



Kriterien zur Ertüchtigung von Hochwasserschutzdeichen

**Dipl.-Ing. Ronald Haselsteiner; Dipl.-Ing. Marco Conrad;
Univ-Prof. Dr.-Ing. Theodor Strobl**

Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München

1 Einleitung

Die Deichbauten in Deutschland sind zum Teil altgediente Bauwerke, welche aufgrund der oft Jahrzehnte andauernden Beanspruchung und der historischen Planung und Ausführung dem aktuellen technischen Standard nicht entsprechen und diesem angepasst werden sollten, um die Anforderungen an einen modernen Deich erfüllen zu können.

Das Hochwasserereignis im August 2002 in Deutschland verursachte nicht zuletzt aufgrund von Deichbrüchen volkswirtschaftlich hohe Schäden. Deiche sind auf einen bestimmten temporären Bemessungshochwasserstand (BHW) dimensioniert, bei darüber hinaus gehenden Belastungen kann eine vollkommene Sicherheit bezüglich ihrer Funktionstüchtigkeit nicht gewährleistet werden. Nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass das BHW u.U. seit Erbauung eines Deiches zugenommen hat, ist Ertüchtigungsbedarf geboten.

2 Standsicherheit und Belastungsbilder

2.1 Standsicherheit

Die Standsicherheit von Deichen muss für ein bestimmtes anzunehmendes Bemessungshochwasser gewährleistet sein. Die Wahl des Bemessungshochwassers (BHW) wird z.B. in DVWK (1989) behandelt. Unter Zugrundelegung verschiedener Randbe-

dingungen (z.B. aus Raumordnung, Schadenspotential) ergibt sich mit der Lage der angelegten Deiche und mit dem BHW ein entsprechender Bemessungshochwasserstand (Bild 1). Der Möglichkeit der ungewollten Überströmung des Deiches wird mit der Wahl eines ausreichenden Freibords, wie es z.B. in DVWK (1997) vorgeschlagen wird, entgegnet.

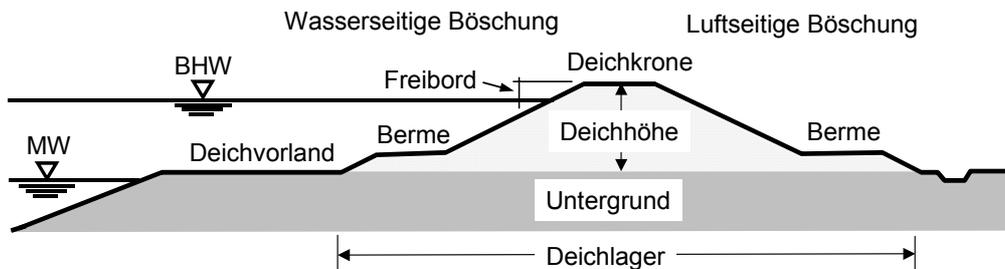


Bild 1 Deichquerschnitt mit Begriffen nach DIN 19712 (1997)

Deiche können je nach Beanspruchung, Aufbau und Zustand auf verschiedene Weisen versagen:

- (1) Bruch durch Überströmung
- (2) Versagen der Böschungen
- (3) Hydraulischer Grundbruch oder Gleitversagen unter Grundwasserdruck
- (4) Erosionsgrundbruch (Ausspülungen) / Rückschreitende Erosion

Punkt (1) kann mit einfachen Instrumentarien der Deichverteidigung entgegengewirkt werden. Bei Versagensformen entsprechend der Punkte (2) bis (4) ist vornehmlich die Durchsickerung des Deiches verantwortlich (Lage der Sickerlinie, Dauer des Hochwassers, hydraulische Gradienten). Hier stellen sich Deichverteidigungsarbeiten aufgrund der verdeckten Vorgänge im Inneren des Deiches und im Untergrund schwieriger dar.

