

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Odenwald, Bernhard**

## **Neuerungen im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011**

BAWMitteilungen

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102572>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Odenwald, Bernhard (2011): Neuerungen im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011. In: BAWMitteilungen 94. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 35-46.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Neuerungen im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011

## *Changes in the Code of Practice – Stability of Embankment Dams at German Inland Waterways (MSD), 2011 Edition*

Dr.-Ing. Bernhard Odenwald, Bundesanstalt für Wasserbau

Das im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes eingeführte Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD) wurde zum zweiten Mal überarbeitet. Das Merkblatt regelt die Vorgehensweise bei der Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen und deren Anschlüssen an Bauwerke. Anlass der Überarbeitung war die erforderliche Anpassung der Nachweise an die Regelungen der Eurocodes, die zukünftigen europäischen Grundlagnormen im Bauwesen, und der darauf basierenden nationalen Normen. Weiterhin wurden die Regelungen des Merkblatts auf Grundlage der Erkenntnisse aus den durchgeführten umfangreichen Untersuchungen zur Standsicherheit der Dämme an den Bundeswasserstraßen überarbeitet. In dem Beitrag werden die wesentlichen Änderungen und Ergänzungen im Einzelnen beschrieben.

*The Code of Practice – Stability of Embankment Dams at German Inland Waterways (Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)), which is valid within the German Federal Waterways and Shipping Administration, has been revised for the second time. This Code of Practice regulates the verification of embankment dam stability and their joints to embedded structures. The revision was motivated by the need to adapt verification methods to the Eurocodes, the future basic European standards in civil engineering, and to the national standards based thereupon. Moreover, MSD regulations have been revised due to knowledge gained recently through comprehensive investigations on embankment dam stability at German inland waterways. In this paper, the individual significant changes and additions are described.*

### 1 Einleitung *Introduction*

Das Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD) regelt die Vorgehensweise bei der Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen und deren Anschlüssen an Bauwerke unter besonderer Berücksichtigung der erhöhten geohydraulischen Beanspruchungen bei einer Dammdurchströmung. Das erstmals 1998 erschienene und für den Geltungsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) eingeführte Merkblatt wurde bereits einmal überarbeitet. Das mit Erlass vom 22. September 2005 vom damaligen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVWB) eingeführte MSD, Ausgabe 2005 [1], dient als Grundlage für die seit 2003 im Rahmen des WSV-Projektes „Dammnachsorge“ durchgeführten Untersuchungen über die Standsicherheit der Seitendämme von Kanalhaltungen, Schleusenkanälen und Flusstauhaltungen an Bundeswasserstraßen.

Anlass für die erneute Überarbeitung des MSD war die europäische Harmonisierung der Grundlagnormen im Bauwesen durch die Eurocodes. Das Merkblatt wurde hinsichtlich der Grundlagen, Ansätze und Begriffe für die Sicherheitsnachweise an die Systematik und die Nachweisverfahren des Eurocode 7 DIN EN 1997-1:2009 [2] und der neuen, als nationale Ergänzungsnorm fungierenden DIN 1054:2010 [3] angepasst. Dies betrifft insbesondere die Einführung von Bemessungssituationen anstelle von Lastfällen, die Definition der Grenzzustände und die Berücksichtigung der den Bemessungssituationen und Grenzzuständen zugeordneten Teilsicherheitsbeiwerte. Weiterhin wurden auf Grundlage der Erfahrungen aus den umfangreichen Untersuchungen im Rahmen der Dammnachsorge ein-

zelne Vorgaben des Merkblatts überarbeitet sowie ergänzende Regelungen aufgenommen.

## 2 Europäische und nationale Grundlagennormen

### *European and national basic standards*

Im Zuge der europäischen Harmonisierung der Normen im Bauwesen wurden die deutschen, nationalen Normen vielfach bereits vor Einführung der Eurocodes von dem in Deutschland bis dato üblichen globalen Sicherheitskonzept auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt. Anstatt der Verwendung von globalen Sicherheitsbeiwerten in den bautechnischen und geotechnischen Nachweisen werden bei Ansatz des Teilsicherheitskonzepts die einzelnen Einwirkungen bzw. Beanspruchungen sowie die Widerstände jeweils mit Teilsicherheitsbeiwerten beaufschlagt. Die unterschiedlichen Einwirkungen auf Tragwerke mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten sowie die Grundlagen der Tragwerksplanung, das Sicherheitskonzept und die Bemessungsregeln sind bisher in der nationalen Grundlagennorm DIN 1055-100:2001 [4] geregelt. Diese ist z. B. auch Grundlage der DIN 19702:2010 [5], in der die wesentlichen Anforderungen an die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Massivbauwerken im Wasserbau festgelegt sind. Bei den Nachweisen für die Einhaltung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit wird in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen unterschieden. In der nationalen geotechnischen Grundlagennorm DIN 1054:2005 [6] wurde die Vorgehensweise bei der Erstellung von Standsicherheitsnachweisen ebenfalls auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt. Hier werden jedoch Lastfälle 1 bis 3 definiert, die im Wesentlichen den Bemessungssituationen in [4] entsprechen.

Durch die europäische Harmonisierung der Normen im Bauwesen werden u. a. die nationale Grundlagennorm DIN 1055-100 für die Tragwerksplanung durch den Eurocode DIN EN 1990:2010 [7], im Folgenden als EC 0 bezeichnet, und die nationale Grundlagennorm DIN 1054:2005 für die geotechnische Bemessung durch den Eurocode 7 DIN EN 1997 (EC 7) ersetzt. Zusätzliche nationale Bestimmungen, die den europäischen Regelungen nicht widersprechen dürfen, sind

in den Nationalen Anhängen (NA) zu den Eurocodes sowie ggf. in nationalen Ergänzungsnormen geregelt. Für die geotechnischen Bemessungsgrundlagen in Deutschland sind die wesentlichen zusätzlichen nationalen Regelungen in der Ergänzungsnorm DIN 1054:2010 enthalten (siehe auch Schuppener [8]). Entsprechend den Regelungen für die Grundlagen der Tragwerksplanung im EC 0 wird für die geotechnischen Standsicherheitsnachweise im EC 7 anstelle der Lastfälle 1 bis 3 nun ebenfalls in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen unterschieden.

