

Vom Schadensfall am Elbe-Seitenkanal zum Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen

From the Failure of the Embankment Dam at the Elbe Lateral Canal to the Code of Practice "Safety of Embankment Dams at German Inland Waterways"

Dr.-Ing. Bernhard Odenwald, Bundesanstalt für Wasserbau

In den 1970er Jahren ereigneten sich zwei große Dammbürche an jeweils kurz zuvor erstellten, in Dammlage befindlichen Abschnitten des Elbe-Seitenkanals und des Main-Donau-Kanals. In dem Beitrag werden der Ablauf der beiden Schadensfälle, die durchgeführten Untersuchungen und die daraus resultierenden Erkenntnisse zu den Ursachen der Dammbürche beschrieben. Als Konsequenz aus den Schadensfällen wurden Vorgaben und Richtlinien für die erforderliche Überprüfung und die Standsicherheitsnachweise sowie für die Überwachung und Gestaltung der Dämme und der Anschlüsse an Bauwerke erlassen. Im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD) wurde die Vorgehensweise bei der Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen insbesondere unter Berücksichtigung einer Durchströmung geregelt. Das Merkblatt wurde zwischenzeitlich zweimal überarbeitet. Dabei wurden insbesondere die Erkenntnisse aus den im Rahmen der sogenannten Dammnachsorge von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen an den Dämmen der Bundeswasserstraßen berücksichtigt. In dem Beitrag werden die wesentlichen Zielsetzungen und Inhalte des Merkblatts und die zwischenzeitlich durchgeführten Änderungen und Ergänzungen mit deren Ursachen dargestellt.

In the 1970s, two major embankment dam failures occurred in two newly constructed stretches of the Elbe Lateral Canal and the Main Danube Canal. This article describes how these accidents took place, which investigations were performed and which conclusions were drawn in terms of probable causes. As a consequence to these accidents, requirements and guidelines were devised for necessary checks and stability verification as well as for the design and surveillance of embankment dams and their joints with embedded structures.

The Code of Practice "Stability of Embankment Dams at German Inland Waterways" (MSD) regulates the verification of embankment dam stability, particularly considering seepage flow through the dam. The code of practice has been revised twice since, particularly considering knowledge recently achieved when reassessing the stability of embankment dams at the German inland waterways as conducted by the German Federal Waterways and Shipping Administration. In this article, the major contents and objectives of the code of practice are presented. Furthermore, the meanwhile realised changes and additions together with their causes are described.

1 Einleitung *Introduction*

Die Binnenwasserstraßen der Bundesrepublik Deutschland (Bild 1) weisen eine Gesamtlänge von 7.310 km auf. Davon entfallen 1.740 km auf Kanäle sowie 3.030 km auf staugeregelte und 2.540 km auf frei fließende Flüsse. Ein großer Teil der Kanalhaltungen verläuft in sogenannter Dammlage, bei der sich der Kanalwasserstand über der Oberfläche des seitlich angrenzenden Geländes befindet. Beispielsweise beträgt die Gesamtlänge der Kanalseitendämme am Mittellandkanal (MLK) 202,4 km und am Elbe-Seitenkanal (ESK) 124,1 km.

Innerhalb der Dammstrecken werden die Kanäle zumeist durch eine große Anzahl von Unterführungsbauwerken unterquert. So existieren z. B. am Mittellandkanal 167 und am Elbe-Seitenkanal 41 Unterführungsbauwerke. Als Beispiel für ein großes Bauwerk in einem vergleichsweise hohen Kanaldamm ist in Bild 2 eine Kanalbrücke des ESK über ein Gewässer abgebildet.



Bild 1: Bundeswasserstraßenkarte mit Markierungen für Mittellandkanal (MLK), Elbe-Seitenkanal (ESK) und Main-Donau-Kanal (MDK)

Figure 1: Map of the German federal waterways; the Midland Canal (MLK), Elbe Lateral Canal (ESK), and Main Danube Canal (MDK) are marked



Bild 2: Kanalbrücke des ESK (Quelle: WSA Ülzen)
Figure 2: Water-channel bridge of the ESK (source: WSA Ülzen)

Das in Bild 3 abgebildete Einlaufbauwerk eines Dükers unter dem MLK ist dagegen ein Beispiel für ein kleines Unterführungsbauwerk in einer niedrigen Dammstrecke.



Bild 3: Düker am MLK
Figure 3: Culvert below the MLK

Dammstrecken existieren jedoch nicht nur an Kanälen sondern auch an den staugeregelten Flüssen. Das Luftbild der Staustufe Iffezheim am Oberrhein (Bild 4) mit der Doppelschleuse, dem Kraftwerk und der Wehranlage vermittelt einen Eindruck von der Ausdehnung der Wasserflächen im Stauhaltungsbereich. Die Stauhaltungsdämme weisen hier eine große Länge und Höhe auf (Bild 5). Stauhaltungsdämme können sich jedoch auch auf relativ kurze Strecken oberhalb der Staustufe mit einer geringen Dammhöhe beschränken, wie z. B. am Neckar oder am Main.



Bild 4: Staustufe Iffezheim am Oberrhein
Figure 4: Iffezheim barrage on the Upper River Rhine

Auf Grund des in Kanal- oder Stauhaltungen oberhalb der Höhe des angrenzenden Geländes gespeicherten Wasservolumens, das bei einem Dambruch ausströmen würde, stellen Dammstrecken immer eine potenzielle Gefährdung des Umlandes dar. Deshalb muss ein Versagen der Dämme mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.



Bild 5: Stauhaltungsdamm oberhalb der Staustufe Iffezheim

Figure 5: Embankment dam upstream of the Iffezheim barrage

Im Gegensatz zu Straßen- oder Bahndämmen sowie auch Hochwasserschutzdeichen sind die Dämme an den Bundeswasserstraßen ständig durch Wasser belastet. Neben dem Wasserdruck auf die wasserseitige Dammböschung stellen insbesondere die aus einer Dammdurchströmung resultierenden, auf die Bodenpartikel des Dammkörpers einwirkenden Strömungskräfte eine zusätzliche Belastung des Dammes dar. Als Beispiel ist in Bild 6 für einen homogenen Damm auf undurchlässigem Untergrund die Sicherheit der luftseitigen Dammböschung gegen Böschungsbruch für den nicht durchströmten und den durchströmten Fall dargestellt. Aus dem Anstieg der für die ständige Bemessungssituation (BS-P) ermittelten Ausnutzungsgrade m (nicht durchströmt: $m = 0,76$, durchströmt: $m = 1,03$) ist ersichtlich, dass die Standsicherheit der durchströmten Böschung wesentlich geringer ist als die der nicht durchströmten Böschung. Aus diesem Grund werden Standsicherheitsfragestellungen von Dämmen an Bundeswasserstraßen in der Abteilung Geotechnik der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) im Wesentlichen vom Referat G3 (Grundwasser) bearbeitet.