2.2 Belastungsbilder

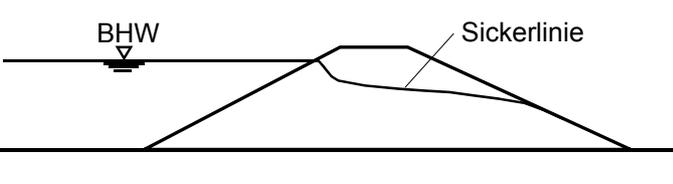
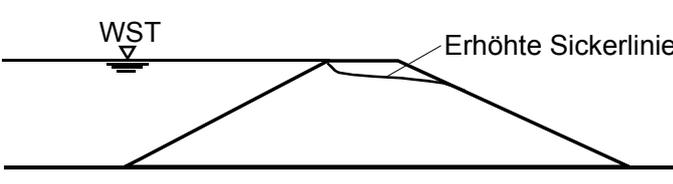
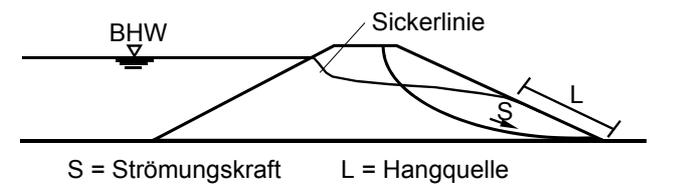
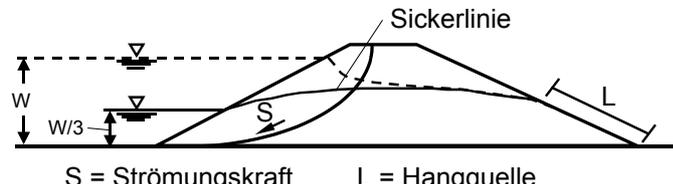
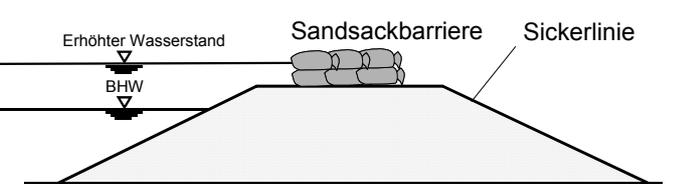
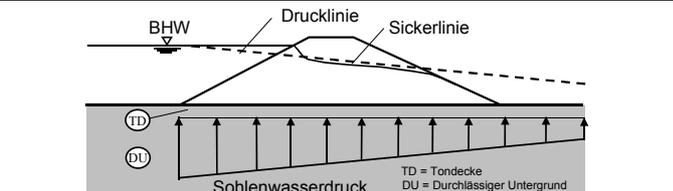
Ein Deich erfährt vornehmlich Belastungen aus dem temporären Einstau. Dazu gehören

- der statische Wasserdruck aus Einstau und freier Wasseroberfläche im Deichkörper,
- die hydrodynamischen Kräfte bei der Durchsickerung,
- gegebenenfalls der Auftrieb aus Sohlwasserdruck.

Wühltiere, defekte Dichtungen und Wurzeln erhöhen die Durchlässigkeit des Deiches und begünstigen eine schnellere und stärkere Durchströmung, wodurch der Erdkörper des Deichs weiter geschwächt wird.

In Tabelle 1 sind einige Belastungsbilder zusammengestellt. Besonders hinzuweisen ist auf die Möglichkeit eines Wasserstandes, der das des Bemessungshochwassers überschreitet (Bild 2b und 2e). Eine vollständige Ausbreitung der Durchsickerungsfront bis hin zur luftseitigen Böschung ist der kritischste Zustand, der sich einstellen kann.

Tabelle 1 Einige Belastungsbilder für Deiche

<p>Bild 2a Wasserstand bei BHW</p>	
<p>Bild 2b Wasserstand auf Kote der Krone</p>	
<p>Bild 2c Strömungskräfte an einer Hangquelle</p>	 <p>S = Strömungskraft L = Hangquelle</p>
<p>Bild 2d Schnelle Wasserspiegelsenkung</p>	 <p>S = Strömungskraft L = Hangquelle</p>
<p>Bild 2e Erhöhter Wasserstand und völlige Durchsickerung</p>	
<p>Bild 2f Sohlenwasserdruck</p>	 <p>TD = Tondecke DU = Durchlässiger Untergrund</p>

Während der letzten großen Hochwasserereignisse in Deutschland wurden bedingt durch den langanhaltenden Einstau der Deiche die Grenzverhältnisse der Sickerlinie

erreicht (Bild 3). Wird in diesem Fall der gesamte Deichkörper durchsickert (Tabelle 1, 2e), so kann es gerade bei älteren Deichbauwerken zu Standsicherheitsproblemen kommen.

