



**Universität Rostock**  
**Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät**  
**Institut für Umweltingenieurwesen**  
**Fachgebiet Küstenwasserbau**

**Entwicklung und Zertifizierung eines mobilen Wasserquader-  
Systems zum Dammbau für den Hochwasser- und  
Katastrophenschutz, Phase 1**

**Abschlussbericht**

**Rostock**

April 2007



## **1. Zielsetzung des Projekts**

Ziel des Projekts "Entwicklung und Zertifizierung eines mobilen Wasserquader-Systems zum Dammbau für den Hochwasser- und Katastrophenschutz" in Phase 1 und Phase 2 ist es, aus Kunststoffdichtungsbahnen bestehende wassergefüllte Konstruktionen zu entwickeln, die sicher sowie Personal, Material, Transport und Zeit sparend im abwehrenden und im vorbeugenden Hochwasserschutz eingesetzt werden können. Dies soll durch die Ausbildung von lang gestreckten, jedoch im Querschnitt rechteckigen und damit lagestabilen Bauteilen erreicht werden. Darüber hinaus sollen weitere Einsatzmöglichkeiten der Konstruktion im Umweltschutz, als Lagereinheit oder als temporäres Bauelement überprüft werden. Die neuartige Konstruktion zum sicheren und effizienten Einsatz im abwehrenden und vorbeugenden Hochwasserschutz soll im Rahmen des Projekts geprüft und zertifiziert werden.

Die Zielsetzung der Projektphase 1 bestand in der Entwicklung und Erprobung eines Prototyp Wasserquaders (WQ) zur Ermittlung des grundsätzlichen Verhaltens bei simulierter seitlicher Belastung und zur Erprobung des Befüll- und Entleerungssystems. In der Phase 2 sollen dann ein Fertigungsmuster konzipiert und erweiterte Einsatzmöglichkeiten untersucht werden. Darüber hinaus soll die Vorstellung der Konstruktion im Fach- und Anwenderkreis erfolgen.

Die Projektphase 1 wurde vom Antragsteller Firma Sembritzky Seil- und Hebetchnik Greifswald (Firma Sembritzky) gemeinsam mit dem Kooperationspartner Institut für Umweltwissenschaften, Fachgebiet Küstenwasserbau der Universität Rostock (UNiversität Rostock) bearbeitet. Fremdleistungen wurden vom TÜV Nord und vom THW Greifswald geleistet.

## **2. Projektablauf Phase 1**

Die Projektphase 1 beinhaltete eine Einarbeitungs-, Entwicklungs- und Testphase.

Die Universität Rostock wurde über den Projektbeginn durch den Antragsteller Firma Sembritzky verspätet informiert. Deshalb konnte das Projekt an der Universität Rostock erst mit 1,5-monatiger Verspätung begonnen werden, und die Projektlaufzeit Phase 1 betrug für die Universität Rostock lediglich 4,5 statt der geplanten 6 Monate.

Nach einer kurzen Einarbeitungsphase zur Einstellung der Mitarbeiter, Einrichtung der Arbeitsplätze und Beschaffung von Arbeitsmaterialien folgte planmäßig die Entwicklungsphase. Die Arbeiten der Universität Rostock schlossen hierbei die Auswahl und technologische Prüfung von geeigneten Materialien, insbesondere Geotextilien, sowie die Festlegung der Einsatzarten und der Anforderungen an das Wasserquader-System zum Einsatz im mobilen Hochwasserschutz ein. Darüber hinaus wurde die Firma Sembritzky bei den folgenden Arbeiten durch die Universität Rostock beratend unterstützt:



- Konzipierung des Entwicklungs- und Testprogramms
- Festlegung der erforderlichen geometrischen Parameter und Festigkeiten für den Einsatz der WQ im vorbeugenden und abwehrenden Hochwasserschutz
- Erprobung von Elementen der Befüllanlage
- Erprobung der Reibmatten
- Erprobung des ersten Prototyp WQ's zur Ermittlung des grundsätzlichen Verhaltens bei simulierter seitlicher Belastung und zur Erprobung des Befüll- und Entleerungssystems

In der abschließenden Testphase erfolgte die Erprobung des Funktionsmusters durch die Firma Sembritzky, wobei die Universität Rostock die fachtechnische Begleitung übernahm. Darüber hinaus wurde auf dem Third Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering in Tainan, Taiwan mit dem Programmschwerpunkt Coastal Hazard Mitigation von der Universität Rostock ein Vortrag zum Einsatz von mobilen Hochwasserschutzkonstruktionen in Stadtgebieten gehalten. Der in den zugehörigen Proceedings veröffentlichte Beitrag ist in Anhang 1 beigefügt. Das Interesse der taiwanesischen und chinesischen Fachkollegen an mobilen Sandsackersatzsystemen und deren Einsatzbereiche ist groß. Ein weitergehender fachlicher Austausch zu mobilen Hochwasserschutzsystemen ist im Rahmen einer Vorlesungsveranstaltung an der Cheng Kung University in Tainan, Taiwan im Herbst 2007 geplant.

### **3. Stand der Untersuchungen in der Phase 1, Ergebnisse**

Die Firma Sembritzky hat im Rahmen der Projektphase 1 vier Versuchsmodelle und ein Funktionsmuster Wasserquader erstellt. Hierzu waren verschiedene technische Schwierigkeiten, die unter anderem mit der Fertigung fester Klebe- und Schweißverbindungen in Zusammenhang standen, zu überwinden. Die Universität Rostock beriet die Firma Sembritzky bei der Entwicklung des Funktionsmusters insbesondere hinsichtlich der einzusetzenden Materialien, der erforderlichen Abmaßen und Festigkeiten, der Funktionalität der Konstruktion hinsichtlich sicherheitstechnischer Gesichtspunkte und Fragen des Handlings der Konstruktion beim Auf- und Abbau. Diese Aspekte sind von der Universität Rostock zusammenfassend in Form eines Anforderungsheftes (Anhang 2) zusammengefasst worden, das der Firma Sembritzky sowie dem TÜV Nord zur Verfügung gestellt wurde.

Das Funktionsmuster WQ wurde auf dem Gelände des THW Greifswald getestet. Hierzu wurde ein auf einer Seite offenes Becken aus Betonplatten mit den Innenabmessungen von rund  $H = 1,8$  m,  $B = 4,1$  m,  $L = 6,0$  m aufgebaut und mit Teichfolie gedichtet. Der WQ wurde in einem Abstand von rund 1 m vor der Rückwand zur Absperrung der offenen Seite positioniert. Nach Füllung des WQ wurde das entstandene Becken ebenfalls mit Wasser gefüllt.



Der Test des Funktionsmusters hat ergeben, dass die Konstruktion unter den gegebenen Randbedingungen (feste Unterlage, seitliche Einspannung, einseitiger äußerer Wasserdruck) ein formstabiles Dammelement bildet, eine Stauhöhe von über 1,0 m dichtet und mit konventionellen Feuerweerpumpen zu befüllen ist. Bedingt durch den Testaufbau konnte nicht überprüft werden, ob die Drainagematten eine Fixierung der Konstruktion im Grenzfall (Einstauhöhe gleich Konstruktionshöhe) bewirken. Schwierigkeiten entstanden bei der Befüllung und Entleerung, da die Größen der Befüll- und Entlüftungsöffnungen nicht aufeinander angepasst waren.

Der Abschlussbericht der Firma Sembritzky vom Dezember 2006 gibt in Kapitel 3 Hinweise auf noch zu lösende Aufgaben zur Entwicklung des WQ, wie der Kopplung der Innen- und Außenstruktur des WQ, der materiellen Verstärkung der Boden- und Wasserseite sowie der Anordnung von Ablassöffnungen. Zusätzlich zu diesen Maßnahmen sind zur Entwicklung des WQ insbesondere die folgenden Punkte zu bearbeiten:

- Die Konstruktion ist optional für eine vorherige Luftfüllung auszulegen, die insbesondere im Falle einer Deichaufkantung wegen der genauen örtlichen Platzierung erforderlich werden kann.
- Weitergehende Prüfung, ob eine Druckbefüllung der Konstruktion tatsächlich notwendig ist. Die Druckbefüllung lässt den Wasserquader als festen Körper mit definierter Form fungieren. Im Gegenzug steigt die Materialbelastung an, die Ventile müssen aufwändiger gestaltet werden und die Dichtheit gegen den Boden und die seitlichen Begrenzungen nimmt ab. Ein drucklos gefüllter Körper passt sich besser an seine Umgebung an als ein mit Überdruck gefüllter.
- Weitergehende Untersuchungen zum Füllschema, insbesondere hinsichtlich der sicheren Vermeidung einer 'schrägen' Füllung, in dessen Zuge der Wasserquader ins Kippen geraten bzw. nicht vollständig gefüllt werden könnte. Durch eine verbesserte Entlüftung kann möglicherweise bereits eine Optimierung des Füllvorgangs erreicht werden.
- Weitergehende Untersuchungen zur Anordnung erforderlicher Entlüftungsöffnungen, ggf. Abkehr von der strikten Quaderform und Anordnung eines auf einen Punkt zulaufenden Hochpunktes, an dem eine ausreichend große Entlüftungsöffnung angeordnet werden kann – definierte Entlüftung über eine Öffnung.
- Untersuchung der Verbindung der Drainmatten mit dem WQ zur Vermeidung eines plötzlichen seitlichen Verrutschens der Konstruktion bei zu kehrenden Hochwasserständen, die die geplante Stauhöhe übersteigen.

Technische Risiken sind mit den oben aufgeführten Prüfungen und Untersuchungen nicht verbunden.

Das Ziel der Phase 1, die Entwicklung eines Prototyp WQs und dessen Erprobung unter Realbedingungen, ist nicht vollständig erreicht worden. Der Prototyp kann in der



vorliegenden Form nicht im Hochwasserschutz eingesetzt werden, insbesondere da die Formstabilität der Konstruktion bei Befüllung nicht garantiert werden kann. Es besteht die Gefahr, dass die Konstruktion bei der Befüllung in Schräglage gerät und die angestrebte Stauhöhe nicht erreicht werden kann. Zudem ist die Befüllung und Entleerung der Konstruktion für einen sicheren Einsatz zu optimieren und die Kopplung und Wirkung von Drainmatten gegen seitliches Verrutschen ist zu untersuchen.

#### **4. Zusammenarbeit mit dem Antragsteller und Ausblick**

Der Antragsteller Firma Sembritzky arbeitete in der Projektphase 1 unter schwierigen technischen Randbedingungen und konzentrierte sich in erster Linie auf die Umsetzung eigener Ideen zur Entwicklung des WQ. Von der Universität Rostock vorgeschlagene Entwicklungsalternativen wurden diskutiert, jedoch oftmals nicht in die technische Realisierung übernommen.

