



Deichertüchtigung in Bayern

Ronald Haselsteiner

Kurzfassung

Folgende Ausführungen zeigen die Spannweite sowohl der auftretenden Randbedingungen als auch der möglichen technischen Baumaßnahmen zur Ertüchtigung von Deichen auf. Hierzu werden einige Aspekte zur Feststellung des Ertüchtigungsbedarfes und Festlegung der Ertüchtigungsdringlichkeit behandelt, sowie wesentliche Grundsätze der konzeptionellen Ausführung. Die dargelegten Erkenntnisse sind das Ergebnis des von der bayrischen Wasserwirtschaftsverwaltung geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Deichsanierung“, das in den Jahren 2003 bis 2005 am Lehrstuhl und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität bearbeitet wurde (HASELSTEINER U. STROBL 2005).

1 Einleitung

In Bayern wurde zur Verbesserung des Hochwasserschutzes das Aktionsprogramm 2020 ins Leben gerufen, im Zuge dessen auch Deichertüchtigung in großem Umfang betrieben werden soll (STMLU BY 2002). Da die Ertüchtigung von Hochwasserschutzdeichen nach den großen Hochwasserereignissen 1988, 1999, 2002 und 2005 in Bayern wieder in den Fokus des technischen Hochwasserschutzes gerückt ist, gilt es, über die bestehenden technischen Regelwerke hinaus den Behörden, Planern und Baufirmen Hinweise und Empfehlungen an die Hand zu geben, um wirtschaftlich und sicher gefährdete Deichstrecken den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) anzupassen. Dies wird u. A. mit der derzeitigen Überarbeitung des Merkblatts „Flussdeiche“ im DWA-Verband erfolgen.

Den Stellenwert, den Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern einnehmen, kann man auch an der Tatsache festmachen, dass für sie neben den einschlägigen Normen für Wasser- und Erdbauten, eine eigene Norm, die DIN 19712/1997 „Flussdeiche“, existiert, die zurzeit überarbeitet wird. Eine analoge Behandlung basierend auf anderen Normen wie z. B. der DIN 19700 ist schwierig. Häufig ist es der Fall, dass auf DIN 19712/1997 verwiesen wird, da einige Themenbereiche dort ausführlicher behandelt werden, wie z. B. Gehölze und Wühltiere auf und in Erdbauwerken oder auch die Querung von Leitungen durch Dammbauwerke. Die Ertüchtigung von Deichen wird in DIN 19712 nach Meinung des Verfassers nicht erschöpfend behandelt, da normative Regelwerke nie die ganze Spannweite von Fachthemen aufspannen können.

2 Deichertüchtigung und ihre Notwendigkeit

Ertüchtigung beinhaltet alle Maßnahmen, die eine Verbesserung des Ausgangszustandes bewirken. Deichertüchtigung umfasst sowohl die Instandsetzung und Sanierung eines Deiches als auch den Ausbau eines Deiches entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie die Beseitigung geringer Schäden im Rahmen der Unterhaltung.

Deiche sollten so ertüchtigt werden, dass durch regelmäßige Unterhaltungsmaßnahmen das Bauwerk für die nächsten Generationen Bestand hat.

Unter Berücksichtigung dieser Forderungen sind von Deichertüchtigungen zu unterscheiden:

- Notsicherungsmaßnahmen: Maßnahmen während des Hochwassers zur Abwehr einer unmittelbaren die Standsicherheit gefährdenden Gefahr
- Sofortmaßnahmen: Maßnahmen, die ohne zwingend die Gesamtertüchtigung des Deiches im Auge zu haben, die Standsicherheit des Deiches auch in lokal begrenzten, standsicherheitsgefährdeten Bereichen erhöhen
- Teilertüchtigungsmaßnahmen: Maßnahmen, die einen Teil einer oben definierten Deichertüchtigungsmaßnahme darstellen, um die Tragfähigkeit zu erhöhen oder die Gebrauchstauglichkeit herzustellen.
- Vorwegmaßnahmen: Maßnahmen, die zeitnah, bereits zu einem früheren Zeitpunkt als abgeschlossene Baumaßnahme vorgezogen bzw. durchgeführt werden evtl. als Teilertüchtigungsmaßnahme.

Die Unterteilung einer Gesamtbaumaßnahme in Vorweg- oder Teilertüchtigungsmaßnahmen führen zwar i. d. R. zu einer Erhöhung der Gesamtkosten, bieten allerdings die Möglichkeit, mit begrenzten Finanzmitteln einen maximierten Nutzen, eine zu einem gewissen Grad ertüchtigte Deichstrecke, zu erzielen.

Die Notwendigkeit einer Ertüchtigung resultiert i. d. R. aus unzureichender Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, was in folgenden Punkten begründet sein kann:

- veränderte hydrologische und hydraulische Randbedingungen
- veränderter Schutzgrad des Hinterlandes
- bauliche Veränderungen am und auf dem Deich
- Veränderung der Eigenschaften des Deichkörpermaterials
- Veränderung der Eigenschaften des Untergrundes
- Auftreten von unkontrolliertem Bewuchs an und auf Deichen
- Schäden am Deich

3 Rahmenbedingungen

Bei der Planung der Ausführung sind neben den bautechnischen und rechtlichen auch finanzierungs- und haushaltstechnische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Die Finanzierung von Maßnahmen und die Eingliederung der Mittelvergabe in Haushaltspläne, besonders der öffentlichen Hand, stellen häufig wichtige Rahmenbedingungen dar, die die Notwendigkeit der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen fordern und ggf. eine zeitliche Aufteilung in Einzelmaßnahmen nach sich ziehen.

3.1 Bestehender Deich (Altdeich)

Bestehende Deiche können in der Vergangenheit des Öfteren um- bzw. ausgebaut worden sein. Sie weisen i. d. R. einen willkürlichen und inhomogenen Aufbau auf, dessen tatsächliche Zusammensetzung auch durch intensive Erkundungsmaßnahmen nicht bis in Detail erfasst werden kann. Es ist zu entscheiden, wie der bestehende Deich in die Planung der Deichertüchtigung einbezogen werden kann oder ob er abgetragen und vollständig neu errichtet werden muss.

3.2 Deichüberwachung und Deichverteidigung

Den a.a.R.d.T. entsprechend sollte die Überwachung der Deiche im Hochwasserfall durch die Sicherstellung von Überwachungswegen auf Krone und/oder am landseitigen Deichfuß sichergestellt werden. Der Austritt von Sickerwasser aus dem Deich soll im unteren Drittel der landseitigen Böschung problemlos möglich sein. Zur Deichverteidigung sind Wege anzuordnen und entsprechend zu befestigen, um den Zugang zum Deich für Deichverteidigungsmannschaften und ggf. auch für Schwerlastverkehr zum Transport von Deichverteidigungsmitteln im Hochwasserfall sicherzustellen (vgl. LfW BY 2003).