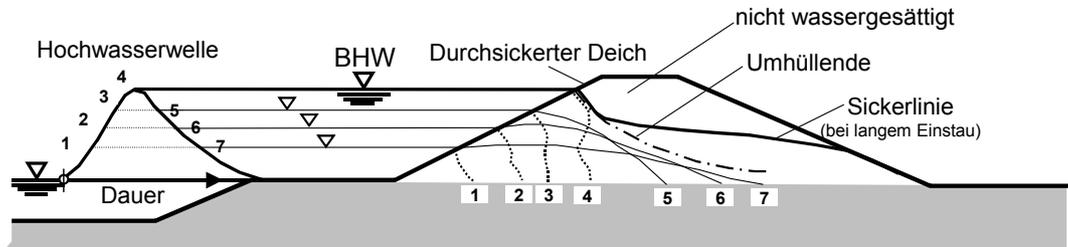


Bild 3 Temporäre Sickerströmung im homogenen Damm nach DVWK (1986)

Heerten (1999) hat bei seinen Berechnungen von Dämmen mit Oberflächendichtungen (Bild 4), den Zeitpunkt festgestellt, wann sich eine stationäre Strömung ausbildet. Er untersuchte unter anderem die in Tabelle 2 aufgelisteten vier Dichtungsvarianten.

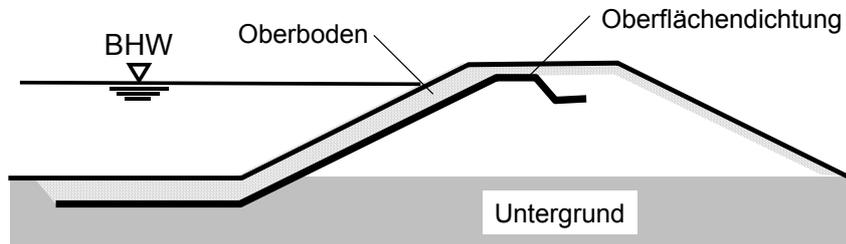


Bild 4 Deich mit Oberflächendichtung nach Heerten (1999)

Tabelle 2 Dichtungsmaterial, Durchlässigkeit, Dauer nach Heerten (1999)

Oberflächendichtung	Durchlässigkeit k_D [m/s]	Dauer $T_{stationär}$ [d]
Mineralische Dichtung 1	10^{-6}	5
Mineralische Dichtung 2	10^{-9}	12
Synth. Tondichtungsbahn (TDB)	10^{-10}	17

Die Untersuchung zeigt, dass sich in Deichen mit einem Dichtungssystem hoher Dichtigkeit stationäre Grenzverhältnisse später einstellen.

3 Anforderungen an ein modernes Deichbauwerk

Zur Sicherstellung der Standfestigkeit des Deichbauwerkes auch unter lang andauernder Hochwasserbelastung ist die Ausbildung solcher Bauwerke entsprechend eines Stauhaltungsdamms bzw. eines Drei-Zonen-Deiches nach DVWK (1986) (Bild 5) zu empfehlen. Einem den Regeln der Technik entsprechendes Dichtungs- und Dränagesystems kommt besondere Bedeutung zu. Diesen Bauteilen sollten im Rahmen von Deichsanierungen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Auch im Hochwasserfall soll der der Bemessung zugrunde liegende Wasserstand unter Einhaltung eines Freibords eingehalten werden. Im Extremfall muss ein höherer Wasserstand im Rahmen der Deichverteidigung (Deicherhöhung mit Sandsäcken) in Kauf genommen werden.