Die geotechnischen Nachweise für die Dämme an Bundeswasserstraßen nach MSD 2005 basieren auf den Regelungen der DIN 1054:2005 mit dem Teilsicherheitskonzept und der Unterscheidung in die Lastfälle 1 bis 3. Zusätzlich zu diesen Lastfällen wird im MSD 2005 ein Sonderlastfall 4 definiert, um nicht vollständig auszuschließende Kombinationen von Einwirkungen zu berücksichtigen, die zu einem Dammbrech führen können. Insbesondere berücksichtigt wird dabei ein gleichzeitiges Versagen von zwei unabhängig voneinander wirkenden hydraulischen Sicherungssystemen (z. B. Kanaldichtung und Auflastdrän am luftseitigen Fuß des Kanaldammes). Die im Lastfall 4 anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte für die geotechnischen Nachweise der Dammstandsicherheit (Böschungsstandsicherheit, Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch und gegen Aufschwimmen) sind im MSD 2005 vorgegeben.

## 3 Schnittstelle Damm – Bauwerk

### *Joints of embankment dam and structures*

In den Dammstrecken der Bundeswasserstraßen befindet sich eine große Anzahl von Unterführungsbauwerken. Auf Grund der unterschiedlichen Steifigkeit von Erddamm und Betonbauwerk und daraus resultierenden unterschiedlichen Setzungen ergibt sich bei einer Durchströmung des Dammes die Gefahr einer Bildung von Erosionskanälen entlang der Anschlussbereiche zwischen Bauwerk und Damm (siehe Odenwald [9]). Im MSD 2005 wird ein Verfahren für den Nachweis der Standsicherheit von Dämmen mit darin befindlichen Bauwerksteilen vorgegeben, durch das die erhöhte Gefährdung durch Erosion entlang der Grenzflächen bei Dammdurchströmung berücksichtigt wird. Das Verfahren basiert

auf numerischen Berechnungen der Dammdurchströmung, bei denen neben dem hydraulischen Ausfall von Dichtungen des Gewässerbetts auch mögliche Fugen zwischen Bauwerk und Dammkörper berücksichtigt werden (siehe Laursen [10]).

Bei einer Leckage in der Dichtung des Gewässerbetts, z. B. durch eine Schiffsanfahrung, ergibt sich auf Grund der Dammdurchströmung auch eine erhöhte Beanspruchung von im Dammkörper befindlichen Bauwerken durch die Wasserdruck- und Strömungskräfte. Im MSD 2005 wird gefordert, dass auf Grundlage der aus den numerischen Strömungsberechnungen resultierenden hydraulischen Beanspruchungen die bautechnischen und die geotechnischen Nachweise der Tragfähigkeit und Standsicherheit der Bauwerksteile zu führen sind. Für die Durchführung der Nachweise wird auf die relevanten bautechnischen und geotechnischen Normen verwiesen, in denen jedoch weder ein Lastfall 4 noch eine dem Lastfall 4 entsprechende Bemessungssituation definiert sind. Dies bedingte, dass die hydraulischen Beanspruchungen, die gemäß MSD 2005 sowohl im Lastfall 3 als auch im Lastfall 4 ermittelt wurden, in den bautechnischen Tagfähigkeitsnachweisen jeweils der außergewöhnlichen Bemessungssituation und in den geotechnischen Standsicherheitsnachweisen jeweils dem Lastfall 3 zugeordnet werden mussten. In den bautechnischen Nachweisen für die Unterschreitung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit ist nach DIN 19702:2010 [5] eine weitere Abminderung der Teilsicherheitsbeiwerte auch nicht möglich, da in der außergewöhnlichen Bemessungssituation bereits alle Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen 1,0 betragen.

Dies hatte zur Folge, dass sowohl für den Lastfall 3 als auch für den Lastfall 4 nach MSD 2005 die bautechnischen und geotechnischen Nachweise von Bauwerken in Dämmen mit den gleichen Teilsicherheitsbeiwerten durchgeführt werden mussten. D. h., wenn für die geohydraulischen Beanspruchungen aus dem Lastfall 3 nach MSD 2005 (z. B. Versagen der Kanaldichtung) keine ausreichende Standsicherheit eines im Damm befindlichen Bauwerks nachgewiesen werden konnte, so ergab sich zwangsläufig auch für die Beanspruchungen aus dem Lastfall 4 nach MSD 2005 (z. B. gleichzeitiges Versagen von Kanaldichtung und Drän) keine ausreichende Standsicherheit des Bauwerks. Deshalb konnte z. B. die den Wasserdruck auf Bauteile in Dämmen reduzierende Wirkung von Dränagen nicht berücksichtigt

werden, wenn im Lastfall 4 nach MSD 2005 ein gleichzeitiges Versagen von Kanaldichtung und Drän (1. und 2. hydraulisches Sicherungselement) angesetzt werden musste. Diese Problematik beim Nachweis der Standsicherheit von Bauwerken in Dämmen auf Grundlage der Regelungen im MSD 2005 ist im Ablaufdiagramm in Bild 1 dargestellt.