3.3 Unterhaltung

„Flussdeiche sind so zu unterhalten, dass ihre Sicherheit ständig gegeben ist.“ (DIN 19712/1997) Bei Deichstrecken kann der Kostenaufwand für die Unterhaltung erheblich sein. Deshalb sollte bei Deichertüchtigungsmaßnahmen stets versucht werden, für den Unterhalt günstige Zustände herzustellen.

Durch eine standortgerechte Auswahl des Saatgutes, durch eine Anpassung der Böschungsneigungen, eine Anordnung von Deichwegen, durch bauliche Sicherungsmaßnahmen wie Spundwände sowie der Gestaltung der gesamten Deichgeometrie und -lage kann der Unterhaltungsaufwand beeinflusst werden.

3.4 Platzverhältnisse

Bestehende Deiche grenzen i. d. R. wasser- wie landseitig an Grundeigentum Dritter. Eine Vergrößerung des Deichlagers kann u. U. zu einem enormen Kosten- und Verwaltungsaufwand führen, da betroffene Rechtspersonen mit ihrem Einspruchsrecht erhebliche Verzögerungen verursachen und die Aufwendung zum Grunderwerb im Missverhältnis zu den bautechnisch notwendigen Kosten stehen können.

Eine Ausweitung des Deiches oder von Teilen desselben zur Gewässerseite vermindert zum einen die Leistungsfähigkeit des Abflussquerschnittes und handelt wider dem Grundsatz des WHGs zur Schaffung von Retentionsraum.

3.5 Berücksichtigung des Naturhaushaltes

Bei einer Deichertüchtigung sind wie beim Neubau von Deichen landschaftliche, ökologische und städtebauliche Belange zu berücksichtigen. Grundwasserverhältnisse sollen von Deichertüchtigungsmaßnahmen nicht negativ beeinflusst werden.

Nur in besonderen Ausnahmefällen ist es möglich, Bewuchs in Form von Gehölzen auf dem Deich unter Gewährleistung der Bauwerkssicherheit begrenzt zuzulassen. Die Sicherheitsbeeinträchtigungen durch Bewuchs müssen mittels konstruktiver Maßnahmen und intensiver Unterhaltungsmaßnahmen ausgeglichen werden, was u. U. einen erheblichen (Kosten)Aufwand bedeutet. Ökologisch hochwertige Ansaatmischungen und die Schaffung besonders seltener Trockenstandorte wie z. B. Magerrasenflächen auf landseitigen Deichböschungen sind eine praktische Lösung, die sowohl der Standsicherheit von Deichen als auch den Anforderungen des Naturhaushalts genügen (vgl. DVWK 226/1993).

Neben den vorkommenden üblichen Wühltieren, wie z. B. Maulwurf, Wanderratte, Kaninchen und Bisam, nutzen „noch“ geschützte Tiere, wie der Biber, den Deich als Lebensraum. Die Lebensgewohnheiten dieser Tiere sind häufig nicht mit den Grundsätzen des Hochwasserschutzes zu vereinigen. Der Biber kann sowohl das Abflussregime beeinflussen

als auch den Deich direkt schädigen. Die unmittelbare Gefährdung von Deichen durch Wühltiere kann durch die Wahl konstruktiver Sicherungsmittel wie z. B. grobkörniges Schüttmaterial, Wühltiergitter oder Dichtwänden verringert werden (vgl. DVWK 247/1997).

3.6 Landschafts- und Städtebild

In Bereichen, in denen Deichanlagen das Landschaftsbild oder Städtebild mitprägen, sollte die ästhetische Einbindung des Deiches berücksichtigt werden. Während an freien Gewässerstrecken der Deich möglichst naturnah ausgebildet wird, können in Städten auch technische Lösungen unter Einbeziehung von Stützkonstruktionen oder mobile Elemente zum Einsatz kommen. Eine Einpassung von Deichen, besonders in das Städtebild, kann die Kosten für die Ertüchtigung erheblich erhöhen.

3.7 Zeitplan

Während der Ausführung von Ertüchtigungsmaßnahmen muss der Schutz des Hinterlandes sichergestellt sein. Aus diesem Grund sind Baumaßnahmen in Jahreszeiten auszuführen, in denen große Hochwasserereignisse unwahrscheinlich sind. Des Weiteren ist der Bauablauf so zu planen und zu koordinieren, dass die Baustelle durch Notsicherungsmaßnahmen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums die festgelegte Schutzfunktion erreicht. Zur Absicherung dieser Forderung ist es i. d. R. erforderlich, ein bauzeitliches Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit festzulegen. Je nach Gewässer und Jahreszeit ist es möglich, Deichertüchtigungsmaßnahmen in ausreichend kleine Teillose aufzuteilen.

Aspekte des Finanzhaushaltes können dazu führen, dass Baustellen auch in hochwasserreichen Jahreszeiten durchgeführt oder in aufeinander folgende Einzelmaßnahmen unterteilt werden.

3.8 Rechtliche Rahmenbedingungen

„Die Herstellung, Beseitigung oder wesentliche Umgestaltung eines Gewässers oder seiner Ufer (Gewässerausbau) bedarf der Planfeststellung durch die zuständige Behörde.“ Darüber hinaus stehen nach § 31 Abs. 2 WHG „Deich- und Dammbauten, die den Hochwasserabfluss beeinflussen, dem Gewässerausbau gleich“. Die Unterhaltung dient nach § 28 WHG dem „Erhalt eines ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss“. Maßnahmen am Deich, die den Hochwasserabfluss und das Grundwasserregime nicht beeinflussen, sind demnach Unterhaltungsmaßnahmen, die grundsätzlich keiner behördlichen Genehmigung bedürfen, was im Einzelfall allerdings geprüft werden muss. Innerhalb der Unterhaltung können i. allg. folgende Maßnahmen durchgeführt werden (vgl. RASP 2003):

- Einbau von Dichtungen und Dräns
- Bewuchspflege / -entfernung
- Anschüttungen auf der Landseite
- Abtrag und sofortiger Neubau des Deiches in den alten Abmessungen

Baumaßnahmen, die die Deichkrone erhöhen, den Abflussquerschnitt verändern oder eine Umgestaltung des Gewässers erfordern, sind dahingegen nach dem Wasserrecht genehmigungspflichtig, d.h. bedürfen eines Planfeststellungsverfahrens nach § 31 WHG und

einer Umweltverträglichkeitsprüfung. Dazu zählen i. d. R. im Rahmen von Deichertüchtigungsmaßnahmen

- Deichrückverlegungen und
- Deicherhöhungen,
- wasserseitige, wesentliche Änderungen am Deich.