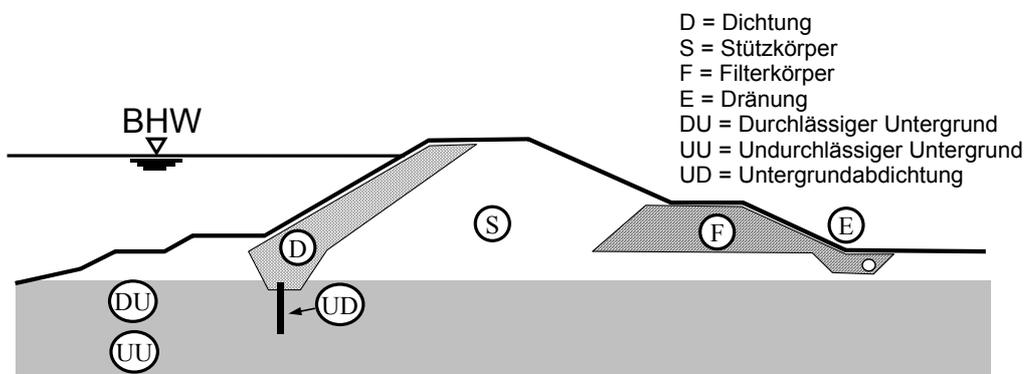


Bild 5 Drei-Zonen-Deich nach DVWK (1986)

4 Ertüchtigungsmaßnahmen

Sanierung bezeichnet die Wiederherstellung des Deiches in seiner Funktionstüchtigkeit. Unterhalt bedeutet die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit eines an sich intakten Deiches. Eine Sanierung erfordert konstruktive Maßnahmen, welche in folgendem Abschnitt behandelt werden. Im Rahmen des Deichunterhalts ist besonders auf den Zustand der Böschungen zu achten, der Böschungsbewuchs sollte niedrig gehalten werden und auf den einwandfreien Zustand von Deichanschlüssen an Massivbauwerke ist Wert zu legen.

4.1 Aufhöhung der Deichkrone

Aufgrund einer Erhöhung des BHW wird meist ein Anheben der Deichkrone nötig. Eine dauerhafte Aufhöhung kann auf verschiedene Weisen erfolgen (Bild 6a bis 6f):

- Aufhöhung eines homogenen Deiches (Bild 6a bis 6c)
- Aufhöhung mit Verlängerung der Oberflächendichtung (Bild 6d)
- Aufhöhung mit Verlängerung der Innendichtung (Bild 6e)
- Aufhöhung mit wandartiger Konstruktion (Bild 6f)

