

Die Deichbauten in Deutschland sind zum Teil altgediente Bauwerke, die 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 hinausgehenden Belastungen kann eine vollkommene Sicherheit bezüglich ihrer Funktionstüchtigkeit nicht gewährleistet werden. Nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, daß das BHW unter Umständen seit Erbauung eines Deichs zugenommen hat, ist Ertüchtigungsbedarf geboten.

Standsicherheit

Die Standsicherheit von Deichen muß für ein bestimmtes anzunehmendes Bemessungshochwasser gewährleistet sein. Die Wahl des Bemessungshochwassers (BHW) wird zum Beispiel in DVWK (1989) behandelt. Unter Zugrundelegung verschiedener Randbedingungen (zum Beispiel 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 Deichs wird mit der Wahl eines ausreichenden Freibords, wie es in DVWK (1997) vorgeschlagen wird, entgegen.

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

- ⇨ Bruch durch Überströmung,
- ⇨ Versagen der Böschungen,
- ⇨ Hydraulischer Grundbruch oder Gleitversagen unter Grundwasserdruck,
- ⇨ Erosionsgrundbruch (Ausspülungen)/Rückschreitende Erosion.

Dem ersten Punkt kann mit einfachen Instrumentarien der Deichverteidigung entgegengewirkt

Kriterien zur Ertüchtigung von Hochwasserschutzdeichen

Dipl.-Ing. Ronald Haselsteiner, Dipl.-Ing. Marco Conrad und Univ.-Professor Dr.-Ing. Theodor Strobl, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München

werden. Bei Versagensformen entsprechend den Punkten zwei und vier ist vornehmlich die Durchsickerung des Deichs verantwortlich (Lage der Sickerlinie, Dauer des Hochwassers, hydraulische Gradienten). Hier stellen sich Deichverteidigungsarbeiten aufgrund der verdeckten Vorgänge im Inneren des Deichs und im Untergrund schwieriger dar.

Belastungsbilder

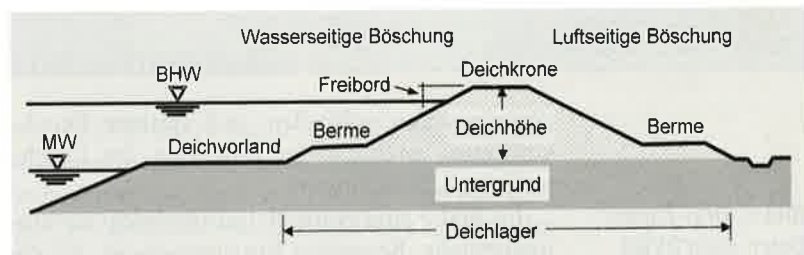
Ein Deich erfährt vornehmlich Belastungen aus dem temporären Einstau. Dazu gehören:

- ⇨ 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 Deichs und be-



Bild 1. Deichquerschnitt mit Begriffen nach DIN 19 712 (1997).



In letzter Zeit verursachten Hochwasserereignisse große Schäden. Ein Grund hierfür liegt in der Besiedlung von hochwassergefährdeten Gebieten, woraus sich der Anstieg des Schadenspotentials und eine ständige Bedrohung der betroffenen Menschen ergibt. Der Bürger hat ein Recht auf Schutz vor dieser Bedrohung. Dazu gehört auch, daß bestehende, schadhafte Deiche saniert werden. Es ist wichtig, die Versagensmechanismen und die auftretenden Belastungen an Deichen zu kennen. Dabei spielt die zeitliche Komponente vor allem bei der Durchsickerung und bei Ausspülungsprozessen im Deichkörper und

Untergrund eine entscheidende Rolle. Die Ausbildung von Deichen nach dem anerkannten Stand der Technik mit wirtschaftlichen Methoden stellt eine Herausforderung in einem übergeordneten Hochwasserschutzkonzept dar. Neben der Aufhöhung von Deichen sind vor allem der Einbau einer Dichtwand, die Anordnung von Dränelementen und die Ausbildung von Überströmungsbereichen zur Nutzung von Retentionsräumen als konstruktive Eingriffsmöglichkeiten am Deich zu erwähnen. Dabei ist das Wohl der Allgemeinheit stets vor die Interessen einzelner Bürger zu stellen.

Bild 2. Belastungsbilder für Deiche:
 a) Wasserstand bei BHW,
 b) Wasserstand auf Kote der Krone,
 c) Strömungskräfte an einer Hangquelle,
 d) schnelle Wasserpiegelsenkung,
 e) erhöhter Wasserstand und völlige Durchsickerung,
 f) Sohlenwasserdruck.

