweiten Lage und in der dritten Lage verlegt (siehe Abb. 13). Der oberste Schlauch wurde dabei in Längsrichtung an einem Stoß ca. 1 m seitlich überlappt (siehe Abb. 14).



Abb. 13: Verlegen des obersten Schlauchs der 7er Barriere.



Abb. 14: Überlappung des obersten Schlauchs der 7er Barriere.

Die Schlauchbarriere war sowohl bei bordvollem Abfluss (siehe Abb. 15) als auch bei deutlicher Überströmung stabil. Die Messwerte in der Kurve bei Überströmung betragen $h = 45$ cm und $v = 0,45$ m/s im strömenden Abfluss. Schließlich wurde noch durch die Verkeilung eines spitzen Kantholzes (10 x 10 cm, 2 m lang) eine mögliche durch Schwemmholz hervorgerufenen Gefahrensituation simuliert: die Sandschlauchbarriere blieb auch dann stabil (siehe Abb. 16).



Abb. 15: Stabile 7er Barriere bei bordvollem Abfluss.



Abb. 16: Stabile 7er Barriere bei Kantholzverkeilung und Überströmung.



„10er Barriere“: Bei konstantem bordvollem Abfluss für die 7er Barriere wurden noch einmal drei weitere Schläuche in der zweiten, dritten und vierten Lage verlegt. Bei Steigerung der Belastung bis zum bordvollen Abfluss blieb die 10er Barriere stabil (siehe Abb. 17). Die gemessenen Größen betragen $h = 70$ cm und $v = 0,6$ m im strömenden Abfluss. Um eine weitere potentielle Gefahrensituation zu simulieren, wurden in der Kurve die innen liegenden Schläuche der beiden oberen Lagen auf einer Länge von etwa 1 m aufgeschlitzt. Es kam nur zu einem begrenzten, schnell wieder abnehmenden Austrag von Sandmaterial aus den Schläuchen (siehe Abb. 18), ohne dass die generelle Stabilität der Barriere beeinträchtigt war.



Abb. 17: Stabile 10er Barriere bei bordvollem Abfluss.



Abb. 18: Sandaustrag aus den aufgeschlitzten Schläuchen.

Schließlich wurde die 10er Barriere durch stufenweise Abflusserhöhung einer zunehmenden Überströmung bis zum Versagen ausgesetzt. In Abb. 19 befindet sich die überströmte Barriere gerade noch im stabilen Zustand. Abb. 20 zeigt den Versagensbeginn und Abb. 21 den Endzustand beim „gleitenden“ Versagen der Barriere. Die Schläuche werden dabei unterschiedlich weit auf die Luftseite verschoben, so dass ursprünglich oben liegende Schläuche zwischen unteren zum Liegen kommen. Ausgangspunkt des Versagens war die Überlappung des obersten Schlauchs der 7er Barriere (siehe Abb. 14). Abb. 22 zeigt einerseits den Bereich der Überlappung nach dem Versagen und dem Abstellen des Abflusses und andererseits die nach dem Versagen immer noch verbleibende etwa zweilagige Barriere.



Abb. 19: Überströmte 10er Barriere unmittelbar vor Versagensbeginn.



Abb. 20: 10er Barriere bei Versagensbeginn.



Abb. 21: 10er Barriere im Endzustand nach dem Versagen.



Abb. 22: Überlappungsbereich nach Versagen und Abstellen des Abflusses.

4 Wesentliche Erkenntnisse

Das Sandschlauchsystem der Fa. bsg GmbH wurde in den Versuchen bewusst hohen hydraulischen Belastungen bis zum Versagen ausgesetzt, um vorhandene Schwachstellen zu erkennen und daraus Verbesserungen abzuleiten. Neben den bei einer späteren Anwendung in der Regel auftretenden Belastungen durch den hydrostatischen Druck bei bordvollem Abfluss waren dies auch außergewöhnliche hydrodynamische Beanspruchungen: extreme Überströmung, Anströmung in einer engen Kurve und direkte Anströmung durch den unter einem teilgeöffneten Schütz hervortretenden Abflussstrahl.

Erstaunlich war die hohe Stabilität des Anschlusses an den Mittelpfeiler des Schützenwehrs, bei dem die Schlauchbarriere in den verschiedenen untersuchten Varianten neben der hydrostatischen Belastung eben einem solchen Abflussstrahl ausgesetzt war. In keinem der Versuche versagte die Schlauchbarriere an diesem Anschluss. Dies ist auf die große Kontaktfläche zwischen den Sandschläuchen und dem Pfeiler zurück zu führen, in der über den Anpressdruck eine ausreichende Reibungskraft übertragen wurde. Die im Vergleich zum Schwemmholzanzprall eher denkbare Gefährdung der Sandschlauchbarriere durch Verkeilung von Schemmholz wurde

in den Versuchen exemplarisch simuliert. Dabei wurde kein Schaden verursacht. Beobachtet wurde auch das Verhalten der Barriere, nachdem der Strömung ausgesetzte Sandschläuche auf einer Länge von ca. 1 m aufgeschlitzt wurden. Es kam nur zu einem begrenzten, schnell wieder abnehmenden Austrag von Sandmaterial aus den Schläuchen, ohne dass die generelle Stabilität der Barriere beeinträchtigt war.

Bei den aufgetretenen Versagensfällen infolge hydraulischer Überlastung können generell zwei Szenarien unterschieden werden: im einen Fall gibt ein Schlauchende am Stoß oder an der Überlappung zweier Sandschläuche nach und es öffnet sich eine Fehlstelle. Im anderen Fall ist die rückhaltende Reibungskraft an der Sohle oder in einer höher liegenden Schlauchebene nicht groß genug und es kommt zu einer unterschiedlichen Verschiebung der Schläuche, so dass ursprünglich oben liegende Schläuche zwischen unteren zum Liegen kommen. Generell ist das Versagensverhalten der Sandschlauchbarriere als „gleitend“ und „gutmütig“ zu bezeichnen. Das Versagen tritt nicht schlagartig ein und es kommt nicht zu einem totalen Bruch der Barriere, ein Teil der Schutzwirkung bleibt erhalten. Dies stellt eine wichtige Erkenntnis dar, da die große Bedeutung des Verhaltens von Hochwasserschutzanlagen im Überlastfall immer mehr ins Bewusstsein rückt.

Die sich aus den Versagensszenarien ergebenden möglichen Verbesserungen des Sandschlauchsystems hinsichtlich der Stabilität liegen auf der Hand:

- die versetzte Anordnung von Stößen,
- die Vermeidung von Stößen in Bereichen mit besonderer Belastung (z.B. Kurven),
- die Verbindung der Schlauchenden an den Stößen,
- die zusätzliche Anordnung von Sandschläuchen an der Sohle insbesondere bei glattem Untergrund und auch in höheren Lagen zur Erhöhung der rückhaltenden Reibungskraft und
- die Herstellung eines Verbunds zwischen den einzelnen Schläuchen einer Barriere durch Spanngurte, die vor dem Verlegen ausgelegt und nach dem Verlegen des letzten Schlauchs angezogen werden.