Bereits im Rahmen der Planung sollte geprüft werden, ob eine Deichertüchtigung als Unterhaltungsmaßnahme geplant und durchgeführt werden kann. Falls dies nicht der Fall ist, wie z. B. bei einer Deicherhöhung, können Einzelmaßnahmen im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen als Sofortmaßnahme oder Teilertüchtigungsmaßnahmen in Abstimmung mit dem Finanzhaushaltsplan „vorlaufen“ und die genehmigungspflichtige Ausbaumaßnahme im Nachhinein als letzter Bauabschnitt durchgeführt werden.

4 Technische Maßnahmen der Deichertüchtigung

4.1 Übersicht und Vergleich

Die technischen Möglichkeiten der Deichertüchtigung sind so weitläufig, wie die Entwicklung im Wasserbau und in der Geotechnik es bis heute zulassen (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Wirkungsmatrix von technischen Maßnahmen zur Deichertüchtigung

		Auswirkungen																
		Hydraulisch		Erdstatisch			Geo-hydraulisch		Gebrauchstauglichkeit		Kosten ¹⁾							
		Oberflächenschutz	Überlastbarkeit	Hochwassersicherheit	Globale Standsicherheit	Lokale Standsicherheit	Untergrundverbesserung	Seetzungen / Verformungen	Durchsickerung	Suffosion / Erosion	Dränfähig / Filterwirksam	Unterhaltung	Überwachung	Verteidigung	Unterhaltung	Baumaßnahme		
Maßnahmen	Erdbauliche Maßnahmen	Deich(rück)verlegung / Neutrassierung	positiv														negativ	
		Abtrag / Neubau / Bodenaustausch ²⁾																negativ
		Abflachung der Böschungen																positiv
		Verbreiterung der Deichkrone																positiv
		Anordnung von Bermen und Wegen																positiv
		Anordnung eines Dräns ²⁾									positiv / negativ	Voraussetzung						
	Bauwerke	Anordnung eines Filters																
		Erdbauliche Erhöhung			negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ							negativ
		Anordnung von Stützbauwerken ⁴⁾																negativ
	Materialverbesserung	Einbau von Dichtungen ²⁾																negativ
		Mauern / Mobile Elemente / Überst. Dichtungen ⁴⁾																negativ
	Oberflächen-sicherung	Verwendung von Geokunststoffen ²⁾								positiv								positiv
		Baugrund- / Bodenverbesserung ²⁾																positiv
	Sicherung von Deichen mit Gehölzen	Erosionssicherung der Böschung																positiv
		Ausbildung von Überlaufstrecken																positiv
Schütten eines Überprofils																	positiv	
Einbau von Wurzelhemmschichten																	positiv	
	Einzel-sicherung von Bäumen																positiv	
	Einbau statisch wirksamer Dichtungen																positiv	

Anmerkungen:

¹⁾ Hier werden Baukosten im Vergleich der Maßnahmen untereinander betrachtet, nicht Gesamtkosten im Vergleich zu alternativen Möglichkeit mit z. B. Kostenerhöhung durch Grundstückserwerb.

²⁾ Auf die Erhöhung der Standsicherheit ausgerichtete Maßnahmen.

³⁾ Entspricht etwa dem Aufwand einer Neubaumaßnahme.

⁴⁾ Deicherhöhungen haben größere Belastungen zur Folge und treten deshalb i. d. R. in Kombination mit anderen die Standsicherheit erhöhenden Maßnahmen auf.

⁵⁾ Die GTD zählt zu den Dichtungen.

⁶⁾ Angenommen der Gehölzbewuchs unterliegt keiner Beschränkung und kann sich frei entfalten bis hin zu waldartigen Beständen.

Neben den klassischen erdbaulichen Lösungen gewinnt immer mehr der Einsatz von künstlichen Dichtungen und Geokunststoffen an Bedeutung, auch wenn diese nicht zuletzt

aufgrund von Wirtschaftlichkeitsüberlegungen i. allg. nur unter Berücksichtigung besonderer Randbedingungen eingesetzt werden. In Tab. 1 sind Maßnahmen und deren Auswirkungen mit einer Matrix verknüpft, die durch farbliche Markierung zeigt, welchen positiven oder negativen Einfluss die Anwendung bestimmter Maßnahmen haben kann. Auch wenn ein qualitativer Vergleich der Kosten der Maßnahmen hinkt, da unter Beachtung der lokalen Randbedingungen stets die „günstigste“ Ausführungsvariante zum Zug kommt, zeigt der Vergleich indirekt, welche Randbedingungen teurer Maßnahmen bedürfen.

Eine Konzentration blauer wie roter Felder der Matrix (Tab. 1) zeigt einen eindeutigen Zusammenhang an. So ziehen die meisten Maßnahmen eine Erhöhung der erdstatischen und geohydraulischen Sicherheit nach sich, da i. d. R. der Querschnitt vergrößert und die Durchsickerung vermindert wird (blau = positiv). Eine Erhöhung von Deichen bedeutet gleichzeitig eine Erhöhung der Belastung und somit eine Abnahme der erdstatischen und geohydraulischen Standsicherheitskriterien (rot = negativ), wenn nicht andere Maßnahmen wie z. B. die Anpassung der Böschungen usw. dem entgegenwirken. Einen Sonderfall stellt die Sicherung von mit Gehölz bewachsenen Deichen dar, da dort im Einzelfall die Gebrauchstauglichkeit vermindert und zugleich die Kosten für Unterhalt und Bau erhöht werden. Mögliche ökologische wie landschaftsästhetische Auswirkungen wurden hierbei jedoch nicht berücksichtigt.

4.2 Erdbauliche Maßnahmen

Deiche sind definitionsgemäß Erdbauwerke, weshalb den erdbaulichen Maßnahmen besondere Bedeutung zukommt. Neben dem kompletten Abtrag und Wiederaufbau – in diesem Sinne wurden auch Deichverlegungen zu den erdbaulichen Maßnahmen gezählt – ist der Teilabtrag wie –neubau bei möglicher Integration des Altdeiches in vielen Fällen möglich.

