

## **Entwicklung und Einsatz von wassergefüllten Schlauchsystemen im Hochwasserschutz**

Bärbel Koppe, Birgitt Brinkmann

Leuphana Universität Lüneburg, Institut für nachhaltige Ressourcennutzung  
und Infrastruktur, Scharnhorststrasse 1, 21335 Lüneburg

### **Kurzfassung**

Mobile Systeme nehmen einen immer breiteren Raum im vorbeugenden und abwehrenden Hochwasserschutz ein. Im vorliegenden Beitrag werden maßgebende Planungskriterien für den Einsatz mobiler Hochwasserschutzsysteme und eine Systematisierung der verfügbaren mobilen Systeme für den ortsgebundenen und ortsungebundenen Einsatz vorgestellt.

Eine Sonderform im mobilen Hochwasserschutz nehmen wassergefüllte Systeme ein, die sich einerseits durch eine vorteilhafte Handhabung und einen geringen Ressourcenverbrauch auszeichnen, andererseits jedoch nur ein begrenztes Sicherheitsniveau insbesondere bei großen Einstauhöhen liefern. Im Kooperationsprojekt HWS-Mobil wurden von der Leuphana Universität Lüneburg in Zusammenarbeit mit Hochschul- und Praxispartnern wassergefüllte Schlauchsysteme entwickelt und getestet. Die Projektergebnisse hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten und –grenzen wassergefüllter Schlauchkonstruktionen im Hochwasserschutz werden im Beitrag dargestellt.

### **Einleitung**

Die extremen Hochwasserereignisse der letzten Jahre, in Deutschland insbesondere in den Einzugsgebieten des Rheins, der Oder, der Donau und der Elbe, haben gezeigt, dass einerseits Siedlungsgebiete häufig nicht oder nur unzureichend mit technischen Konstruktionen vor hohen Wasserständen geschützt sind und dass andererseits ein enormer materieller und personeller Aufwand zur Verteidigung bestehender Deichlinien gegen akutes Versagen im Hochwasserfall erforderlich ist.

Eine vollständige Erneuerung bzw. Ertüchtigung des technischen Hochwasserschutzes ist auch zukünftig vor allem wegen der nur begrenzt zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel nicht zu erwarten. Zudem ist der Einsatz konventioneller technischer Hochwasserschutzanlagen, wie Deiche und Hochwasserschutzwände, in Gebieten problematisch, in denen ein erhöhter Anspruch auf freie Sichtbeziehungen zur Erhaltung der Wohn- und Freizeitqualität sowie zur Erfüllung der Bedürfnisse des vielfach wichtigen Wirtschaftsfaktors Tourismus besteht.

Aus diesem Grund werden immer häufiger mobile Systeme nicht nur im abwehrenden sondern auch im vorbeugenden Hochwasserschutz verwendet. Unter den Schutzsystemen des mobilen Hochwasserschutzes und der Deichverteidigung nehmen die wassergefüllten Schlauchkonstruktionen eine Sonderstellung ein. Sie zeichnen sich durch eine vorteilhafte Handhabung und einen geringen Ressourcenverbrauch aus, liefern jedoch nur ein begrenztes Sicherheitsniveau bei großen Einstauhöhen.

In dem von 2009 bis 2011 laufenden und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Kooperationsprojekt HWS-Mobil wurden in Zusammenarbeit der folgenden Partner aus Wissenschaft und Technologie wassergefüllte Schlauchkonstruktionen zum Einsatz im mobilen Hochwasserschutz und in der Deichverteidigung entwickelt und in Labor- und Feldversuchen getestet:

- Wasserbau: Institut für nachhaltige Ressourcennutzung und Infrastruktur, Leuphana Universität Lüneburg
- Tragwerk: Fachbereich Architektur, Hochschule München
- Technologie / Produktion: Karsten Daedler e.K. – Spezialverarbeitung von Planstoffen und Geweben, Trittau
- Technologie / Handhabung: Optimal Planen- und Umwelttechnik GmbH, Menden

Im Folgenden werden maßgebende Planungskriterien für den Einsatz mobiler Hochwasserschutzsysteme sowie eine Systematisierung der verfügbaren Systeme dargestellt. Daran anschließend werden die Besonderheiten wassergefüllter Schlauchsysteme sowie deren Einsatzmöglichkeiten und –grenzen vorgestellt.

## **Mobile Hochwasserschutzsysteme**

Die Betriebsweise, Konstruktion und eingesetzten Materialien von mobilen Hochwasserschutzsystemen sind abhängig von:

- der zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit
- der statischen und dynamischen Belastung aus Wasserstand, Wellen, Eisdruck und Treibgutstoß
- den aus Witterungseinflüssen und der Zusammensetzung des Wassers hinsichtlich des Feststoffgehalts resultierenden physikalischen Beanspruchungen
- und der geforderten Schutzhöhe

Bei der Erwägung eines Einsatzes mobiler Hochwasserschutzsysteme sind insbesondere sicherheitstechnische Aspekte zu beachten. Die Versagenswahrscheinlichkeit von mobilen Hochwasserschutzanlagen ist neben der allgemeinen Standfestigkeit aus statischer und geotechnischer Sicht in erster Linie von der Möglichkeit eines vollständigen und ordnungsgemäßen Aufbaus abhängig. Insgesamt kann ein geringes Versagensrisiko beim Einsatz temporärer Systeme nur dann gewährleistet werden, wenn nicht nur die technischen Bauteile selbst, sondern auch die administrativen Rahmenbedingungen entsprechend konzipiert sind.