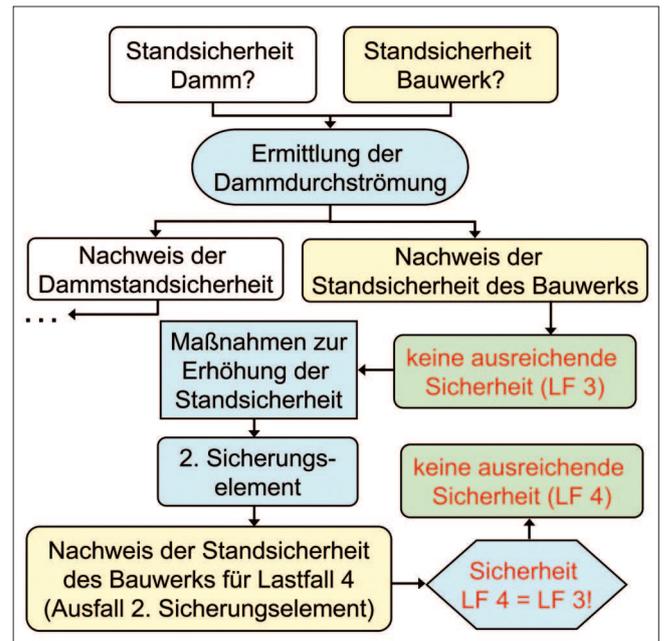


Bild 1: Überprüfung der Standsicherheit von Bauwerken in Dämmen auf Grundlage des MSD 2005  
 Figure 1: Verification of the stability of structures embedded in embankment dams based on MSD 2005

Die im Rahmen der Dammnachsorge durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass Wasserdruckbeanspruchungen von Bauwerken, die sich aus der Annahme eines hydraulischen Versagens der Kanaldichtung ergeben, in vielen Fällen in den für die Erstellung des Bauwerks zu Grunde gelegten statischen Berechnungen nicht angesetzt wurden. Deshalb sind zum Nachweis einer ausreichenden Standsicherheit von Bauwerken in Dämmen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (hydraulisches Versagen der Kanaldichtung) häufig Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Dies kann einerseits durch Verstärkung der Widerstände des Bauwerks zur Aufnahme der erhöhten geohydraulischen Beanspruchungen (z. B. durch Verankerungen) und andererseits durch Reduzierung der geohydraulischen Einwirkungen auf das Bauwerk (z. B. durch Dräns) erfolgen. Dränagemaßnahmen haben den Vorteil, dass sie nur wirksam werden, wenn erhöhte hydraulische Beanspruchungen infolge des Versagens von Dichtungen auftreten. Veran-

kerungen müssten zumeist vorgespannt werden um die Verformungen bei der Lastaufnahme zu begrenzen. Die Bauwerke sind jedoch oft nicht geeignet zur Aufnahme der aus den erforderlichen Ankerkräften resultierenden, dauerhaft wirkenden Beanspruchungen. Aus diesen Gründen sind Dränagen zumeist deutlich besser geeignet zur nachträglichen Sicherung von Bauwerken in Dämmen unter Berücksichtigung der aus dem Versagen von Dichtungen resultierenden geohydraulischen Beanspruchungen (siehe auch Ratz & Odenwald [11]).

Die auf Grundlage des MSD 2005 durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen von Bauwerken in Dämmen haben gezeigt, dass bei der Überarbeitung des Merkblatts zur Vermeidung von Schnittstellenproblemen auf eine „Sonder-Bemessungssituation“ entsprechend dem bisherigen Lastfall 4 verzichtet werden sollte. Die bisherigen Lastfälle 1 bis 4 nach MSD 2005 sind deshalb in die Bemessungssituationen nach EC 7 zu integrieren. Daraus ergab sich das Erfordernis, die Zuordnung der Einwirkungen in den einzelnen Bemessungssituationen neu zu regeln. Dies betrifft insbesondere die Integration der Einwirkungen aus den bisherigen Lastfällen 3 und 4 in die außergewöhnliche Bemessungssituation. Im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011 [12] wird auf den grundsätzlichen Ansatz eines gleichzeitigen hydraulischen Versagens von zwei hydraulischen Sicherungselementen verzichtet. Vielmehr erfolgt die Berücksichtigung der Wirkung eines Sicherungselements in Abhängigkeit von dessen Qualität. Nach MSD 2011 sind dadurch Dränagen als zweites Sicherungselement unter bestimmten Qualitätsanforderungen auch geeignet zur Erhöhung der Standsicherheit von Bauwerken in Dämmen.

## 4 Neue Regelungen im MSD, Ausgabe 2011

### *New regulations in MSD, 2011 edition*

Die neuen Regelungen im MSD 2011 ergeben sich zu einem großen Teil aus der Anpassung an die Regelungen der europäischen Grundlagennormen EC 0 und EC 7 und der nationalen Ergänzungsnorm DIN 1054:2010 sowie der erforderlichen Überführung der bisherigen Lastfälle 1, 2, 3 und 4 nach MSD 2005 in die ständige (BS-P), vorübergehende (BS-T) und außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A). Nachstehend sind die wesent-

lichen vom MSD 2005 abweichenden Regelungen dargestellt. Die Kapitelangaben beziehen sich auf das neue MSD 2011.

### 4.1 Bemessungssituationen (Kapitel 3.2)

#### *Design situations (chapter 3.2)*

In der ständigen Bemessungssituation BS-P nach EC 0, die innerhalb eines Zeitraumes maßgebend ist, der der geplanten Nutzungsdauer des Dammes entspricht, sind für die Standsicherheitsnachweise von Dämmen neben den ständigen Einwirkungen aus Eigenlasten und ständig wirkenden Erd- und Wasserdrücken die veränderlichen Einwirkungen aus Nutz- und Verkehrslasten sowie aus veränderlichen Wasserständen bei hochwasserbelasteten Dämmen zu berücksichtigen. Dabei sind die charakteristischen Werte veränderlicher Einwirkungen so festzulegen, dass sie in der zu erwartenden Nutzungsdauer des Dammes nicht überschritten werden. Bei Festlegung auf statistischer Basis sind die charakteristischen Werte veränderlicher Einwirkungen i. d. R. für eine Auftretenswahrscheinlichkeit von ein Mal in der Nutzungsdauer des Dammes zu wählen.