Von der Universität Rostock wird eine Fortführung des Projekts in der Phase 2 in gleicher Konstellation wie in Phase 1 als nicht sinnvoll erachtet. Stattdessen sollte aus Sicht der Universität Rostock eine Institution oder eine Privatfirma in die Arbeiten eingeschlossen werden, die Erfahrungen mit der Ausführung der erforderlichen Zuschnitt-, Klebe- und Schweißarbeiten aufweist und eine entsprechende technische Ausrüstung besitzt. Hierdurch könnte eine zeitnahe und technisch hochwertige Entwicklungsarbeit erfolgen.

Rostock, den 02. April 2007

Dr.-Ing. Peter Fröhle

Dr.-Ing. Bärbel Koppe

#### **Anhang**

Anhang 1: Beitrag in den Proceedings Third Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering National Cheng Kung University, Tainan November 8-16, 2006

Anhang 2: Einsatzbereich und Anforderungen an das Wasserquader-System zum Einsatz im mobilen Hochwasserschutz



### **Anhang 1**

Beitrag in den Proceedings Third Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Ocean Engineering National Cheng Kung University, Tainan November 8-16, 2006

## **Mobile flood protection systems for urban areas**

**Baerbel Koppe**

Coastal Engineering, Institute for Environmental Engineering, Rostock University  
[baerbel.koppe@uni-rostock.de](mailto:baerbel.koppe@uni-rostock.de)

**Ulrike Ode**

BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp  
[ode@bbg-lf.de](mailto:ode@bbg-lf.de)

### **Abstract**

Natural hazards have become natural disasters since people settle in flood areas. The need of protection is increasing with rising population density and concentration of valuables in low lying coastal and river areas in the last decades. Therefore, the demand for technical protection measures is growing.

Densely populated areas mostly offer little space for permanent flood protection schemes like dykes. On the other hand, space saving permanent measures like vertical flood walls cut off traffic lines and obstruct the view. Therefore, urban areas are often poorly protected against flooding despite of high concentrations of valuables on site.

Recently, more and more mobile protection schemes are on the market promising to fit both requirements: protection in case of flooding and open access to the floodplain in the remaining time. The protection systems differ in material, construction, height, and permanent facilities. They can be divided in structures made of sandbags, plates, concrete elements, basins, flaps, trestles, and geomembrane containers.

For practical use, a systematisation of the structures with regard to reliability, assembling time, purchase and maintenance costs is necessary. This paper shows weaknesses of mobile flood protection systems and presents a decision guide for the use of mobile structures.

## **1 Introduction**

Of all natural hazards throughout the world, floods are the most frequent, cause the highest economic damage and even cause the greatest number of fatalities. Between 1990 and 2005 nine of twenty most expensive flood events worldwide took place in China (Munich Re, 2005). The economic losses from Hurricane Katrina at the coast of New Orleans, USA, are estimated to exceed US\$ 100 billions. A breakdown into windstorm and water losses (storm surge on the coast, flooding of New Orleans) will not be possible, but Katrina can be assumed to be the most expensive flooding during this period. The second most expensive flooding took place in China in 1998 with more than US\$ 30 billions at the rivers Yangtse and Songhua. In Europe, the flooding at the rivers Elbe and Danube in 2002 caused damages of US\$ 21 billions (Munich Re, 2005).

Such major events cause public attention; nevertheless a fact that is frequently overlooked is that small local events cause approximately 50 % of total flood damage (Plate, Merz, 2001). Not only very rare extreme events cause damages, but also more frequent medium scale water levels. To avoid fatalities and damages it is necessary to select the appropriate measure of flood control for a specific site. Even with technical measures it is not possible to eliminate the risk but it is obvious that taking precautions pays off. Every Dollar spent on flood control measures can save many times this amount in damage. Thus, it is important to think about the right prevention strategy and practicable solutions.

Especially in densely populated areas often no space for creation of retention areas near rivers or even for construction of dykes is available. In addition, no homeowner wants a high dyke or flood protection wall in front of his window. In these cases, mobile flood protection measures may be a solution to fit both requirements: protection in case of flooding and open access to the floodplain over the remaining time. Mobile flood protection systems differ in material, construction, height, and permanent facilities. For practical use, a systematisation of the structures in regard of reliability, assembling time, purchase and maintenance costs is necessary.

In the following, basics of mobile flood protection systems are given, focussing on application and failure modes. Sources of flooding and corresponding early warning times are discussed initially because restraints of application of technical mobile flood protection are defined by available set up time and acting loads. Then, a systematisation of mobile flood protection systems is given accompanied by short descriptions of the different types. This is the basis for the development of a decision guide in form of a value benefit analysis. Exemplarily, a value benefit analysis is given for the use of selected systems at a specified site.

## **2 Basics of mobile flood protection systems**

Beneath system reliability a fast mobilisation of the protection line is essential for the use of mobile flood protection systems. Therefore, the constructions have to be as simple as possible enabling an easy handling in construction and use, and the elements must be stored near the usage site avoiding time-consuming transport.

Restrains to application of mobile flood protection systems arise from intensity of loads (water level, waves, currents, impact of floating obstacles and debris, working loads, vandalism) and lack of available early warning time. In the following, sources of flooding and corresponding early warning times as well as application and failure types of mobile flood protection systems are discussed.

### **2.1 Sources of flooding and corresponding early warning times**

In coastal areas high tides, storm surges and waves breaching defences can cause flooding. In rivers flooding occurs when the river catchment receives greater amounts of water than usual, e.g. through rainfall and/or melting snow. Other reasons for or strengthening factors of flooding can be overland flow, rising groundwater, blocked drains and sewers, and broken water pipes. Overland flow occurs when heavy rain falls on saturated or frozen ground or on paved areas, where drainage is poor. Flooding may occur when rainfall causes the groundwater surface to rise above ground surface, flooding low-lying areas. Drains and sewers can be blocked by heavy rainfall because of high water amounts and/or debris. Bursting water mains cause damages by locally acting high currents and washout of material.

Mobile systems can only be used for flood protection if the early warning time is long enough for making arrangements to raise the protection system in time. The early warning time is the time period between forecast and occurrence of high water level. Within this period early warning communication has to take place, helpers, material and transport has to be organised and the protection line has to be assembled. Normally, this procedure takes at least 24 hours. Shorter warning periods are an exclusion criterion for most mobile systems. Only mobile protection systems with very high automation level and collateral securities, e.g. double independent propulsion equipment and power supply, can be used if the early warning time is shorter than 24 hours.

In case of bursting water mains early warning time usually is zero and no prearrangements can be made. If the flooding is caused by weather conditions like wind and rain, early warning time depends on the quality of early weather forecast. Flooding due to blocked drains and sewers and flooding in small catchment areas, e.g. headwaters of rivers, is caused by local heavy rainfall. In these cases, no qualified early weather forecast is

possible and the early warning times for high water levels are only few minutes to few hours.

In the middle and lower reaches of rivers flooding is caused by long lasting steady rainfalls in greater catchment areas and early warning times reach one to several days.

In coastal areas early warning time depends on physical basics of water level rise. For example at the German Baltic Sea coast only small differences in low pressure tracks and seiches play an important role in water level rise. Both effects can hardly be forecasted in time and an early warning time of only 12 hours can be guaranteed (Koppe, 2002). At the German North Sea coast the astronomic tide plays an important role in water level rise. Depending on phasing early warning times are 12 to 18 hours (Mueller-Navarra, 2001).

## **2-2 Application types of mobile flood protection systems**

Different application types of mobile flood protection systems exist, like:

- systems with permanent elements, e.g. ground mountings (planned use)
- systems without permanent elements (planned use or use without any prearrangements)
- adapted systems to a predefined usage site (planned use)
- ready-made systems for different sites (planned use or use without any prearrangements)

If the use of mobile flood protection systems is planned for a defined site, prearrangements concerning permanent elements, ground preparation, storage, and plan of attack can be made. This improves reliability of the system and enables higher bearing pressures. Therefore, possible protection heights of mobile flood protection systems depend on the type of application (BWK, 2005; VKF-BWG, 2004).

Following maximum protection heights of mobile systems are suggested by BWK (2005):

- emergency use without any prearrangements on an undefined site: 0.6 m
- planned use on a defined site without permanent elements for load transfer: 1.2 m
- planned use on a defined site with permanent elements for load transfer: 5.0 m

### **2-3 Failure types of mobile flood protection systems**

Following failure types of mobile flood protection systems exist:

- sliding
- tilting
- stability failure
- leakage
- geotechnical failure

If there is no sufficient static friction between system and footprint caused by low friction coefficient or low normal force (e.g. caused by buoyancy) the system can slide under the influence of lateral load (e.g. water pressure). If the footprint is small and high lateral forces due to water level or dynamic forces like waves are acting, the system may tilt.

If the loads are too high or the mounting is imperfect the inner stability of the system may fail. Leakages can occur at the footprint and the lateral connections, often a consequence of imperfect mounting. Dependant on soil conditions and water load geotechnical failures may occur such as shear failure and ground seepage, and slope stability may play an important role.

Technical constructions, whatever permanent or mobile, can never provide an overall but only a restricted protection against inundation. Therefore, it is important that no sudden collapse of protection line occurs if water level and/or wave height exceed the design criteria. The system should stay stable at least for a certain period of time. This is a weak point of many mobile flood protection systems which e.g. may buoy up if the water level exceeds a certain limit.

### **3 Types of mobile flood protection systems**

Recently, more and more mobile flood protection schemes are on the market differing in material, construction, height, and permanent facilities. They can be divided in structures made of sandbags, plates, beams, concrete elements, flexible tubes, basins, trestles, dams, and flaps, see Fig. 1. Detailed information to different types of mobile flood protection systems is given in Ode (2006).