Die Integration vom Altdeich hängt i. allg. von folgenden Punkten ab:

- Inhomogener, ungünstiger Aufbau durch z. B. den historischen Teilausbau und –umbau
- Geringe Lagerungsdichte durch unzureichende Verdichtung beim Bau
- Ungeeignete Deichbaumaterialien, wie z. B. Böden mit hohem organischem Anteil
- Tiefreichende Beeinträchtigungen durch z. B. Erosion, Wühltiere und Wurzeln
- Baubetriebliche Gründe und Mehrkosten

Wichtig ist beim Teilneubau, dass der verbleibende Bestand ordnungsgemäß in den neu geplanten Querschnitt integriert wird. An Böschungen kann das durch eine Abtreppe (vgl. z. B. Abb. 1) des bestehenden Erdkörpers erreicht werden. Dies sorgt für eine gute Verzahnung der konstruktiven Elemente (Dichtung, Stützkörper bzw. Altdeich, Drän) und die Möglichkeit mit Verdichtungsgeräten horizontal überlappend zu arbeiten. Bei Böden mit hohen Scherwiderständen kann auf eine Abtreppe verzichtet werden.

Der Altdeich muss so integriert werden, dass die Durchlässigkeit im Querschnitt hin zur Landseite durchlässiger wird. Je nachdem, ob eine wasserseitige Dichtung aufgebracht wird, nachträglich eine Innendichtung eingebaut wird oder ein Drän mit Deichverteidigungsweg (DVW) bzw. Deichhinterweg landseitig angeordnet wird, kann der Altdeich im Querschnitt unterschiedlich eingegliedert werden.

Wie in den Regelwerken gefordert wird, sollten Böschungsneigungen möglichst flach ausgebildet werden. Böschungsneigungen von 1:3 und flacher sind aus Sicht der Standsicherheit, Unterhaltung und Deichverteidigung vorteilhaft. Maßgebend ist jedoch die globale und lokale Standsicherheit nach DIN 4084.

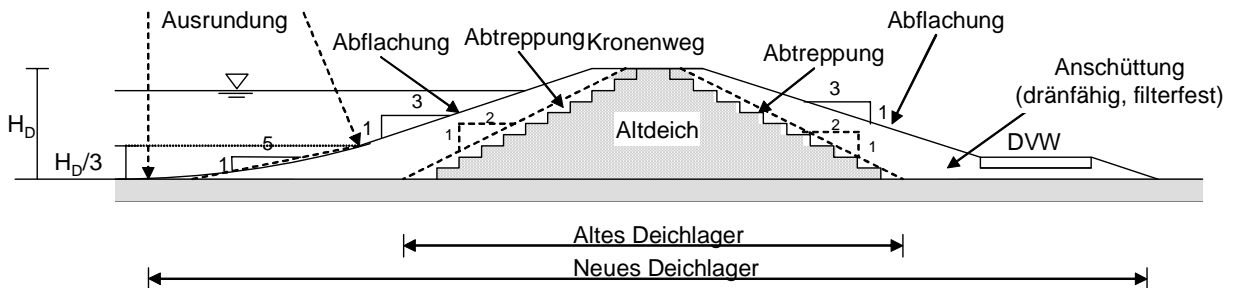


Abb. 1: Abflachen der wasserseitigen Böschung zur Gewährleistung der Standsicherheit

Die Breite der Krone sollte 3 m nicht unterschreiten. Unter Einbehaltung der Deichlagerbreite kann eine Verbreiterung der Krone durch steilere Böschungen erreicht werden.

Nachträglich angeordnete Bermen verbessern die Standsicherheit des Deiches. Auf einer landseitigen Berme wird idealer Weise ein Deichverteidigungsweg angeordnet. Dieser soll gemäß den Anforderungen mindestens 3,0 m breit, für schwere Lastfahrzeuge befahrbar sowie ausreichend hoch angeordnet sein, damit die Möglichkeit der Befahrung im Hochwasserfall sichergestellt ist. Mögliche landseitige Wasserstände im Polder sollten berücksichtigt werden und der Deichverteidigungsweg auf der landseitigen Berme dementsprechend höher gelegt werden.

Dräns können in verschiedenen Ausführungen z. B. als Fußdrän oder Kamindrän oder Anschüttungen am landseitigen Deichfuß angeordnet werden. Der nachträgliche Einbau von Dränrohren am landseitigen Böschungsfuß ist möglich. Zur Gewährleistung der Filterstabilität werden neben geeigneten Kornfraktionen geotextile Filter verwendet.

Steht Platz zur Verbreiterung des Deichlagers zur Verfügung, kann der Deich unter Beibehaltung oder Abflachung der Böschungsneigung erhöht werden. Eine Aufhöhung kann bei Böden mit hohen Scherwiderständen unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse durch Aufteilung der Böschungen ohne Verbreiterung des Deichlagers erfolgen.

4.2 Bauwerke

Falls die Deichmaterialien oder die Konstruktion keine ausreichend steilen Böschungsneigungen zulassen, können Stützbauwerke an den Böschungsfüßen angebracht werden (Abb. 2). Die zuverlässige Entwässerung dieser Mauern oder Wände ist zu gewährleisten. Dazu eignen sich besonders Stützbauwerke aus Gabionen, die i. d. R. durchlässiger sind als das anstehende Deichkörpermaterial.

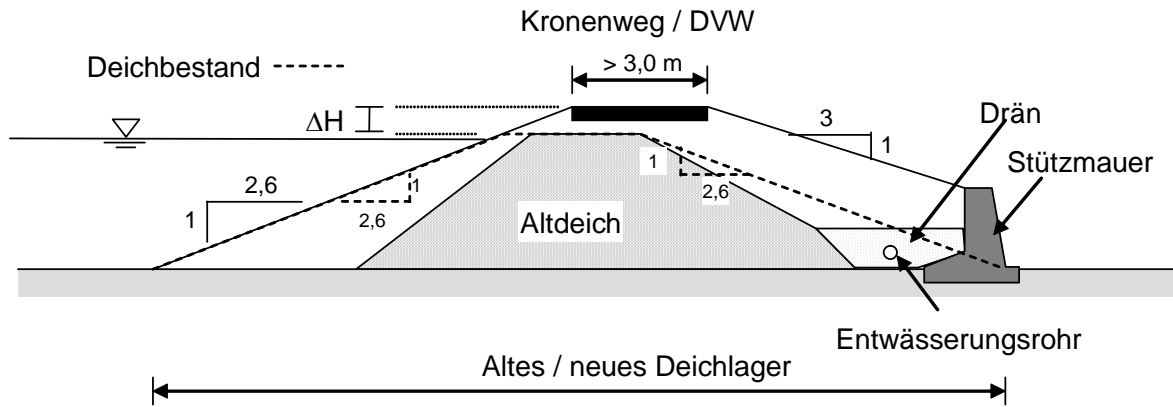


Abb. 2: Aufhöhung des Deiches durch Einbau einer landseitigen Stützwand ohne Verbreiterung des Deichlagers

In Bereichen mit beengten Platzverhältnissen können auch Mauern oder mit Mauern kombinierte Bauwerke zur Deichaufhöhung verwendet werden, die mit den Aspekten der Landschaftsästhetik und des Naturschutzes in Einklang gebracht werden können.