In der vorübergehenden Bemessungssituation BS-T nach EC 0, die während eines wesentlich kürzeren Zeitraums als der geplanten Nutzungsdauer des Dammes maßgebend ist, sind die hier jeweils maßgebenden ständigen und veränderlichen Einwirkungen anzusetzen. Dabei handelt es sich um geplante, besonders überwachte Bau- und Revisionszustände. Bei der Festlegung der hier maßgebenden Werte der veränderlichen Einwirkungen ist der relativ kurze Zeitraum der Bau- oder Revisionszustände zu berücksichtigen.

In der außergewöhnlichen Bemessungssituation BS-A nach EC 0, in der außergewöhnliche Bedingungen für den Damm berücksichtigt werden, ist zusätzlich zu den ständigen und veränderlichen Einwirkungen der Bemessungssituationen BS-P oder BS-T jeweils eine außergewöhnliche Einwirkung zu berücksichtigen. Außergewöhnliche Einwirkungen mit einer äußerst geringen Auftretenswahrscheinlichkeit stellen bei Dämmen z. B. das vollständige Versagen eines hydraulischen Sicherungselementes oder ein außergewöhnliches Hochwasser dar.

## 4.2 Berücksichtigung von Sicherungselementen (Kapitel 3.3)

### *Consideration of safety elements (chapter 3.3)*

Die neuen Regelungen für die Berücksichtigung von Sicherungselementen in den unterschiedlichen Bemessungssituationen resultieren insbesondere aus der Integration der bisherigen Lastfälle 3 und 4 nach MSD 2005 in die außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A).

### 4.2.1 Bauweisen mit Dräns (Kapitel 3.3.1)

#### *Construction design including drainage (chapter 3.3.1)*

Für Bauweisen mit Dräns gelten nach MSD 2011 die folgenden Regelungen:

Die druckentlastende Wirkung von Dräns darf in der Durchströmungsberechnung und den darauf basierenden Standsicherheitsberechnungen nur angesetzt werden, wenn

- die geometrische Filterstabilität des Dränmaterials gegenüber dem Baugrund nachgewiesen wird bzw. ist und
- bei Dräns, bei denen zur Ableitung des gefassten Wassers eine Dränleitung erforderlich ist, außerdem eine Überprüfung der Funktionstüchtigkeit der Dränagen möglich ist und regelmäßig durchgeführt wird.

Ist dies nicht der Fall, ist von einer fehlenden Funktionsfähigkeit des Dräns auszugehen und die druckentlastende Wirkung der Dräns darf nicht berücksichtigt werden.

Diese Regelungen gelten für alle Bemessungssituationen, unabhängig davon, ob der Drän als erstes Sicherungselement ständig, nur in einem Bauzustand oder nur bei Hochwasser beaufschlagt wird oder ob er als zweites Sicherungselement nur beim Ausfall des ersten Sicherungselement oder zusammen mit Dichtungen, die nur eine Sickerwegsverlängerung bewirken, wirksam ist.

### 4.2.2 Bauweisen mit mehreren Sicherungselementen (Kapitel 3.3.3)

#### *Construction design including multiple safety elements (chapter 3.3.3)*

Für Bauweisen mit mehreren Sicherungselementen gelten nach MSD 2011 die folgenden Regelungen für die erforderlichen Nachweise in der außergewöhnlichen Bemessungssituation BS-A:

Bei mehreren, unabhängig voneinander wirksamen Sicherungselementen (Bild 2) ist nur der hydraulische Ausfall des ersten Sicherungselementes zu untersuchen. Dies setzt voraus, dass ein Beobachtungssystem existiert, durch das das Versagen des ersten Sicherungselementes erkannt werden kann und somit eine außergewöhnliche Bemessungssituation BS-A nicht unerkannt zu einer ständigen Bemessungssituation BS-P wird.

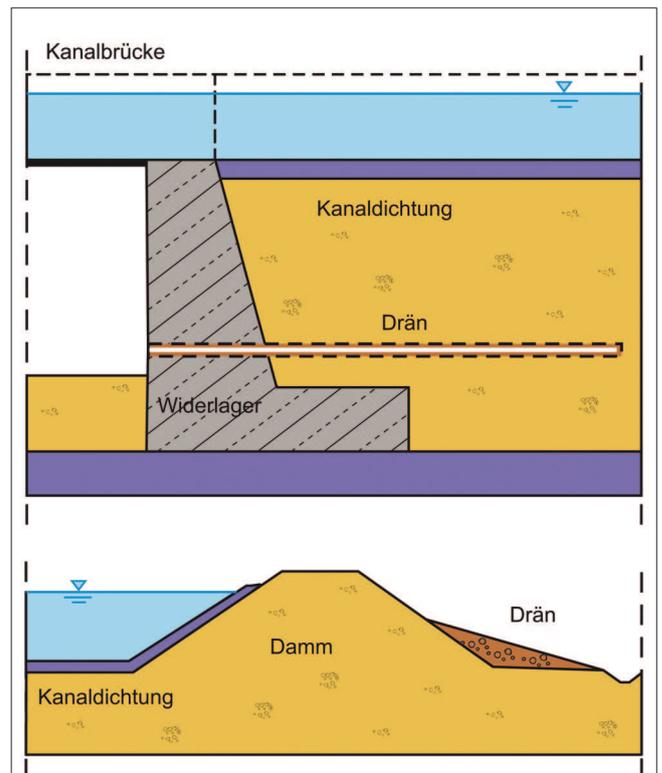


Bild 2: Beispiele für Bauweise mit zwei unabhängig voneinander wirkenden Sicherungselementen (Kanaldichtung und Drän)

Figure 2: Construction examples including two independent safety elements (impervious lining and drain)

Bei mehreren, zusammen wirksamen Sicherungselementen, z. B. unvollständige Dichtung, die nur eine Verlängerung des Sickerwegs bewirkt, und Drän (Bild 3), ist der hydraulische Ausfall jedes Sicherungselements separat zu untersuchen. Kann das hydraulische Versagen des ersten Sicherungselementes nicht durch ein Beobachtungssystem (z. B. Grundwassermessstellen) erkannt werden, so ist der gemeinsame hydraulische Ausfall der beiden Sicherungselemente anzusetzen.