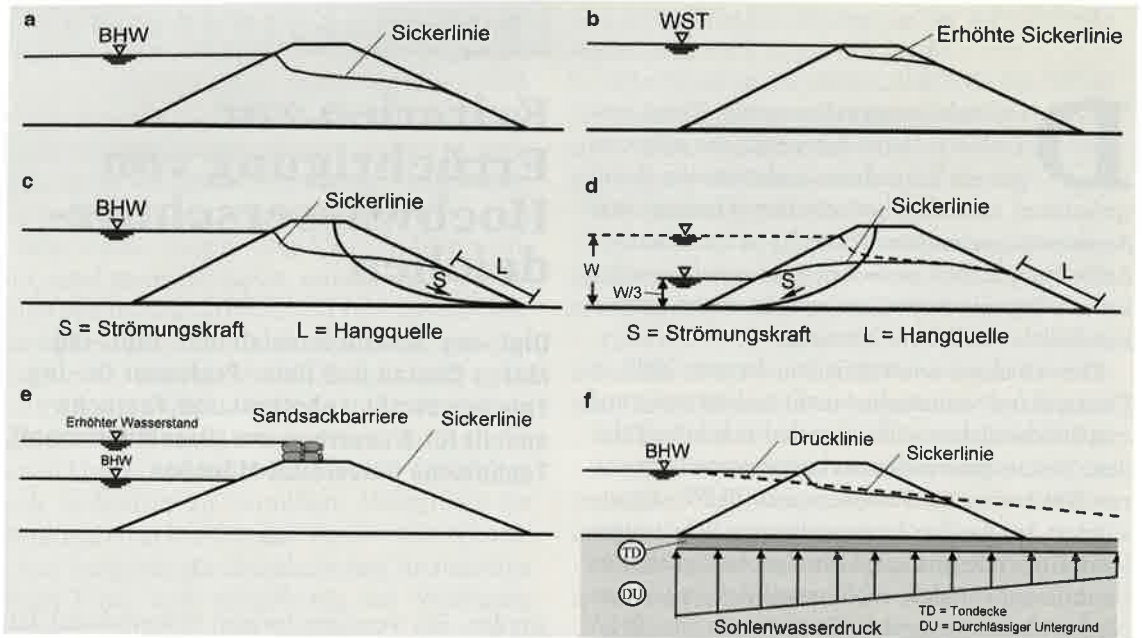


Bild 3. Temporäre Sickerströmung im homogenen Damm nach DVWK (1986).

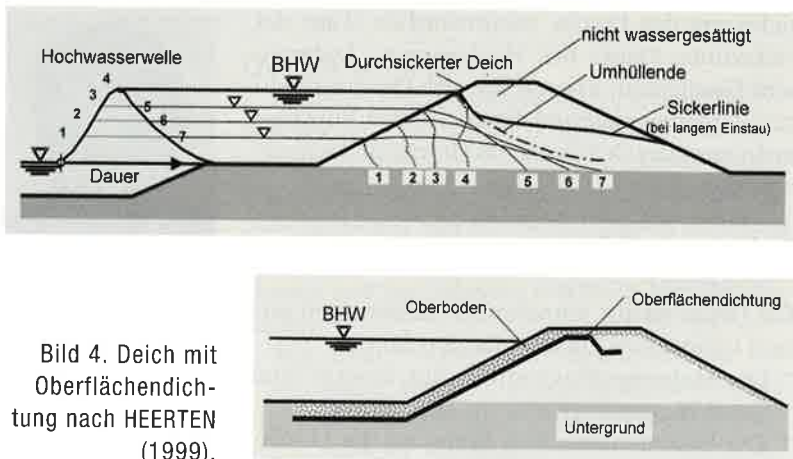


Bild 4. Deich mit Oberflächendichtung nach HEERTEN (1999).

stand des Bemessungshochwassers überschreitet (Bild 2b und 2c). Eine vollständige Ausbreitung der Durchsickerungsfront bis hin zur luftseitigen Böschung ist der kritischste Zustand, der sich einstellen kann.

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 (vgl. Bild 2e), so kann es gerade bei älteren Deichbauwerken zu Standsicherheitsproblemen kommen.

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 der Tabelle 1 aufgelisteten drei Dichtungsvarianten. Die Untersuchung zeigt, daß sich in Deichen mit einem Dichtungssystem hoher Dichtigkeit stationäre Grenzverhältnisse später einstellen.