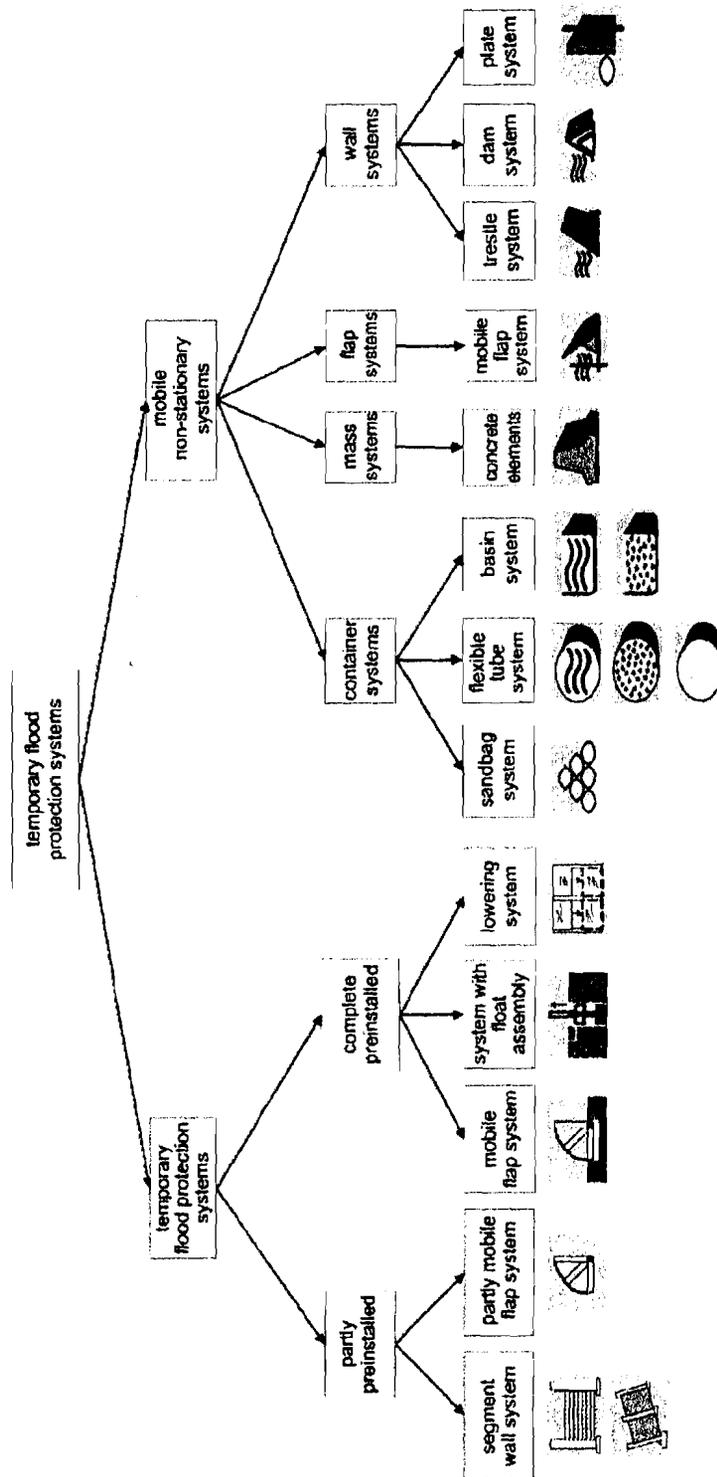


Fig. 1: Temporary flood protection systems

Sandbag systems (Fig. 2) are in use worldwide. If necessary, sandbag dams can be placed manually without auxiliary technical means. Sandbags offer a high degree of flexibility and the use is very simple but also very demanding in material, work and transport. It is possible to reach protection heights of 1.0 m, with great efforts of up to 2.0 m.

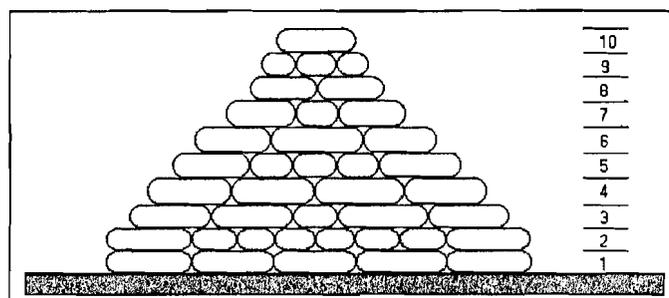


Fig. 2: Laying technique of a sandbag dam

Cross section, grey parts: transverse laid sandbags (THW, 2006)

Segment wall systems (Fig. 3) consist of an upright supporting system (often partly permanently installed) in between which beams can be positioned. Beam systems with permanent installations can reach protection heights of up to 5.0 m.

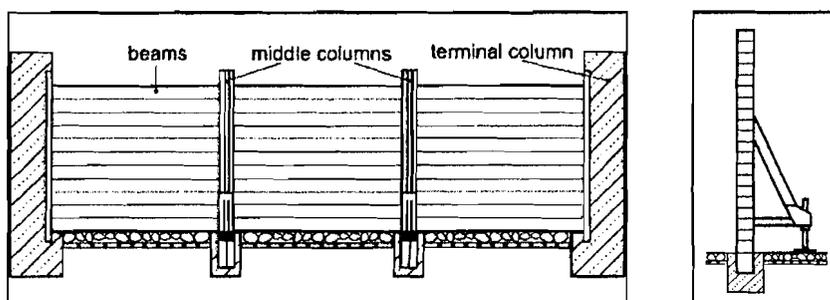


Fig. 3 : Beam system, right: shear force support

Plate systems can be used in case of emergency. Basics of plate systems can also be provided from construction stock grounds. Casings are erected upright mounted by reinforcing steel which is driven into the ground. With these makeshifts it is possible to reach protection heights of up to 0.5 m.

Concrete elements can withstand high dynamic loads acting e.g. in becks with strong currents. For handling the high element weight heavy equipment is necessary and sufficient capable road links to the river bank are required. The protection height depends on the element size. Usually, the height is not more than 1.0 m.

Flexible tubes (Fig. 4) are made of synthetics like reinforced plastic liner and are filled with air, water or sand. For filling special equipment is needed like compressors or water pumps. The use of air or water filled construction saves material and personnel and enables a quick installation. On the other hand, mass of these constructions is low and buoyancy may be problematic. The maximum protection height of commercially available constructions filled with air is 0.8 m and of those filled with water 1.7 m, respectively.

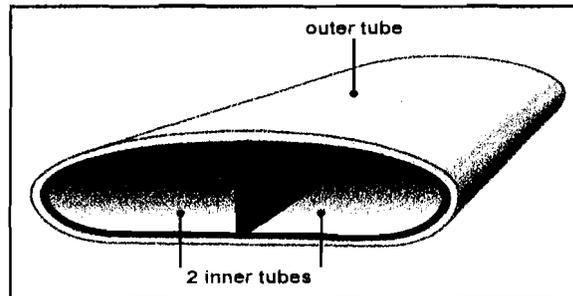


Fig. 4: Flexible water-filled tube made of two inner and one outer tube improving position stability

Basin systems (Fig. 5) are made of a frame (mostly steel), a cover (impermeable or permeable geosynthetic) and a water or sand fill. For filling special equipment is required. The maximum protection height of such basins is 1.2 m.

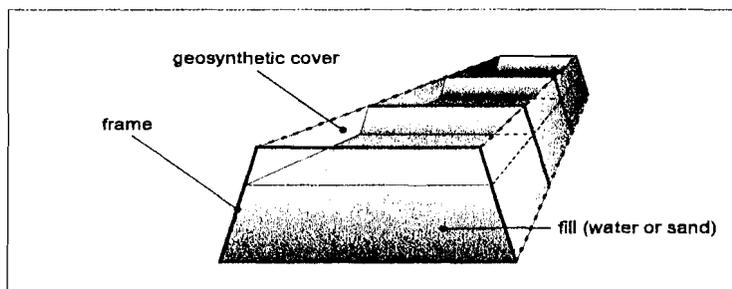


Fig. 5: Basin filled with water or sand

Trestle systems (Fig. 6) consist of four parts: supporting elements, wall units, plastic liner and load elements. The wall units are laid on the supporting elements and are sealed with plastic liner, which is charged by sandbags on the water-sided base. Often, ground anchors prevent from sliding. The maximum protection height of such systems is 1.8 m.

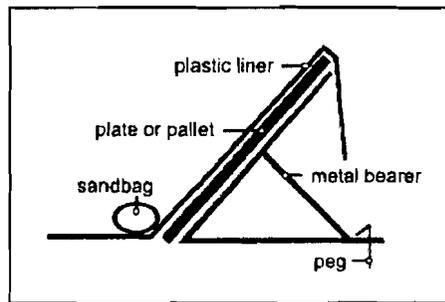


Fig. 6: Trestle system

Dam systems (Fig. 7) differ from trestles therein that one element acts as supporting system and as wall. Leak tightness is achieved by plastic liner and sandbags.

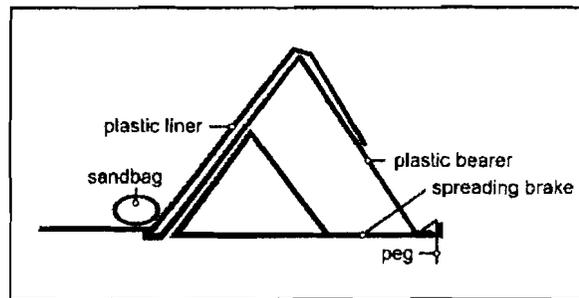


Fig. 7: Dam system

Flap systems (Fig. 8) are fixed in the ground and can be raised manually or automatically. In normal position the flap of an automatic system can act e.g. as pavement.

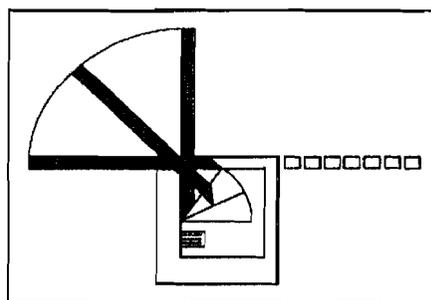


Fig. 8: Flap system

## **4 Evaluation of mobile flood protection systems**

Evaluation of mobile flood protection systems must always be based on application conditions like local circumstances and requirements. Therefore, it is not possible to make a general evaluation of mobile flood protection systems. The evaluation process is a complex problem which can be described as follows (Warnecke et. al, 1996):

- different solutions must be compared
- multitude evaluation parameters have to be considered, both quantitative and qualitative criteria
- subjective assessment of relative parameter importance by the decision maker is necessary

The evaluation shall be based not only on quantifiable criteria (e.g. costs) but also on qualitative criteria (e.g. handling). Aim of the evaluation is an integrated approach based on all relevant criteria and their assessment. The workflow of the value benefit analysis is as follows:

- definition of aims, main and sub criteria
- assessment of weighting factors
- assessment of performance grades
- calculation of benefit values

Following criteria have to be considered in value benefit analysis:

- Number of main criteria should be limited to avoid too small differences in weighting factors, best are 5 to 10 main criteria (Warnecke, 1996).
- Weighting factors of main criteria indicate relative importance of every single criterion. The sum of weighting factors of all main criteria is 100 %.
- Weighting factors of sub criteria indicate relative importance of every single criterion. The sum of weighting factors of all sub criteria of every single main criterion is 100 %.
- Performance grade can be described by numbers of points in the range of 0 to 10. A score of 10 indicates best performance.
- Part benefit value is the product of weighting factor and grade of performance of the respective criterion. The sum of part benefit values is the overall benefit value of the particular system.

### **4-1 Main and sub criteria for evaluation of mobile flood protection systems**

For evaluating mobile flood protection systems, 6 main and 30 sub criteria were defined. Main criteria are: system safety and characteristics, required specific equipment, logistics, costs, general safety. In Table 1 main and sub criteria are listed.