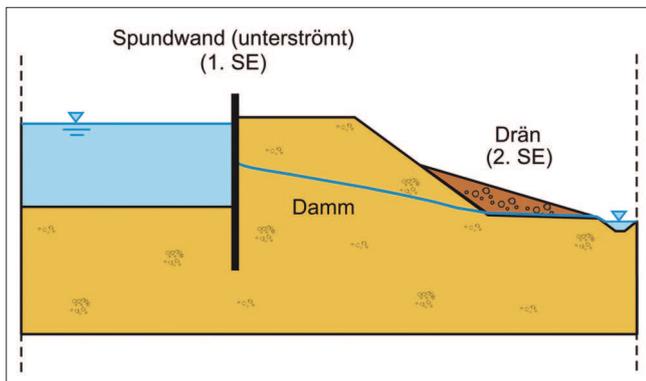


Bild 3: Beispiel für Bauweise mit zwei gemeinsam wirkenden Sicherungselementen (unterströmte Spundwand und Drän)

Figure 2: Construction example including two interacting safety elements (sheet pile wall with under-flow and drain)

#### 4.2.3 Bauweisen mit Innendichtungen (Kapitel 3.3.2) *Construction design with internal cut-off (chapter 3.3.2)*

Für Bauweisen mit Innendichtungen gelten nach MSD 2011 die folgenden Regelungen für die erforderlichen Nachweise in der außergewöhnlichen Bemessungssituation BS-A:

Ein hydraulischer Ausfall von Innendichtungen in Dämmen muss nicht angesetzt werden, wenn deren Dichtwirkung durch eine Funktionsprüfung (z. B. Grundwasserstandsmessungen, Bodentemperaturmessungen) sichergestellt wird bzw. wurde. Ist eine Funktionsprüfung nicht durchführbar, kann auf den Ansatz eines hydraulischen Ausfalls einer Innendichtung nur dann verzichtet werden, wenn die Dichtung eine sehr hohe Systemsicherheit aufweist. Die Systemsicherheit ist gutachterlich zu bewerten.

#### 4.2.4 Bauweisen mit massiven Uferwänden (Kapitel 3.3.2) *Construction design with solid bank wall (chapter 3.3.2)*

Für Bauweisen mit massiven Uferwänden gilt nach MSD 2011 die folgende Regelung für die erforderlichen Nachweise in der außergewöhnlichen Bemessungssituation BS-A:

Der hydraulische Ausfall massiver Uferwände ist nicht anzusetzen, wenn nachgewiesen wird, dass eine Schiffsanfahrt nicht zu einer Undichtigkeit führt.

#### 4.3 Hochwasserbelastete Dämme (Kapitel 4.2.2) *Flood loaded embankment dam (Chapter 4.2.2)*

Die in den einzelnen Bemessungssituationen anzusetzenden Hochwasserstände wurden auf Grundlage der Regelungen für Einwirkungen im EC 0 neu festgelegt. Dadurch konnten die Regelungen für den Ansatz von Hochwasserständen in den einzelnen Bemessungssituationen gegenüber denen im MSD 2005 deutlich vereinfacht werden. In Tabelle 1 sind die nach MSD 2011 in den einzelnen Bemessungssituationen anzusetzenden Hochwasserstände zusammengefasst.

In der ständigen Bemessungssituation BS-P ist zur Ermittlung der charakteristischen Wasserdruck- und Strömungskräfte der Wasserstand bei Bemessungshochwasser anzusetzen. Dieser Bemessungshochwasserstand (BHW) ist der für die Errichtung der Dämme zu Grunde gelegte Hochwasserstand. Die Jährlichkeit  $n$  (Reziprokwert der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit) des Bemessungshochwassers beträgt für die hochwasserbelasteten Dämme an Bundeswasserstraßen i. d. R.  $n \approx 50 - 100$  a. Bei geringer Dammhöhe und geringen Anforderungen an den Hochwasserschutz des Hinterlandes kann in Abstimmung mit den für den Hochwasserschutz zuständigen Behörden auch eine deutlich geringere Jährlichkeit für den maßgebenden Hochwasserstand festgelegt werden.

Die vorübergehende Bemessungssituation BS-T bezieht sich auf Bau- und Revisionszustände. Der maßgebende Bemessungshochwasserstand  $BHW_{\text{Bau}}$  ist jeweils im Einzelfall festzulegen, wobei die geplante Dauer des Bau- oder Revisionszustands zu berücksichtigen ist.

Bemes- sungs- situation	Einwirkung	Hochwasserstände	
		Betriebszustand	Bau- oder Revisionszustand
BS-P	ständige und veränderliche	Bemessungshochwasserstand (BHW) (Jährlichkeit $n \approx 50 - 100$ a)	
BS-T	ständige und veränderliche		Bemessungshochwasserstand für Bau- oder Revisionszustände ( $BHW_{\text{Bau}}$ )
BS-A	außer- gewöhnliches Hochwasser	bordvoller Wasserstand bzw. außergewöhnlicher Hochwasserstand (Jährlichkeit $n \approx 100 - 1000$ a)	über $BHW_{\text{Bau}}$ hinausgehender Hochwasserstand
	eine andere außer- gewöhnliche Einwirkung	Bemessungshochwasserstand (BHW) (Jährlichkeit $n \approx 50 - 100$ a)	Bemessungshochwasserstand für Bau- oder Revisionszustände ( $BHW_{\text{Bau}}$ )

Tabelle 1: Maßgebende Hochwasserstände nach MSD 2011  
 Table 1: Relevant flood levels according to MSD 2011

In der außergewöhnlichen Bemessungssituation BS-A ist zu unterscheiden, ob diese durch ein außergewöhnliches, das Bemessungshochwasser übersteigendes Hochwasser oder durch eine andere außergewöhnliche Einwirkung (z. B. Ausfall eines hydraulischen Sicherungselements) bewirkt wird. Zusätzlich ist zu unterscheiden, ob die außergewöhnliche Einwirkung während des Betriebszustandes des Dammes oder während eines Bau- oder Revisionszustandes zu berücksichtigen ist.