### **Einsatzarten**

Mobile Hochwasserschutzsysteme können so ausgelegt sein, dass sie mit oder ohne permanente Vorkehrungen einsetzbar sind. Systeme, die permanent am Einsatzort vorhandene Vorkehrungen erfordern, sind ortsgebundene mobile Hochwasserschutzsysteme mit festen Einbauten. Hochwasserschutzsysteme ohne permanente Vorkehrungen können notfallmäßig an einem frei zu wählendem Ort (notfallmäßige mobile ortsungebundene Hochwasserschutzsysteme) oder örtlich geplant (planmäßige mobile ortsungebundene Hochwasserschutzsysteme) zum Einsatz kommen.

Beim Einsatz ortsgebundener mobiler Systeme mit festen Einbauten sowie beim örtlich geplanten Einsatz vollkommen mobiler Systeme ist der Einsatzort im Voraus bekannt. Hiermit liegen Informationen über die herrschenden Randbedingungen vor, und es können hinsichtlich des Gebiets und des einzusetzenden Systems selbst Vorkehrungen geschaffen werden, die einen reibungslosen Aufbau des Systems ermöglichen. So kann z.B. im Vorfeld sichergestellt werden, dass die Hochwasserschutzlinie keine störenden Verbauungen enthält und die örtliche Topografie den Einsatz des Systems erlaubt. Es kann und muss im Vorfeld des Ereignisses ein Notfallplan erstellt werden, in dem in Abhängigkeit von dem zu erwartenden Wasserstand der Aufbauzeitpunkt, die Handhabungen zum Systemaufbau und die einzurichtenden Kontrolldienste und Sperrzonen vermerkt sind. Darüber hinaus

ist es möglich, das System entsprechend der zu erwartenden Belastungen zu bemessen. Hierzu kann unter Umständen auch die gesonderte Anbringung eines Schutzes gegen Treibgutprall gehören. Ein weiterer Vorteil des planmäßigen Einsatzes besteht darin, dass die Systemlagerung nah am Einsatzort erfolgen kann und somit an das Gebiet ebenso wie an das System angepasstes Transportgerät zur Verfügung gestellt werden kann.

Beim notfallmäßigen mobilen ortsungebundenen Hochwasserschutz sind im Vorfeld keine oder nur wenige Randbedingungen zum Einsatzort bekannt. Hierzu gehören Untergrundverhältnisse hinsichtlich geotechnischer Belastbarkeit und Wasserdurchlässigkeit, Topografie, bestehende Verbauten wie Rohrdurchlässe und Mauern sowie Umläufigkeiten wie Kanalsysteme und Grabendurchlässe. Es ist somit nicht möglich, das System oder das Gebiet im Vorfeld des Ereignisses an den Einsatz anzupassen und eine Bemessung des Systems entsprechend der zu erwartenden Bedingungen vorzunehmen. Darüber hinaus muss der Systemaufbau kurzfristig durch den Einsatzleiter konzipiert werden. Aus diesen Gründen wird für den notfallmäßigen, örtlich nicht geplanten Einsatz eine maximale Stauhöhe von 0,6 m empfohlen (VKF-BWG, 2004; BWK, 2005).

### Systematisierung mobiler Hochwasserschutzsysteme

In Abb. 1 ist ein Gesamtüberblick über die verschiedenen Ausbildungen mobiler Hochwasserschutzsysteme gegeben. Unterschieden wird hierbei in ortsgebundene Systeme, die vollständig oder teilweise vormontiert sind und in ortsungebundene Systeme. Neben klassischen Systemen, wie Dammbalkensysteme, bewegliche Wände und Sandsackverwallungen können auch Masse-, Klapp- und Behältersysteme im mobilen Hochwasserschutz eingesetzt werden. Eine Sonderstellung nehmen die wassergefüllten Behältersysteme ein, deren Einsatz im mobilen Hochwasserschutz bisher sehr begrenzt ist, obwohl sie hinsichtlich der Aufbauzeit und Ressourcennutzung entscheidende Vorteile aufweisen. Im Folgenden wird auf diese Systeme näher eingegangen.