No.	Main criterion	No.	Sub criterion	Best meet of requirements
1	System safety	1	Load capacity	Required load analyses are available or can be done easily
		2	Leak tightness to ground	Watertight on all types of ground
		3	Sliding safety	No sliding on inclined ground
		4	Tilting safety	No tilting on inclined ground
		5	Functional safety	Deployment at any circumstances
		6	Overflow	Stable even in case of overtopping
2	System characteristics	1	Ground adaptation	Compensation of unevenness
		2	Assembling time	Short assembling time (incl. filling), immediate protection effect
		3	Protection height	Usable for large protection heights
		4	Adaptable in height	Variable protection heights, subsequent heightening possible
		5	Curve radius	Fit to all curves
		6	Assembling under water	Assembling under water possible
3	Specific equipment	1	Transportation	No transportation equipment necessary
		2	(Dis)assembly	No equipment for (dis)assembly necessary
		3	Filling equipment	No filling equipment necessary
4	Logistics	1	Handling	Easy handling of elements
		2	Prearrangements	No prearrangements necessary
		3	Required manpower	Small required manpower for (dis)assembly
		4	Disassembly, disposal	Easy disassembly, clearance, unproblematic disposal
		5	Fill material	No use and transport of fill material
		6	Storage conditions	No (climatic) requirements for storage
		7	Storage volume	Space saving storage
5	Costs	1	Purchase	Low purchase costs
		2	Recycling, lifetime	Whole system is reusable, long lifetime
		3	Fill material	No costs for fill material
		4	Personnel	Low personnel costs
		5	Equipment	No equipment needed for transportation, (dis)assembling
		6	Storage	No storage space is needed
6	General safety	1	Thief-proof	Elements cannot be stolen easily
		2	Vandalism	Simple vandalism, e.g. knife cut, cannot affect functionality

Table 1: Main and sub criteria for evaluation of mobile flood protection systems

#### 4-2 Value benefit analysis, example

A value benefit analysis can only be done if input parameters, i.e. grade of performance and weighting factors, can be assessed properly. Therefore, specific flood protection systems have to be regarded as well as specific sites for use of constructions.

In the following, the approach to a value benefit analysis is shown without referring to specific constructions and with only poor site information. For practical use, more

information concerning site characteristics as well as features of specific constructions are needed. For example, loading capacity and purchase costs of constructions often differ depending on the manufacturer.

The following site characteristics are given in the example:

- site known in advance
- little space for flood protection, no conventional technical protection possible
- neighbouring regions are also endangered by flooding
- little unevenness of terrain, no slopes
- medium scale access road to site
- early warning time of 24 hours
- winding alignment of protection line
- assembly on land
- protection height of 1 m above ground surface
- protection line under observation during flooding
- limited financial means available, especially for purchase

In Table 2 weighting factors are given with respect to the above described site characteristics. Main attention is given to the system safety, followed by system characteristics and costs. A low weighting factor is attributed to logistics and special equipment because the protection line is accessible by road. The general safety is of minor importance as it is planned to observe the mobile protection line during flooding.

In Table 3 a value benefit analysis is given for the use of selected mobile flood protection systems on a specified site. It is shown that according to analysis the flap system fits best to site characteristics with a score of 8.2 of 10 possible points. Second comes the flexible tube system with water filling and landside drainage mat with a score of 7.8. The worst score of 5.8 is assigned to the sandbag system.

No. of main criterion	Weighting factor [%]	No. of sub criterion	Sub weighting factor [%], comments in brackets
1	40 %	1	0 % (specific system must be known for evaluation)
		2	20 % (site with little unevenness of terrain)
		3	0 % (no slopes)
		4	0 % (no slopes)
		5	60 % (important point)
		6	20 % (of minor importance, a water level of only 1.0 m is expected)
2	20 %	1	10 % (site with little unevenness of terrain)
		2	50 % (short early warning time of 24 hours available)
		3	0 % (required protection height restricted to 1.0 m)
		4	5 % (required protection height only 1.0 m, of minor importance)
		5	35 % (winding alignment)
		6	0 % (assembly on land)
3	10 %	1	34 % (specific equipment can be used)
		2	33 % (specific equipment can be used)
		3	33 % (specific equipment can be used)
4	10 %	1	30 % (short early warning time of 24 hours available)
		2	15 % (prearrangements are possible)
		3	20 % (manpower shortage, neighbouring regions endangered)
		4	5 % (of minor importance, no time limitation after flooding)
		5	20 % (short early warning time of 24 hours available)
		6	5 % (no specific storage problems)
		7	5 % (no specific storage problems)
5	15 %	1	40 % (for detailed cost analysis further information necessary)
		2	10 % (for detailed cost analysis further information necessary)
		3	20 % (for detailed cost analysis further information necessary)
		4	10 % (for detailed cost analysis further information necessary)
		5	10 % (for detailed cost analysis further information necessary)
		6	10 % (for detailed cost analysis further information necessary)
6	5 %	1	50 % (both factors influence the reliability)
		2	50 % (both factors influence the reliability)

Table 2: Weighting factors depending on example site characteristics

								
1	1	0%	-	-	-	-	-	-
	2	20%	8	8	6	6	10	10
	3	0%	-	-	-	-	-	-
	4	0%	-	-	-	-	-	-
	5	60%	8	8	8	8	8	8
	6	20%	8	0/8*	0/8*	8	8	8
2	1	10%	10	10	8	8	10	10
	2	50%	0	9	8	3	6	10
	3	0%	-	-	-	-	-	-
	4	5%	10	1	0	8	2	2
	5	35%	10	10	9	9	8	8
	6	0%	-	-	-	-	-	-
3	1	34%	0	7	6	2	5	10
	2	33%	0	7	6	2	5	10
	3	33%	5	5	5	4	10	10
4	1	30%	4	7	6	2	8	10
	2	15%	10	10	10	10	4	0
	3	20%	0	8	7	4	6	10
	4	5%	2	8	7	0	8	10
	5	20%	0	8	8	3	10	10
	6	5%	7	7	7	7	7	10
	7	5%	0	7	6	4	5	10
5	1	40%	10	7	7	7	4	0
	2	10%	0	8	8	5	10	10
	3	20%	0	10	10	0	10	10
	4	10%	0	8	8	4	6	10
	5	10%	4	7	6	3	6	10
	6	10%	2	7	7	4	5	10
6	1	50%	9	7	7	10	4	4
	2	50%	10	0	0	10	8	8
Benefit value			5.8	7.1/7.8*	6.6/7.3*	6.0	7.4	8.2

Table 3: Value benefit analysis, example

\* with landside drainage mat

## **5 Conclusions**

In urban areas often very little space exists between coast line or riverbank and buildings. Therefore, mobile systems may be the only practicable way for technical flood protection. Recently, more and more mobile flood protection systems appear on the market, differing in material, construction, height, and permanent facilities. For selecting the appropriate system various quantitative and qualitative criteria have to be considered. A value benefit analysis can act as a valuable decision support tool for choosing the most suitable mobile flood protection system for a specific site.

## **6 Acknowledgements**

The research work on innovative constructions for mobile flood protection at the Institute for Environmental Engineering of Rostock University is granted by the Deutsche Bundesstiftung Umwelt (German Foundation for Environment). The authors kindly acknowledge the financial support.

## **7 References**

- BWK, 2005. Mobile Hochwasserschutzsysteme - Grundlagen für Planung und Einsatz (Mobile flood protection systems - basics for planning and use). Bulletin 6, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Sindelfingen.
- Koppe, B., 2002. Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste (Flood protection management at the German Baltic Sea coast) (dissertation). Rostocker Berichte aus dem Fachbereich Bauingenieurwesen, volume 8, Rostock University, Rostock.
- Mueller-Navarra, S., 2001. Zur Vorhersage schwerer Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste (Forecasting of heavy storm tides at the German North Sea coast). Proc. Extreme Naturereignisse - Folgen, Vorsorge, Werkzeuge, Zweites Forum Katastrophenvorsorge, 24.-26. September 2001 in Leipzig. G. Tetzlaff, T. Trautmann, K. S. Radtke (ed.), Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), Bonn, Leipzig.
- Munich Re, 2005. Schadenspiegel, Risk factor of water, Special feature issue, 3-2005. Munich Re Grup, Munich.
- Ode, U., 2006. Einsatzmöglichkeiten und Einsatzsicherheiten von Systemen des temporären und mobilen Hochwasserschutzes (Application possibilities and reliabilities of mobile flood protection systems) (diploma thesis), Rostock University, Institute for Environmental Engineering, Rostock.

Plate, E.; Merz, B. (ed), 2001. Naturkatastrophen - Ursachen, Auswirkungen und Vorsorge (Natural hazards - causes, consequences and precautions). Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

THW, 2006. Deichverteidigung und Hochwasserschutz (Dyke defence and flood protection)". Deutsches Technisches Hilfswerk (German Technical Relief Organisation), information on website: [www.thw-deich.de](http://www.thw-deich.de).

VKF-BWG, 2004. Mobiler Hochwasserschutz - Systeme für den Notfall (Mobile flood protection - emergency systems). Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen, Bern (VKF), Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel (BWG).

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, R.; Voegele, A.A., 1996. Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure (Cost effective analysis for engineers), Carl Hanser Verlag München Wien.



## **Anhang 2**

**Einsatzbereich und Anforderungen an das Wasserquader-System  
zum Einsatz im mobilen Hochwasserschutz**



**Universität Rostock**  
**Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät**  
**Institut für Umweltingenieurwesen**  
**Fachgebiet Küstenwasserbau**

**Erste Phase der Entwicklung und Zertifizierung eines mobilen  
Wasserquader-Systems zum Dammbau für den Hochwasser- und  
Katastrophenschutz**

**Anforderungen an das Wasserquader-System  
zum Einsatz im mobilen Hochwasserschutz**

**Rostock**

**Dezember 2006**



## Inhalt

1. Systemart.....	1
2. Einsatzbereich und Einsatzgrenzen.....	1
3. Einsatzarten .....	1
4. Versagensarten .....	2
5. Systemanforderungen .....	3
6. Gestaltung der Konstruktion .....	3
7. Schutzhöhe .....	3
8. Vorwarnzeit .....	4
9. Statisch / dynamische und geotechnische Nachweise für den geplanten Einsatz.....	6
9.1. Nachweisführung .....	6
9.2. Statische und dynamische Belastbarkeit.....	7
9.2.1. Innendruck bei wassergefüllten Konstruktionen.....	7
9.2.2. Hydrostatische Belastung.....	8
9.2.3. Hydrodynamische Belastung .....	8
9.2.4. Wellendruck .....	8
9.2.5. Anprall von Treibgut .....	9
9.2.6. Anprall von Geschiebe .....	10
9.2.7. Windlast .....	11
9.2.8. Personenlast .....	11
9.2.9. Fahrzeuglast .....	11
9.2.10. Kippen.....	12
9.2.11. Gleiten.....	12
9.3. Geotechnische Belastbarkeit.....	14
10. Gewicht.....	15
11. Befüllung.....	16
12. Reparatur während des Einsatzes .....	16
13. Abbau und Reinigung .....	16
14. Lagerung .....	17
15. Schrifttum .....	17



## **1. Systemart**

Bei dem in der Entwicklung befindlichen Hochwasserschutzsystem "Wasserquader" handelt es sich um ein ortsungebundenes mobiles Hochwasserschutzsystem (System ohne permanente Vorkehrungen am Ort des Einsatzes).