Stellt das Hochwasser die außergewöhnliche Einwirkung dar, so ist für den Betriebszustand ein Hochwasser mit einer deutlich höheren Jährlichkeit ( $n \approx 200 - 1000$  a) als in der ständigen Bemessungssituation BS-P anzusetzen. Alternativ kann ein bordvoller Wasserstand (Wasserstand bis OK Dammkrone) bzw. ein maximal möglicher Wasserstand im Bereich von überhöhten Dammstrecken (z. B. Brückenrampen) angesetzt werden. Im Bau- oder Revisionszustand sind die erforderlichen Maßnahmen bei Überschreitung des bauzeitlichen Bemessungshochwasserstandes  $BHW_{\text{Bau}}$  im Einzelfall festzulegen.

Wird eine andere außergewöhnliche Einwirkung betrachtet, so ist bei hochwasserbelasteten Dämmen im

Betriebszustand der Bemessungshochwasserstand BHW entsprechend BS-P und im Bau- oder Revisionszustand der bauzeitliche Bemessungshochwasserstand  $BHW_{\text{Bau}}$  anzusetzen.

#### 4.4 Teilsicherheitsbeiwerte (Kapitel 5) *Partial safety factors (chapter 5)*

Für die Nachweise der globalen und lokalen Böschungsstandsicherheit, sowie der ausreichenden Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen sind im MSD 2005 Teilsicherheitsbeiwerte in mehreren Tabellen angegeben. Dies war insbesondere zur Vorgabe von Teilsicherheitsbeiwerten im Lastfall 4 erforderlich. Die Tabellen und zugehörigen Erläuterungen für den Lastfall 4 werden in im MSD 2011 nicht mehr benötigt, da die Nachweise und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für die ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituation im EC 7 und der nationalen Ergänzungsnorm DIN 1054:2010 geregelt sind.

#### 4.5 Mindestquerschnitt (Kapitel 5.3.3)

##### *Minimum cross section (chapter 5.3.3)*

Die Definition des Mindestquerschnitts für den vereinfachten Nachweis der Standsicherheit der luftseitigen Dammböschung in der außergewöhnlichen Bemessungssituation BS-A wurde im MSD 2011 angepasst, da die Unterscheidung zwischen Lastfall 3 und Lastfall 4 entfällt. Zusätzlich zu homogenen Dämmen, deren Querschnitt den Mindestquerschnitt in der Breite übertrifft, wurde die Regelung auch für Dämme ergänzt, deren Querschnitt den Mindestquerschnitt in der Höhe überragt. Diese Dämme werden als überbreite und/oder überhohe Dämme bezeichnet. In den Skizzen zur Definition des Mindestquerschnitts wurden deshalb sowohl überbreite als auch überhohe Dämme berücksichtigt.

#### 4.6 Nachweis gegen Piping (Kapitel 5.6.4)

##### *Verification against piping (chapter 5.6.4)*

Da es sich gezeigt hat, dass der Nachweis der Sicherheit gegen Fugenerosion (Piping) entsprechend dem für Bauwerke in Dämmen nach MSD 2005 für den Nachweis der Sicherheit gegen Fugenerosion unter einer bindigen Deckschicht bei Dämmen oft nicht anwendbar ist, wird im MSD 2011 auf das Verfahren von Sellmeijer verwiesen. Für den Nachweis gegen Fugenerosion bei Bauwerken in Dämmen wird wie im MSD 2005 auf das Kapitel „Bauwerke in Dämmen“ verwiesen, in dem die erforderlichen Nachweise für Dammschnitte mit darin befindlichen Bauwerken detailliert beschrieben werden.

#### 4.7 Dammspektion (Kapitel 7)

##### *Inspection of embankment dams (chapter 7)*

Die Kapitel 7.3 „Beobachtungssysteme bei Bauwerken“ und 8 „Hinweise für die Kontrolle des Dammes“ im MSD 2005 wurden überarbeitet und unter Kapitel 7 „Dammspektion“ im MSD 2011 zusammengefasst. Hinsichtlich der erforderlichen Beobachtungssysteme zur Dammspektion wird in Damfstrecken ohne Bauwerke und in Dammbereiche mit Bauwerken unterschieden um das ggf. erhöhte Gefährdungspotenzial aufgrund möglicher Sickerwege an den Grenzflächen zwischen Bauwerk und Damm zu berücksichtigen.

#### 4.8 Nachweis gegen Fugenerosion bei Bauwerken in Dämmen (Kapitel 7.2)

##### *Verification against piping along embedded structures (chapter 7.2)*

Das Kapitel wurde im MSD 2011 von „Nachweise“ in „Nachweis gegen Fugenerosion“ umbenannt, um zu verdeutlichen, dass bei dem dargestellten Nachweisverfahren die Dammsandsicherheit unter Berücksichtigung von möglichen Fugenerosionen entlang der Grenzflächen zwischen Bauwerk und Dammkörper ermittelt wird. Grundlage des Verfahrens sind numerische Berechnungen der Dammdurchströmung im Bauwerksbereich. Dabei werden mögliche, bereits vorhandene oder durch Fugenerosion entstehende Hohlräume zwischen Bauwerk und Damm durch Bereiche erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit abgebildet. Die Ergebnisse der Strömungsrechnungen dienen als Grundlage für die Untersuchung der Dammsandsicherheit im Bauwerksbereich sowie für die Tragfähigkeitsnachweise des Bauwerks (siehe auch Laursen [10]). Zur besseren Übersicht wurde das Kapitel untergliedert in „7.2.1 Vorgehensweise“ und „7.2.2 Berechnung der Dammdurchströmung im Bauwerksbereich“.