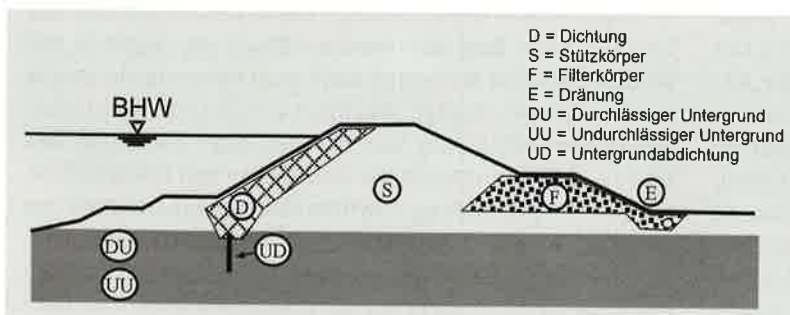
Tabelle 1. Dichtungsmaterial, Durchlässigkeit, Dauer nach HEERTEN (1999).

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

günstigen eine schnellere und stärkere Durchströmung, wodurch der Erdkörper des Deichs weiter geschwächt wird.

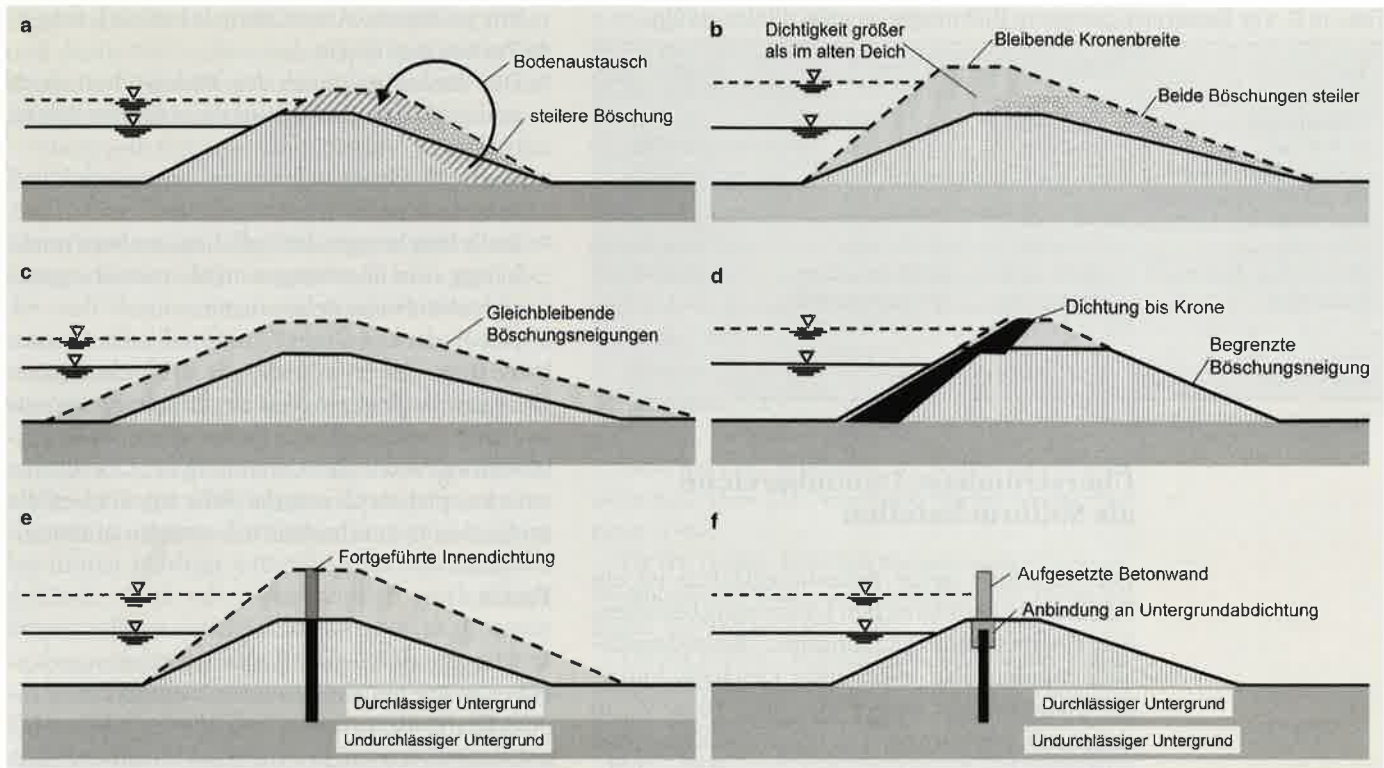
Im Bild 2 sind einige Belastungsbilder zusammengestellt. Besonders hinzuweisen ist auf die Möglichkeit eines Wasserstands, der den Wasser-