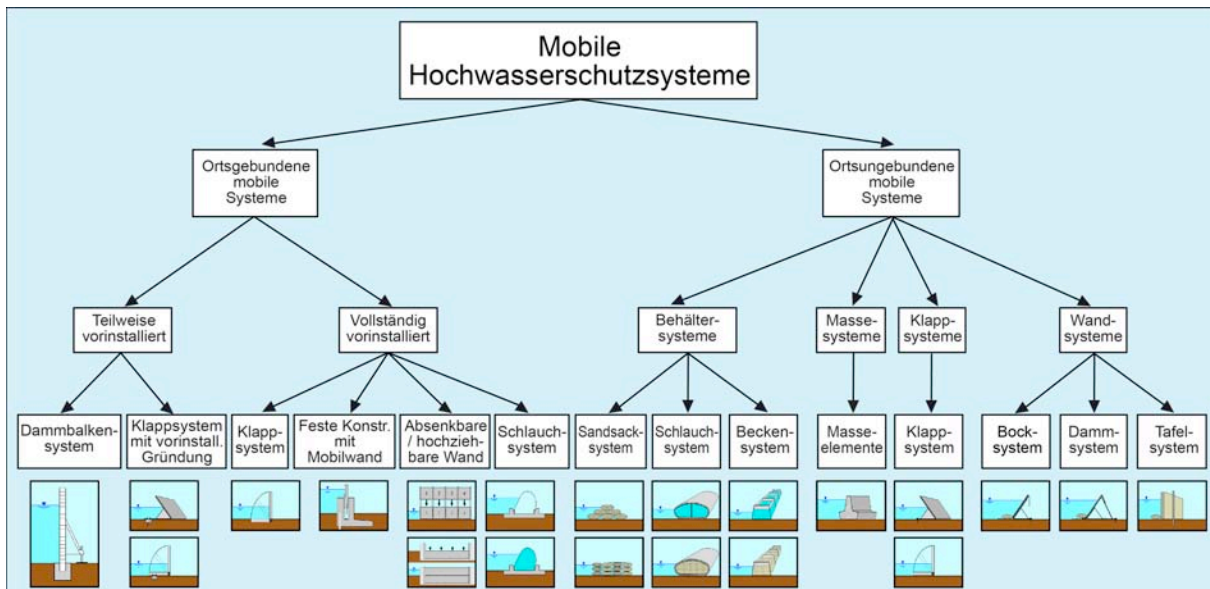


Abb. 1: Einteilung von temporären Hochwasserschutzsystemen

## Schlauchsysteme für den mobilen Hochwasserschutz

Schlauchsysteme für den mobilen Hochwasserschutz können ortsgebunden oder ortsungebunden ausgeführt werden (siehe Abb. 1). Ein kurzer Einblick in die generelle Ausführung ortsgebundener Schlauchsysteme erfolgt anhand der Erfahrungen aus dem Wehrbau. Im linienförmigen Hochwasserschutz werden sie bisher kaum eingesetzt.

Ortsungebundene Schlauchsysteme für den planmäßigen oder notfallmäßigen Einsatz sind in den letzten Jahren in unterschiedlicher Form entwickelt worden und sind teilweise auch bereits im Hochwasserschutz im Einsatz. Anhand der im Kooperationsprojekt HWS-Mobil bei der Entwicklung und den Tests ortsungebundener wassergefüllter Schlauchsysteme gewonnenen Erfahrungen werden nachfolgend Möglichkeiten und Grenzen der Konstruktionen aufgezeigt.

### Ortsgebundene Schlauchkonstruktionen

Eine breite Anwendung finden ortsgebundene Schlauchkonstruktionen international seit rund fünfzig Jahren als Schlauchwehre im Flussbau. Hierbei handelt es sich um fest installierte Schlauchbahnen, die je nach Abflussmenge zum Erreichen eines einheitlichen Stauziels über Pumpanlagen mit Wasser oder Luft befüllt oder entleert werden. Es werden üblicherweise Elemente von 2 m Höhe und 100 m Länge bis zu 6 m Höhe und 20 m Länge eingesetzt (Satujo). In Mehrfeld-Ausführung, jeweils mit Zwischenpfeilern ausgestattet, sind die Wehranlagen in unbegrenzter Länge realisierbar.

Ortsgebundene Systeme aus Schlauchbahnen sind am Boden auf Grundplatten und seitlich in Pfeilerbauwerken über Befestigungsschienen eingefasst, wobei der Hauptteil der auftretenden Lasten in den Untergrund abgetragen wird. Die Schlauchbahn besteht aus dem Verbund eines Gewebes und eines elastischen Materials, vorzugsweise Gummi. Die Gewebeeinlage dient zur Lastaufnahme und Formerhaltung, das elastische Material zur Dichtung und zum Schutz vor Abrieb. Der Betrieb im Winter auch bei mehrere Wochen andauernden Lufttemperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  stellt nach Oberleitner, Vischer (1983) auch bei wassergefüllten Schlauchwehren kein Problem dar, da die Wassertemperatur der Flüsse in der Regel deutlich über  $0^{\circ}\text{C}$  liegt. Die automatische Funktionstüchtigkeit der Schlauchverschlüsse wird demnach nicht beeinflusst. Lokale Löcher an der Haut der Schlauchbahn durch Stiche oder Schnitte können in einfacher Weise durch Kaltverklebung, Pfropfen oder schraubbare Dichtelemente beseitigt werden (Oberleitner, Vischer 1983).

Die Erfahrungen im Wehrbau zeigen, dass die Dichtwirkung und Abriebbeständigkeit gewebeverstärkter, gummi-elastischer Werkstoffe hoch ist. Es kann von einer Lebensdauer von 25 Jahren ausgegangen werden (Scheibenz, 2011), wobei nach Satujo 2.000 untersuchte Bauwerke eine Lebensdauer von über 40 Jahren aufweisen. Probleme bei Treibgutstoß und Eisgang sind bei ausreichender Materialstärke wegen der Fähigkeit zur elastischen Reaktion gering. Grundsätzlich ist der Einsatz von Schlauchwehren, verglichen mit massiven Beton- oder Stahlwehrkörpern, kostengünstig.