## **2. Einsatzbereich und Einsatzgrenzen**

Mit mobilen Systemen ohne permanente Vorkehrungen können sich ankündigende Überflutungen begrenzter Intensität notfallmäßig vermieden werden.

Einsatzgrenzen ergeben sich aus der Intensität der Einwirkungen (Wasserstandshöhe, Wellenbelastung, Fließgeschwindigkeit, Treibgutanprall, Geschiebetrieb, Verkehrslasten, Vandalismus) und aus der zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit.

## **3. Einsatzarten**

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. Sie werden zur Verhinderung von Sachschäden eingesetzt. Das Personenrisiko darf sich durch den Einsatz der mobilen Schutzmaßnahmen nicht erhöhen und der Nahbereich der Systeme (Schutzzone) ist für Passanten abzusperren. Der Personenschutz ist beim Einsatz mobiler Systeme durch Alarmierung und ggf. durch Evakuierung zu realisieren. Nach VKF-BWG (2004) ist nicht der Personenschutz, sondern allein der Schutz vor Sachschäden Ziel des ortsungebundenen mobilen Hochwasserschutzes.

Beim notfallmäßigen mobilen ortsungebundenen Hochwasserschutz sind im Vorfeld keine oder nur wenige Randbedingungen zum Einsatzort bekannt, wie z.B. Bodenverhältnisse hinsichtlich Befestigung, Wasserdurchlässigkeit (Probleme Auftriebssicherheit, hydraulischer Grundbruch, Erosionssicherheit (Kontakterosion an Schichtgrenzen, Erosionsgrundbruch - piping)), Topografie, bestehende Verbauten (Rohrdurchlässe, Mauern), Umläufigkeiten (Kanalsysteme, 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.

Beim planmäßigen ortsungebundenen mobilen Hochwasserschutz ist der Einsatzort bereits vor dem Ereignis bekannt. Hiermit liegen Informationen über die herrschenden Randbedingungen vor und es können hinsichtlich des Gebiets und des Systems Vorkehrungen geschaffen werden, die einen reibungslosen Aufbau des Systems ermöglichen. Es kann z.B. im Vorfeld sichergestellt werden, dass die Hochwasserschutzlinie keine störenden Verbauun-



gen enthält und die örtliche Topografie den Einsatz des Systems erlaubt. Es kann und sollte im Vorfeld des Ereignisses ein Notfallplan erstellt werden, in dem in Abhängigkeit vom 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 besteht darin, dass die Systemlagerung nah am Einsatzort erfolgen kann und an das Gebiet ebenso wie an das System angepasstes Transportgerät zur Verfügung gestellt werden kann.

#### **4. Versagensarten**

Die folgenden fünf Versagensarten können beim mobilen Hochwasserschutz unterschieden werden:

- Gleiten
- Kippen
- Stabilitätsversagen
- Undichtigkeit
- Geotechnisches Versagen

Reicht die Haftreibung zwischen System und Aufstandsfläche infolge eines geringen Reibungskoeffizienten oder infolge einer zu geringen Normalkraft (Aufschwimmen des Systems) nicht aus, kann das System bei einer wirkenden seitlichen Kraft aus Wasserstand seitlich fort gleiten.

Bei geringer Aufstandsfläche und bei wirkender seitlicher Kraft aus Wasserstand und ggf. dynamischen Lasten, z.B. Wellenschlag, kann eine Konstruktion kippen.

Bei zu hohen Belastungen oder bei nicht korrektem Aufbau kann die innere Stabilität des Systems versagen. Bei wassergefüllten Konstruktionen können bei einem inneren Wasserüberdruck Material und Nähte reißen oder scharfkantiges Treibgut kann das Material von außen verletzen.

Undichtigkeiten des Systems können an den Aufstandsflächen und an den seitlichen Anschlüssen auftreten. Dies kann insbesondere eine Folge eines unsachgemäßen Aufbaus sein.

Ein Versagen infolge von Vandalismus ist durch eine Beobachtung / Bewachung des Systems zu garantieren. Bei wassergefüllten Konstruktionen reicht ein turnusmäßiger Rundgang nicht aus.



## **5. Systemanforderungen**

Die folgenden Anforderungen sind an das System zu stellen:

- Ausreichende Stauhöhe und Festigkeit der Konstruktion
- Möglichkeit der Reparatur / des Ersatzes im Schadensfall
- Einfache und schnelle Handhabung beim Auf- und Abbau
- Kompatibilität mit bei den Hilfsorganisationen vorhandenem Gerät (Transport, Befüllung, Entleerung, Lagerung)
- Wiederverwendbarkeit
- Kleiner Raumbedarf bei der Einlagerung
- Kostengünstige Herstellung

## **6. Gestaltung der Konstruktion**

Das System sollte möglichst kostengünstig und dabei einsatzfähig und haltbar konstruiert sein. Zu beachtende Aspekte sind hierbei:

- Minimierung der Anzahl der Konstruktionssegmente - in Abhängigkeit vom Gewicht und von der Einsatzform der Konstruktion möglichst lange Aufbaulänge.
- Minimierung der Anzahl der Anschlussstutzen und Ventile. Es sollte möglichst ohne Überdruck arbeiten, so dass keine Überdruckventile notwendig sind und die Kosten sowie die Störanfälligkeit verringert werden. Zur Vermeidung eines entstehenden Überdrucks kann an der Oberseite der Konstruktion eine Überlauföffnung installiert werden, die mit einem einfachen Deckel geschlossen werden kann. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Befüll- und Überlauföffnungen ausreichend weit voneinander entfernt liegen, so dass eine Kurzschlussströmung vermieden wird.
- Zur Einpassung in das System der Feuerwehren ist die Verwendung von Storz-Kupplungen angeraten.

## **7. Schutzhöhe**

Bei der Verwendung ortsungebundener Systeme empfehlen VKF-BWG (2004) und BWK (2005) für den notfallmäßigen Einsatz eine maximale Schutzhöhe von 0,6 m und für den geplanten Einsatz von 1,2 m.

Bei einem planmäßigen mobilen, aber ortsgebundenen Schutzsystem (enthält feste Einbauten, z.B. Dammbalkensystem) wird dagegen nach BWK (2005) eine maximale Schutzhöhe von 5 m empfohlen.



Auf dem Markt befindliche wasserbefüllte Schlauchkonstruktionen weisen Schutzhöhen von bis zu 1,65 m bei einer Aufbauhöhe von 2,70 m auf (FLOODMASTER, 2006).

Die luftgefüllte Schlauchkonstruktion NOAQ (NOAQ, 2006) weist eine maximale Stauhöhe von 0,75 m auf.

Die sandgefüllte Schlauchkonstruktion Quick-Snake (GAIATEC, 2006) weist eine maximale Stauhöhe von 1,50 m auf.

Bei wassergefüllten Konstruktionen wird zur Vermeidung der Gefahr des Unterspülens und Aufschwimmens eine im Vergleich zur Aufbauhöhe reduzierte Schutzhöhe von rund 70 % zugelassen.

Das System kann nur dann voll eingestaut werden, wenn landseitig eine Dränagematte mindestens bis zur Mitte der Aufstandsfläche des Systems reicht. Hiermit wird der unter der Konstruktion wirkende Wasserdruck abgebaut, und ein Aufschwimmen wird verhindert. Durch das anfallende Drainagewasser erfolgt landseitig eine Vernässung des Geländes, die i.d.R. jedoch unproblematisch ist.

Soll das System voll einstaubar sein, ist es von großem Vorteil, wenn das System schadlos überströmt werden kann. Das heißt, dass das Überlaufwasser das System selbst nicht durch die Strömungskraft zerstört und dass landseitig kein die Standsicherheit gefährdender Materialaustrag erfolgt. Bei einer überströmbaren Konstruktion tritt der Versagensfall nicht plötzlich ein, die übertretenden Wassermengen sind verglichen mit einem Versagensfall klein, Menschenleben sind nicht direkt gefährdet und Sachschäden werden verringert.

## **8. Vorwarnzeit**

Der Begriff Vorwarnzeit beschreibt die zur Verfügung stehende Zeit zwischen der Vorhersage eines erhöhten Wasserstands und dessen Eintritt.

Die Länge der verfügbaren Vorwarnzeit ist abhängig von der Schnelligkeit des Wasserstandsanstiegs und der Zuverlässigkeit der Hochwasserstandsvorhersage unter extremen Witterungsbedingungen. Hierbei ist zu beachten, dass die Wasserstandsvorhersage von der Güte des verwendeten hydrodynamischen Modells, der Messnetzdicke (meteorologische und hydrologische Daten) und von der Güte der Wettervorhersage abhängig ist.

Generell ist im Oberlauf von Flüssen infolge des i.d.R. wasserundurchlässigen Untergrunds (Fels), des steilen Reliefs (Hanglage), der vollständigen gleichzeitigen Beregnung des kleinräumigen Einzugsgebiets (kurzzeitige, kleinräumige Starkniederschläge sind hochwassererzeugend) sowie des Fehlens eines Hochwasserabflussbettes (enge Flussquerschnitte, häufiger Wasserstandsanstieg über das Flussbett hinaus) ein schneller Wasseranstieg bei hochwassererzeugenden Niederschlägen oder Schneeschmelzen zu erwarten. Auch in



Kleingewässern kann der Wasserstandsanstieg infolge des kleinen Einzugsgebiets, in dem kleinräumige Starkniederschläge abflussbestimmend sein können, schnell erfolgen.

Im Unterlauf von Flüssen kommt ein Teil des Niederschlags infolge Versickerung und Verdunstung nicht zum Abfluss (durchlässige Böden, großräumige Einzugsgebiete), die Geländeneigungen sind flach (langsamer Transport des Niederschlags in das weitmaschige Flusssystem), die Beregnung des großräumigen Einzugsgebiets erfolgt nur partiell (lang andauernde, großräumig wirkende Niederschläge - Landregen - sind hochwassererzeugend) und dem Fluss steht mit Ausnahme von dicht besiedelten Gebieten ein Hochwasserbett sowie Vorländer zur Abführung größerer Wassermassen zur Verfügung (seltener Wasserstandsanstieg über die Höhe des Vorlands hinaus).

Im Oberlauf von Flüssen kann die Wasserstandsvorhersage häufig nur ungenaue Ergebnisse liefern, da kurzfristige, lokale Starkregenereignisse oft nur ungenügend von der Wettervorhersage beschreibbar und damit in der Wasserstandsvorhersage nicht erfassbar sind. Im Mittellauf und Unterlauf von Flüssen kann die Wasserstandsvorhersage dagegen vergleichsweise gute Ergebnisse liefern und somit zu einer frühen Situationserfassung führen.

Diese Randbedingungen resultieren in sehr kurzen Vorwarnzeiten im Oberlauf von Flüssen. In Kleingewässern betragen die Vorwarnzeiten oft nur wenige Minuten und steigen in den Hauptgewässern auf eine halbe bis wenige Stunden an. Im Mittellauf von Flüssen stehen Vorwarnzeiten von mehreren Stunden bis wenigen Tagen zur Verfügung, während im Unterlauf erhöhte Wasserstände bis zu einer Woche im Voraus vorhergesagt werden können.