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



Anforderungen an ein modernes Deichbauwerk

Zur Sicherstellung der Standfestigkeit des Deichbauwerks auch unter lang andauernder Hochwasserbelastung ist die Ausbildung solcher Bauwerke entsprechend einem Stauhaltungsdamm beziehungsweise einem Drei-Zonen-Deich nach DVWK (1986) zu empfehlen (Bild 5). Einem den Regeln der Technik entsprechendes Dichtungs- und Dränagesystem kommt besondere Bedeutung zu. Diesen Bauteilen sollten im Rahmen von Deichsanierungen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Auch im Hochwasserfall soll der der Bemessung zugrundeliegende Wasserstand unter Einhaltung eines Freibords eingehalten werden. Im Extremfall muß ein höherer Wasserstand im Rah-



men der Deichverteidigung (Deicherhöhung mit Sandsäcken) in Kauf genommen werden.

Ertüchtigungsmaßnahmen

Sanierung bezeichnet die Wiederherstellung des Deichs in seiner Funktionstüchtigkeit. Unterhalt bedeutet die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit eines an sich intakten Deichs. Eine Sanierung erfordert konstruktive Maßnahmen, die im folgenden 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.

Aufhöhung der Deichkrone

Aufgrund einer Erhöhung des BHW wird meist ein Anheben der Deichkrone nötig. Eine dauerhafte Aufhöhung kann auf verschiedene Weisen erfolgen:

- ◊ Aufhöhung eines homogenen Deichs (Bilder 6a bis 6c),
- ◊ Aufhöhung mit Verlängerung der Oberflächendichtung (Bild 6d),
- ◊ Aufhöhung mit Verlängerung der Innendichtung (Bild 6e),
- ◊ Aufhöhung mit wandartiger Konstruktion (Bild 6f).

Einbau eines Dichtungselements

Ein nachträglich eingebautes Dichtungselement kann dafür sorgen, daß sich die Sickerlinie nicht

in gefährlichem Maß im luftseitigen Deichkörper ausbreiten kann. So kann eine Durchströmung des ganzen Deichquerschnitts verhindert werden (Bild 7).

Einige Dichtungselemente sind in der Tabelle 2 mit zulässigem hydraulischem Gradienten und einem qualitativen Kostenvergleich aufgelistet (DVWK, 1990). Es wurden nur die Dichtungselemente berücksichtigt, die nachträglich bei einer Deichsanierung praktisch sinnvoll eingebaut werden können.

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

Einbau eines Dräns

Mit Dränierungen kann den schadhaften Auswirkungen einer an der Luftseite austretenden Sickerlinie kostengünstig entgegengewirkt werden. Im Bild 8 ist ein Auflastdrän skizziert, der bei 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.

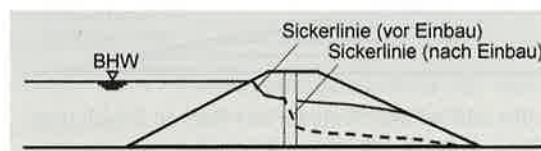


Bild 6. Möglichkeiten zur dauerhaften Erhöhung von Deichen: a-c) Aufhöhung eines homogenen Deichs, d) Aufhöhung mit Verlängerung der Oberflächendichtung, e) Aufhöhung mit Verlängerung der Innendichtung, f) Aufhöhung mit wandartiger Konstruktion.

Bild 7. Sickerlinie vor und nach Einbau eines Dichtungselements.

Tabelle 2. Für Sanierung geeignete Dichtungselemente (DVWK, 1990).

Typ	Einbautiefe T_{max}	Hydr. $I_{zul,max}$	Kosten*
Schmalwand	25 m	200	≈ 25 EUR
MIP-Wand	20 m	300	≈ 25 EUR
Gefräste Grabenwand	4 m	≥ 300	≈ 30 EUR
Einphasen-Schlitzwand .	35 m	100	≈ 50 EUR
FMI-Verfahren	7 m	300	≈ 40 EUR
Vibrosolwand	28 m	300	≈ 40 EUR
Oberflächige Kunststoffdichtungen	5 bis 10 m Stauhöhe	Erosionsnachweis der angrenzenden Schichten notwendig	≈ 15 EUR
Spundwand	20 m		≈ 70 EUR

* Richtpreise pro m² Dichtungsfläche ohne Baustelleneinrichtung.