Bild 6a

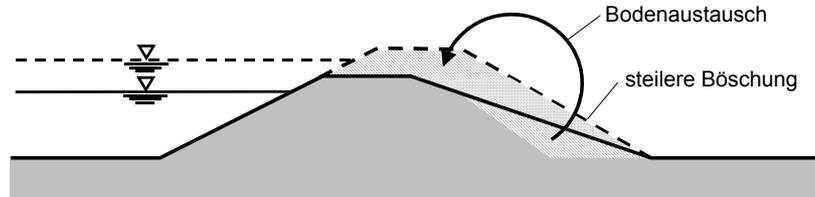


Bild 6b

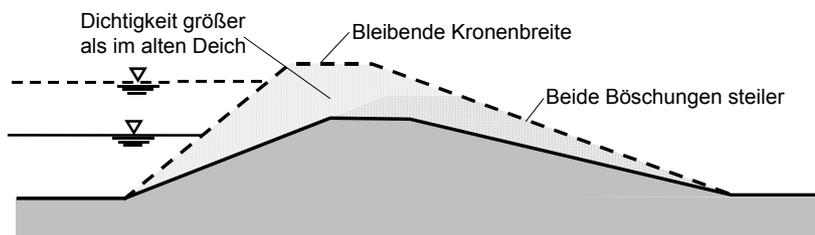


Bild 6c

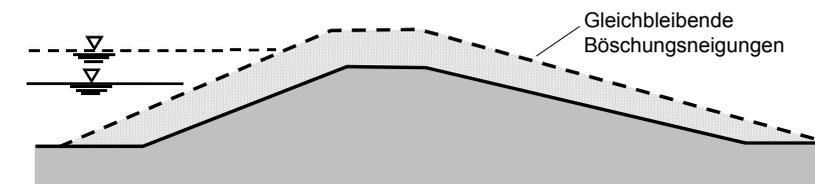


Bild 6d

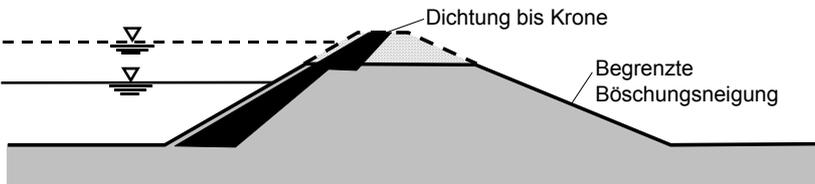


Bild 6e

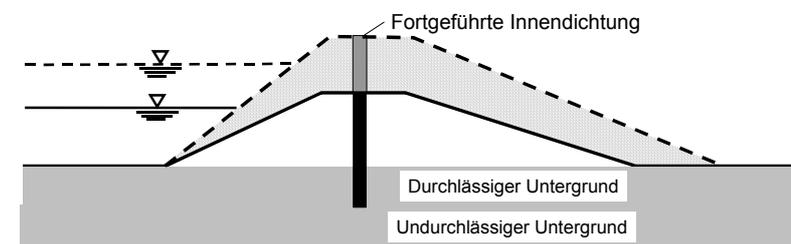
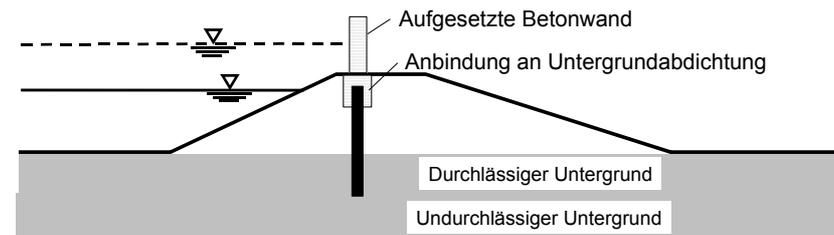


Bild 6f



4.2 Einbau eines Dichtungselementes

Ein nachträglich eingebautes Dichtungselement kann dafür sorgen, dass sich die Sickerlinie nicht in gefährlichem Maße im luftseitigen Deichkörper ausbreiten kann. So kann eine Durchströmung des ganzen Deichquerschnittes verhindert werden (Bild 7).

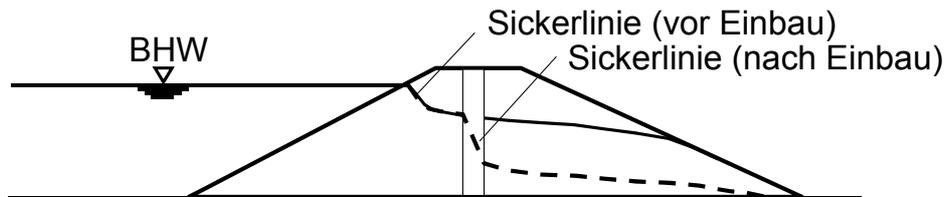


Bild 7 Sickerlinie vor und nach Einbau eines Dichtungselementes

Einige Dichtungselemente sind in folgender Tabelle 3 mit zulässigem hydraulischen Gradienten und einem qualitativem Kostenvergleich aufgelistet (DVWK (1990)). Es wurden nur die Dichtungselemente berücksichtigt, welche nachträglich im Zuge einer Deichsanierung praktisch sinnvoll eingebaut werden können.