An den deutschen Küsten sind ebenfalls nur kurze Vorwarnzeiten vorhanden. An der Ostseeküste ist infolge der starken Abhängigkeit der Wasserstände von der Zugbahn von Tiefdruckgebieten und der damit schwer vorhergesagbaren Kombination aus Beckenschwingung und Windstau von einer verfügbaren Vorwarnzeit von 12 Stunden auszugehen (KOPPE 2002), während die Vorwarnzeiten an der Nordseeküste mit 24 Stunden etwas länger sind.

Der Einsatz mobiler Hochwasserschutzsysteme basiert auf der Verfügbarkeit von ausreichend Zeit zur Sicherstellung der Einsatzbereitschaft des Personals, des Transports von Material an die Schutzlinie und des Aufbaus des Schutzsystems.

Die verfügbare Vorwarnzeit in Kleingewässern und im Oberlauf von Flüssen in der Größenordnung von Minuten bis zu wenigen Stunden schließt im Regelfall den Einsatz mobiler Systeme aus. Bei kurzen Vorwarnzeiten von unter 24 Stunden können mobile Systeme nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden. Wenn besondere städtebauliche oder naturräumliche Voraussetzungen einen permanenten Hochwasserschutz ausschließen, ist bei kurzen Vorwarnzeiten die Linienlänge des temporären oder mobilen Hochwasserschutzes auf ein Mindestmaß zu reduzieren und eine ständige Verfügbarkeit von Personal und Material vor Ort muss sichergestellt sein.



## **9. Statisch / dynamische und geotechnische Nachweise für den geplanten Einsatz**

Im Folgenden werden die Nachweisführung sowie die statisch-dynamische und die geotechnische Belastbarkeit behandelt.

### **9.1. Nachweisführung**

Der Nachweis der statischen und dynamischen Belastbarkeit des mobilen Schutzsystems ist durch den Hersteller zu liefern. Zu beachten ist hierbei nicht nur die Belastbarkeit des Systems selbst, sondern auch die Lagestabilität des Systems (Kippen und Gleiten).

Der Nachweis der geotechnischen Belastbarkeit des Untergrundes für die geplante Schutzhöhe (Sicherheit gegen Grundbruch, Standsicherheit von Böschungen, Auftrieb) ist Aufgabe des Betreibers. Hierbei ist insbesondere zu beachten, dass bei einer Erhöhung von permanenten Schutzbauwerken, z.B. Aufkadungen von Deichen, eine Erhöhung des Porenwasserüberdrucks über das übliche Maß hinaus und damit eine Verminderung der geotechnischen Sicherheiten einhergeht.

Die vom Hersteller zu leistende Nachweisführung kann unterschieden werden in Nachweise für den notfallmäßigen und für den geplanten Einsatz.

Nach VKF-BWG (2004) sind beim notfallmäßigen Einsatz mit Schutzhöhen von bis zu 0,6 m die folgenden Herstellernachweise zu erbringen:

- Nachweis der Tragfähigkeit des Systems bei hydrostatischer Einwirkung und bei Wind- einwirkung
- Nachweis der Sicherheit gegen Kippen bezüglich einer horizontalen und einer geneigten Aufstandsfläche bei Angabe einer maximal zulässigen Neigung der Aufstandsfläche
- Nachweis der Gleitsicherheit auf horizontaler und geneigter Aufstandsfläche bei unterschiedlichen Untergrundbedingungen (trocken, nass, vereist, schneebedeckt) und - beschaffenheiten (Bitumen- und Grasoberfläche) bei Angabe einer maximal zulässigen Neigung der Aufstandsfläche

Nach VKF-BWG (2004) sind beim geplanten Einsatz mit Schutzhöhen von bis zu 1,2 m die folgenden Herstellernachweise zu erbringen:

- Nachweis der Tragfähigkeit des Systems bei hydrostatischer und hydrodynamischer Einwirkung, bei Einwirkung durch Anprall infolge Treibgut und Geschiebe, durch Wellenschlag, bei Personenlast und bei Windeinwirkung
- Nachweis der Sicherheit gegen Kippen bezüglich einer horizontalen und einer geneigten Aufstandsfläche bei Angabe einer maximal zulässigen Neigung der Aufstandsfläche
- Nachweis der Gleitsicherheit auf horizontaler und geneigter Aufstandsfläche bei unterschiedlichen Untergrundbedingungen (trocken, nass, vereist, schneebedeckt) und Un-



tergrundbeschaffenheiten (Bitumen- und Grasoberfläche) bei Angabe einer maximal zulässigen Neigung der Aufstandsfläche

- Nachweis der Tragfähigkeit bei Ausfall eines Systemelements

## 9.2. Statische und dynamische Belastbarkeit

Die Lastannahmen für die oberirdischen Nachweise der statischen und dynamischen Belastbarkeit können wie folgt unterteilt werden:

- Innendruck bei wassergefüllten Konstruktionen
- Hydrostatische Einwirkung
- Hydrodynamische Einwirkung
- Wellendruck
- Anprall infolge Treibgut / Treibholz
- Anprall infolge Geschiebetrieb
- Windlast
- Personenlast
- Fahrzeuglast

Die dynamischen Lasten werden als veränderliche statische Einwirkungen betrachtet und werden somit durch statische Ersatzlasten erfasst.

### 9.2.1. Innendruck bei wassergefüllten Konstruktionen

Der Innendruck oder auch Kesseldruck bei wassergefüllten Konstruktionen ist bei druckloser Füllung vom Innenwasserstand und bei Füllung mit Überdruck vom zulässigen Wasserüberdruck (gemäß Überdruckventil) abhängig. Bei Füllung ohne Überdruck wird der hydrostatische Innendruck wie folgt berechnet (h: Wasserfüllhöhe im System):

$$p_{hydr.} = \rho * g * h \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

Die Belastung steigt dreiecksförmig an, und zwar von  $p_{hydr} = 0$  an der Systemoberkante ( $h = 0$  m) bis auf die Systemunterkante ( $h_{max}$ ).



### 9.2.2. Hydrostatische Belastung

Die Berechnungsformel des hydrostatischen Druck  $p_{hydr}$  lautet (h: Stauwassertiefe in m):

$$p_{hydr} = \rho * g * h \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

Die Belastung steigt dreiecksförmig an, und zwar von  $p_{hydr} = 0$  an der Wasseroberfläche (h = 0 m) bis auf den Maximalwert am Gewässergrund.

Nach VKF / BWG (2004) kann die Dichte  $\rho$  unter Berücksichtigung des Feststofftransports wie folgt festgelegt werden:

- Binnensee:  $\rho = 1,0 \text{ t/m}^3$
- hochwasserführende Flüsse:  $\rho = 1,1 \text{ t/m}^3$
- hochwasserführende Wildbäche:  $\rho = 1,3 \text{ t/m}^3$

Das Seewasser hat wegen des Salzgehaltes eine gegenüber Frischwasser erhöhte Dichte. Die Dichte des Nordseewassers beträgt bei einem Salzgehalt von ca. 34 kg Salz pro 1000 kg Wasser  $\rho = 1,03 \text{ t/m}^3$ .

Der Salzgehalt des Ostseewassers unterliegt dagegen starken räumlichen und zeitlichen Veränderungen; er nimmt von Westen nach Osten kontinuierlich ab. In der Kieler Bucht werden etwa 20-30 kg Salz pro 1000 kg Wasser gemessen, in der Zentralen Ostsee noch 10 kg Salz pro 1000 kg Wasser und im Bottnischen Meerbusen werden nur noch etwa 2 kg Salz pro 1000 kg Wasser erreicht. Entsprechend liegt auch die Dichte des Ostseewassers unterhalb derjenigen des Nordseewassers und entspricht bei sehr geringen Salzgehalten derjenigen von Frischwasser.

### 9.2.3. Hydrodynamische Belastung

Die Berechnungsformel des Strömungsdrucks  $p_{ström}$  lautet:

$$p_{ström} = \rho * (v * \sin \alpha)^2 \quad \left[ \frac{kN}{m^2} \right]$$

mit:

- v: Strömungsgeschwindigkeit [m/s]
- $\alpha$ : Anströmwinkel [°]

Die Belastung aus dem Strömungsdruck wird konstant über die Wassertiefe angenommen.

### 9.2.4. Wellendruck

Insbesondere beim Einsatz an Binnenseen und an Küstengewässern ist der Wellendruck zu berücksichtigen.



Nach VKF-BWG (2004) kann an Binnenseen mit einer linienförmigen Wellenersatzlast von 20 kN/m gerechnet werden, die auf der halben Höhe der maximalen Wassertiefe angreift. Diese Belastung entspricht einer maximalen Wellenhöhe von 40 cm.

Für den Einsatz an Küstengewässern sind detaillierte Untersuchungen zur örtlich zu erwartenden Seegangbelastung notwendig. Zu unterscheiden ist hierbei, ob wegen der wasserseitigen Tiefenverhältnisse lediglich stehende / gebrochene Wellen zu erwarten sind, oder ob eine Belastung durch Sturzbrecher nicht auszuschließen ist. Nach BWK sind die in Tab. 1 aufgeführten Wellenersatzlasten anzusetzen, sofern keine detaillierten Angaben zu den Wellendruckbelastungen vorliegen.

Wellenart	Bemessungs- wellenhöhe max $H_{Bem}$ [m]	Wellenersatz- last $P_{Ersatz}$ [kN/m]	Angriffshöhe $h$ unter BHW [m]	
			Einstauhöhe $H \geq 2,0$ m	Einstauhöhe $H \leq 2,0$ m
Stehende / gebro- chene Wellen	$\leq 0,40$	20	1,00	0,4 H
	$> 0,40$	30	1,00	0,4 H
Sturzbrecher	$\leq 0,40$	$\varphi \cdot 40$	0,80	0,3 H
	$> 0,40$	$\varphi \cdot 60$	0,80	0,3 H
	Stoßzahl $\varphi = 1,2$			

Tab. 1: Wellenersatzlasten nach BWK (2005) (BHW: Bemessungshochwasser)

### 9.2.5. Anprall von Treibgut

Bei einem Anprall größerer Massen, wie treibende Schuten oder große Tanks, kann die Standsicherheit mobiler Hochwasserschutzsysteme i.d.R. nicht gewährleistet werden. Die Schifffahrt wird bei Hochwasser zumeist eingestellt, so dass ein Schiffsanprall i.d.R. ausgeschlossen werden kann. Für andere große treibende Massen verbleibt ein Restrisiko des Versagens.

Der Anprall kleinerer Massen, wie Eisschollen oder Baumstämme, sollte jedoch auch von einem mobilen Schutzsystem schadlos aufgenommen werden können.