Überströmbare Dammbereiche als Sollbruchstellen

Die Schaffung neuer Retentionsflächen ist ein Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung bestehender Hochwasserschutzkonzepte. Retentionsflächen werden über abgesenkte Deichabschnitte, die überströmbar ausgebildet sind (Bild 9), in Anspruch genommen. Vor allem die Krone und luftseitige Böschung müssen aufgrund der erhöhten hydraulischen Belastung, zum Beispiel durch 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 III: $200 \text{ l/(sm)} \leq q_{max} \leq 300 \text{ l/(sm)}$.

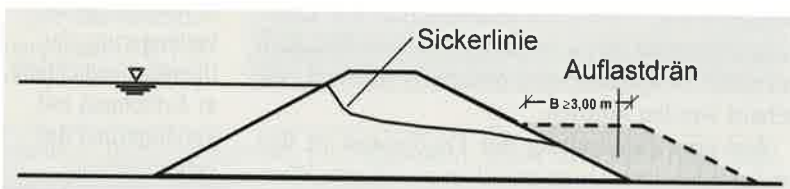


Bild 8. Deichquerschnitt mit Auflastdrän (Anschüttung).

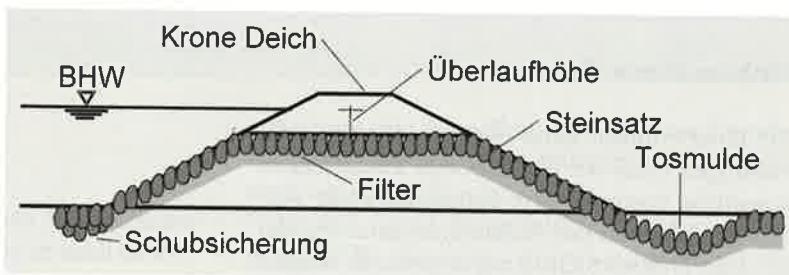


Bild 9. Ausbildung eines überströmbaren Dammsquerschnitts bei hohen hydraulischen Belastungen $q_{max} \geq 300 \text{ l/(sm)}$.

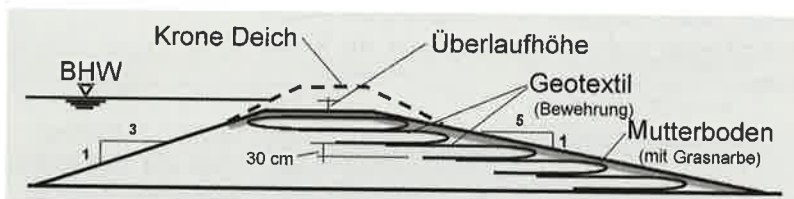


Bild 10. Gestaltung eines überströmbaren Damms mit flachen Böschungseigungen nach BRAUNS et al. (2002).

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 überströmbar Bereichs ist vor allem die Böschungsneigung für die Belastbarkeit der Böschung verantwortlich. Der Einbau von Geotextilien als Bodenbewehrung sowie die Ausbildung der Oberfläche, zum Beispiel als Grasnarbe (Bild 10), können die möglichen hydraulischen Belastungen erhöhen.

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. Aber 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. Kurzum sind diese Deiche auf Dauer nicht standsicher. Auch können diese Dämme unter Umständen 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 (mit statistischen Mitteln abschätzbaren) 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 den Bächen und Flüssen 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

Hochwasserrückhaltebecken wesentlich größer und dürfte bei landwirtschaftlich genutzten Flächen die Umstellung vom Ackerbau zur Grünlandwirtschaft notwendig machen.

Starkniederschläge sind Naturereignisse, die der Mensch nur langfristig – wenn überhaupt – durch eine Änderung seines Umweltverhaltens beeinflussen kann. Der Schutz vor den Auswirkungen dieser Naturereignisse ist eine Aufgabe, der sich Bauingenieure in unserem Kulturland schon immer stellten. Dem Stand der Technik entsprechende Bauwerke müssen diesen Naturereignissen standhalten. Kein Mensch käme auf den Gedanken, ein intaktes Hochhaus bei einem Orkansturm zu räumen, nur weil es auf ein anderes, vielleicht sogar schwächeres, Extremereignis 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 in der Vergangenheit auch vorhandene Retentionsräume entlang den Flüssen durch bauliche Anlagen verloren. Die Reaktivierung und die Schaffung neuer Schutzräume zur Hochwasserrückhaltung sollen davor schützen, daß die Hochwasserdeiche bei gleichem Schutzgrad immer weiter erhöht werden müssen.