In Deutschland werden ortsgebundene Schlauchsysteme überwiegend als bewegliche Wehranlagen in Flüssen insbesondere zur Gewährleistung einer ausreichenden Stauhöhe für Wasserkraftanlagen eingesetzt. Eine in erster Linie für die Fahrgast- und Sportschiffahrt im Jahr 2006 fertig gestellte wassergefüllte Schlauchwehranlage befindet sich in Marklendorf an der Aller, Abb. 2. Das weltweit größte aufblasbare Sturmflutsperrwerk, das Sperrwerk Ramspol, befindet sich in Kampen am IJsselmeer in den Niederlanden (Abb. 3). Von den heute rund 70 bestehenden Schlauchwehranlagen in Deutschland werden rund zwei Drittel mit Wasser- und ein Drittel mit Luftfüllung betrieben (Gebhardt, 2007).

Schlauchwehre weisen gegenüber massiven Wehranlagen aus Beton oder Stahl die folgenden Vorteile auf:

- Geringe Korrosionsprobleme
- Einfacher konstruktiver Aufbau mit stufenloser Einstellung der Stauhöhe

- Gleichmäßiger Eintrag der Lasten in den Untergrund
- Einfacher Bau gekrümmter Wehranlagen
- Im Hochwasserfall sichere Entfernung des Wehrkörpers aus dem Flussquerschnitt möglich
- Einfache Sanierung alter Wehranlagen
- Geringe Kosten



Abb. 2: Inbetriebnahme der Wehranlage Marklendorf an der Aller (links) und Klemmschienen des Wehrs im Modell (rechts) (Meine, 2007)

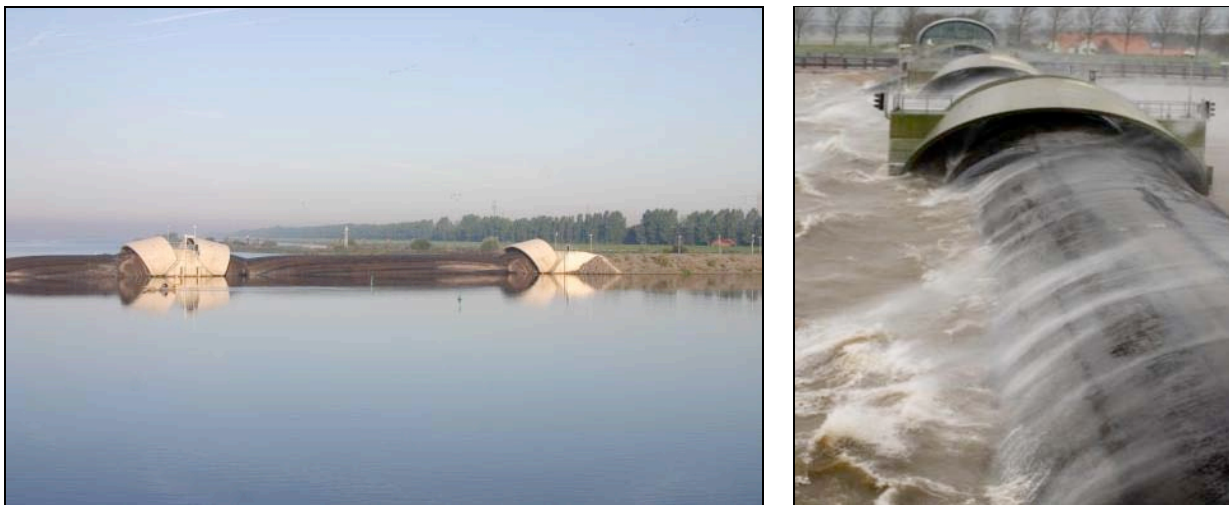


Abb. 3: Sturmflutsperrwerk Ramspol am IJsselmeer in den Niederlanden (DMC, 2011)

Die genannten Vorteile der Schlauchwehre lassen sich jedoch nicht ohne Einschränkungen auf den Einsatz gewebeverstärkter Schlauchbahnen im Hochwasserschutz übertragen. Die Verschlussfunktion wird im Hochwasserschutz gerade bei extrem hohen Wasserständen und Belastungen gefordert, so dass die Schlauchbahn die Sperrfunktion sicher bei Höchstbelastungen garantieren muss, während dies bei Wehrverschlüssen gerade nicht der Fall ist. Zudem ist bei einem in Ruhestellung außerhalb des Wasserkörpers befindlichen linienförmigen Hochwasserschutz die Schlauchbahn gegen Belastung aus Verkehr etc. zu schützen und somit mit einer Schutzkonstruktion zu versehen, die bei Inbetriebnahme automatisch oder manuell zu entfernen ist. Während die Schläuche im Wehrbetrieb in der Regel gefüllt sind, befinden sie sich beim Sperrwerksbetrieb in der überwiegenden Zeit in Ruhestel-

lung gefaltet in einer Sohlische. An den Knickpunkten können deshalb überdurchschnittliche Schwächungen des Materials auftreten.