Nach VKF-BWG (2004) kann eine Translationsenergie von 3 kJ in Höhe des Bemessungswasserstandes zum Nachweis angesetzt werden. Diese Energie entspricht der frontalen Aufprallenergie eines Baumstammes der Masse 1 t (6 m Stammlänge, 0,5 m Stammdicke) und der Aufprallgeschwindigkeit 2,5 m/s. Bei schrägem Anprall ist die Anprallenergie um den Faktor  $\sin \alpha$  zu reduzieren.



Nach BWK (2005) ist die Ersatzlast  $F$  auf Höhe des Wasserspiegels senkrecht zum HWS-System mit einer Angriffsfläche von  $0,5 \times 0,5$  m anzunehmen, wobei der horizontale Angriffspunkt so anzusetzen ist, dass der ungünstigste Effekt am Bauteil hervorgerufen wird. Die Ersatzlast  $F$  ist abhängig vom Anströmwinkel  $\alpha$ , von der Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser  $v$ , der anprallenden Treibgutmasse  $m$  und der Federsteifigkeit  $c_F$  der mobilen HWS-Konstruktion. Für die anprallende Treibgutmasse sollte nach BWK ein Mindestwert von  $0,4$  t angesetzt werden.

$$F = v * \sqrt{m * c_F} \quad [kN]$$

mit:

$\alpha$  Anströmwinkel (Winkel zwischen Strömung und HWS-Konstruktion) [°]

$v$  Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser [m/s]

$m$  Treibgutmasse [t]

$c_F$  Federsteifigkeit [kN/m]

Die Ersatzfedersteifigkeit  $c_F$  kann wie folgt berechnet werden:

$$c_F = \frac{48 * E * I}{L^3} \quad \text{für eine Einzellast auf Einfeldsystem in Feldmitte bei } L/2$$

$$c_F = \frac{2 * E * I}{L^3} \quad \text{für eine Einzellast auf Kragarm am Ende bei } L$$

mit:

$E$  Elastizitätsmodul des Materials [kN/m<sup>2</sup>]

$I$  Trägheitsmoment [m<sup>4</sup>]

$L$  Feldlänge bzw. Stützhöhe des statischen Systems [m]

### 9.2.6. Anprall von Geschiebe

Der Anprall von Geschiebe ist insbesondere bei Gebirgsflüssen zu beachten; im Mittel- und Unterlauf von Flüssen und an der Küste ist der Geschiebetrieb in der Regel vernachlässigbar klein.

Der Anprall von Geschiebe kann nach VKF-BWG (2004) über den Ansatz einer Translationsenergie von  $3$  kJ in Höhe von  $0,4$  m oberhalb der Sohle angesetzt werden. Diese Energie entspricht der frontalen Aufprallenergie eines Steinblocks der Masse  $1$  t (Kugeldurchmesser  $0,9$  m) und der Aufprallgeschwindigkeit  $2,5$  m/s. Bei schrägem Anprall ist die Anprallenergie um den Faktor  $\sin \alpha$  zu reduzieren.



### 9.2.7. Windlast

Die Windlast ist für das nicht eingestaute System anzusetzen.

Die Windlast kann über die folgende Gleichung bestimmt werden, wobei sie gleichmäßig über die Systemhöhe wirkt:

$$w = c_{pe,net} * q \quad [kN / m^2]$$

mit:

w: Winddruck [kN/m<sup>2</sup>]

$c_{pe,net}$ : Netto-Druckbeiwert (1,2 für HWS-Wände)

q: Böenstaudruck [kN/m<sup>2</sup>]

Nach BWK (2005) können für eine Höhe von 0 bis 8 m über Geländeoberkante (GOK) die folgenden Werte für den Böenstaudruck q angesetzt werden:

- Meeresküste / Norddeutschland: 0,95 kN/m<sup>2</sup>
- Küstennähe (Norddeutschland): 0,80 kN/m<sup>2</sup>
- Binnenland: 0,65 kN/m<sup>2</sup>

Bei einer wassergefüllten Konstruktion, die nicht zuvor mit Luft befüllt werden muss, kann die Windlast durch das Eigengewicht des Systems schadlos aufgenommen werden.

### 9.2.8. Personenlast

Zur Berücksichtigung von Zug und Druck an der Oberkante des Systems durch Personal und Schaulustige ist nach BWK (2005) und VKF-BWG (2004) eine horizontal wirkende Gleichstreckenlast an der Systemoberkante von 0,5 kN/m anzusetzen.

### 9.2.9. Fahrzeuglast

Bei Einsatz eines mobilen Systems in befahrbaren Gebieten sind Fahrzeuglasten anzusetzen. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass i.d.R. der Anprall eines schnell fahrenden Fahrzeugs durch das System nicht schadlos abgeführt werden kann. Als Fahrzeuglast wird lediglich ein langsam fahrendes Fahrzeug, wie z.B. ein langsam rangierendes Hilfsfahrzeug, berücksichtigt. Zur Berücksichtigung dieser Belastung kann nach BWK (2005) eine landseitig horizontal drückende Linienlast von 5,00 kN/m in einer Höhe von 1,20 m über GOK angesetzt werden.



### 9.2.10. Kippen

Ein Körper kippt nicht, sondern befindet sich im stabilen Gleichgewicht, solange sein Schwerpunkt lotrecht oberhalb der Aufstandsfläche liegt. Liegt der Schwerpunkt lotrecht oberhalb der Kippkante, ist das Gleichgewicht labil und er kippt bei der kleinsten Störung. Ein Maß für die Standfestigkeit ist das zum Kippen erforderliche Kippmoment ( $F * h$ ), das mindestens ebenso groß wie das Standmoment ( $G * l$ ) sein muss (KUCHLING, 1979).

$$F = \frac{G * l}{h} \quad [N]$$

mit:

- h: Höhe der Kraft über der Grundfläche [m]
- l: senkrechter Abstand Kippkante - Schwerpunktlot [m]
- G: Gewichtskraft des Körpers [N]
- F: Kippkraft [N]

Die Standfestigkeit ist umso größer,

- je größer die Gewichtskraft des Körpers ist,
- je größer die Grundfläche ist,
- je niedriger die Kippkraft angreift.

### 9.2.11. Gleiten

Ob ein Körper keinen Halt auf der Aufstandsfläche findet, sondern auf Böschungen mit oder ohne Belastung bzw. auf einer Ebene bei seitlicher Belastung über den Grund gleitet, hängt einerseits von der Bodenbeschaffenheit und andererseits von dem Reibungsverhalten des Systems auf der Aufstandsfläche ab. Hierbei stellt sich die Frage, wie hoch die Reibung zwischen dem System und dem Boden anzusetzen ist, in welchem Verhältnis sie zum inneren Reibungswinkel des Bodens steht und von welchen Randbedingungen die Reibung maßgeblich beeinflusst werden kann.

Sofern die Verzahnung zwischen System und Boden so groß ist, dass der innere Reibungswinkel des Bodens überschritten wird, bildet sich die Gleitfläche bei hoher seitlicher Belastung innerhalb des Bodens aus. Somit ist der höchste anzustrebende Kontaktreibungswinkel der innere Reibungswinkel des Bodens.

Die Reibungswinkel von Böden liegen in den folgenden Größenordnungen (EAU, 2004):

- Der Reibungswinkel von Sand liegt bei 30° bis 40°. Der Wert ist größer, je ungleichförmiger die Kornverteilung ist.



- Der Reibungswinkel von entwässertem anorganischem bindigem Boden liegt bei 20° bis 32,5°. Der Wert ist größer, je weniger plastisch die Eigenschaften des Bodens sind. Ist der bindige Boden nicht entwässert, ist der Reibungswinkel mit steigendem Wassergehalt deutlich geringer. Er erreicht dann Werte von 5° bis 10°.

Untersuchungen zum Reibungsverhalten von Geotextilien beim Abscheren auf einer Bodenschicht wurden von GRETT (1984) durchgeführt, wobei drei Arten von Geotextilien (ein Gewebe sowie ein mechanisch und ein thermisch verfestigter Vliesstoff) und drei verschiedene Bodenarten (Sand, Schluff und Ton) eingesetzt wurden.

Nach GRETT ist das Reibungsverhalten von Geotextilien in erster Linie abhängig von der Zusammensetzung des Bodens. Die Form und Größe der festen Bodenbestandteile bestimmen entscheidend den inneren Reibungswinkel des Bodens und beeinflussen ebenso stark den Reibungswinkel zwischen Geotextil und Boden. In einem grobkörnigen, scharfkantigen Boden kann der Reibungswinkel eines Geotextils mehr als doppelt so groß werden wie in einem feinkörnigen, bindigen Boden. Das Verhältnis von innerem Reibungswinkel des Bodens und dem Reibungswinkel zwischen Boden und Geotextil ist dabei nicht konstant. In nichtbindigen Böden liegt das Verhältnis zwischen 0,8 und 1,0 und bei bindigen Böden bei nur rund 0,6.

Der Wassergehalt und die Lagerungsdichte des Bodens beeinflussen das Reibungsverhalten der Geotextilien in etwa in gleichem Maße wie das Reibungsverhalten des Bodens selbst. Hoher Wassergehalt und geringe Lagerungsdichte vermindern nach GRETT die übertragenden Scherspannungen um bis zu 50 %.

Die Oberflächenbeschaffenheit des Geotextils kann, wenn sie gut auf die Korngröße des Bodens abgestimmt ist, das Reibungsverhalten verbessern. Entscheidend ist der Verzahnungsgrad bzw. das Eindringmaß der Bodenbestandteile in das Geotextil. Nach GRETT ist der Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit des Geotextils gemessen an den anderen Einflussfaktoren jedoch gering und beträgt nur etwa 10 %. In bindigen Böden erreicht man die besten Ergebnisse mit der relativ glatten Oberfläche thermisch verfestigter Vliesstoffe; in Sandböden ist dagegen die offenporige Oberfläche eines mechanisch verfestigten Vliesstoffs vorteilhaft.

Unebenheiten in der Scherfläche, z.B. durch das Einbringen groben Schotters, können nach GRETT die Scherfestigkeit um 5 bis 20% erhöhen.