Werden Spundwände als Innendichtung verwendet, können diese über die Deichkrone hinausragen und so eine Aufhöhung darstellen. Derartige Lösungen werden i. d. R. besonders behandelt und verkleidet mit z. B. Naturstein, um eine Einbindung in die Landschaft bzw. das Städtebild zu erreichen.

Bei beengten Platzverhältnissen besonders in innerstädtischen Bereichen kann die notwendige Absperrhöhe durch das Aufsetzen von mobilen Elementen auf den Deich erfolgen. Es muss gewährleistet sein, dass die mobilen Elemente kraftschlüssig und dicht mit dem Deich verbunden sind. Dazu sind i. d. R. spezielle Gründungsbauwerke nötig. Die zusätzlichen Lasten muss das Deichbauwerk bei Vollstau aufnehmen können (BWK 2005).

4.3 Nachträglicher Einbau von Dichtungen

Da Altdeiche meist keinen zonierten Aufbau besitzen, bietet es sich an, vergleichsweise durchlässige Altdeiche durch Anordnung eines Dichtungselementes zu ertüchtigen (Abb. 3).



Abb. 3: Nachträglich eingebaute vollkommene Innendichtung (Verfahrensbeispiele)

Die Notwendigkeit einer Dichtung kann in der Begrenzung der Sickeroberfläche im Deich, der Reduktion der austretenden Wassermenge, der Verhinderung von hydrodynamischer Bodendeformation oder in der Forderung einer statischen wirksamen Wand begründet liegen. Neben der Verwendung von herkömmlichen Innendichtungen wie z. B. Schmal- und Spundwand haben sich in den letzten Jahren die Verfahren der Bodenvermörtelung als geeignet und kostengünstig erwiesen. Durch das Einstellen von Stahlträgern kann auch bei der Bodenvermörtelung eine statische Tragwirkung der Wand erzeugt werden (Abb. 3 und DWA 2005).

Wenn ausreichend geeignetes Schüttmaterial in der Nähe verfügbar ist, können auf der wasserseitigen Böschung eines bestehenden Deiches mineralische Oberflächendichtungen angebracht werden. Dazu ist der Oberboden mit Vegetationsdecke abzutragen und der vorhandene Deichkörper ggf. abzutreten. Die Verdichtung der Dichtungen parallel zur Böschung in Querschnittsrichtung verhindert unerwünschte horizontale Arbeitsfugen, die ggf. Sickerwegigkeiten darstellen können. Ist eine bindige Deckschicht vorhanden, kann eine Anbindung der natürlichen Oberflächendichtung mittels eines Dichtungsspornes als Gesamtabdichtung ausreichend sein.

Steht nicht genug geeignetes bindiges Dichtungsmaterial zur Verfügung oder sprechen finanzielle, baubetriebliche oder andere Gründe dafür, können auch geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) zur Anwendung kommen (DGGT EAG-GTD 2002). Eine Anbindung an eine Untergrunddichtung kann über eine Tonplombe oder durch Überlappung erfolgen.

4.4 Anwendung von Geokunststoffen

In Deichen und bei der Deichertüchtigung können Geotextilien nach SAATHOFF U. WERTH (2003) als Schutz vor Erosionsprozessen im Deich und an der Deichoberfläche und zur Erhöhung der statischen Tragfähigkeit von Deichbereichen und/oder des Untergrundes besonders an den Böschungen und unter Fahr- bzw. Deichverteidigungswegen (Abb. 4) zur Anwendung kommen.

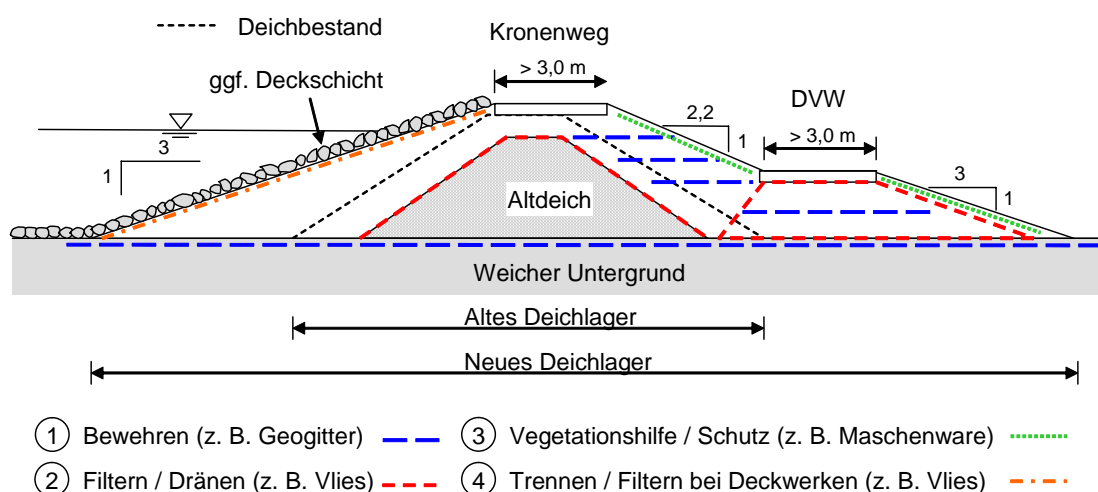


Abb. 4: Anwendungsbereiche von Geokunststoffen bei der Deichertüchtigung

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit von weichen Untergrundschichten können besonders im Bereich des Deichverteidigungsweges Bewehrungen z. B. mittels Geogitter vorgesehen werden. Zur Sicherstellung der Erosionsbeständigkeit von unterschiedlichen

Deichmaterialien wie z. B. zwischen Altdeich und durchlässigen Anschüttungen können Vliese und Gewebe verwendet werden. Maschenware (Drahtgeflecht, Krallmatten) kann zur Erhöhung des Oberflächenerosionsschutzes und als Vegetationshilfe an den Böschungen Anwendung finden. Als Dichtung ist die geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD) beim Deichbau gebräuchlich.

4.5 Weitere Maßnahmen der Bodenverbesserung / Baugrundverbesserung

Mittels Wasserentzug, Verdichtung, Austausch, Einmischen von Boden und Bindemittel sowie Bewehrung können Eigenschaften des Deiches und des Untergrundes verbessert werden. Dadurch können das Verformungs- / Setzungsverhalten, die Durchlässigkeit und die Scherparameter den Anforderungen entsprechend angepasst werden.

Als Methoden zur Verbesserung der Tragfähigkeit oder zur Verringerung von Setzungen kommen z. B. in Frage:

- Vorbelastung des Untergrundes über die Böschungsfüße hinaus und erforderlichenfalls noch zusätzlich eine Überbelastung durch vorübergehende Höhschüttung des Deiches (Vorbelastung und Konsolidation).
- Nachträgliche Verdichtung des Deichkörpers und/oder des Untergrundes (Dynamische Tiefenverdichtung, Rüttelstopfverdichtung, u.v.m.).
- Beschleunigung der Konsolidierung des Untergrundes und Erhöhung der Scherfestigkeit mittels Vertikaldränung (Tiefdränagen).
- Einrütteln eines Steingerüstes in weichen Untergrund (Einmischen).
- Einbau von zugfesten und verrottungsbeständigen Einlagen, wie z. B. Geotextilien, zur Verminderung der Scherbeanspruchung (Bewehrung).
- Auskoffnung des nicht tragfähigen Bodens und teilweiser oder vollständiger Ersatz durch Boden größerer Scherfestigkeit und geringerer Zusammendrückbarkeit (Bodenaustausch).

4.6 Sicherung von Deichoberflächen und Überlaufstrecken

„Der wirtschaftlichste und natürlichste Schutz für den Deichkörper ist eine stark verwurzelte und geschlossene Grasnarbe.“ (DIN 19712/1997) In Bereichen mit hohen Fließgeschwindigkeiten am Deich und ggf. hoher Wellenbelastung, besonders bei Schardeichen, kann es notwendig sein, die Deichoberfläche nachträglich flächenhaft gegen Oberflächenerosion, z. B. mittels einer Steinschüttung, zu sichern.

Fertigrasen, organische Matten und Gewebe und andere organische Bauweisen sowie Geotextilien können die Deichböschungen sofort langfristig oder nur temporär direkt im Anschluss an bauliche Maßnahmen sichern. Entsprechendes gilt für die landseitige Böschung. Dort ist eine Sofortsicherung nach baulichen Maßnahmen i. allg. nicht notwendig.

Zulässige Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten für unterschiedliche Böschungssicherungen und –beschaffenheiten sind in Tab. 2 angegeben.

Tab. 2: Aufnehmbare Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten von Ufer- / Böschungssicherungsmaßnahmen (aus Haselsteiner u. Strobl 2005)

Begemann und Schiechl (1986)		LfU BW (1991)		Hamann de Salazar et al. (1994)		
Aufnehmbare Schubspannung		Aufnehmbare Geschwindigkeit		Aufnehmbare Geschwindigkeit	Aufnehmbare Schubspannung	
Ufersicherung	[N/m ²] ¹	Ufersicherung	[m/s]	Ufersicherung	[m/s]	[N/m ²] ¹
Rasen	30	Gras	1,8	Schotterrasen / Rasen	< 1,5	< 30
Pflanzung	> 30	Schotterrasen	3,7	Totfaschinen	2,5 - 3	60 - 70
gesicherte Pflanzung	120	Faschinenwalzen	3,5	Faschinenwalzen	3 - 3,5	100 - 150
Buschmatratze	300	Weidenstecklinge mit Steinwurf	3,5	Weidenstecklinge mit Steinwurf	3 - 3,5	100 - 150
Verpflockte Steinberollung	250	Steinwurf mit Rauhpack	4	großer Steinwurf	> 3,5	> 150
Lebender Steinsatz	> 350					

¹nach mehreren Vegetationsperioden

Überlaufstrecken sind „sorgfältig zu planen, auszuführen und zu unterhalten. ... Bei geringer Belastung genügt ein Abflachen der landseitigen Böschung auf 1:10 bis 1:20 mit gesichertem Böschungsfuß.“ (DIN 19712/1997)

Die Leistungsfähigkeit von Überlaufstrecken muss in Abhängigkeit der gewünschten Retentionswirkung und der ausgeführten Sicherungsart festgelegt werden. In der Literatur sind Werte von $q = 0,15 - 1,00 \text{ m}^3/\text{sm}$ angegeben. Für höhere Belastungen sind i. d. R. massive Bauwerke notwendig, die für Deichstrecken jedoch i. d. R. unwirtschaftlich sind.

Folgende Maßnahmen können zur Sicherung von Böschungen an Überlaufstrecken herangezogen werden:

- Abflachen der Böschungen (z. B. auf 1:15)
- Naturnahe Sicherungsbauweisen (z. B. Lebender Steinsatz)
- Verwendung von Geokunststoffen (z. B. Bewehrung mit Geogitter oder Maschenware)
- Bodenverfestigung (z. B. mit Kalk und Zement)
- Gebundene, dränfähige Baustoffe (z. B. Dränasphalt, - beton, Mastix-Schotter)
- Deckwerke (z. B. Steinwurf oder Steinsatz)
- Besondere Konstruktionslösungen / Kombinationen (z. B. mit Geogitter ummantelte Steinpackungen)

Neben dem Schutz der Böschung sind vor allem die Krone und der landseitige Deichfuß gegen die hydrodynamischen Kräfte zu schützen (LFU BW 2004).

4.7 Bauweisen für die Sicherung des Deiches bei Gehölzen

Im Falle des Vorhandenseins von Gehölzen auf Deichen ist die Bauwerkssicherheit durch entsprechende bauliche Maßnahmen und/oder Unterhaltungsmaßnahmen sicherzustellen.

Bei Duldung von Gehölzen innerhalb des zulässigen Bereiches können zusätzliche Maßnahmen entfallen, wenn sichergestellt wird, dass einerseits ein möglicher Windwurf und andererseits die Durchwurzelung den Deich in seiner Funktion nicht beeinträchtigen. In DIN 19712/1997 und DVWK 226/1993 ist die Zulässigkeit von Gehölz auf Deichen eindeutig

geregelt (vgl. HASELSTEINER U. STROBL 2004). Durch die Auswahl der Gehölze und den Einsatz von bautechnischen Sicherungsmaßnahmen können Gehölze auch regelkonform auf Deichen platziert werden (HASELSTEINER U. STROBL 2005, 2006).

In jüngster Zeit werden in der Praxis für die Gehölzsicherung verstärkt statisch wirksame Dichtungen eingesetzt. Statisch wirksame Dichtungen können Stahlspundwände und bewehrte Dichtungen aus hydraulisch gebundenen Bindemitteln sein (Schlitzwand, Bohrpfehlwand, Bodenvermörtelung). Die Schmalwand kann keine Kräfte abtragen. Die Durchwurzelungssicherheit der Dichtungen muss ggf. nachgewiesen werden (HASELSTEINER U. STROBL 2006).

Die Sicherung von mit Gehölz bewachsenen Deichen mit statisch wirksamen Dichtungen ist eine sehr teure Maßnahme, die in einem Missverhältnis zum ökologischen und landschaftsästhetischen Nutzen stehen kann. Deshalb sollte stets abgewogen werden, ob alternative Lösungen, wie z. B. durch die Ansaat von Magerrasenflächen oder die Ausweisung von Ersatzflächen, wirtschaftlicher und ggf. auch ökologisch höherwertiger sind.

5 Planung und Ausführung

5.1 Ertüchtigungsdringlichkeit

Aufgrund begrenzter Finanzmittel sollte sich die zeitliche Abfolge zur Durchführung von Ertüchtigungsmaßnahmen nach zuvor festgelegten Kriterien richten. Bei der Festlegung dringlicher Maßnahmen sind insbesondere Gesichtspunkte und Kriterien, wie die vorhandenen Defizite der Deichstrecke sowie des Hinterlandes und das Gefährdungspotential, zu berücksichtigen.

Eine Einteilung der Ertüchtigungsdringlichkeit in Kategorien deckt sich i. d. R. mit der zeitlichen Notwendigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen mit sofortigem, mittel- oder langfristigem Handlungsbedarf. Bei sofortigem Handlungsbedarf können Sofortsicherungsmaßnahmen, Vorwegmaßnahmen und Teilertüchtigungsmaßnahmen die Standsicherheit zeitnah herstellen.

Eine projektbezogene und regionale Anpassung der Kriterien ist i. d. R. notwendig, um mit den zur Verfügung stehenden Mittel innerhalb des damit umrissenen zeitlichen Horizonts das Schadensrisiko zu minimieren.

In den Bundesländern werden die Erhebung der Deiche, die Bewertung und die Festlegung des Ertüchtigungsbedarfes und -reihenfolge nach ähnlichen Kriterien geplant und durchgeführt (vgl. z. B. SCHNEIDER ET AL. 1997).

5.2 „Regelprofile“ als Orientierungshilfe

Die Angabe von Regelprofilen ist bei Deichertüchtigungsmaßnahmen nur abschnittsweise möglich. Ein „Regelprofil“ bzw. „Idealprofil“ als Orientierungshilfe für Gewässer zu entwickeln, ist hilfreich. Im Einzelfall wird jedoch eine den Anforderungen entsprechende Lösung, sprich eine angepasste Form des „Idealprofils“, umgesetzt werden.

So entwickelten die Behörden der Wasserwirtschaft nach dem Donauhochwasser 1988 aufgrund der Erfahrung eines dreiwöchigen Einstaus ein solches „Regelprofil“ für Deiche an der Donau für den Zwischenausbau (!) im Rahmen eines Sofortprogramms (Abb. 5 aus WEISS 1997).

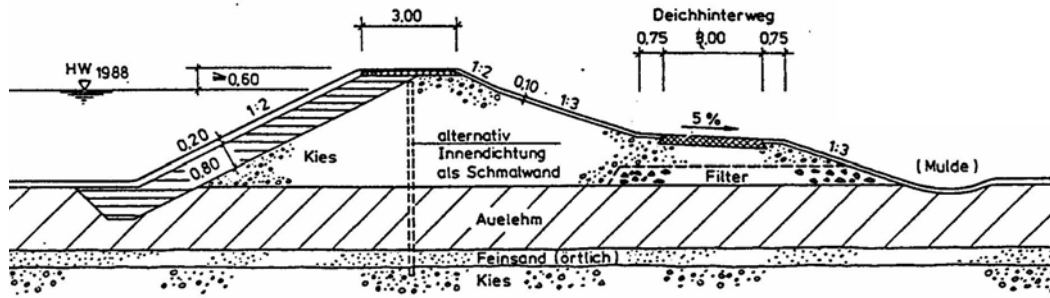


Abb. 5: „Regelprofil“ für Sofortmaßnahmen an Donaudeichen (Zwischenausbau) im Bereich des Wasserwirtschaftsamtes Deggendorf (aus WEISS 1997)

Bundesweit sind für die großen Gewässer wie z. B. dem Rhein ebenfalls derartige Profile entwickelt worden (KAST U. BRAUNS 2003).

5.3 Ablauf von Deichertüchtigungsmaßnahmen

Deichertüchtigungsmaßnahmen erfordern ein hohes Maß an interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Behörden, Planern, Beratern und ausführenden Unternehmen und umfangreiche Kenntnisse in Erdbau und Spezialtiefbau sowie in Wasserwirtschaft und Umwelttechnik.

Deichertüchtigungsmaßnahmen sind nicht nur eine technische Problemstellung sondern Gegenstand des öffentlichen Interesses sowie der staatlichen Vorsorge. Sobald mehrere Interessen von einem Vorhaben berührt werden, kommt es unweigerlich zum Interessenskonflikt. Dieser Interessenskonflikt kann bei Deichertüchtigungsmaßnahmen zu Verzögerungen, Neuplanungen und somit zur Erhöhung der Kosten führen. Bereits bei den ersten Planungs- und Entscheidungsschritten spielt deshalb die Öffentlichkeitsarbeit auch begleitend zu den einzelnen Rechtsverfahren eine wesentliche Rolle. Sie kann dabei helfen, Interessen sobald als möglich zu berücksichtigen, Interessenskonflikte zu erkennen und zu beseitigen (vgl. RASP 2003).

Die technischen Arbeiten im Zuge von Deichertüchtigungsmaßnahmen beschränken sich nicht nur auf die direkt mit der Planung und Ausführung der Maßnahme verbundenen Tätigkeiten, sondern erstrecken sich von der Instandhaltung des Deichbauwerks bis hin zur Feststellung des Ertüchtigungsbedarfes und der Festlegung der Ertüchtigungsdringlichkeit. Neben den rein technischen Gesichtspunkten der Planung, die direkt mit der Bauwerkssicherheit und der konstruktiven Gestaltung verbunden sind, ist es ratsam, so früh als möglich die Öffentlichkeit, betroffene Bürger, Körperschaften und Verbände zu informieren, um schon bei den ersten Planungsschritten einen möglichst weit reichenden Interessensausgleich im Auge haben zu können (vgl. Abb. 6).

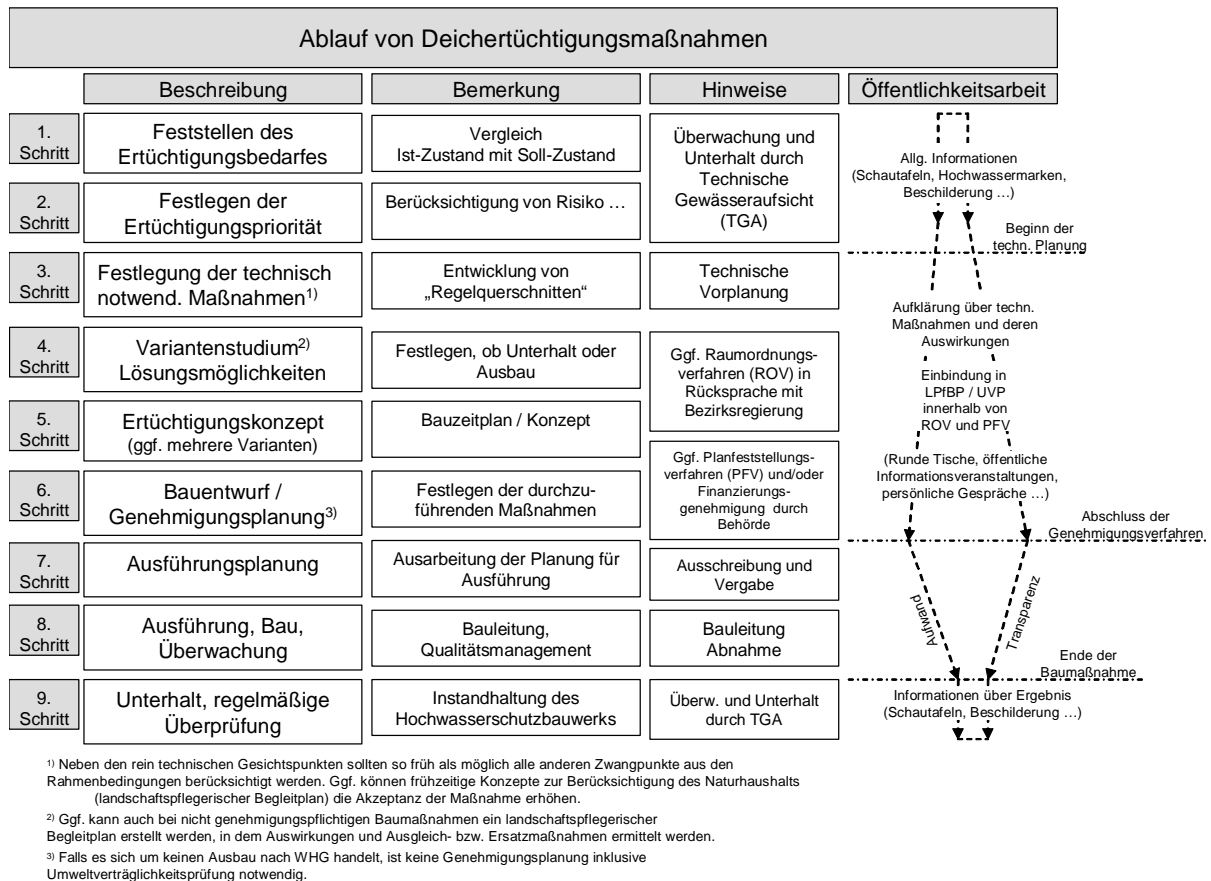


Abb. 6: Ablauf von Deichertüchtigungsmaßnahmen mit Hinweisen zu den öffentlich-rechtlichen Verfahren

Literatur

BWK (2005): Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz. Merkblatt, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK)

DGGT EAG-GTD (2002): Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen (EAG-GTD). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Ernst & Sohn Verlag, Berlin

DIN 19712 (1997): Flusssdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DVWK 226 (1993): Landschaftsökologische Gesichtspunkte bei Flusssdeichen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 226, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

DVWK 247 (1997): Bisam, Biber, Nutria – Erkennungsmerkmale und Lebensweisen – Gestaltung und Sicherung gefährdeter Ufer, Deiche und Dämme. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 247, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

DWA (2005): Dichtungssysteme in Deichen. DWA-Themen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef

HASELSTEINER, R; STROBL, TH. (2004): Zum Einfluss von Bewuchs und Hohlräumen auf die Durchsickerung von Deichbauten; Lebensraum Fluss - Hochwasserschutz, Wasserkraft,

Ökologie; Beiträge zum Symposium vom 16. - 19. Juni 2004 in Wallgau (Oberbayern); Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Berichtsheft Nr. 101; Band 2, S. 92 - 100

HASELSTEINER, R.; STROBL, TH. (2005): Deichsanierung. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Endbericht, im Auftrag vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München (Erhältlich beim Bayerischen Landesamt für Umwelt: <http://www.bayern.de/lfu>)

HASELSTEINER, R; STROBL, TH. (2006): Deichertüchtigung unter besonderer Berücksichtigung des Gehölzbewuchses. Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen. Handbuch für Theorie und Praxis. Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi, Siegen

KAST U. BRAUNS (2003): Auswirkungen des Bergbaus auf die Hochwasserschutzanlagen am Niederrhein. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special 02/03, S. 34 – 40

LFU BW (2004): Überströmbare Dämme und Dammscharten. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU BW), 1. Auflage, Karlsruhe

LFW BY (1990): Gehölze auf Deichen. Dokumentation von Baumwurzelaufgrabungen und Windwurf von Gehölzen. 5/89 Informationsberichte. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

LFW BY (2003): Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

RASP, F. (2003): Die Deichsanierung in der Praxis. Landesverbandstagung des ATV-DVWK Landesverbandes Bayern, Fürth, 22./23. Oktober 2003

SCHNEIDER, H.; SCHULER, U.; KAST, K.; BRAUNS, J. (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

STMLU BY (2002): Hochwasserschutz in Bayern – Aktionsprogramm 2020. Daten + Fakten + Ziele, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München

WEISS, H. (1997): Projektierung von Dämmen und Deichen – Deiche und Dämme für Stauhaltungen. Lehrgangsunterlagen, Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum

WHG (1996): Wasserhaushaltsgesetz. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes.

Adresse des Verfassers

Ronald Haselsteiner

Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Technische Universität München

Arcisstraße 21

80290 München

r.haselsteiner@bv.tum.de