Tabelle 3 Für Sanierung geeignete Dichtungselemente (DVWK (1990))

Typ	Einbautiefe T_{\max}	Hydr. $I_{\text{zul,max}}$	Kosten ^{*)}
Schmalwand	25 m	200	ca. 25 €
MIP-Wand	20 m	300	ca. 25 €
gefräste Grabenwand	4 m	≥ 300	ca. 30 €
Einphasen Schlitzwand	35 m	100	ca. 50 €
FMI-Verfahren	7 m	300	ca. 40 €
Vibrosolwand	28 m	300	ca. 40 €
Oberflächige Kunststoffdichtungen	5 – 10 m Stauhöhe	Erosionsnachweis der angrenzenden Schichten notwendig	ca. 60 €
Spundwand	20 m		ca. 70 €

* Richtpreise pro m² Dichtungsfläche ohne Baustelleneinrichtung

Auf eine Einbindung der Dichtwand in den undurchlässigen Untergrund ist zu achten. Wirtschaftliche Gesichtspunkte können jedoch eine geringere Einbindetiefe favorisieren.

4.3 Einbau eines Dräns

Mit Dränierungen kann den schadhafte Auswirkungen einer an der Luftseite austretenden Sickerlinie kostengünstig entgegengewirkt werden. In Bild 8 ist ein Auflastdrän skizziert, welcher im Zuge einer Deichertüchtigung angewandt werden kann. Dadurch werden Hangquellen vermieden, zusätzlich wirkt der Auflastdrän als luftseitiges Gewicht stabilisierend auf den gesamten Deichkörper und er steht als Deichhinterweg zur Deichverteidigung und zur Überwachung zur Verfügung.

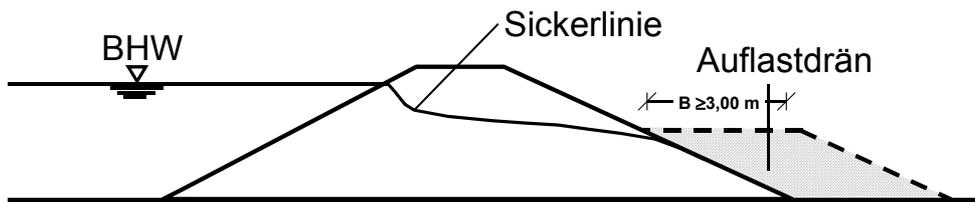


Bild 8 Deichquerschnitt mit Auflastdrän (Anschüttung)

4.4 Überströmbare Dammbereiche als Sollbruchstellen

Die Schaffung neuer Retentionsflächen ist ein Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung bestehender Hochwasserschutzkonzepte. Retentionsflächen werden über abgesenkte Deichabschnitte, welche überströmbar ausgebildet sind (Bild 9), in Anspruch genommen. Vor allem die Krone und luftseitige Böschung müssen aufgrund der erhöhten hydraulischen Belastung durch z.B. Bruchstein gesichert werden. In Brauns et al. (2002) werden die hydraulischen Belastungen in drei Kategorien unterschieden:

- Kategorie I: $q_{\max.} \leq 100 \text{ l/(sm)}$
- Kategorie II: $100 \text{ l/(sm)} \leq q_{\max.} \leq 200 \text{ l/(sm)}$
- Kategorie II: $200 \text{ l/(sm)} \leq q_{\max.} \leq 300 \text{ l/(sm)}$

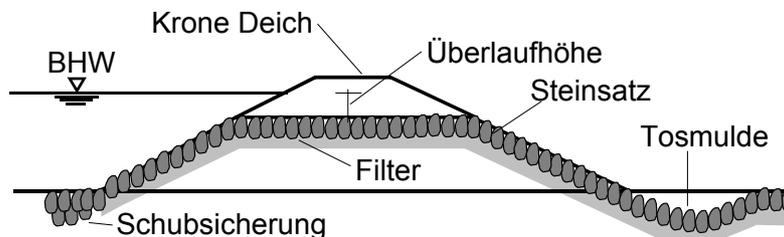


Bild 9 Ausbildung eines überströmbaren Dammbereiches bei hohen hydraulischen Belastungen $q_{\max.} \geq 300 \text{ l/(sm)}$

Für praktische Anwendung lassen sich folgende Punkte festhalten:

- Der Reibungswinkel des Bodens hat einen maßgeblichen Einfluss auf die zulässige Belastbarkeit.
- Flache Böschungen lassen grundsätzlich höhere hydraulische Belastungen zu.
- Steile Böschungen ermöglichen – nahezu unabhängig vom Böschungswinkel – nur sehr geringe hydraulische Belastungen.