### **Ortsungebundene Schlauchsysteme**

Ortsungebundene Schlauchsysteme bestehen aus einer Hülle aus Textilien oder Kunststoff, ggf. einer Rahmenkonstruktion sowie einem Füllmaterial. Für die Füllung kommt in erster Linie Wasser in Frage. Eine Luftfüllung ist wegen des Auftriebs und der fehlenden Verankerungsmöglichkeit der Konstruktion nicht möglich und eine Sand- oder Sand-Wasser-Gemisch-Füllung ist nur dann anzuraten, wenn die Konstruktion nicht wieder verwendbar ausgeführt wird und wenn entsprechendes Füllgerät und Füllmaterial zur Verfügung stehen. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf ortsungebundene wassergefüllte Konstruktionen.

Bei wassergefüllten Schlauchkonstruktionen ist eine anfängliche Luftfüllung am Einsatzort zur Ausrichtung und Kopplung der Einzelelemente in der Regel sinnvoll und zumeist auch notwendig. Während die Lage einer luftgefüllten Konstruktion leicht korrigierbar ist, ist dies bei einer auch nur mit einer geringen Wassermenge gefüllten Konstruktion nicht möglich. Bei zunächst mit Luft zu befüllenden Konstruktionen sind an der Systemoberseite zwingend Öffnungen zum Entweichen der Luft bei der folgenden Wasserfüllung anzuordnen. Die zur Luft- und Wasserfüllung einzusetzenden Pumpen müssen eine an die Systemgröße angepasste Leistung aufweisen, sie sind mit den passenden Kupplungen bzw. Adapterstücken auszustatten, und sie sind unter Berücksichtigung des Ausfalls einzelner Geräte redundant vorzuhalten.

Bei einem ortsungebundenen planmäßigen Einsatz kann der Einsatzort konstruktiv vorbereitet werden, und seitliche Befestigungsschienen an Endpfeilern und im Boden eingelassene Haltepunkte können eingesetzt werden. Beim notfallmäßigen Einsatz sind diese Vorkehrungen nicht leistbar und die örtliche Fixierung erfolgt lediglich durch die Massenwirkung der Wasserfüllung. Ggf. werden Erdnägeln oder Dübel zur Fixierung verwendet, deren Anwendung jedoch je nach Untergrund Schwierigkeiten bereiten kann. Unbefestigte Untergründe sind bei Hochwasser oftmals so stark durchweicht, dass Erdnägeln eine nur bedingte Haltekraft haben, wohingegen das Einbringen von Dübeln in befestigten Untergründen zu einer Beschädigung der vorhandenen Infrastruktur führt und ggf. rechtliche Probleme nach sich zieht. Ebenso ist ein zerstörungsfreier Anschluss an vorhandene Mauern oder ähnliche Bauwerke zum seitlichen Abschluss der Konstruktion vorteilhaft und kann durch ein Einpressen der Konstruktion durch ihr Eigengewicht oder durch eine Sandsackverwallung erstellt werden. Im notfallmäßigen Einsatz entsprechender Konstruktionen ist immer ein gewisses Improvisationstalent gefragt, und es ist ratsam, Materialien wie Moosgummimatten und Sandsäcke zur Herstellung von Wandanschlüssen vorzuhalten.

Die bei Schlauchsystemen verwendeten Materialien sind flexibel und passen sich weitgehend dem Untergrund an. Kleinere Rinnen und Fugen können jedoch in der Regel nicht durch die Konstruktion selbst gedichtet werden und führen insbesondere bei größeren hydraulischen Gradienten zu signifikanten Unterläufigkeiten. Zur Dichtung sind ggf. Hilfsmittel wie flexible wasserdichte Unterlegmatten oder bei lokalen Undichtigkeiten Sandsackverbauten (beispielsweise Quellkaden) zu verwenden.

Weitere Unterkonstruktionen sind in der Regel nicht erforderlich, jedoch muss der Untergrund tragfähig sein, es muss eine genügende Haftreibung bestehen, und es dürfen keine scharfen Kanten vorhanden sein. Ein leicht kurviger Verlauf der Schutzlinie ist in der Regel problemlos realisierbar. Für kleinere Krümmungsradien werden ggf. gesonderte Winkel- bzw. Eckelemente verwendet. Durch die Kopplung einzelner Schlauchelemente sind beliebig lange Schutzbauwerke herstellbar.

Schwierigkeiten können bei der örtlichen Fixierung der geschlossenen mobilen Hochwasserschutzdämme auftreten. Insbesondere bei dynamischer Belastung können zylindrisch geformte Elemente



zur Seite rollen, und ihre Lage kann sich unkontrollierbar verändern. Dem kann beispielsweise durch die Verwendung zweier oder mehrerer wassergefüllter Innenschläuche in einem diese Innenschläuche zusammenfassenden Außenschlauch bzw. Außennetz entgegengewirkt werden (Abb. 4). Infolge der Reibungswirkung zwischen den Innenschläuchen sowie zwischen den Innenschläuchen und der Außenhaut werden die Verschiebungen des Gesamtsystems verringert.