In Dammstrecken von Kanälen ist das Gewässerbett zumeist mit einer Kanaldichtung ausgekleidet um Wasserverluste zu minimieren. Durch eine intakte Kanaldichtung wird auch eine Durchströmung des Dammes vermieden. In staugeregelten Flüssen existiert zumeist eine natürliche Dichtung des Gewässerbettes infolge Kolmation. Diese resultiert aus der im Stauhaltungsbe- reich zumeist geringen Fließgeschwindigkeit und der Potenzialdifferenz zwischen dem gestauten Flusswas-

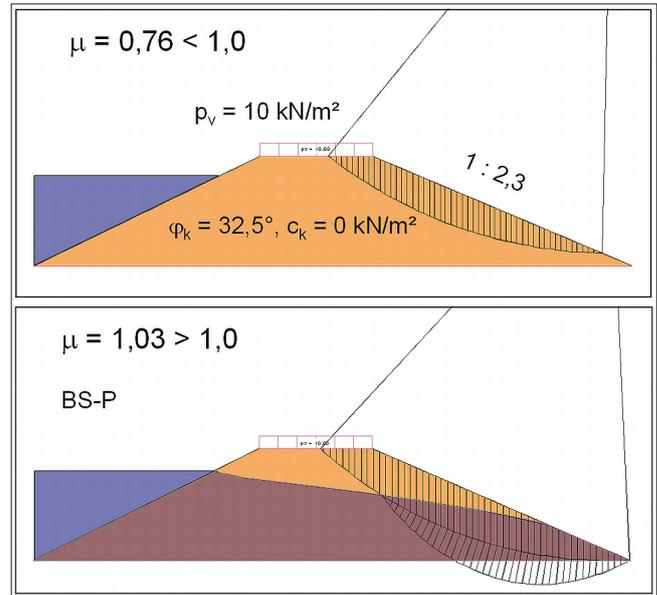


Bild 6: Ausnutzungsgrade μ der Standsicherheit der landseitigen Dammböschung im nicht durchströmten (oben) und durchströmten Fall (unten)

Figure 6: Utilisation ratio μ of the land side slope stability of the embankment dam; without seepage flow through the dam (top), with flow through the dam (bottom)

ser und dem Grundwasser. Die geringe Fließgeschwindigkeit führt zu einem Absinken von mitgeführten Schwebstoffen auf die Gewässersohle und die Infiltration von Flusswasser bewirkt einen Eintrag feiner Bodenpartikel in den Untergrund und damit eine Selbstdichtung der Gewässersohle.

Sowohl künstliche als auch natürliche Dichtungen können in ihrer hydraulischen Wirksamkeit beeinträchtigt werden. Bei künstlichen Kanaldichtungen können Leckagen z. B. durch Beeinträchtigungen aus der Schifffahrt verursacht werden. Bei Stauhaltungsdämmen an Fließgewässern können Hochwässer ein Aufreißen der Kolmationsschicht sowie eine Überströmung des i. A. nur bis Mittelwasserstand reichenden kolmatierten Bereiches bewirken. Aus diesem Grund ist bei der Beurteilung der Dammstandsicherheit immer ein mögliches Versagen von künstlichen oder natürlichen Dichtungen des Gewässerbettes zu berücksichtigen.

Darüber hinaus stellen Bauwerke in Dämmen auf Grund der unterschiedlichen Steifigkeit von Erddamm und Betonbauwerk immer ein erhöhtes Versagenspotenzial dar. Die dabei mögliche Bildung von Erosionskanälen entlang eines Bauwerks (Piping) infolge Hohlraumbildung bei Durchströmung ist eine der häufigsten Ursachen für das Versagen von Dämmen. Deshalb muss

die Standsicherheit von Dämmen mit darin eingebundenen Bauwerken gesondert untersucht werden, wobei eine mögliche Hohlrumbildung im Anschlussbereich zwischen Bauwerk und Damm zu berücksichtigen ist. Diese Anforderungen an die Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen an Wasserstraßen ergaben sich aus der Analyse der Schadensfälle, die nachstehend dargestellt werden.

2 Schadensfälle an Dämmen der Bundeswasserstraßen

Embankment Dam failures at German inland waterways

Im Folgenden werden die beiden großen Schadensfälle an Dämmen der Bundeswasserstraßen, die sich in den 1970er Jahren ereigneten, sowie deren Ursachen kurz dargestellt.

2.1 Schadensfall am Elbe-Seiten-Kanal

Failure at the Elbe Lateral Canal

Am 18. Juli 1976 brach der Kanalseitendamm des Elbe-Seitenkanals (ESK) unmittelbar an der Unterführung des Straßentunnels Lüneburg - Nutzfelde bei ESK-km 102,71. Durch den Dammbruch traten innerhalb weniger Stunden fast 4 Mio. m³ Wasser aus, wodurch ca. 10 km² Land überflutet wurden.

Bereits zwei Tage nach dem Dammbruch wurde eine Sachverständigengruppe unter dem Vorsitz von Herrn Prof. Lackner und Herrn Dr. Hager mit der Untersuchung der Schadensursache vom damaligen Bundesverkehrsministerium beauftragt. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde zur Veranschaulichung der räumlichen Verhältnisse, insbesondere der Sickerwege im Bereich der Flügelwände, ein Modell des Unterführungsbauwerkes mit den Dammanschlüssen im Maßstab 1:50 angefertigt (Bild 7).