Neben dem massiven Ausbau des überströmbaren Bereichs ist vor allem die Böschungsneigung für die Belastbarkeit der Böschung verantwortlich. Der Einbau von Geotextilien als Bodenbewehrung sowie die Ausbildung der Oberfläche z.B. als Grasnarbe (Bild 10), können die möglichen hydraulischen Belastungen erhöhen.

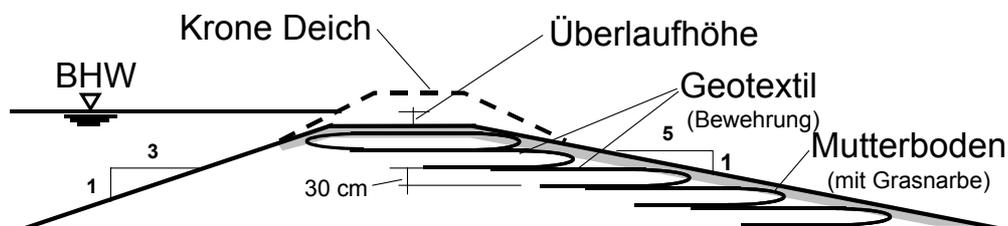


Bild 10 Gestaltung eines überströmbaren Damms mit flachen Böschungsneigungen nach Brauns et al. (2002)

5 Fazit

Mit Sorge verfolgten wir die letzten Hochwasserereignisse. Für ein technisch hoch entwickeltes Industrieland ist es nicht hinnehmbar, wenn bei jedem größeren (nicht extremen!) Hochwasserereignis Deichwachen der Wasserwirtschaftsämter, der Feuerwehr und anderer Hilfsorganisationen rund um die Uhr Fehlstellen melden und durch Sandsäcke sowie Kiesvorschüttungen ad hoc Sicherungen vorgenommen werden müssen. Dies kann kein Dauerzustand bleiben.

Seit dem Pfingsthochwasser 1999 wurden in Bayern einige Schutzdeiche erhöht, verbreitert und auch abgedichtet, doch nach wie vor weisen viele Deichstrecken an den großen Flüssen bedenkliche Schwachstellen auf, die sich im Hochwasserfall durch ein Aufweichen der Bauwerke und starken Wasserdurchtritt äußern - kurz auf Dauer nicht standsicher sind. Auch können diese Dämme u.U. nicht mehr befahren werden. Es fehlt auch eine Möglichkeit der effektiven Deichverteidigung. Diese Situation stellt eine ständige Bedrohung für die betroffenen Bewohner dar.

Der Bürger hat ein Recht darauf, vor der ständig wiederkehrenden (berechenbaren) Hochwassergefahr durch nach dem Stand der Technik erstellte und unterhaltene Bauwerke geschützt zu werden. Allerdings müssen neben der baulichen Sanierung der Deiche auch neue Rückhalteräume gesucht werden. Hierfür stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Zum einen sind vermehrt natürliche Retentionsräume entlang der Bäche und Flüsse auszuweisen und zum anderen ist der Bau von Hochwasserrückhaltebecken in den Oberläufen der Flüsse ernsthaft zu verfolgen. In beiden Fällen können die benötigten Flächen in der landwirtschaftlichen Nutzung belassen werden; sie werden nur im Hochwasserfall überflutet. Der Flächenbedarf ist jedoch bei der Schaffung von Retentionsräumen im Vergleich zu Hochwasserrückhaltesperren wesentlich größer und dürfte bei landwirtschaftlich genutzten Flächen die Umstellung vom Ackerbau zur Grünlandwirtschaft notwendig machen.