Ein Hinweis sei noch zu den notwendigen Rechtsverfahren gestattet. Der Schutz des Menschen vor Hochwasser muß bei der Güterabwägung eindeutig vor Naturschutzbelangen und In-

teressen einzelner Bürger stehen. Wenn notwendig, sollte der Gesetzgeber die einschlägigen Gesetze und Verordnungen ändern.

Quellennachweis

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.

DIN 19 712 (1997): *Flußdeiche*. Normenausschuß Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), November 1997.

DVWK (1986): *Flußdeiche*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 210. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey, 1986.

DVWK (1989): *Wahl des Bemessungshochwassers*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 209. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey, 1989.

DVWK (1990): *Dichtungselemente im Wasserbau*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 215. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey, 1990.

DVWK (1997): *Freibordbemessung an Stauanlagen*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 246. Hamburg, Berlin: Verlag Paul Parey, 1997.

HEERTEN, G. (1999): *Erhöhung der Deichsicherheit mit Geokunststoffen*. 6. Informations- und Vortrags-tagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, Tagungsband S. 119–127, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. München, 1999.

BÜCHER und mehr in der VGE-Versandbuchhandlung

Service

Die VGE-Versandbuchhandlung ist ein modernes Kunden-Servicecenter, dessen oberstes Gebot die individuelle Erfüllung spezieller Kundenwünsche ist, so bei Rechnungsaufteilung und -rhythmus, gleich ob bei der Lieferung oder gesammelt zum Monatsende, aufgeteilt nach Kunden-Vorgaben.

- Fachbücher
- Sachbücher
- Lehrbücher
- Belletristik
- Kinder- und Jugendbücher
- Reiselektüre
- Loseblattwerke
- Zeitungen und Zeitschriften
- Neue Medien

■ Im Ruhrgebiet liefert VGE mit eigenem Kurier, darüber hinaus durch bewährte Dienstleister.

■ VGE stellt kostenlos Vorschlags- und Auswahllisten zu vom Kunden gewünschten Themen zusammen. Neben der Literatur-Recherche wird ein Neuerscheinungen-Service geboten.

■ Als Geschenkservice zu besonderen Anlässen übernimmt VGE Verpacken und Versand der Bücher und stellt vorab individuelle Titelvorschlagslisten zusammen.

■ Der Geschenkservice umfaßt nicht nur Literatur, sondern Sie wählen gemeinsam mit dem VGE-Repräsentanten exquisite Präsente aller Art aus.

DIN-Normen

VGE ist Beuth-Depotbuchhandlung. Das bedeutet für die Kunden einen schnellen Zugriff auf sämtliche DIN-Normen. Alle DIN-Taschenbücher werden von VGE zum sofortigen Zugriff vorgehalten.

Als Beuth-Depotbuchhandlung hat VGE über sein individuelles Passwort unmittelbaren Zugang zu allen Normblättern, die somit per Faxabruf an den Kunden kurzfristig weitergeleitet werden können.

Sie können bei uns in jeder Form bestellen:

Per Brief
 Telefon +49 (0) 20 54 / 9 24 - 2 00 bis - 2 04
 Fax +49 (0) 20 54 / 9 24 - 2 09
 E-Mail buchhandel@vge.de
 Internet www.vge.de/buchhandel

Kundenbetreuung

wird bei der VGE-Versandbuchhandlung groß geschrieben.

Ihr VGE-Repräsentant betreut Sie persönlich und individuell. Er besucht, berät und unterstützt Sie persönlich nach Terminabsprache, direkt vor Ort.

Wolfgang Hense Telefon +49 (0) 20 54 / 9 24 - 2 08
 Mobil +49 (0) 1 72 / 8 01 76 56

Auf Kundenwunsch führt der VGE-Außendienst zu speziellen Anlässen kostenfrei Büchertische für Mitarbeiter in Räumlichkeiten der Kunden durch und trägt damit zur Unternehmenskultur bei.



Verlag Glückauf GmbH · Versandbuchhandlung
 Postfach 18 56 19 · 45206 Essen
 Montebruchstraße 2 · 45219 Essen