Der Kanalwasserstand in dem mit einer Asphaltichtung versehenen ESK befindet sich hier ca. 6,5 m über Gelände. Der Kanal ist über das Unterführungsbauwerk als Trapezquerschnitt geführt und wird hier seitlich nur geringfügig durch die Stirnwände des Tunnels eingeeengt. Der Rechteckrahmen des Tunnels ist monolithisch mit den Stirnwänden und den seitlich anschließenden Flügelwänden verbunden, deren Unterkanten

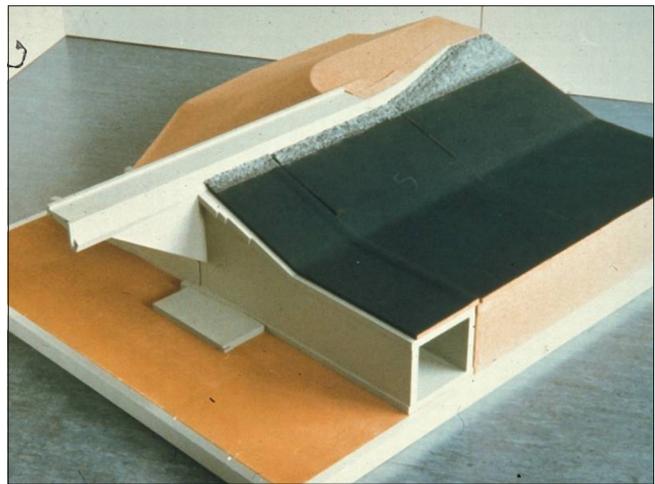


Bild 7: Modell des Unterführungsbauwerkes am ESK, Ansicht auf das Tunnelbauwerk unter dem Kanal (oben), Ansicht auf Tunnelportal mit Zufahrt und Kanalböschung (unten) (Quelle: Gutachten zur Schadensursache)

Figure 7: Model of the underpass at the ESK: tunnel below the canal (top); tunnel entrance with access road and embankment slope (bottom) (source: expert opinion on the cause of the damage)

mit zunehmendem Abstand vom Tunnel ansteigen. An die Flügelwände schließen flach gegründete Winkelstützwände an, durch die der Übergang bis zum nicht eingeeengten Kanalquerschnitt erfolgt. Die Tunnelzufahrten bestehen aus einem oben offenen U-Rahmen aus Stahlbeton, an den die relativ steilen Böschungen des Kanaldamms anschließen. Im unmittelbaren Anschlussbereich der Dammböschung an die Stirnwand des Tunnels war die Böschungsoberfläche mit Betonplatten befestigt (im Modell durch Plexiglasplatten abgebildet, siehe Bild 7 unten).

Der Baugrund besteht aus schwach tonigen, feinsandigen Beckenschluffen die von Sanden geringer Mächtigkeit überlagert werden. Der Grundwasserstand steht

ca. 13 bis 15 m unter Gelände an. Da die Beckenschluße auf Grund ihrer geringen Durchlässigkeit als Stauer wirken, bildet sich in den oberflächennah anstehenden Sanden zumeist ein oberer Grundwasserhorizont aus. Bei einer größeren Zusickerung aus dem Kanal ergibt sich deshalb ein Grundwasseraufstau oberhalb der Beckenschuffschicht.

Das Unterführungsbauwerk wurde von Mai 1970 bis Anfang 1972 errichtet. Erst nach Fertigstellung der Unterführung wurden die Dämme und die Kanaldichtung hergestellt. Anfang 1972 wurde der Kanal zunächst bis auf ca. NN + 40 m geflutet und bis zum Herbst 1975 nach und nach bis auf den Stauwasserstand von NN + 42 m aufgefüllt. Vor dem Dammbbruch am 18. Juli 1976 wurde zunächst ein Wasseraustritt auf der Nordwestseite des Bauwerks an dem an die Flügelwand angrenzenden, hier mit Betonplatten gesicherten Böschungskegel beobachtet. Der Wasserfluss verursachte einen Bodenmaterialtransport aus dem Böschungskegel, wodurch die Betonplatten einsackten und der Wasserfluss zunehmend anstieg. Ausgehend von der Flügelwand setzte sich ein rückschreitender Bruch des Dammes entlang der Tunnelwand fort, bis der Damm im Anschlussbereich schließlich völlig weggespült wurde. In Bild 8 ist die Unterspülung der Flügelwand nach dem Einbruch der Asphaltabdichtung zu sehen. Bild 9 zeigt den Zustand nach dem Leerlaufen des Kanalabschnitts mit dem neben der Tunnelröhre und unter der auskragenden Flügelwand vollständig weggespülten Damm.

Das Gutachten zur Schadensursache wurde von der Sachverständigengruppe am 6. September 1976 vorgelegt. Danach wurde der Dammbbruch durch einen Erosionsböschungsbruch herbeigeführt, der durch einen Wasserzufluss vom Kanal ausgelöst wurde. Die Zuströmung begann wahrscheinlich zunächst durch eine undichte Fuge zwischen der Flügelwand und der angrenzenden Winkelstützwand. Durch die Einsickerung in den relativ locker gelagerten Sand entstanden Sackungen mit Hohlrumbildung bis unter die Asphaltabdichtung, was zu einem örtlichen Durchbruch der Dichtung führte. Durch den Zustrom aus dem Kanal wurden in zunehmendem Maß Bodenteilchen ausgespült, was wiederum eine Verstärkung der Strömung infolge Verringerung des hydraulischen Widerstands durch die Hohlrumbildung bewirkte und schließlich zu dem Bruch des Dammes führte. Der Schadenshergang, die Schadensursachen, die Ergebnisse der durchgeführten



Bild 8: Unterspülung der Flügelwand
(Quelle: Gutachten zur Schadensursache)

Figure 8: Undercutting of wing wall
(source: expert opinion on the cause of the damage)



Bild 9: Seitlich des Tunnels weggespülter Damm
(Quelle: Gutachten zur Schadensursache)

Figure 9: Eroded embankment dam adjacent to the tunnel
(source: expert opinion on the cause of the damage)

Untersuchungen sowie darauf basierende Folgerungen zur Vermeidung von Schäden sind auch in [1] beschrieben.