Starkniederschläge sind Naturereignisse, die wir nur langfristig – wenn überhaupt – durch eine Änderung unseres Umweltverhaltens ändern können. Der Schutz vor den Auswirkungen dieser Naturereignisse ist jedoch eine Aufgabe, die sich Bauingenieure in unserem Kulturland schon immer stellten. Kein Mensch käme auf den Gedanken, ein Hochhaus bei einem Orkansturm zu räumen, nur weil es auf dieses äußerst seltenes Extremereignis nicht bemessen ist. Unsere Siedlungen sind jedoch schon bei immer häufiger auftretenden Flutereignissen gefährdet, weil wir es versäumten, vorhandene Schutzanlagen der Gefahrensituation anzupassen und neue zu bauen. Es gingen aber auch in der Vergangenheit vorhandene Retentionsräume entlang der Flüsse durch bauliche Anlagen verloren! Die Reaktivierung und die Schaffung neuer Schutzräume zur Hochwasserrückhaltung sollen uns davor schützen, dass wir die Hochwasserdeiche bei gleichem Schutzgrad immer weiter erhöhen müssen.

Ein Hinweis sei noch zu den notwendigen Rechtsverfahren gestattet. Der Schutz des Menschen vor Hochwasser muss bei der Güterabwägung eindeutig vor Naturschutzbelangen und Interessen einzelner Bürger stehen. Wenn notwendig, sollte der Gesetzgeber die einschlägigen Gesetze und Verordnungen ändern.

Literatur

BAW (1998)

Merkblatt, Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW); Karlsruhe 1998

Brauns, Josef (1977)

Der Lastfall schneller Spiegelabsenkung bei kerngedichteten Staudämmen, *Wasserwirtschaft* 67, S. 271 – 276, 1977

Brauns, Josef (1985)

Erosionsverhalten geschichteten Bodens bei horizontaler Durchströmung, Wasserwirtschaft 75, S. 448 – 453, 1985

Brauns, Josef; Kast, K.; Schuler, U.; Schneider, H. (1997)

Bewertung der geotechnischen Sicherheit von Hochwasserschutzdeichen und Grundlagen zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen, Abteilung Erddamm- und Deponiebau, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 7, Karlsruhe 1997

Brauns et al. (2002) :

Überströmbare Dämme – landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg, Zwischenbericht, Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS), Forschungszentrum Karlsruhe 2002

Buß, Johann (1987)

Unterströmung von Deichen, Mitteilung Heft 92, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, 1987

Davidenkoff, Rostislaw (1964)

Deiche und Erddämme, Sickerströmung – Standsicherheit, Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf 1964

DIN 19712 (1997)

Flussdeiche, Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), November 1997

Dornack, Stefan (2001)

Überströmbare Dämme – Beitrag zur Bemessung von Deckwerken aus Bruchsteinen, Technische Universität Dresden, Wasserbauliche Mitteilungen Heft 20, Dresden 2001

DVWK (1986)

Flussdeiche, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 210, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1986

DVWK (1989)

Wahl des Bemessungshochwassers, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 209, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1989

DVWK (1990)

Dichtungselemente im Wasserbau, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 215, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1990

DVWK (1997)

Freibordbemessung an Stauanlagen, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 246, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1997

Hebenstreit, Klaus (2000)

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Hydrologie alpiner Einzugsgebiete, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur Wien, 2000

Heerten, Georg (1999)

Erhöhung der Deichsicherheit mit Geokunststoffen, 6. Informations- und Vortragstagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, Tagungsband S. 119 – 127, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., München 1999

Kärcher et al. (2001)

Parameterstudie zur Größe der Wasserdrücke unter Deichen bei Hochwässern, Geotechnik 24, S. 201 – 205, 2001

LAWA (1995)

Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Auftrag der Umweltministerkonferenz, 1995

Sommer, Heinrich (1980)

Erosionsuntersuchungen bei Brüchen an unterströmten Rheindeichen, Wasserwirtschaft 70, S. 100 – 103, 1980

Wildner, Harald; Kleist, Frank; Strobl, Theodor (1999)

Das Mixed-in-Place-Verfahren für permanente Dichtungswände im Wasserbau, Wasserwirtschaft 1989, S. 230 – 236, 1999