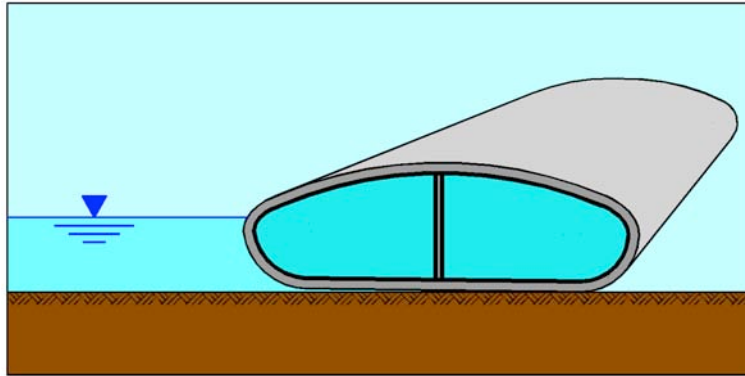


Abb. 4: Beispielhafte Konstruktion einer Schlauchbarriere mit zwei Innenschläuchen und einem Außenschlauch

Eine Lagestabilisierung des Schlauchsystems kann auch durch eine spezielle Formgebung mit Hilfe von Innenverstärkungen (Abb. 5 und Abb. 6) oder durch eine Kopplung mit einem zweiten Schlauch außen erfolgen (Abb. 7 und Abb. 8). Die Entwicklung und Optimierung der dargestellten Systeme erfolgte im Kooperationsprojekt HWS-MOBIL. Die Konstruktionen werden von den am Vorhaben beteiligten Firmen Karsten Daedler (Trittau) und Optimal (Menden) hergestellt.



Abb. 5: In Entwicklung befindliches Schlauchsystem mit Innenverspannungen der Firma Karsten Daedler, Trittau (Foto: M.W. Jürgens)



Abb. 6: In Entwicklung befindliches Schlauchsystem mit Innenverspannungen der Firma Karsten Daedler, Trittau, beim Test an der Tideelbe im Juni 2010 (Foto: M.W. Jürgens)

Die Länge der Einzelschläuche von wassergefüllten Schlauchsystemen variiert zwischen 5 und 60 m. Zur Erstellung einer längeren Schutzlinie werden die Einzelschläuche miteinander gekoppelt. Hierbei ist auf einen weitgehend wasserdichten Anschluss der Elemente zu achten. Eine kraftschlüssige Verbindung der Elemente untereinander ist insbesondere dann erreichbar, wenn sich die Elemente bei Füllung durch ihr Eigengewicht gegeneinander pressen.

Vorteile beim Einsatz mobiler Schlauchsysteme bestehen in der vergleichsweise einfachen und schnellen Handhabung, im geringen Materialeinsatz, im Verzicht auf fest installierte Elemente und in den vergleichsweise geringen Kosten.

Nachteilig kann eine ggf. systemabhängige eingeschränkte Lagestabilität der Konstruktion sein und es sind Leckagen insbesondere bei doppel- oder mehrwandigen Systemen nur schwer zu lokalisieren und zu reparieren. Ggf. muss der Einsatz eines Ersatzschlauches erwogen werden. Hierbei können jedoch Probleme beim Einfügen desselben auftreten, da die Kopplung der Schläuche in der Regel einseitig, jeweils nach der Füllung des vorherigen Schlauches, erfolgt. Bei längerer Standzeit muss die leicht verletzbare Schlauchbarriere bewacht werden, um Vandalismus vorzubeugen.

Weiterhin ist die Konstruktion wegen des Füllmaterials Wasser relativ leicht. Insofern kann sie höchstens einen Wasserstand stauen, der dem Innenwasserstand des Systems entspricht. Eine schadfreie Überströmung von wassergefüllten Schlauchkonstruktionen ist nicht möglich. Dies kann nur bei am Grund vollständig befestigten ortsfesten Konstruktionen, z.B. Schlauchwehren, realisiert werden.

In der Regel versagen wassergefüllte Schlauchkonstruktionen jedoch bereits bei Stauwasserständen, die deutlich unterhalb der Innenwasserstände im System liegen. Dies ist in den oftmals geringen Haftreibungskoeffizienten zwischen Systemmaterial und Untergrund begründet. Im Kooperationsvorhaben HWS-Mobil haben Tests auf glatten Betonböden bei Konstruktionen aus gewebeverstärktem PVC-Planenmaterial teilweise lediglich Stauhöhen von 70% des Innenwasserstands ergeben. Wird der system- und materialabhängige Grenzwert überschritten, reicht die Haftreibung des Systems nicht aus, dem seitlichen Wasserdruck zu widerstehen und die Konstruktion verrutscht seitlich. Da der Gleitreibungskoeffizient immer geringer als der Haftreibungskoeffizient ist, verringert sich die Tendenz zum seitlichen Verrutschen nur dann, wenn die Konstruktion seitlich fixiert ist oder wenn sie nicht



geradlinig, sondern zur Wasserseite hin konvex verlegt wurde und sich so bei Verrutschen selbst stabilisieren kann. Generell ist jedoch davon auszugehen, dass bei einem signifikanten Verrutschen der Konstruktion bei Einstau ein Versagen unmittelbar bevorsteht, da die wirkenden Kräfte durchaus die Materialfestigkeiten überschreiten können bzw. das Verrutschen der Konstruktion nicht verhindert wird und so signifikante Wasserdurchtritte an den Koppelstellen der Elemente und/oder an den Systemenden auftreten können.