In dem als „Hager-Erlass“ bezeichneten Erlass des Bundesministeriums für Verkehr vom 1. Oktober 1976 wurden erstmals Folgerungen aus dem Dammbbruch für die Bearbeitung der erforderlichen Instandsetzungs- und Ergänzungsmaßnahmen auf Grund der Überprüfung der weiteren Kreuzungsbauwerke am ESK aufgestellt. Darin heißt es: „Die Standsicherheit von Bauwerken, Kanaldämmen und Böschungen müssen in der jeweils maßgebenden ungünstigsten Beanspruchungsrichtung auch unter Annahme eines teilweisen oder vollen Versagens von Abdichtungen und von Undichtigkeiten von Spund-

wänden in allen Bau- und Betriebszuständen voll gewährleistet sein. Die Standsicherheit muss auch unter der Annahme der unvollständigen Wirkung von Dränen und Sickerleitungen voll gegeben sein.“ Weiterhin betreffen die in diesem Erlass aufgestellten acht Forderungen die erforderlichen Sickerwegverlängerungen, die Ausführung von Bauwerksanschlüssen und Fugendichtungen, die Verdichtung des Dammmaterials, die Vermeidung von Hohlräumen und die Ausführung von Drägenen.

2.2 Schadensfall am Main-Donau-Kanal *Failure at the Main Danube Canal*

Am 26. März 1979 trat nach Fluten des neu hergestellten dritten Abschnitts der Haltung Eibach des Main-Donau-Kanals (MDK) bei MDK-km 77,01 ein weiterer Dammbruch auf, bei dem der Haltungsabschnitt vollständig leer lief (Bild 10).



Bild 10: Leer gelaufener Abschnitt des MDK mit Dammbruchstelle (Quelle: Jürgen Gebhardt/Stern/Picture Press)
Figure 10: Emptied section of the MDK with dam failure location (source: Jürgen Gebhardt/Stern/Picture Press)

Durch den Dammbruch wurde die unmittelbar an der Schadensstelle gelegene Ortschaft Katzwang überflutet. Ein Mädchen, das auf dem Balkon eines Hauses stand, wurde von den Fluten mitgerissen und kam darin um. Durch die Flutwelle wurde großer Sachschaden, insbesondere an der Bebauung, verursacht (Bild 11).

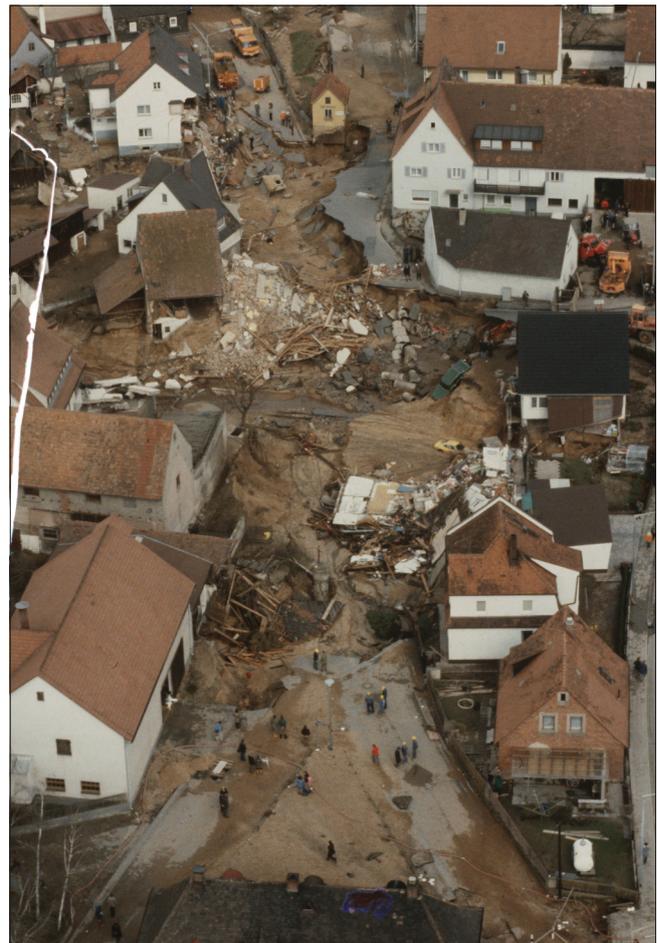


Bild 11: Schäden in der Ortschaft Katzwang infolge der durch den Dammbruch am MDK ausgelösten Flutwelle (Quelle: Jürgen Gebhardt/Stern/Picture Press)

Figure 11: Damages in the town of Katzwang after the flood wave caused by dam failure at the MDK (source: Jürgen Gebhardt/Stern/Picture Press)

Der Main-Donau-Kanal ist ebenfalls mit einer Kanaldichtung aus Asphalt versehen und weist einen Trapezquerschnitt mit einer maximalen Wassertiefe von 4 m auf. Im Schadensbereich befindet sich der Kanal in Hanglage, sodass sich der Kanal gegenüber dem Gelände auf der östlichen Seite im Einschnitt und auf der westlichen Seite in Dammlage mit einer Dammhöhe von ca. 4,5 bis 5 m befindet. Auf Grund der Hanglage steht das Grundwasser auf der Einschnittseite relativ hoch an. Aus diesem Grund musste zur Herstellung

der Kanaldichtung der Grundwasserstand abgesenkt werden. Dies erfolgte über eine unterhalb der Asphaltabdichtung angeordnete Entwässerungsschicht mit Drainageleitungen zu Pumpschächten, aus denen das zuströmende Grundwasser während der Bauzeit abgepumpt wurde. Nach dem Füllen der Kanalhaltung wurden die Pumpen abgeschaltet.

Im Schadensbereich steht unterhalb einer geringmächtigen Deckschicht aus schluffigen, kiesigen Sanden Sandstein an. Die Grundwasseroberfläche folgt ungefähr der Geländeoberfläche und reicht bis in die Deckschicht. Durch die nur für die Bauzeit benötigten Dränagen wird ein Grundwasserpotenzialausgleich unterhalb der Kanaldichtung bewirkt, wodurch je nach örtlichen Verhältnissen der Grundwasserstand im östlichen Einschnittbereich abgesenkt und im westlichen Dammbereich angehoben wird.

An der Dambruchstelle wird der Kanal von einer Fernwasserversorgungsleitung DN 700 der Stadtwerke Fürth unterquert. Die Leitung befindet sich im Kreuzungsbereich mit dem MDK in einem Schutzrohr DN 1600 aus Betonmuffenrohren, die in einem mit Sand verfüllten Rohrgraben verlegt sind. Der minimale Abstand des Rohrscheitels des Schutzrohres von der Oberfläche der Kanaldichtung beträgt ca. 2 m. Die Dränagen unterhalb der Kanaldichtung haben somit nur einen geringen Abstand zu dem Schutzrohr und kreuzen den Rohrgraben, der auf Grund der Sandverfüllung eine erhöhte Durchlässigkeit gegenüber dem anstehenden Sandstein aufweist.