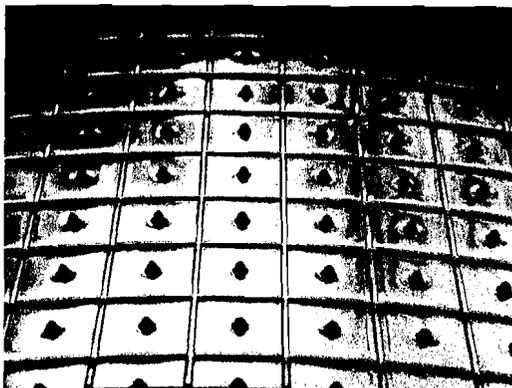
Die folgenden Erfahrungswerte liegen bezüglich Kunststoffdichtungsbahnen nach BBG (2004) vor:

- Gelegtes Geogitter gegen Boden: 90% des inneren Reibungswinkels des Bodens
- Glatte Kunststoffdichtungsbahn (KDB) gegen Boden: Reibungswinkel 11-12°
- Strukturierte Kunststoffdichtungsbahn (Karo-Noppe-Struktur) gegen Sand 0/2 mm: ca. 25°

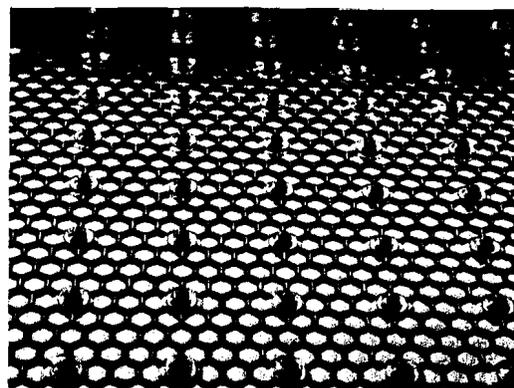


- Strukturierte KDB (Megakron-Struktur) gegen Sand 0/2 mm: ca. 27°
- Vliesstoffkaschierte KDB gegen bindigen Boden: 60 % des inneren Reibungswinkels des Bodens (GRETT, 1984)
- Vliesstoffkaschierte KDB gegen nichtbindigen Boden: 80 - 90 % des inneren Reibungswinkels des Bodens (GRETT, 1984)

Bei Verwendung einer strukturierten KDB oder einer vliesstoffkaschierten KDB an der Auflagefläche des Systems kann also eine hohe Reibung zwischen Boden und System erzielt werden.



Carbofol Karo-Noppe



Carbofol Megakron

Abb. 1: Strukturierte Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) der Naue Fasertechnik GmbH (BBG, 2004)

Zu untersuchen ist, wie stark sich ein Grasbewuchs auf einer Böschung bezüglich des Reibungsverhaltens auswirkt. Hierzu liegen in der Literatur keine gesicherten Angaben vor.

### 9.3. Geotechnische Belastbarkeit

Zur Ableitung der Lasten in den Untergrund werden beim ortsungebundenen mobilen Hochwasserschutzsystem i.d.R. keine gesonderten Tragelemente vorgesehen, sondern das mobile System wird auf den vorhandenen Untergrund platziert. Die Beschaffenheit des Untergrunds kann hierbei sehr unterschiedlich sein. Es kann sich um den anstehenden Boden, ggf. mit Rasenbedeckung, handeln, oder es können befestigte Flächen sein, die entweder versiegelt oder wasserdurchlässig sind. Der Untergrund kann eben, uneben oder geböschet sein, wie z.B. beim Einsatz von Schutzsystemen zur Deicherhöhung. Zudem spielt nicht nur die Beschaffenheit des direkt an der Hochwasserschutzlinie vorhandenen Untergrunds eine Rolle, sondern es sind einzelne, innerhalb der Linie stehende oder in der Nähe der Linie befindliche Bauwerke zu beachten, wie Rohrleitungen, Kanäle, Leitungen und Gebäude, die zu einer Schwächung der Tragfähigkeit oder auch zu Umläufigkeiten des gestauten Wassers führen können.



Die geotechnischen Nachweise müssen ortsspezifisch geführt werden. Da eine Nachweisführung beim notfallmäßigen Hochwasserschutz i.d.R. nicht möglich ist und die Tragfähigkeit des Untergrunds nicht bekannt ist, sind hier vergleichsweise geringe Schutzhöhen zu erreichen, vgl. Kap. 7.

Grundsätzlich ist zur Gewährleistung der geotechnischen Standsicherheit Folgendes zu beachten (BWK, 2005):

- Standsicherheit des mobilen Systems in Bezug auf seine Gründung (Grundbruchnachweis, Kippsicherheit (Abschnitt 9.2.10) und Sicherheit gegen Abschieben (Gleiten) (Abschnitt 9.2.10))
- Standsicherheit von Böschungen in der Nähe des mobilen Systems
- Sicherheit gegen Auftrieb und hydraulische Grundbruchsicherheit im Gründungsbereich des mobilen Systems
- Erosionssicherheit (Kontakterosion an Schichtgrenzen (Filterstabilität), Suffosion, Erosionsgrundbruch)

## **10. Gewicht**

Beim mobilen Hochwasserschutz ist es einerseits vorteilhaft, große Elementlängen einzusetzen, um den Systemaufbau zu rationalisieren. Andererseits müssen die Systemelemente zum Einsatzort transportiert und dort an Ort und Stelle ausgerichtet werden, so dass von der Art des Transports und des Aufbaus abhängige Höchstgewichte eingehalten werden müssen.

Nach PATT (2001) sollte das Gewicht der zu montierenden Einzelteile auf max. 30 kg beschränkt sein. Dies entspricht dem Gewicht eines gefüllten nassen Sandsacks. Bei mobilen Hochwasserschutzelementen, von denen nicht, wie bei Sandsäcken üblich, über einen langen Zeitraum eine erhebliche Anzahl gehoben und weitergegeben werden müssen, sondern die Elemente zunächst zwar zum Einsatzort getragen werden, dann jedoch ohne oder mit deutlich geringerer körperlicher Belastung aufgebaut werden, kann die Größe der Einzelmasse erhöht werden.

Soll das System flexibel an unterschiedlichen, nicht zuvor bekannten Orten als notfallmäßiges mobiles ortsungebundenes Hochwasserschutzsystem eingesetzt werden, muss es so ausgelegt sein, dass es von zwei, höchstens vier Personen über eine Strecke von mehreren 10 Metern getragen werden kann. Ist es so ausgelegt, dass es von zwei Personen getragen werden soll, ist eine Einzelmasse von 60 kg nicht zu überschreiten. Soll es von vier Personen transportiert werden, ist eine Einzelmasse von 100 kg nicht zu überschreiten. Jeweils sind Haltegriffe oder Ähnliches an den Systemelementen bzw. an der Transporteinheit vor-



zusehen. Ist der Einsatzort dagegen bekannt und kann er mit Fahrzeugen erreicht werden, die mit Hebewerkzeugen ausgestattet sind, sind höhere Einzelgewichte handhabbar.

### **11. Befüllung**

Die Befüllung der mit Wasser befüllbaren Konstruktion erfolgt mit Pumpen. Die Pumpenleistung ist entsprechend der Systemgröße so zu wählen, dass einerseits keine unzulässig hohen Befülldrucke auftreten und dass andererseits die Befüllzeit nicht zu stark ansteigt. Die Konstruktion muss so ausgelegt sein, dass auch mit Sedimenten versetztes Flusswasser sowie salziges Meerwasser eingesetzt werden kann. Die Durchlässe innerhalb der Konstruktion müssen also derart gestaltet sein, dass sie durch mitgeführte Sedimente nicht verstopft werden können und das Material muss salzwasserresistent sein.

Bei der Befüllung mit sedimenthaltigen Wässern ist zu beachten, dass sich die Sedimente in der Konstruktion ablagern, sobald die Fließgeschwindigkeit und somit die Schleppkraft geringer wird. Eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit erfolgt bereits kurz nach Passieren des Einlaufstutzens, so dass sich Sedimente nahe des Einlaufs ablagern können.

### **12. Reparatur während des Einsatzes**

Das mobile Hochwasserschutzsystem sollte so konzipiert sein, dass eine Reparatur von Schadstellen unter Einsatzbedingungen möglich ist.

Grundlage hierfür ist ein Außenmaterial, in dem sich einmal entstandene Risse nicht durch die bloße Strömungskraft des austretenden Wassers erweitern. Darüber hinaus ist ein Schließen eines entsprechenden Lecks durch die Auflage von Material und dessen Verklebung bzw. Beschwerung anzustreben. Eine weitgehende Sicherheit gegen Versagen der Konstruktion kann auch dadurch erreicht werden, indem die Möglichkeit des Nachpumpens von Wasser zum Ausgleich der Leckverluste vorgehalten wird. Somit ist es sinnvoll, die Befülleinrichtung während der Standzeit an Ort und Stelle betriebsbereit zu belassen. Dies ist dann möglich, wenn größere Systemlängen durch Kopplung der Einzelsysteme mit Befüllschläuchen von einem Ort aus befüllt werden können. Bei der so entstehenden großen Fülllänge sind die Strömungsverluste zu beachten. Systemabhängig sind also Höchstbefüllstrecken im Vorfeld festzulegen.

### **13. Abbau und Reinigung**

An der Unterseite der Konstruktion sind Entleerungsstutzen anzuordnen, die so groß auszuliegen sind, dass ein rascher Auslauf des Füllwassers und der ggf. bei der Füllung eingetragenen Sedimente erfolgen kann. Hierbei ist zu beachten, dass sich bei der Füllung in der



Nähe des Einlaufs größere Mengen Sedimente abgelagert haben können (vgl. Abschnitt 11), die ebenfalls aus dem System zu entfernen sind. Einlauf- und Auslaufstutzen sind so anzuordnen, dass eine Spülung zur Reinigung der Konstruktion effektiv möglich ist.

#### 14. Lagerung

Das System ist aus einem lagerfähigen Material zu erstellen. Die Lagerung sollte so erfolgen können, dass kein oder nur geringe Mengen Spülwasser über einen längeren Zeitraum im System verbleiben, um ein Anfaulen des Wassers zu verhindern und damit einer Geruchsbelästigung und Verkeimung vorzubeugen.

#### 15. Schrifttum

BBG	2004	Reibungsverhalten von Geokunststoffen. Schriftliche Mitteilung vom 23.09.2004 von der BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Lemförde
BWK	2005	Mobile Hochwasserschutzsysteme - Grundlagen für Planung und Einsatz. Merkblatt 6, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Sindelfingen.
EAU	2004	Empfehlungen des Ausschusses für "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen EAU 2004, 10. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.
FLOODMASTER	2006	Infobroschüre auf Webseite: <a href="http://www.floodmaster.ca/pdf/FloodBusterENG.pdf">http://www.floodmaster.ca/pdf/FloodBusterENG.pdf</a>
GAIATEC	2006	Website mit Produktinformationen: <a href="http://www.gaiatec.ch/15030/index.html">http://www.gaiatec.ch/15030/index.html</a>
GRETT, HANS-DIETRICH	1984	Das Reibungsverhalten von Geotextilien in bindigem und nichtbindigem Boden. In: Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Hannover.
KOPPE, BÄRBEL	2002	Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste (Dissertation). Rostocker Berichte aus dem Fachbereich Bauingenieurwesen, Heft 8, Universität Rostock, Rostock.



---

KUCHLING, HORST	1979	Taschenbuch der Physik. Verlag Harri Deutsch Thun und Frankfurt / Main.
NOAQ	2006	Webseite mit Produktinformationen: <a href="http://www.noaq.com">http://www.noaq.com</a>
PATT, HEINZ (HRSG.)	2001	Hochwasser- Handbuch/ Auswirkungen und Schutz. Springer Verlag; Berlin Heidelberg
VKF-BWG	2004	Mobiler Hochwasserschutz - Systeme für den Notfall. Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen, Bern (VKF), Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel (BWG).

Rostock, den 19. Dezember 2006

Dr.-Ing. Bärbel Koppe