Abb. 7: In Entwicklung befindliches Doppelschlauchsystem der Firma Optimal, Menden (Foto: M.W. Jürgens)



Abb. 8: In Entwicklung befindliches Doppelschlauchsystem der Firma Optimal, Menden, beim Test an der Tideelbe im August 2010 (Foto: M.W. Jürgens)

Von einigen Herstellern und Anwendern werden wassergefüllte Schlauchkonstruktionen wasserseitig mit Planen versehen, die zu einem Druckabbau unterhalb der Konstruktion und somit zu einer Verminderung der Auftriebswirkung führen sollen. Von einer Wirksamkeit der Planen kann nur dann ausgegangen werden, wenn sie so verlegt werden, dass keine oder nur minimale Wasserdurchtritte unter die Plane erfolgen. Da eine vollständige Dichtheit der Plane am Rand und an den seitlichen Anschlüssen wegen Unebenheiten im Gelände und der Planensteifigkeit nicht realisiert werden kann, kann eine

Dichtwirkung nur dann erzielt werden, wenn das unter die Plane eindringende Wasser schneller abgeführt wird oder versickern kann, als es in den Planenbereich zutritt. Bei Asphalt- und Betonuntergründen ist dies ebenso wenig der Fall wie bei wassergesättigten Böden. Aus diesem Grund muss bis auf wenige Ausnahmefälle davon ausgegangen werden, dass wasserseitig verlegte Planen keine dichtende oder stabilisierende Wirkung von Hochwasserschutzkonstruktionen haben. Dies wurde in Tests im Kooperationsvorhaben HWS-Mobil im Versuchsstand der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) bestätigt (Abb. 9).



Abb. 9: Test mit wasserseitig vorgelegter Plane auf undurchlässigem Grund im Versuchsstand der TUHH beim Test von Konstruktionen im Kooperationsvorhaben HWS-Mobil im April 2011 (Foto: Koppe)

Neben den statischen Belastungen aus Wassereinstau sind auch dynamische Belastungen aus Wellen, Strömung und Treibgutstoß beim Einsatz von Hochwasserschutzsystemen zu beachten. Wegen der Auftriebsproblematik wassergefüllter Schlauchkonstruktionen eignen sich diese nicht für den Einsatz in Gebieten mit stärkeren Wellenbelastungen, da diese zu einem örtlich begrenzten Verrutschen und Aufschwimmen der Konstruktion führen und die hierbei wirkenden Lasten in der Regel die Materialfestigkeiten überschreiten und zum Versagen von beispielsweise Koppelstücken führen können. Ebenso wirken sich Strömungen und Treibgutstoß verringern auf schadfrei zu realisierende Einstauhöhen aus.

Generell ist ein rückversetzter Einsatz der Konstruktionen außerhalb von Bereichen mit starken Strömungen, Wellenschlag und Treibgutstoß vorteilhaft. Es kann jedoch festgestellt werden, dass wassergefüllte Konstruktionen wegen ihrer Flexibilität bei Treibgutstoß recht gute Standfestigkeiten aufweisen. Versuche im Rahmen des Verbundvorhabens HWS-Mobil im Versuchsstand an der TUHH haben gezeigt, dass selbst Treibgutstöße von Holzbündeln mit einem Gewicht von einer Tonne und einer Anprallgeschwindigkeit von über 2 m/s von den Konstruktionen schadfrei aufgenommen werden können (Abb. 10). Es besteht allerdings die Gefahr, dass scharfe Kanten des Treibguts die Planenhülle durchschneiden und sich die Konstruktion somit bis in Höhe des Außenwasserstands entleert. Eine weitere Entleerung findet wegen des hydraulischen Druckausgleichs nicht statt, so dass das schadhafte Element durch Nachbarelemente in seiner Position gehalten werden kann und sich lediglich die Sickerwassermengen im Bereich des schadhafte Elements erhöhen.





Abb. 10: Aufpralltest im Versuchsstand der TUHH beim Test einer wassergefüllten Schlauchkonstruktion im Kooperationsvorhaben HWS-Mobil im April 2011 (Foto: Koppe)

Ein Einsatz wassergefüllter Barrieren bei Frost kann als unproblematisch angesehen werden. Durchfrierungstests von wassergefüllten Schlauchkonstruktionen in den Wintern 2009/10 und 2010/11 im Kooperationsprojekt HWS-Mobil haben selbst nach wochen- und monatelangen Dauerfrostbelastungen keine Schäden an System und Material gezeigt (Abb. 11). Es ist lediglich zu beachten, dass die Konstruktionen bei Frost nicht entleert werden können, sondern bis zum Erreichen der Tauperiode an Ort und Stelle verbleiben müssen.



Abb. 11: Wassergefüllter und mit Sandsäcken beschwerter Prototyp nach mehrmonatiger Frostperiode im Januar 2011 auf dem Gelände der Firma Optimal in Menden (Foto: B. Koppe)

## Zusammenfassung und Ausblick

Wassergefüllte Schlauchkonstruktionen spielen bisher im linienförmigen ortsgebundenen Hochwasserschutz keine Rolle. Entsprechende Konstruktionen sind jedoch mit Wasser- oder Luftfüllung als Wehrschwellen oder als Sturmflutsperrwerk im Einsatz. Die Schlauchmaterialien von Wehrverschlüssen bestehen in der Regel aus gewebeverstärkten Gummibahnen, die eine hohe Widerstandskraft gegen äußere Einwirkungen und eine lange Lebensdauer besitzen.