Am 27. März 1979 wurde von der Staatsanwaltschaft beim Landgericht Nürnberg wiederum eine Sachverständigengruppe unter dem Vorsitz von Herrn Dr. Hager mit der Untersuchung der Schadensursachen beauftragt. In dem am 30. Juni 1979 vorgelegten Gutachten wird die ermittelte Schadensursache ausführlich erläutert. Demnach führte das Abschalten der Pumpen der Grundwasserhaltung nach dem Füllen der Kanalhaltung zu einem Ansteigen des Grundwasserstandes im Dränagesystem. Dadurch sickerte Grundwasser im Bereich der Kreuzung mit der Fernwasserleitung in den Rohrgraben, und floss in diesem mit der Neigung des Schutzrohres in westlicher Richtung ab. Diese ständige Strömung führte zu Bodenmaterialtransport in den Rohrgraben und dadurch zu einer Hohlraumbildung unterhalb der Asphaltabdichtung, wodurch sich eine lokale Schädigung der Asphaltabdichtung einstellte. Durch

die Verbindung mit dem Kanalwasserstand wurde das hydraulische Grundwasserpotenzial im Bereich des Rohrgrabens der Fernwasserleitung stark erhöht. Dies führte zu einem hydraulischen Grundbruch am Dammfuß, wo die Fernwasserleitung die geringste Bodenüberdeckung aufwies. Mit zunehmendem Wasser- und Bodenmaterialaustritt vergrößerte sich der Einbruch der Asphaltabdichtung bis schließlich der gesamte Damm einstürzte. Die dabei im Bereich der Fernwasserleitung aufgerissene Dammlücke ist aus Bild 12 und Bild 13 ersichtlich.



Bild 12: Dambruchstelle am MDK
(Quelle: Gutachten zur Schadensursache)

Figure 12: Embankment dam failure at MDK
(source: expert opinion on the cause of damage)



Bild 13: Beim Dambruch freigelegte Fernwasserversorgungsleitung
(Quelle: Jürgen Gebhardt/Stern/Picture Press)

Figure 13: Long-distance water supply pipe exposed due to the embankment dam failure
(source: Jürgen Gebhardt/Stern/Picture Press)

Im Erlass des Bundesministeriums für Verkehr vom 20. August 1979 wurden die Erkenntnisse aus dem Schadensfall am MDK in 13 Folgerungen zusammengefasst. Diese Folgerungen, zu denen im Erlass vom 19. Februar 1980 zusätzliche Hinweise gegeben wurden, beinhalten im Wesentlichen Aussagen zur Zulässigkeit, Anordnung und Ausführung von Dränagen unter der Kanaldichtung und von Kreuzungen mit Rohrleitungen, zur Anwendung von Asphalt dichtungen und zur erforderlichen Überwachung von Dämmen.

3 Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2301 – Dammspektion

Administrative regulation VV- WSV 2301 – Inspection of embankment dams

Eine Folgerung aus den zuvor beschriebenen Schadensfällen war die Erfordernis einer qualifizierten Dammüberwachung, sodass Schäden an Dämmen möglichst frühzeitig festgestellt und rechtzeitig geeignete Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden können. Um dies für die gesamte Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes einheitlich zu regeln wurde die Verwaltungsvorschrift „VV-WSV 2301 – Dammspektion“ [2] erstellt. Die Verwaltungsvorschrift wurde mit Einföhrungserlass des Bundesministeriums für Verkehr vom 6. Oktober 1981 bekannt gegeben und trat am 1. Dezember 1981 in Kraft.

Die Durchführung der Dammspektion ist Aufgabe der Außenbezirke der Wasser- und Schifffahrtsämter (WSÄ) mit Unterstützung durch die Ämter. Grundlage für die Durchführung der Dammspektion ist die Einteilung der Dammstrecken in Beobachtungsklassen durch die WSÄ, basierend auf den Vorgaben der VV-WSV 2301. Je nach Zustand des Dammes und nach Schadenspotenzial für das Hinterland erfolgt eine Einstufung der Dammstrecken in die Beobachtungsklassen 0, I, II oder III, woraus sich ein Beobachtungsrhythmus von ständiger Beobachtung (Klasse 0) bis zu einer monatlichen bis vierteljährlichen Beobachtung (Klasse III) ergibt. Für den Zustand des Dammes wird dabei nach vermuteter, möglicher oder keiner Gefährdung der Standsicherheit unterschieden. Wird eine Gefährdung vermutet, sind eine ständige Beobachtung sowie die sofortige Durchführung von Sicherungsmaßnahmen erforderlich (Klasse 0).

In der VV-WSV 2301 sind die Aufgaben der Dammbeobachter, der Außenbeamten und der Wasser- und Schifffahrtsämter hinsichtlich der Dammspektion festgelegt. Besondere Bedeutung kommt dabei den Dammbeobachtern zu, die die Beobachtungen vor Ort durchführen und die über ausreichende Fach- und Streckenkenntnisse verfügen sollen. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Fachkenntnis ist die Teilnahme der Dammbeobachter an entsprechenden Fortbildungsmaßnahmen vorgesehen, die durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) mit Unterstützung durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) regelmäßig in der Sonderstelle für Aus- und Fortbildung der WSV (SAF) durchgeführt werden.

Aufgabe der Dammbeobachter ist die Durchführung der Beobachtungen und Messungen an den Dämmen der Bundeswasserstraßen auf Grundlage der von den WSÄ erstellten Aufgabenblätter nach VV-WSV 2301. Dabei hat der Dammbeobachter einen Beobachtungsbericht und ggf. einen oder mehrere Mängelberichte anzufertigen, wobei die Mängel als Beschädigung, Schaden oder akute Gefahr einzustufen sind. Die weiteren Maßnahmen sind in Abhängigkeit von dieser Einstufung durchzuführen. Aufgabe des Außenbeamten ist die Überprüfung der von den Dammbeobachtern festgestellten Mängel und die Entscheidung über die Durchführung erforderlicher Maßnahmen, je nach Einstufung des Mangels in Abstimmung mit dem WSA. Auch für die Außenbeamten und die in den WSÄ mit Aufgaben der Dammstandsicherheit betrauten Mitarbeiter werden von der BAW regelmäßig Schulungen in der SAF durchgeführt. Grundsätzlich zeigt die Erfahrung, dass mit der Dammspektion nach VV-WSV 2301 ein wirksames Mittel zur frühzeitigen Erkennung von Mängeln an den Dämmen der Bundeswasserstraßen und damit zur rechtzeitigen Durchführung geeigneter Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen geschaffen wurde.

4 Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)

Code of Practice “Stability of Embankment Dams at German Inland Waterways” (MSD)

Auf Grund der zuvor beschriebenen Schadensfälle an Dämmen der Bundeswasserstraßen und der daraus resultierenden Erlasse des Bundesministeriums für Verkehr ergaben sich in zunehmendem Maße Aufgabe für die Abteilung Geotechnik der BAW in der Beratung der WSV zu Fragen der Dammstandsicherheit. Dabei wurde ersichtlich, dass für die Untersuchung der Dammstandsicherheit einheitliche Vorgaben zum Untersuchungsumfang sowie insbesondere zur Berücksichtigung der Dammdurchströmung infolge eines angenommenen hydraulischen Versagens von Dichtungen oder Dräns erforderlich sind. Weiterhin benötigt wurden Vorgaben zum Nachweis der Dammstandsicherheit im Bereich von Bauwerken und zum zulässigen Bewuchs auf Dämmen.

Aus diesem Grund wurde in der BAW eine Arbeitsgruppe gebildet, deren Aufgabe zunächst nur die Erstellung eines Arbeitspapiers zur BAW-internen Standardisierung der Vorgehensweise bei Dammstandsicherheitsuntersuchungen war. Auf Grund zunehmender Anfragen durch die WSV wurde dieses Arbeitspapier unter Beteiligung der BfG und der WSV zum „Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“ erweitert. Aufgabe des Merkblatts war die Regelung der Vorgehensweise bei der Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen und deren Anschlüssen an Bauwerke unter Berücksichtigung einer Durchströmung sowie der mit dem Bewuchs auf Dämmen zusammenhängenden Fragestellungen. Dabei sollte das Merkblatt die geotechnischen Normen und sonstigen allgemeinen technischen Regelwerke hinsichtlich der besonderen Anforderungen an die Dämme von Bundeswasserstraßen ergänzen.

4.1 MSD, Ausgabe 1998

MSD, 1998 edition

Das „Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“, Ausgabe 1998 [3], wurde nach umfangreichen Abstimmungen mit der WSV mit Erlass des damaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) vom 5. November

1998 für den Geschäftsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes eingeführt.

Insbesondere wurde festgelegt, dass im Lastfall 3 die Standsicherheit des Dammes für den Fall einer defekten Kanaldichtung nachzuweisen ist, weil sie z. B. durch eine Schiffsanfahrung zerstört oder durch Wellenschlag im Laufe der Zeit erodiert werden kann. Mit diesem Lastfall 3 sollen auch bauausführungsbedingte Mängel abgedeckt werden, insbesondere wenn sich etwaige Folgeerscheinungen erst nach längerem Betrieb zeigen. Die für die Dammstandsicherheit maßgebende Strömungsberechnung ist dabei unter Annahme eines i. d. R. vollständigen Ausfalls der hydraulischen Wirkung der Kanaldichtung zu führen. Grundsätzlich muss der Eintritt des Lastfalls 3 durch Beobachtungen sicher und schnell erkannt werden.

Da die Schadensfälle am ESK und am MDK mit ihren katastrophalen Folgen deutlich gemacht haben, dass ein Auslaufen einer Kanalhaltung auch für Einwirkungen mit sehr geringer Auftretenswahrscheinlichkeit verhindert werden muss, wurde zusätzlich ein Sonderlastfall 4 eingeführt, um nicht vollständig auszuschließende Kombinationen von Einwirkungen zu berücksichtigen, die zu einem Dammbruch führen können. Diese zusätzlich zu einem Versagen der hydraulischen Wirkung der Kanaldichtung anzusetzenden Einwirkungen können z. B. Windwurf von Bäumen auf dem Damm, außergewöhnliche Wasserstände im Kanal z. B. infolge Eisgangs, Befall von Wühltieren oder Hohlräumen durch abgestorbene Wurzeln sein. Die wichtigste Situation, die als Lastfall 4 nachzuweisen ist, ist jedoch der Fall, dass neben dem Ausfall des ersten Sicherungselementes – in der Regel die Dichtung des Kanalbetts – zusätzlich der Ausfall des zweiten Sicherungselementes – z. B. eines Fuß- oder Auflastdräns zu berücksichtigen ist.

Weiterhin beinhaltet das Merkblatt Vorgaben für die zu führenden Nachweise der Sicherheit gegen Auftrieb einer gering durchlässigen Deckschicht am Böschungsfuß sowie gegen hydraulischen Grundbruch an der Sohle eines Seitengrabens, wenn dieser die Deckschicht durchschneidet. Zusätzlich wurden Vorgaben für die Beurteilung der Gefährdung eines Dammes und seines Untergrundes durch Materialtransport bei Durchströmung basierend auf der Kornzusammensetzung der einzelnen Bodenschichten und des lokalen hydraulischen Gradienten aufgenommen.

Ein besonderer Schwerpunkt wurde auf die zusätzlich erforderlichen Nachweise für Dammbereiche mit Querbauwerken gelegt, da die Schadensfälle am ESK und am MDK gezeigt hatten, dass bei Querbauwerken in Dämmen immer ein erhöhtes Schadensrisiko durch Fugenerosion bzw. rückschreitende Erosion bei Dammdurchströmung besteht. Dies ist bedingt durch die auch bei einwandfrei ausgeführten Anschlüssen zwischen Bauwerk und Damm im Anschlussbereich mögliche Hohlraumbildung infolge unterschiedlicher Setzungen. Da die in der Fachliteratur veröffentlichten Verfahren zur Ermittlung der Sicherheit gegen Fugenerosion als nicht geeignet für Dämme mit Querbauwerken erschienen, wurde ein Nachweisverfahren durch die BAW entwickelt, durch das die Strömungsverhältnisse entlang des Bauwerkes besser berücksichtigt werden können. Der grundlegende Ansatz des Verfahrens ist, dass eine ausreichende Sicherheit gegen rückschreitende Erosion gegeben ist, wenn ein Austrag von Bodenmaterial bei der Dammdurchströmung ausgeschlossen werden kann. Dies ist gewährleistet, wenn auch unter ungünstigsten hydraulischen Beanspruchungen insbesondere im Bereich von Wasseraustritten eine ausreichende Sicherheit gegen Böschungsbruch sowie hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen von Deckschichten oder Bauteilen gegeben ist. Zur Ermittlung der ungünstigsten hydraulischen Beanspruchungen wird auf der sicheren Seite überall entlang der Grenzflächen zwischen Bauwerk und Damm bzw. Baugrund eine Fuge und damit kein Potenzialabbau bei Durchströmung angenommen, wo eine Hohlraumbildung auf Grund der Art des Baugrundes, der Bauwerksgeometrie und des Bauverfahrens möglich ist. Dabei sind die gleichen Lastfälle wie bei Damnstrecken ohne Querbauwerke zu untersuchen. Kann für die in den einzelnen Lastfällen jeweils anzusetzenden ungünstigsten hydraulischen Beanspruchungen keine ausreichende Dammstandsicherheit nachgewiesen werden, so sind geeignete Sicherungsmaßnahmen (z. B. Abflachen von Böschungen, Aufbringen von Auflastdräns, Einbau von Sickerwegverlängerungen) durchzuführen.

Weiterhin aufgenommen wurden Regelungen zum zulässigen Bewuchs auf Dämmen. Da Gehölze durch Windbruch oder durch Hohlräume infolge abgestorbener Wurzeln die Dammstandsicherheit gefährden können, wurde empfohlen, Dämme, die rein nach erdstatischen Gesichtspunkten dimensioniert sind, nicht mit Gehölzen sondern nur mit einer dichten Grasnar-

be als Erosionsschutz zu bepflanzen. Für Dämme mit einem drüber hinaus gehenden Querschnitt wurden die möglichen Bepflanzungen in Abhängigkeit von verschiedenen Dammmzonen angegeben. Dabei ist das untere Drittel der luftseitigen Dammböschung zur Durchführung einer ordnungsgemäßen Dammbesichtigung grundsätzlich von Gehölzbewuchs frei zu halten. In den Anhang des Merkblatts wurden eine Liste der in den einzelnen Zonen des Dammes zugelassenen Gehölze sowie verschiedene Berechnungsbeispiele und die die Standsicherheit von Dämmen an den Wasserstraßen betreffenden Erlasse des Bundesverkehrsministeriums aufgenommen.

4.2 MSD, Ausgabe 2005

MSD, 2005 edition

Anlass für die Überarbeitung des MSD war die im Rahmen der Harmonisierung der europäischen Normen durchgeführte Umstellung der geotechnischen Grundlagennorm DIN 1054:2005 [4] von dem in Deutschland bis dahin üblichen globalen Sicherheitskonzept auf das Teilsicherheitskonzept. Im Zuge der erforderlichen Umstellung der Regelungen für die geotechnischen Nachweise wurde das MSD grundlegend überarbeitet. Ein wesentlicher Grund für die Überarbeitung war der erforderliche Nachregelungsbedarf, der sich bei der Bearbeitung der Dammnachsorgeuntersuchungen herausstellte. Ziel des von der WSV auf Veranlassung des damaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) ab 2003 durchgeführten Projekts „Dammnachsorge“ war die Untersuchung der Standsicherheit der gesamten bestehenden Dämme an Bundeswasserstraßen auf Grundlage des MSD und die Durchführung daraus resultierender Nachsorgemaßnahmen zur Erzielung eines einheitlich hohen Sicherheitsniveaus. Schließlich diente die Überarbeitung des Merkblatts auch zur Anpassung an die zwischenzeitlich weiterentwickelten allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Die Überarbeitung erfolgte durch eine Arbeitsgruppe der BAW unter Beteiligung der mit der Dammnachsorge betrauten Dienststellen der WSV und der BfG für Fragen des Bewuchses auf Dämmen. Das „Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“, Ausgabe 2005 [5], wurde mit Erlass vom 22. September 2005 vom BMVBW für den Geltungsbereich der WSV eingeführt.

Bei der Durchführung der Dammnachsorgeuntersuchungen nach dem MSD, Ausgabe 1998, hatte sich gezeigt, dass weiterer Regelungsbedarf bestand, insbesondere zur Berechnung der Dammdurchströmung, zum Ansatz der in den einzelnen Lastfällen maßgebenden Wasserstände bei hochwasserbelasteten Dämmen, zum zulässigen Bewuchs auf Dämmen und zum Nachweis der Sicherheit gegen Fugenerosion bei Dammbereichen mit Bauwerken. Aus diesem Grund wurden die folgenden Änderungen und Ergänzungen vorgenommen:

- Da sich zwischenzeitlich für die Ermittlung der Dammdurchströmung als Grundlage für die Standsicherheitsberechnung numerische Verfahren als Standardinstrument etabliert hatten, wurden hierfür grundlegende Anforderungen an die Modellerstellung, die Wahl der Randbedingungen, die Diskretisierung und das verwendete Berechnungsverfahren formuliert.
- Die maßgeblichen Wasserstände in den einzelnen Lastfällen wurden neben den für nicht hochwasserbeeinflusste Kanäle auch für hochwasserbelastete Dämme (Stauhaltungsdämme und Dämme an Seitenkanälen von Flüssen) vorgegeben.
- Die Regelungen zum zulässigen Bewuchs auf Dämmen wurden strikter geregelt. Insbesondere wurde gefordert, dass auf Dämmen, die rein nach erdstatischen Gesichtspunkten bemessen wurden und nicht über den sogenannten Mindestquerschnitt hinausgehen, der Gehölzbewuchs zu entfernen und durch einen Grasbewuchs als Erosionsschutz zu ersetzen ist.
- Die umfangreichsten Änderungen betrafen die Nachweise gegen Fugenerosion bei Dammschnitten mit Bauwerken, da die Regelungen im Merkblatt von 1998 keine einheitliche Vorgehensweise bei der Beurteilung der Gefährdung des Dammes ermöglichten. Aus diesem Grund wurden detaillierte Vorgaben für die Durchführung der Strömungsberechnungen und der darauf basierenden Standsicherheitsberechnungen gegeben. Dabei wurden sowohl Vorgaben für den Ansatz des hydraulischen Versagens der Kanaldichtung als auch für die anzusetzenden Fugen zwischen Bauwerk und Baugrund bzw. Damm gemacht. Kann die Dammdurchströmung im Bereich des Querbauwerkes nicht adäquat durch eine vertikal-ebene Strömungsberechnung

abgebildet werden, so wird eine dreidimensionale numerische Strömungsberechnung empfohlen, wobei ebenfalls Vorgaben für die anzusetzenden hydraulisch wirksamen Fugen zwischen Bauwerk und Baugrund gemacht wurden. In den Anhang des Merkblatts wurden ein Berechnungsbeispiel für ein Durchlassbauwerk sowie ein Ansatz zur Berücksichtigung hydraulisch wirksamer Fugen in der Strömungsberechnung aufgenommen. Die Vorgehensweise und die Grundlagen dieses Nachweises gegen Fugenerosion für Dammbereiche mit Querbauwerken werden in [6] beschrieben.

4.3 MSD, Ausgabe 2011 *MSD, 2011 edition*

Anlass für die erneute Überarbeitung des MSD war wiederum die europäische Harmonisierung der Normen. Das „Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“, Ausgabe 2011 [7], wurde hinsichtlich der Grundlagen, Ansätze und Begriffe für die Sicherheitsnachweise an die Systematik und die Nachweisverfahren des Eurocode 7 DIN EN 1997-1:2009 [8] und der als nationale Ergänzungsnorm dienenden DIN 1054:2010 [9] angepasst. Diese neuen geotechnischen Grundlagnormen werden z. B. in [10] erläutert. Eine detaillierte Beschreibung der neuen Regelungen im MSD, Ausgabe 2011, befindet sich in [11].

Die erforderliche Anpassung des Merkblatts betrifft insbesondere die Einführung von Bemessungssituationen anstelle von Lastfällen, die Definition der Grenzzustände und die den Bemessungssituationen und Grenzzuständen zugeordneten Teilsicherheitsbeiwerte. Die bisherigen Lastfälle 1, 2, 3 und 4 wurden in die ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituation integriert. Dabei wurden die Grundlagen für die Berücksichtigung eines Ausfalls von Sicherungselementen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation neu geregelt. Dies betrifft insbesondere den Ansatz eines hydraulischen Versagens von mehr als einem Sicherungselement sowie von Innendichtungen. Für Dräns als Sicherungselement wurden zusätzliche Regelungen aufgenommen. Danach darf die die Standsicherheit erhöhende Wirkung eines Dräns nur noch berücksichtigt werden, wenn der Drän definierten Qualitätsansprüchen genügt.

Bei der Durchführung der Dammnachsorgeuntersuchungen für Dammbereiche mit Bauwerken ergaben sich Schnittstellenprobleme zwischen den auf Grundlage des MSD in den einzelnen Lastfällen ermittelten hydraulischen Beanspruchungen des Bauwerks und den für diese Beanspruchungen durchzuführenden geotechnischen und bautechnischen Standsicherheits- bzw. Tragfähigkeitsnachweisen. Durch die Integration der Lastfälle in die Bemessungssituationen und die neuen Regelungen für die Berücksichtigung des Ausfalls von Sicherungselementen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation konnten diese Schnittstellenprobleme beseitigt werden.

Die Integration der bisherigen Lastfälle in die Bemessungssituationen erforderte für hochwasserbelastete Dämme auch eine neue Festlegung des für die Standsicherheitsuntersuchungen zu Grunde zu legenden maßgeblichen Wasserstandes in der ständigen, bisher dem Lastfall 1 entsprechenden Bemessungssituation. Hierbei wurde berücksichtigt, dass die Beanspruchungen aus Hochwasser als veränderliche Einwirkung wie bei anderen veränderlichen Einwirkungen (z. B. Verkehr, Schnee, Wind) in der ständigen Bemessungssituation für eine Auftretenswahrscheinlichkeit von ein Mal in der Lebensdauer des Bauwerks anzusetzen sind.

Weiterhin ergaben sich bei den Dammnachsorgeuntersuchungen immer wieder Fragestellungen zur Durchführung der numerischen Dammdurchströmungsrechnungen, insbesondere zur Berücksichtigung von Dräns. Aus diesem Grund wurden Hinweise zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung neu in den Anhang des MSD aufgenommen. Die Vorgehensweise bei der numerischen Berechnung der Dammdurchströmung wird in [12] detailliert beschrieben.

4.4 Schlussfolgerung

Conclusion

Insgesamt haben die für alle Dämme an Bundeswasserstraßen durchgeführten Dammnachsorgeuntersuchungen gezeigt, dass mit dem „Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“ ein wirksames Mittel zur Erzielung eines einheitlichen, hohen Sicherheitsstandards für die ständig wasserbelasteten Dämme der WSV gegeben ist. Durch die Überarbeitungen des Merkblatts konnten neben der Anpassung an die geänderten geotechnischen

Grundlagennormen auch die für die Dammnachsorgeuntersuchungen erforderlichen Präzisierungen und Ergänzungen der Regelungen vorgenommen werden.

5 Literatur *References*

- [1] Lackner, E., Hager, M.: Der Schadensfall an der Unterführung Lüneburg/Nutzfelde des Elbe-Seitenkanals und Folgerungen. - In: Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft, 37. Band, S. 199-220, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1980.
- [2] VV-WSV 2301 – Dammspektion: Verwaltungsvorschrift der WSV des Bundes; Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, 1981.
- [3] Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 1998; Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- [4] DIN 1054:2005: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Beuth-Verlag Berlin.
- [5] Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD) Ausgabe 2005; Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- [6] Laursen, C., Odenwald, B.: Nachweis gegen Fugenerosion gemäß dem Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 47-58, 2011.
- [7] Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011; Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- [8] 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.
- [9] DIN 1054:2010: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Beuth-Verlag, Berlin.
- [10] Schuppener, B.: Das Normen-Handbuch zu Eurocode 7 und DIN 1054:2010 – Grundlagen für geotechnische Nachweise im Verkehrswasserbau; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 19-34, 2011.
- [11] Odenwald, B.: Neuerungen im Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Ausgabe 2011; BAWMitteilungen Nr. 94, S. 35-46, 2011.
- [12] Odenwald, B.: Numerische Berechnung der Dammdurchströmung, BAWMitteilungen Nr. 94, S. 59-76, 2011.