#### 4.9 Bewuchs auf Dämmen (Kapitel 8)

##### *Vegetation on embankment dams (chapter 8)*

Das Kapitel wurde im MSD 2011 überarbeitet und neu strukturiert. Es wird gegenüber dem MSD 2005 stärker herausgestellt, dass auf Dämmen an Bundeswasserstraßen grundsätzlich nur ein Grasbewuchs mit dem Ziel einer dichten Grasnarbe zugelassen ist. Nur auf überbreiten oder überhohen Dämmen, die über den in Kapitel 5.3.3 definierten Mindestquerschnitt hinausragen, ist ein Gehölzbewuchs zulässig. Dämme, die keinen Mindestquerschnitt enthalten, dürfen nicht mit Gehölzen bepflanzt werden.

Für vorhandene Gehölze auf Dämmen ohne Mindestquerschnitt wurden die Regelungen konkretisiert:

- Vorhandene Gehölze, deren Erhalt aus Gründen des Naturhaushalts oder des Umweltschutzes erforderlich ist, sind nur zulässig, wenn eine Gefährdung der Dammsandsicherheit ausgeschlossen werden kann.
- Bestehende Gehölze auf einem Damm mit innenliegender, durchwurzelungssicherer Wand sind zu-

lässig, wenn die Wand auf den aus einem Windwurf von Bäumen resultierenden Geländesprung bemessen ist. Wasserseitig der Wand ist ein Bewuchs nur zulässig, wenn die Dammstandsicherheit ohne Ansatz der hydraulischen Wirkung einer Oberflächendichtung auf Grund ihrer möglichen Durchwurzelung nachgewiesen wird.

Auf Grundlage der von der BAW durchgeführten Untersuchungen werden Regelungen für den Ansatz der Durchlässigkeit von durchwurzelten Oberflächendichtungen in der Strömungsberechnung als Grundlage für die Dammstandsicherheitsuntersuchungen festgelegt. Durch die Untersuchungen konnte der im MSD 2005 angegebene Berechnungsansatz bestätigt werden.

Die Zoneneinteilung für Dämme, die den Mindestquerschnitt überragen, wurde auf überbreite und überhohe Dämme erweitert und ist im Bild 9 des MSD 2011 dargestellt. Die Zone 6 (Abstand  $\geq 10$  m vom landseitigen Rand des Seitengrabens) wurde nicht mehr aufgenommen. Hier gilt lediglich die Regelung, dass Pappeln einen Mindestabstand von 30 m vom Dammfuß aufweisen sollten. In der zugehörigen Tabelle 4 des MSD 2011 für die Zoneneinteilung und den zulässigen Bewuchs auf überbreiten und überhohen Dämmen wurde zusätzlich die Tabellengliederung für Zone 1 zur besseren Zuordnung umgestellt.

#### 4.10 Numerische Berechnung der Dammdurchströmung (Anhang 1)

*Numerical computation of seepage flow through embankment dams (appendix 1)*

Der bisherige Anhang 1 im MSD 2005 zur Beurteilung der Standsicherheit von typischen Dammsituationen bei Durchströmung wurde im MSD 2011 nicht wieder aufgenommen. Einerseits ist dies durch den Wegfall des Lastfalls 4 begründet, wodurch ein großer Teil der dargestellten Dammsituationen bei Durchströmung nicht mehr relevant ist. Andererseits haben die Dammnachsorgeuntersuchungen gezeigt, dass die Angaben des bisherigen Anhangs 1 größtenteils nicht verwendet werden, da die Dammdurchströmung zwischenzeitlich standardmäßig durch numerische Berechnung ermittelt wird. Dabei wurden jedoch häufig Fehler bei der Vorgabe der Randbedingungen und der Grundlagen für die

hier erforderliche gesättigt-ungesättigte Strömungsberechnung gemacht.

Aus diesen Gründen wurden als Anhang 1 im MSD 2011 Hinweise zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung neu aufgenommen. Diese beinhalten eine kurze Darstellung der Berechnungsgrundlagen, insbesondere für die numerische, vertikal-ebene Berechnung der gesättigt-ungesättigten Strömung. Dazu sind vereinfachte Bodentypkurven zur Berücksichtigung der Abhängigkeit der ungesättigten Durchlässigkeit von der Saugspannung angegeben. Weiterhin wird ein Verfahren zur Ermittlung von auf der sicheren Seite liegenden Wasserdruck- und Strömungskräften aus der Strömungsberechnung als Grundlage für die Standsicherheitsuntersuchung beschrieben (siehe auch Odenwald [13]).

#### 4.11 Erlasse zur Dammstandsicherheit

*Decrees on embankment dam stability*

Der Anhang 6 des MSD 2005 enthält folgende Unterlagen:

- Den Erlass des BMVBW vom 05. November 1998 zur Einführung des MSD, Ausgabe 1998,
- den Erlass des BMV vom 30. April 1979 mit dem Ergebnisvermerk über die Besprechung „Sicherheit von Dämmen“ am 23. April 1979 im BMV,
- den Erlass des BMV vom 19. Februar 1980 mit den Erläuterungen zu den „Grundsätzlichen Folgerungen aus den Schadensfällen“ und
- eine Zusammenstellung der Folgerungen aus dem Schadensfall am ESK im Juli 1976 für die Ausführung von Kreuzungsanlagen.

Bei den Erlassen auf Grund der Schadensfälle in den 1970er Jahren handelt es sich im Wesentlichen um Vorgaben für die Planung und Ausführung von Dämmen und Kreuzungsanlagen. Im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD) wird jedoch lediglich die Vorgehensweise bei der Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen geregelt, sodass hier kein unmittelbarer Bezug gegeben ist. Der Erlass zur ersten Einführung des MSD in 1998 erscheint ebenfalls entbehrlich. Aus diesen Gründen wurde der Anhang 6 im MSD 2011 nicht wieder aufgenommen.

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

### *Conclusion*

Anlass für die Überarbeitung des MSD 2005 war die Anpassung an die Regelungen der europäischen Grundlagentorm für die geotechnischen Nachweise EC 7 und der nationalen Ergänzungsnorm DIN 1054:2010. Insbesondere wurden die Lastfälle 1 bis 3 sowie der bisher im Merkblatt definierte Sonderlastfall 4 in die ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituation integriert. Dadurch werden Schnittstellenprobleme zwischen dem MSD 2011 und dem bautechnischen sowie geotechnischen Regelwerk vermieden, die insbesondere bei den Nachweisen für Bauwerke in Dämmen auf Grundlage der nach MSD 2005 ermittelten Beanspruchungen aus der Dammdurchströmung bestanden.

Die Reduzierung von 4 Lastfällen auf 3 Bemessungssituationen erforderte neue Regelungen für die Berücksichtigung von Sicherungselementen in den einzelnen Bemessungssituationen. So wird ein Drän als Sicherungselement nur noch angesetzt, wenn der Drän bestimmten Qualitätsanforderungen genügt, durch die dessen dauerhafte Wirksamkeit sichergestellt wird. Die Auswirkungen eines gleichzeitigen Ausfalls mehrerer Sicherungselemente werden nur noch untersucht, wenn das hydraulische Versagen eines dieser Sicherungselemente nicht durch ein geeignetes Beobachtungselement erkannt werden kann. Ein hydraulisches Versagen von Innendichtungen in Dämmen und von massiven Uferwänden, bei denen eine Beschädigung durch äußere Einwirkungen nicht zu erwarten ist, muss unter bestimmten Randbedingungen nicht mehr berücksichtigt werden.

Die in den einzelnen Bemessungssituationen anzusetzenden Hochwasserstände wurden auf Grundlage der Regelungen im EC 0 festgelegt, wodurch die Regelungen gegenüber denjenigen im MSD 2005 deutlich vereinfacht wurden. Zukünftig ist der für die Dimensionierung des Dammes zu Grunde gelegte Bemessungshochwasserstand BHW bereits in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) für die Ermittlung der Beanspruchungen des Dammes aus Wasserdruck- und Strömungskräften anzusetzen. In der vorübergehenden Bemessungssituation sind dagegen ausschließlich Bau- oder Revisionszustände zu betrachten, wobei der maßgebende bauzeitliche Bemessungshochwasserstand  $BHW_{\text{Bau}}$  jeweils im Einzelfall festzulegen ist.

Weiterhin wurden auf Grundlage der Erfahrungen aus den umfangreichen Untersuchungen im Rahmen der Dammnachsorge einzelne Vorgaben des Merkblatts überarbeitet sowie ergänzende Regelungen aufgenommen. So wurde z. B. die Definition des Mindestquerschnitts von überbreiten auf überhohe Dämme erweitert und es wurden zusätzliche Erläuterungen zum Nachweis gegen Fugenerosion bei Bauwerken gegeben. Die Regelungen zum zulässigen Bewuchs auf Dämmen wurden präzisiert. Insbesondere wurden Ausnahmeregelungen für vorhandene Gehölze auf Dämmen, deren Querschnitt nicht über den Mindestquerschnitt hinausreicht, aufgenommen. Der bisherige Anhang 1 zur vereinfachten Beurteilung der Standsicherheit für typische Dammsituationen bei Durchströmung wurde ersetzt durch Hinweise zur numerischen Modellierung der Dammdurchströmung, da diese mittlerweile standardmäßig eingesetzt wird.

Insgesamt wird das Sicherheitsniveau von Dämmen an Bundeswasserstraßen durch die neuen Regelungen im MSD 2011 gegenüber denjenigen im MSD 2005 nicht wesentlich verändert. Aus diesem Grund besteht auch keine Notwendigkeit für eine Überprüfung von Dämmen, deren Standsicherheit auf Grundlage des MSD 2005 nachgewiesen wurde.

## 6 Literatur

### *References*

- [1] Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2005; Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- [2] Eurocode 7 DIN EN 1997-1:2009: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009, Beuth-Verlag, Berlin.
- [3] DIN 1054:2010: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; Beuth-Verlag, Berlin.
- [4] DIN 1055-100:2001: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln; Beuth-Verlag, Berlin.
- [5] DIN 19702:2010: Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit; Beuth-Verlag, Berlin.
- [6] DIN 1054:2005: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau; Beuth-Verlag Berlin.

- [7] Eurocode DIN EN 1990:2010: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010; Beuth-Verlag, Berlin.
- [8] Schuppener, B.: Das Normenhandbuch zu Eurocode 7 und DIN 1054:2010 – Grundlagen für geotechnische Nachweise im Verkehrswasserbau; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 19-34, 2011.
- [9] Odenwald, B.: Vom Schadensfall am Elbe-Seitenkanal zum Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 7-18, 2011.
- [10] Laursen, C. Nachweis gegen Fugenerosion gemäß dem Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 47-58, 2011.
- [11] Ratz, K., Odenwald, B.: Dränagen zur Erhöhung der Standsicherheit von Bauwerken in Kanaldämmen; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 77-88, 2011.
- [12] Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011; Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- [13] Odenwald, B.: Numerische Berechnung der Damm-durchströmung; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 59-76, 2011.