Auch ortsungebundene wassergefüllte Schlauchkonstruktionen sind bisher im Hochwasserschutz nur im Ausnahmefall im Einsatz. Sie bieten jedoch insbesondere im notfallmäßigen Einsatz erhebliche Vorteile, da im Vergleich zu Sandsäcken, aber auch zu Tafel- oder Bocksystemen, nur sehr geringe Massen zum Einsatzort gebracht werden müssen und der Auf- wie Abbau schnell und mit wenig Personal erfolgen kann. Problematisch ist jedoch die Gefahr des seitlichen Verrutschens und des Aufschwimmens bei hohen Stauhöhen sowie ihre Vulnerabilität gegenüber Vandalismus. Hieraus resultiert das oftmals nur geringe Vertrauen, das den Konstruktionen entgegen gebracht wird, und somit die sehr begrenzten Einsatzzahlen.

Im Kooperationsvorhaben HWS-Mobil durchgeführte Feld- und Labortests haben gezeigt, dass die Möglichkeit einer Überströmung entsprechender, lediglich durch die Massenwirkung des Füllmaterials örtlich fixierter Konstruktionen beim Einsatz als Hochwasserschutzbarriere auszuschließen ist. Einerseits schwimmen die Konstruktionen wegen der Auftriebswirkung bei Volleinstau auf, was auch nicht durch wasserseitig platzierte Planen verhindert werden kann. Darüber hinaus tritt ein Verrutschen der Konstruktion in der Regel bereits bei Stauwasserständen deutlich unterhalb des Volleinstaus ein, da der Haftreibungskoeffizient üblicherweise signifikant kleiner 1 ist. In den Tests auf glattem Untergrund und mit Konstruktionen aus gewebeverstärktem PVC-Material wurde ein Verrutschen je nach Systemausbildung bei 70 bis 97% der Füllhöhe beobachtet. Es wird dringend empfohlen, wassergefüllte Schlauchkonstruktionen vor Definition von zu realisierenden Einstauhöhen sorgfältig zu testen. Die Tests sollten möglichst auf verschiedenen Untergründen durchgeführt werden, um praxisnahe Ergebnisse zu erhalten.

Darüber hinaus zeigen die im Projekt HWS-Mobil durchgeführten Tests an der Tideelbe, dass sich ortsungebundene wassergefüllte Schlauchkonstruktionen nicht zum Einsatz in Gebieten mit stärkerer Seegangsbelastung eignen, da dynamische Lasten punktuell zu einer Überlastung und damit zu einem lokalen Aufschwimmen und Verschieben des Systems führen können, in dessen Folge ein Materialversagen nicht ausgeschlossen werden kann. Ein Einsatz in Frostperioden ist dagegen unproblematisch, sofern eine Füllung der Konstruktionen sichergestellt werden kann.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Arbeiten im Kooperationsvorhaben HWS-Mobil gezeigt haben, dass sorgfältig entwickelte und getestete ortsungebundene wassergefüllte Schlauchkonstruktionen sinnvoll und sicher als Sandsackersatzsysteme für Stauhöhen von bis zu 0,6 m eingesetzt werden können. Diese Stauhöhe entspricht dem für Notfallsysteme empfohlenen Wert.

## Danksagung

Das Forschungsprojekt HWS-MOBIL wurde gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Die Autorinnen bedanken sich für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung der Arbeiten.

Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Vincent Gabalda, der die im Versuchsstand der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) durchgeführten Tests der Prototypen mit Rat und Tat unterstützt hat.

## Referenzen

- BWK, 2005: "Mobile Hochwasserschutzsysteme - Grundlagen für Planung und Einsatz". Merkblatt 6, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Sindelfingen.
- DMC, 2011: Informationen der Website von Delta Marine Consultants, Gouda: <http://www.dmc.nl/activities/infrastructure/ramspol-storm-surge/item70> (Stand April 2011).
- Gebhardt, M., 2007: "Stand der Schlauchwehrtechnik, Anwendungsbeispiele und Betriebserfahrungen". Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 91 (2007), Karlsruhe.
- Koppe, B., 2002: "Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste" (Dissertation). Rostocker Berichte aus dem Fachbereich Bauingenieurwesen, Heft 8 Universität Rostock, 2002.
- Oberleitner, P.; Vischer, D., 1983: "Schlauchwehre". wasser, energie, luft – eau, énergie, air, 75. Jg. Heft 4, Baden, Schweiz.
- Meine, G., 2007: " Bundeswasserstraße Aller – Schlauchverschlüsse für das Allerwehr Marklendorf - Bau- und Funktionsbeschreibung, erste Erfahrungen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 91 (2007), Karlsruhe.
- Satujo: "Barrages Gonflables Rubber Dams". Firmenbroschüre von SATUJO SA, Boisset Gaujac, Frankreich.
- Scheibenz, 2011: Informationen auf der Website [www.schweinbenz.com/html/bau\\_schlauchwehr.htm](http://www.schweinbenz.com/html/bau_schlauchwehr.htm) (Stand April 2011).
- VKF / BWG, 2004: "Entscheidungshilfe Mobiler Hochwasserschutz". Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen, Bern; Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel.