

MAßNAHMEN ZUR ERTÜCHTIGUNG VON FLUSSDEICHEN

Ronald Haselsteiner, Stuttgart

1 EINLEITUNG

Der Neubau von Flussdeichen, sieht man die Rückverlegung von Deichen nicht als Neubau an, tritt in letzter Zeit hinter die Ertüchtigung von Flussdeichen. Der Trend zur Ertüchtigung wurde vor allem dadurch eingeleitet, dass die in letzter Zeit aufgetretenen Hochwasserereignisse die Notwendigkeit der Ertüchtigung aufdeckten. Alleine in Bayern wurden in den Jahren 1991 bis 2000 in etwa 60 km (5% der bayrischen Deiche¹) neu gebaut, jedoch über 200 km Deiche ertüchtigt (fast 20 % der bayrischen Deiche¹) (siehe [1]). Gleichzeitig rückt der Neubau von Deichen durch die Forderung nach Wiederherstellung und Bewahrung von vorhandenen Retentionsflächen immer mehr in den Hintergrund, da der Hochwasserschutz an weiten Flussstrecken bereits durch Deiche unterstützt wird und nur noch wenige Standorte eines Neubaus bedürfen. Im Falle eines Deichneubaus, wie er zurzeit in größerem Umfang in Bayern noch im Mindeltal durchgeführt wird, wobei natürlich ein sofortiger Ausgleich von in Anspruch genommenen Retentionsvolumen durchgeführt wird. Niedergeschrieben ist die Forderung zum Schutz, dem Erhalt und der Schaffung von Retentionsvolumen im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) § 32 (1) . Dort werden die Länder angewiesen, „*die dem Schutz vor Hochwassergefahren dienenden Vorschriften ... zum Erhalt oder zur Rückgewinnung natürlicher Rückhalteflächen*“ zu erlassen [3]. Der Trend zur Ertüchtigung ist auch auf die verstärkten Anstrengungen der bayrischen Wasserwirtschaftsverwaltung zur Ertüchtigung der Deiche zurückzuführen, die im Aktionsprogramm 2020 verankert sind [4].

Folgende Ausarbeitung soll die Ertüchtigung von Deichen, wie sie im Entwurf des Merkblattes DWA-M 507/2007 „Deiche an Fließgewässern“ (Kapitel 9) [5], das zurzeit als Gelbdruck vorliegt, beschrieben ist, ergänzend erläutern. Auf eine Wiedergabe des gesamten, themenbezogenen Inhalts wird deshalb im Folgenden verzichtet und stattdessen eher auf einige, in der Praxis häufig diskutierte Sachverhalte und Themen eingegangen.

Eine überarbeitete, gekürzte Fassung dieses Vortrages wurde bereits in der KW veröffentlicht [34].

2 ALLGEMEINES

Die Notwendigkeit, Deiche zu ertüchtigen, kann daraus erwachsen, dass sich die Randbedingungen (hydrologisch, hydraulisch, geotechnisch, ...) geändert haben. Dadurch können auch nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) errichtete Deichbauwerke nach einer Neubeurteilung als ertüchtigungsbedürftig

¹ Hier werden ausschließlich Deiche an Gewässern erster und zweiter Ordnung betrachtet. Die Gewässereinteilung in Bayern ist in [2] geregelt.

eingestuft werden. Besonderes Augenmerk muss auch darauf gerichtet werden, ob sich der Zustand des Deiches derart verändert hat, dass er den Anforderungen an die Standsicherheit nicht mehr gewachsen ist und bei erneuter Belastung ein Versagen zu erwarten ist (weiteres siehe in Kapitel 3). Häufig wurden die zu ertüchtigenden Deiche jedoch ohne ausreichende Kenntnis der Bautechnik, ohne genaueres Wissen von den möglichen Belastungen und einem Wissensdefizit bei der Planung von Deichen bzw. deren Querschnittsgestaltung errichtet. Nicht selten müssen in diesem Zusammenhang Deiche an neu ermittelte Wasserstände angepasst bzw. erhöht werden, um den Belastungen aus dem Bemessungshochwasserstand unter Berücksichtigung seines Wiederkehrintervalls mit ausreichender Sicherheit widerstehen zu können. Die seit dem Mittelalter ausgeübte Praxis, die Deichhöhe an einen beobachteten höchsten Wasserstand anzupassen, ist aufgrund der Fortschritte der Hydrologie und Hydraulik weitgehend aus den Bemessungsansätzen verschwunden. Wenn jedoch keine Messdaten und schwierige hydraulische Verhältnisse vorliegen, können derartige Beobachtungen wichtige Kalibrierungsereignisse darstellen oder sogar in Ausnahmefällen als Bemessungsereignis unter Einhaltung eines bestimmten Freibords herangezogen werden, wenn dies die Umstände nicht anders zulassen. Dies kann z. B. im Ausland der Fall sein, wo keine Messdaten vorhanden sind und rasch ein Schutz von hochwassergefährdeten Bereichen umgesetzt werden soll.

2.1 Technische Vorschriften

Hochwasserschutzdeiche müssen den technischen Vorschriften entsprechen. Hier sei vor allem die DIN 19712/1997 [6] genannt, die sich zurzeit in der Überarbeitung befindet. Die Beseitigung der Mängel bzw. die Ertüchtigung von Deichen kann im Rahmen des Unterhalts oder in Form von genehmigungsbedürftigen Ausbaumaßnahmen erfolgen (siehe Abschnitt 3.2). Die technischen Anforderungen an einen Hochwasserschutzdeich können heutzutage nicht mehr von der Lage, Größe und dem hinter dem Deich befindlichen Polder losgelöst betrachtet werden. Deiche mit niedrigerer Bedeutung, so wie es in [5] formuliert ist, d. h. z. B. Deiche, die Naturlandschaften vorgelagert sind, werden zum einen bei der Priorisierung von Maßnahmen häufig hinten angestellt und zum anderen ist es häufig nicht notwendig, die Standsicherheit bei Einstau zu gewährleisten, da der Aufwand zur Ertüchtigung nicht selten im Missverhältnis zu einem möglich eintretenden Schaden steht.

Lohnend stellt sich häufig auch ein Blick in die Vorschriften ausländischer Fachbehörden und wissenschaftlichen Einrichtungen heraus. Hier seien in erster Linie die Vorschriften und Regelwerke aus den Niederlanden und aus den Vereinigten Staaten genannt. Holland hat sich bedingt durch seine geographische Lage sowohl mit Küstendeichen als auch mit Flussdeichen beschäftigt [35]. Da in Holland Deiche überwiegend aus Sand aufgebaut sind und hierdurch eine besondere Gefährdung durch rückschreitende Erosion resultiert, wurden sowohl für die Weiterentwicklung von Sandspülverfahren als auch für Kriterien zur Abschätzung von rückschreitender Erosion (engl. Backward Erosion / Piping) und in vielen weiteren Bereichen, wie z. B. bei der Verwendung von Ton und auch bei der Beurteilung von Grasnarben, fortschrittliche Arbeiten erstellt [36] [37].

Auch in den USA waren und sind Hochwasserschutzdeiche ein Thema. Neben zahlreichen Regelwerken und technischen Ausarbeitungen zum Damm- und Deichbau von regionalen Institutionen und Behörden stellt besonders das United States Army Corps of Engineers (USACE) einen Quell immer neuer und fortschrittlicher technischer Werke dar. Ein technisches Regelwerk zu Flussdeichen (am. engl.: levees) wurde im

Jahr 2000 veröffentlicht [38]. Darüber hinaus gibt es vom USACE zahlreiche weitere Ausarbeitungen zu Dammbau im Allgemeinen. Jedoch bereits auch ein Regelwerk zur Ertüchtigung von Deichen [39]. Nennenswert ist auch die Tatsache, dass aus den USA zahlreiche wissenschaftliche und technische Ausarbeitungen zu Bewuchs auf Dämmen und Deichen gibt [40].

Sind Deiche Bestandteile von gesteuerten und ungesteuerten Retentionsräumen, können auch andere Vorschriften für Talsperren oder Hochwasserrückhaltebecken maßgebend werden [44].

2.2 Ertüchtigungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Ertüchtigung bzw. Verbesserung der Standsicherheit und/oder Gebrauchstauglichkeit können im Hochwasserfall auch direkt zur Gefahrenabwehr bzw. im Rahmen von Deichverteidigung oder Katastrophenschutz Schäden oder einen Deichbruch verhindern.

Demzufolge kann eine Unterscheidung in

- Notsicherungsmaßnahmen
- Sofortmaßnahmen
- Teilertüchtigungsmaßnahmen
- Vorwegmaßnahmen

vorgenommen werden.

Die einzelnen Maßnahmen sind in [5] kurz erläutert. Anzumerken verbleibt, dass Notsicherungs- und Sofortmaßnahmen nicht immer derartig sorgfältig ausgeführt werden (können), dass die Funktionstüchtigkeit der im Rahmen dieser durchgeführten baulichen Veränderungen teilweise nicht langfristig gewährleistet werden kann. Hier ist i. d. R. eine Entfernung entsprechender Bauteile vorzusehen. Beispiel hierfür geben eine Vielzahl an Deichverteidigungsmaßnahmen während der letzten Hochwasserereignisse, im Rahmen derer auf der Landseite nach grober Abschätzung der Verantwortlichen Kiese im Bereich der landseitigen Böschung angeschüttet wurden. Diese Anschüttungen wurden weder verdichtet, noch wurde die Filterstabilität oder die geometrische Ausbildung weiter untersucht. Eine Verbesserung der Standsicherheit des Deiches bewirkten sie jedoch allemal; nicht selten führten derartige Maßnahmen zu einer erfolgreichen Deichverteidigung bzw. zu einer Verhinderung eines Deichversagens.

Dauerhaft, verlässliche Maßnahmen, wie z. B. das Einbringen einer Dichtung oder die Erweiterung von Deichen mit verdichteten Böden, ist im Rahmen der Notsicherung i. Allg. nicht möglich, da zum einen schweres Baugerät und zum anderen die erforderlichen Baustoffe und die notwendige Arbeitskraft nicht ohne Weiteres im Hochwasserfall bereit stehen bzw. nicht kurzfristig beschafft werden können. Von einer zusätzlichen Belastung von eingestauten, standsicherheitsgefährdeten Deiche durch schweres Gerät (Rammfahrzeug) wird natürlich abgesehen.

3 RAHMENBEDINGUNGEN

3.1 Allgemeines / Übersicht

Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen, welche die zu ergreifenden technischen Maßnahmen aber auch das gesamte Ertüchtigungskonzept mit Abfolge der unterschiedlichen Planungs- und Bauschritte, die Projektkoordination und die Finanzierung beeinflussen können, erläutert. Da in [5] im Rahmen der Deichertüchtigung aufgrund der bundesweiten Verbreitung des Merkblattes auf die rechtlichen Rahmenbedingungen gänzlich verzichtet wurde, werden hier einige Hinweise aufgeführt, die aus Erfahrungen bei der Umsetzung von Deichertüchtigungsmaßnahmen in Bayern resultieren.

Die auf die Wahl und Durchführung Einfluss nehmenden Rahmenbedingungen lassen sich in Ergänzung zu [5] folgendermaßen auflisten:

- Bestehender Altdeich
- Platzverhältnisse
- Berücksichtigung des Naturhaushaltes
- Landschafts- und Städtebild
- Ausführungszeit
- Deichüberwachung / Deichverteidigung
- Unterhalt
- Rechtliche Vorgaben

Eine ausführliche Erläuterung der einzelnen Punkte ist z. B. in [7] enthalten.

3.2 Ergänzende Hinweise

3.2.1 Bestehender Altdeich

In Bild 1 ist aufgegrabener Deich an der Mangfall dargestellt. Wie in Bild 2 erläutert wird, weist der Deich einen inhomogenen Aufbau auf, nachdem er mehrmals baulich verändert bzw. erweitert wurde.



Bild 1: Aufgegrabener Deich an der Mangfall (Quelle: WWA Rosenheim, aus [1]).

Der Unterschied zwischen einer Ertüchtigung und einem Neubau ist, dass bei einer Ertüchtigung bereits ein Deich mit all seinen Nutzungen und Aufgaben vorhanden ist. Der Aufbau des Deichs ist oft unbekannt und unter Beachtung wirtschaftlicher Gesichtspunkte i. Allg. auch nicht ausreichend durch Erkundung (siehe Abschnitt 5.2.1) festzustellen. Es besteht die Möglichkeit, den Deich zum Großteil zu belassen und in einen Ertüchtigungsentwurf zu integrieren oder den Deich abzutragen und an Ort und Stelle wiederaufzubauen oder ihn zu verlegen. Letzteres entspricht im Prinzip einem Neubau. Rein rechtlich kann es sich bei einer Verlegung jedoch auch um eine Ertüchtigung handeln. Die Rechtsauslegung ist hier auch bayernweit regional recht unterschiedlich. Um Unsicherheiten bei der Beurteilung des Deichaufbaus abzufangen, können die durchzuführenden Maßnahmen dahingehend abgestimmt werden, dass ein vermutlich sehr ungünstiger Deichzustand keine standsicherheitsgefährdeten Auswirkungen auf die Gesamtkonstruktionen mehr haben kann.

Der Altdeich kommt nicht selten auf der Wasserseite zu liegen, an dem landseitig eine durchlässige Anschüttung angeschlossen wird. Die Suffosions- sowie Erosionsstabilität sind nur bedingt nachweisbar, so dass hier im Einzelfall Innendichtungen eingezogen werden, um mögliche Erosionsprozesse zu unterbinden und die Durchsickerung dementsprechend zu verhindern. Diese Innendichtungen sind dann häufig statisch wirksam, um Versagenszustände, die eine Rutschung des relativ unbekanntem Altdeichs abtragen zu können. Sofern hydraulisch gebundene Innendichtungen vorgesehen werden, sollte in diesem Zuge jedoch sichergestellt sein, dass der Altdeich kein hohes Maß an organischen Stoffen (Holzreste, organische Böden) aufweist und die vorhandenen Böden mit dem gewählten Dichtungsverfahren auch zuverlässig abgedichtet werden können (Schmalwände in Feinsandböden). Ein probates Mittel zur Ertüchtigung ist auch die Anordnung einer Oberflächendichtung. Dies verhindert weitgehend die Durchsickerung des Altdeichs und unterbindet somit gleichzeitig Suffosions- und Erosionsvorgänge. Die Verhinderung der Durchströmung des Altdeiches kann u. U. eine Integration eines Altdeiches erlauben.

Skizzierte Beispiele einiger Altdeiche, u. a. auch des Deichs in Bild 1, sind aus unterschiedlichen Literaturstellen in Bild 2 angegeben. Wie nachgewiesen wurde bzw. erkennbar ist, wurde unterschiedliche, oft in der heutigen Baupraxis nur unter besonderen Vorkehrungen verwendete Böden (Mudde, Torf, Löß) als Baustoffe oder Gründung verwendet. Jedoch sind in Altdeichen nicht selten auch Baustämme zu finden, die wahrscheinlich zur Herstellung der Begeh- oder Befahrbarkeit der Deichkrone Verwendung fanden und bei einer Erhöhung einfacher Weise im Deich verblieben. Die Verwendung von großen Steinen und Findlingen und anderen ungünstigen Baumaterialien, wie z. B. Bauschutt, war auch weit verbreitet und war z. T. noch in den älteren Regelwerken zugelassen, da einem Flussdeich nicht dieselbe Wertigkeit zuteil wurde, wie z. B. einem Damm einer Stauhaltung. Von einer Verwendung derartiger Materialien wird natürlich abgeraten.

Ein unzureichender Wissenschaft bei der Erdbautechnik sowie bei der Festlegung eines adäquaten Deichaufbaus sind meist die Ursachen für die oft mehrere Jahrzehnte bis zu Hunderten von Jahren alten Deiche. Weitere Hinweise und eine ausführliche Beschreibung der aufgeführten Beispiele sind in [1] enthalten.

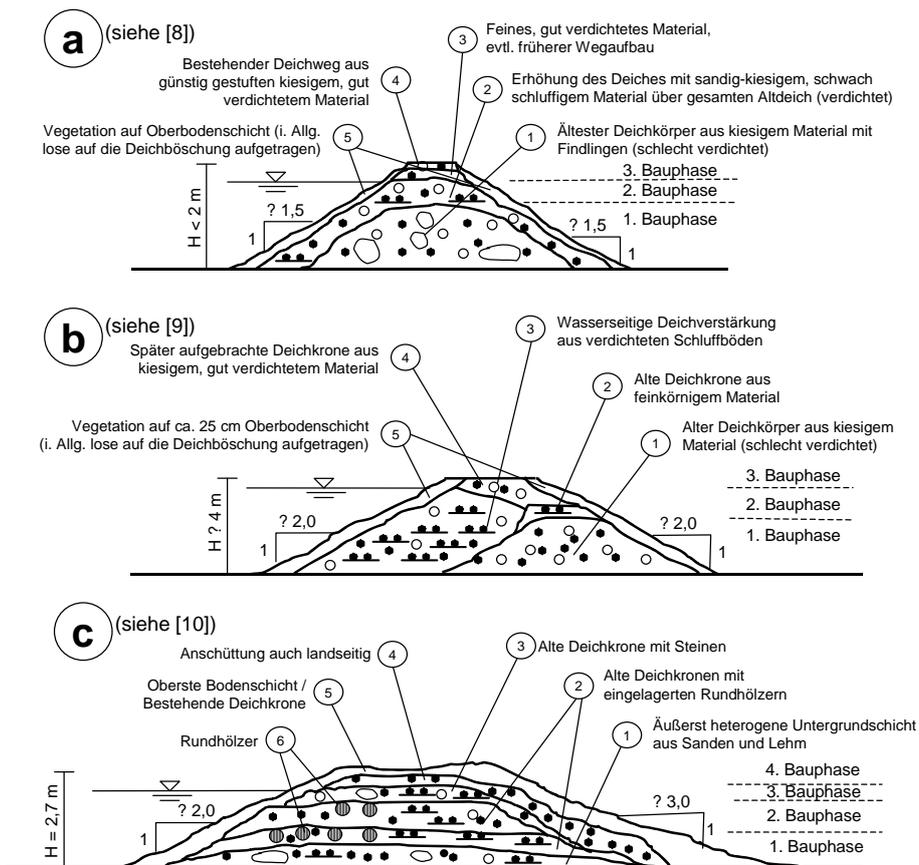


Bild 2: Skizzierte Beispiele „historisch gewachsener“ Deiche: Deich an der Mangfall (a) (vgl. Bild 2), an der Donau (b) und an der Oder (c) (aus [1])

3.2.2 Platzverhältnisse

Deiche können an Grundstücke Dritter angrenzen. In diesem Fall kann eine Inanspruchnahme zu einem Mehr an Kosten- und Zeitaufwand führen. Um dem zuvorzukommen, kann das Deichlager bei der Ertüchtigung in seinen Ausmaßen belassen werden. Sofern hierbei eine Erhöhung durchgeführt wird, muss entweder die Deichböschung steiler ausgeführt oder eine Dichtung angeordnet werden. Im Falle der Verwendung von Dichtungen können jedoch nur steilere Böschungen ausgeführt werden, wenn auch entsprechend die zu berücksichtigenden Lastfälle in entsprechender Weise berücksichtigt werden bzw. ausgeschlossen werden können. Hierzu muss z. B. entschieden werden, ob ein Ausfall der Dichtung Berücksichtigung finden muss oder nicht.

Ein Beispiel eines ertüchtigten Deichquerschnittes, bei welcher der Deich trotz geringer Erhöhung auf dem Deichlager belassen wurde, ist in Bild 3 dargestellt (aus [8]). Der Aufbau des nicht ertüchtigten Deichs ist in Bild 1 bzw. Bild 2 gezeigt. Das Beispiel zeigt einen Deich, in den eine Innendichtung mit dem FMI-Verfahren eingezogen wurde. Bei den Lastfällen wurde unter der Annahme, dass die FMI-Wand keine Fehlstellen aufweist und dauerhaft bestand hat, der Ausfall bzw. das Unwirksamwerden der Dichtung nicht angesetzt und somit eine Durchsickerung der wasserseitigen Böschung nicht

berücksichtigt. Somit ist die Ausbildung der steilen Böschung möglich. Die wasserseitige Böschung konnte ebenfalls steil ausgebildet werden, da aufgrund der hohen Durchlässigkeit des Deichmaterials keine rücklaufende Strömung bei fallendem Wasserstand auftreten kann (vgl. [1]).

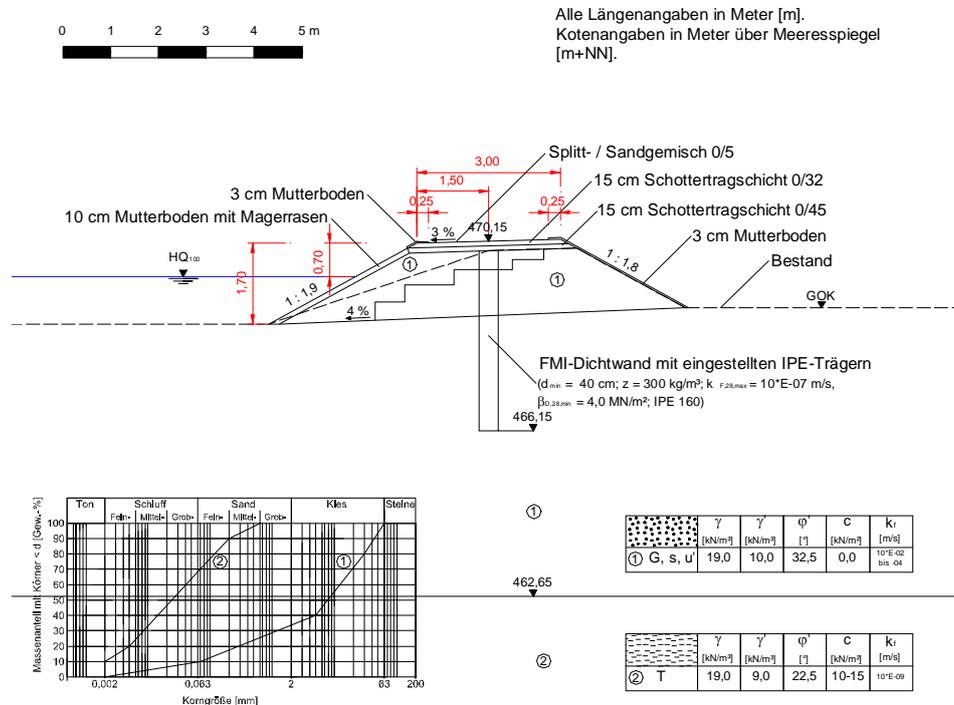


Bild 3: Ertüchtigter Mangfalldeich bei Beibehaltung des Deichlagers und Einbringungen einer Innendichtung (FMI-Verfahren) (aus [8])

Im Einzelfall sollte der Mehrwand, der zum Einbau einer Dichtung notwendig ist, den Kosten gegenübergestellt werden, die eine Ausbreitung des Deichlagers und mögliche Alternativmaßnahmen verursachen.

Der wasserseitige Anbau an einen Deich und die Verlegung des Deichkörpers hin zum Gewässer widerspricht den Grundsätzen von [3]. Hier verbleibt jedoch anzumerken, dass Deichverlagerungen im Abflussquerschnitt zwar lokal eine Wasserstandsveränderung nach sich ziehen können, jedoch der beeinflusste Retentionsraum i. d. R. auf das Abflussverhalten keine nennenswerte Auswirkung hat. Ebenso hat die Ausbreitung des Deichs, wie z. B. bei der Anordnung einer Oberflächendichtung, um wenige Meter in den Abflussquerschnitt auf das Abflussgeschehen i. d. R. keine merkliche Verzögerung oder Beschleunigung zur Folge. Im Einzelfall sollte deshalb die Unbedenklichkeit dieser Maßnahmen durch eine hydraulische Betrachtung abgeschätzt und derartige Maßnahmen nicht kategorisch ausgeschlossen werden.

3.2.3 Berücksichtigung des Naturhaushaltes

Bei der Ertüchtigung sollten die naturhaushaltlichen Verhältnisse weitgehend beibehalten oder verbessert werden. Hierbei sind Flora, Fauna und auch die Grundwasserverhältnisse zu beachten. Hinweise zur Zulässigkeit von Bewuchs sind in [5] enthalten. Weitere Ausführungen und auch spezielle Gesichtspunkte, wie z. B. die Möglichkeit der Durchwurzelung von Dichtungselementen sind in [11] und [12]

enthalten. [11] enthält zudem ein Bewuchskonzept, dass die Randbedingungen an Deichen und insbesondere Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. der Einbau von Dichtungen oder Wurzelhemmschichten, berücksichtigt (siehe auch [1]).

Die Schaffung von Trockenstandorten ist bereichsweise aufgrund deren seltenen Vorkommens anderen Standortformen, wie z. B. waldartigen Strukturen, vorzuziehen. Deshalb werden in letzter Zeit zumindest auf der landseitigen Böschung häufig Magerrasen oder Trockenwiesengesellschaften angeordnet, die durch ihre große Wurzelmasse einen ausreichenden Verbund mit dem Untergrund schaffen. Gleichzeitig verhalten sich derartige Bewuchsformen in Unterhalt, Pflege und Ansaat bei entsprechenden Randbedingungen relativ günstig.

In der Diskussion mit Interessensvertretern kann eine Unterscheidung von naturhaushaltlichen und landschaftsästhetischen Gesichtspunkten hilfreich sein, um notwendige Maßnahmen festlegen und Kompromisse finden zu können. Der Kompromiss, einzelne Bäume auf der wasserseitigen Böschung zu belassen, erscheint, sofern diese Bäume nicht speziell gesichert oder sonstige Rahmenbedingungen die Unbedenklichkeit begründen, unter Beachtung der Forderungen von [5] und [6] nicht besonders glücklich. Den manches Mal ideologisch geführten Diskussionen mit Naturschutzvertretern sachlich und offen zu begegnen, ist sicherlich ein ingenieurmäßiges Vorgehen, das trotzdem nicht immer zum Ziel führt.

In Bild 4 ist ein Beispiel dargestellt, in dem Deiche mittels erdbaulichen Maßnahmen ertüchtigt und im Rahmen dessen trotzdem Einzelgehölze im Kronenbereich zugelassen wurden. Eine Überschüttung der Bäume wurde mittels einer Stützwand in Trockenbauweise verhindert. Manche Baumarten können jedoch ein gewisses Maß an einer Überschüttung ohne Probleme standhalten, was hier jedoch nicht der Fall war. Aufgrund der relativ hohen Lage des Einzelbaumes und der relativ geringen Strömungskräfte im Bereich der Wurzeln wurde von den Planern und dem Auftraggeber (WWA München) die Auswirkungen möglicher Schäden auf die Deichstandsicherheit als gering eingeschätzt. Von einer Gefährdung der Standsicherheit auch bei sehr hohen Wasserständen bis zur Krone ist nicht auszugehen, auch wenn Schäden am Trockenverbau im Bereich des Baumstammes auftreten.

Beim stufenweisen Einbau von Innendichtungen, d. h. die einzelnen, angrenzenden Dichtungslamellen werden bis zu einer unterschiedlichen Höhe abgeteuft, so dass der Grundwasserstrom weitestgehend erhalten bleibt, welche den Grundwasserstrom während Trockenzeiten weitgehend unbeeinflusst belassen sollen, muss berücksichtigt werden, dass diese unvollkommenen Dichtungen eine erhebliche Durchsickerung des Deichkörpers nach sich ziehen können, sofern keine relativ undurchlässige, ausreichend dicke Deckschicht vorhanden ist. Ein begründetes Konzept zur Bemessung von unvollkommenen Dichtungen zur Gewährleistung des Grundwasseraustausches existiert nicht. Die nicht abgedichteten Flächen im Untergrund werden meist mittels einfacher geohydraulischer Betrachtungen durchgeführt. Die Durchsickerung des landseitigen Deichkörper stellt in diesem Fall jedoch ein dreidimensionales Strömungsproblem dar, das nur selten weiter untersucht wird.

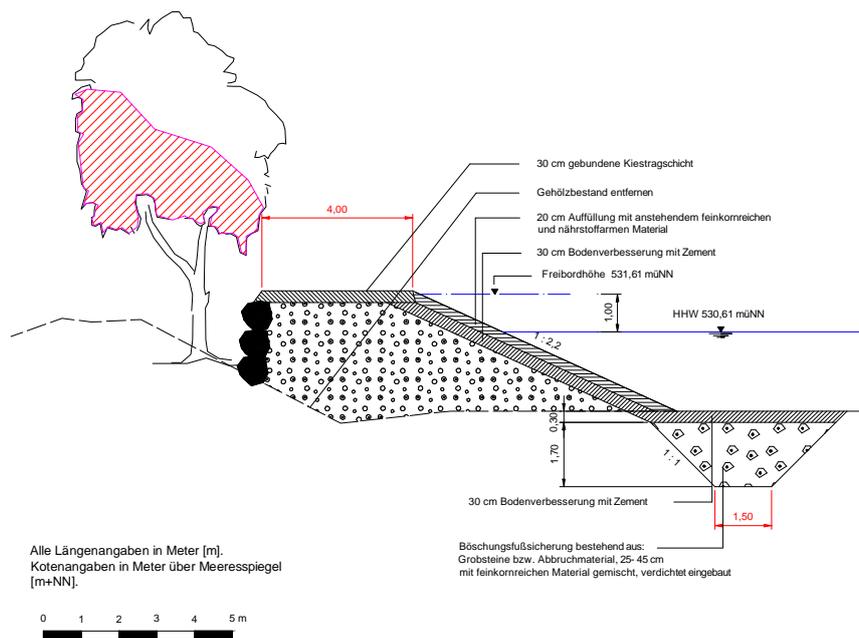


Bild 4: Ertüchtigter Isardeich im Stadtbereich mit Einzelgehölzen auf der wasserseitigen Böschung (aus [8])

3.2.4 Landschafts- und Städtebild

In Punkto Eingliederung von Hochwasserschutzbauwerken in die Umgebung bzw. Umwelt können grob die Bereiche freie Fließstrecke und bebauten Gebiete unterschieden werden. An freien Fließstrecken treten i. d. R. die naturhaushaltlichen Belange in den Vordergrund, so dass der Bewuchs auf dem Deich auf die Umwelt abgestimmt werden und die Ausbildung des Querschnitts in Anbetracht der daraus erwachsenden Anforderungen (Überprofil, flache Böschungen, ...) erfolgen muss.

Innerhalb von bebauten Bereichen und besonders in Städten mit zum Teil bereits kanalisierten oder zumindest stark veränderten Fließquerschnitten können städtebauliche Gesichtspunkte in den Vordergrund treten. Sofern von einfachen erdbaulichen Maßnahmen Abstand genommen wird, verursachen statisch wirksame Dichtungen, mobile Hochwasserschutz Elemente, sonstige Stütz- oder Mauerelemente eine erhebliche Kostensteigerung. Der Einsatz von mobilen Elementen ist dabei auch dadurch begrenzt, in welcher Zeit Einsatzmannschaften in der Lage sind, die Elemente in Schutzstellung zu bringen.

Eine Unterscheidung von Gesichtspunkten, die das Landschafts- und Städtebild berücksichtigen, und den naturhaushaltlichen Belangen kann, wie bereits erwähnt, erstens zur Identifikation der Interessen und zweitens zur Findung von Kompromissen beitragen.

Beispiele aus dem Rhein-Main-Gebiet belegen Fälle, bei denen die Kosten für eine einfache Deichertüchtigung aufgrund der Intervention von Anrainern, die auf ihr Eigentumsrecht beharren und die Aussicht zum Gewässer beibehalten wollten, um ein Vielfaches gesteigert wurden. In Zeiten des Abbaus von Sozialleistungen sollten hier jedoch alle Beteiligten hinterfragen, ob der Mitteleinsatz zur Errichtung einer doppelt

verglasten Hochwasserschutzmauer gerechtfertigt ist. Sofern sich Anrainer gegen günstige und effektive Hochwasserschutzmaßnahmen sträuben, sollte vor der Umsetzung von Maßnahmen in einem demokratischen Prozess der Mitteleinsatz ratifiziert werden.

3.2.5 Zeitplan / Ausführungszeit

Die Ertüchtigungsmaßnahmen sollen in Jahreszeiten ausgeführt werden, in denen das Auftreten von Hochwassern wenig wahrscheinlich ist, um den Schutz des Hinterlandes sicherzustellen. Hier kommt, je nach Gewässer, häufig der Winter in Frage, wie dies bei den südlichen, alpin gespeisten Zuflüssen der Donau der Fall ist. Im Winter kann durch das Auftreten von Schnee und Frost die Bautätigkeit zum Erliegen kommen. Untypischen Tauwetter und gleichzeitige Regenereignisse führen jedoch auch im Winter regional zu Hochwassern, wie dies z. B. am Main der Fall ist.

Wie bei größeren Baumaßnahmen in oder an Gewässern üblich, sollte die Deichertüchtigungsmaßnahme derart koordiniert werden, dass die Schutzfunktion für das Hinterland jederzeit gewährleistet wird. Hierzu kann ein Baustellenhochwasser in Abstimmung mit den Behörden festgelegt werden. Bei der Festlegung der Jährlichkeit eines Baustellenhochwassers sollte berücksichtigt werden, dass Gewässer im Einzelfall jahreszeitlich unterschiedliche Abflusscharakteristiken aufweisen. Als Baustellenhochwasser kommt unter Berücksichtigung der Bauzeit Abflüsse mit Wiederkehrintervallen bis zu $T = 25$ a in Frage. In Ausnahmefällen kann auch gefordert werden, dass der zu ertüchtigende Deich volle Schutzfunktion beibehalten soll. In diesem Fall kann unter Beachtung der Vorhersagezeit gefordert werden, dass Deichlücken innerhalb eines festzulegenden Zeitraumes geschlossen werden. Dies hängt stark von der Anlaufzeit des Hochwassers ab, dem Vorhersagehorizont und der Zeit, die für das Schließen der Deichlücken notwendig ist.

Erschwerend kommt bei der Terminplanung und Durchführung der Baumaßnahme die Haushaltsplanung der öffentlichen Hand hinzu. Erfahrungen in Bayern haben gezeigt, dass sich die Mittelbewilligung und –zuweisung bis Mitte des Jahres hinziehen kann. Für den Fall, dass die winterliche Jahreszeit früh beginnt, stehen im Einzelfall nur wenige Monate im Jahr zur Umsetzung der Ertüchtigungsmaßnahmen zur Verfügung. Hier sollten Lösungen gefunden werden, um auch die Mittel für kleinere Maßnahmen ohne größere Umstände ins nächste Haushaltsjahr übertragen zu können. Für die Umsetzung von Maßnahmen werden jedoch von den Ministerien und Fachbehörden nicht selten Ausnahmen gefunden, so dass eine sachgerechte Durchführung der Maßnahme gewährleistet ist.

3.2.6 Deichüberwachung / Deichverteidigung

Den a.a.R.d.T. entsprechend sollte die Überwachung der Deiche im Hochwasserfall durch die Sicherstellung von Überwachungs- und Verteidigungswegen 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. [16]). Ist z. B. aus Platzgründen die Anordnung eines Deichhinterweges nicht möglich, dann sollte die Krone ausreichend breit – empfohlen wird hier eine Kronenbreite von mindestens 3,5 m – und gut befestigt sein. Eine Ausführung mit einer HGT ist sicherlich zweckmäßig.

Für Deichstrecken mit keinem oder niedrigem Schadenspotential kann auf entsprechende Deichwege zum Deichunterhalt, -überwachung und -verteidigung verzichtet werden, wenn entsprechende Maßnahmen nicht vorgesehen sind (siehe auch [7] und [8]).

Bei der Durchführung einer Deichbaumaßnahme sind auch die Zuwegungen, sprich Straßen, Wege etc. wichtig, damit nicht nur am Deich selbst eine Befahrbarkeit mit den entsprechenden Großfahrzeugen sichergestellt ist, sondern auch Zufahrtswege.

3.2.7 Unterhalt

Hier sei noch einmal besonders auf die Wichtigkeit von Unterhalt und Überwachung hingewiesen, die in den Vorschriften eindeutig geregelt sind. *„Deiche sind so zu unterhalten, dass ihre Sicherheit ständig gegeben ist.“* [6] Dies bedarf zum einen eine zeitliche wie finanzielle Koordination der Unterhaltungsmaßnahmen und zum anderen muss ein Unterhaltungsplan vorhanden sein, der einen Zustand des Deiches vorgibt, den es dann gilt zu erhalten. Während Deiche geringer Bedeutung, die i. Allg. eine kleine Höhe aufweisen und Naturlandschaften schützen, nicht selten der natürlichen Sukzession mit einhergehendem Gehölzbewuchs oder waldartigen Strukturen überlassen werden können, ist dies bei Deichen mit großer Bedeutung bzw. vorhandenem hohem Schadenspotential nicht so ohne Weiteres möglich, da die Standsicherheit dauerhaft und sicher gewährleistet sein muss.

Natürlich besteht auch die Möglichkeit, Deiche so auszubilden und zu ertüchtigen, dass auf eine Unterhaltung verzichtet werden kann, was bedingt, dass langfristig sowohl die Standsicherheit des Deiches gewährleistet werden kann als auch die Auswirkungen des natürlichen Bewuchses auf angrenzende Nutzungen und andere im Deich befindliche Bauwerke, wie z. B. Siele und Leitungen. Hier sei besonders auf die den Abfluss hemmende Wirkung von bewaldeten Vorländern hingewiesen. Im Einzelfall können in diesem Zusammenhang auch Sekundärnutzungen, wie z. B. ein Fahrradweg auf der Deichkrone, besonders unterhaltungsintensiv sein, um eine gefahrlose und ordnungsgemäße Nutzung sicherzustellen.

Eine Abflachung der Böschung aus Gründen der Unterhaltung ist nicht vorteilhaft, da zum einen die zu unterhaltende Fläche durch flachere Böschungen erhöht wird und zum anderen die technischen Verfahren zur Unterhaltung steiler Böschungen fortentwickelt wurden und kostengünstig angeboten werden (vgl. [17]). Generell sind natürlich flache Böschungen schon günstig. Alleine aus Unterhaltungsgründen diese vorzusehen, ist jedoch keine ausreichende Begründung.

In diesem Zusammenhang sei ein Exkurs in die Geschichte erlaubt. In Mesopotamien erließ König Hammurabi (1728 bis 1686 v. Chr.) einen Gesetzeskodex mit 282 Paragraphen. § 52 war ein Strafparagraph, der im Zuge der Vernachlässigung der Deichunterhaltung Anwendung fand (aus [13]):

„Wenn jemand es unterlässt, seinen Deich in guten Zustand zu erhalten, und wenn dann dieser Deich bricht und alle Felder werden überschwemmt, dann soll der, in dessen Deich dieser Bruch geschah, für Geld verkauft werden und das Geld soll das Getreide ersetzen, dessen Zerstörung er verursacht hat.“

Was hier sehr schön zeigt, welche Bedeutung der Schutz des Eigentums, der im GG Artikel 18 verankert ist, bereits in der Bronzezeit hatte. Ähnliche Gesetzesinhalte in der heutigen Zeit würden sich natürlich auf den Zustand der Deiche positiv auswirken, sind

jedoch mit dem Grundgesetz Artikel 1 und den Menschenrechten nicht in Einklang zu bringen.

3.2.8 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 und mit den zuständigen Behörden abgestimmt werden muss.

[15] setzte sich intensiv mit der Fragestellung auseinander, welche Maßnahmen im Rahmen der Deichertüchtigung dem Unterhalt zuzuordnen seien und welche den den Tatbestand eines Ausbaus berührten. Als wesentlichen Entscheidungspunkt wird auch hier die Beeinflussung des Hochwasserabflusses betrachtet. Gleichzeitig wird erkannt, dass eine „*abschließende Klärung dieser Frage ... jedoch stets sachverständiger Beurteilung vorbehalten sein muss.*“ Da auch Sachverständige subjektiv sind und unterschiedliche Meinungen vertreten, wird klar, dass keine klare Linie zwischen Unterhalt und Ausbau gezogen werden kann.

Innerhalb der Unterhaltung können i. allg. folgende Maßnahmen durchgeführt werden (siehe [14] und [15]):

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

Baumaßnahmen, welche 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.

Im Einzelfall kann auch eine Plangenehmigung ohne öffentliches Verfahren ausreichen, wenn keine öffentlichen Interessen betroffen sind.

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.

Neben den genannten Rechtsvorschriften können u. A. auch folgende oder damit verbundene Pflichten und Aufgaben Einfluss auf die Planung und Ausführung von Deichertüchtigungsmaßnahmen haben (vgl. [14]):

- Duldungspflicht (BayWG)
- Naturschutzrechtlicher Ausgleich (BayNatSchG)
- Naturnahe Ufergestaltung (BayWG)
- Verkehrsicherungspflicht (BGB)
- Grunderwerb
- Waldgesetz ...

4 VORGEHEN BEI DEICHERTÜCHTIGUNGSMAßNAHMEN

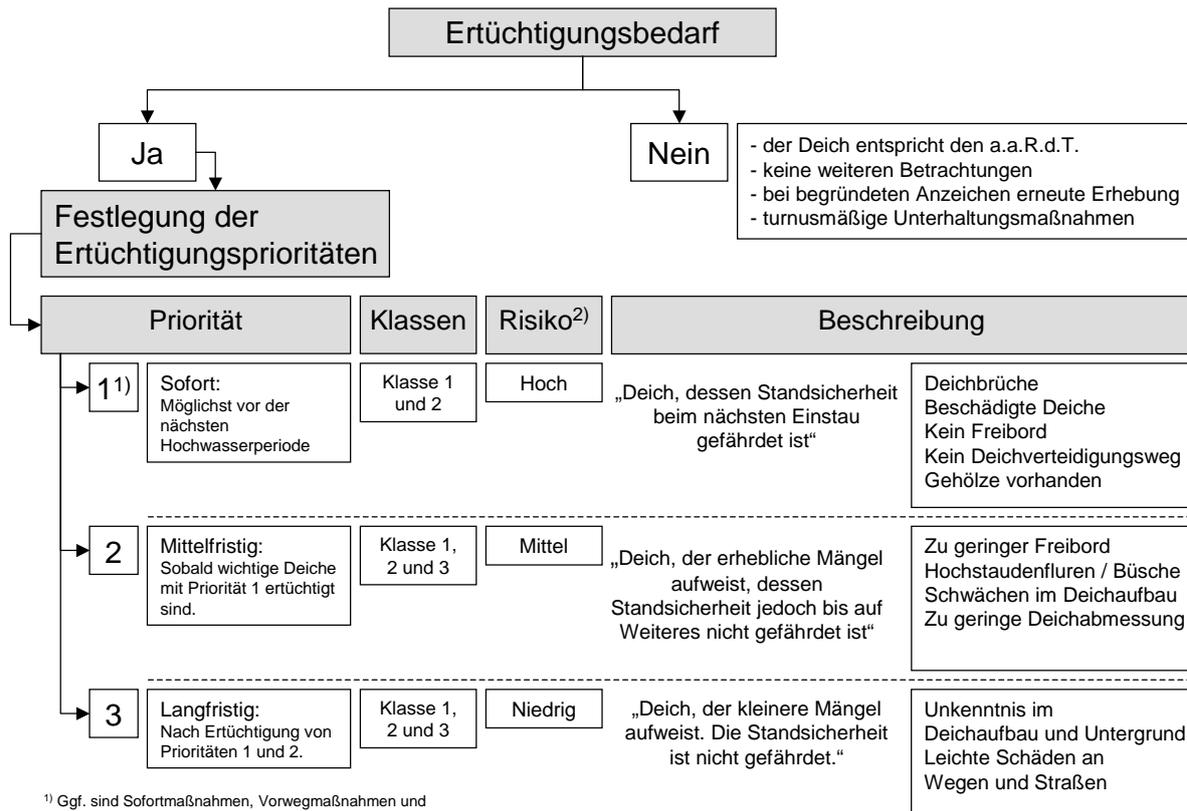
4.1 Bewertung und Definition des Ertüchtigungsbedarfs

Die Notwendigkeit zur Ertüchtigung von Deichen ist in einem ersten Schritt einfach zu ermitteln. Entspricht der Deich nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.), so sollte er entsprechend im Rahmen von Unterhalt oder durch einen Ausbau vom Unterhaltungspflichtigen ertüchtigt werden. Im Detail sieht die Antwort auf die Frage, ob ein Deich den a.a.R.d.T. entspricht, etwas heikler heraus. Alleine ein korrektes Freibordmaß anzugeben, ist für Deiche schwierig, da die gängigen Methoden zur Abschätzung von Freibordhöhen sich meist auf ruhende Gewässer beziehen. Zum Freibord an Flussdeiche sind Hinweise und Ansätze z. B. in [18] zu finden.

Der Ertüchtigungsbedarf muss unter Beachtung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses des vorhandenen Schadenspotentials im Hinterland bewertet werden. Darauf kann auch die Bewertung die Dringlichkeit der Deichertüchtigung abgestimmt werden (vgl [41], [42]).

4.2 Priorisierung / Staffelung von Maßnahmen

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 und das Gefährdungspotential im Hinterland, zu berücksichtigen (vgl. [14] und [19]). Eine Einteilung von Ertüchtigungsprioritäten in Kategorien deckt sich i. d. R. mit der zeitlichen Notwendigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen mit sofortigem, mittel- oder langfristigem Handlungsbedarf (vgl. Bild 5). Bei sofortigem Handlungsbedarf können Sofortsicherungsmaßnahmen, Vorwegmaßnahmen und Teilertüchtigungsmaßnahmen die Standsicherheit zeitnah herstellen.



¹⁾ Ggf. sind Sofortmaßnahmen, Vorwegmaßnahmen und Teilertüchtigungsmaßnahmen erforderlich.

²⁾ Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schadenspotential

Bild 5: Systematik der Priorisierung von Ertüchtigungsmaßnahmen unter Beachtung des Deichzustands und des vorhandenen Schadensrisikos (nach [20], vgl. [19])

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. Eine Einteilung von Deichen, wie sie z. B. in Bild 6 vorgeschlagen wird, kann ebenfalls ein Kriterium für die Zuordnung zu Ertüchtigungsdringlichkeit sein. Weitere Einteilungen sind in [42] enthalten.

Eine Staffelung von Maßnahmen in Teilertüchtigungsmaßnahmen oder Vorweg- bzw. Sofortmaßnahmen kann im Einzelfall die Standsicherheit des Deichs zeitnah sicherstellen und somit die Notwendigkeit anderer, fortführender Maßnahmen zeitlich hinausschieben. Deiche können somit durch einzelne Maßnahmen z. B. von der Ertüchtigungspriorität „dringlich“ bzw. „sofort“ in eine mittlere oder noch niedrigere Stufe verschoben werden, wenn es sich hierbei lediglich um untergeordnete Maßnahmen zur Anpassung der Deichwege o. ä. handelt.

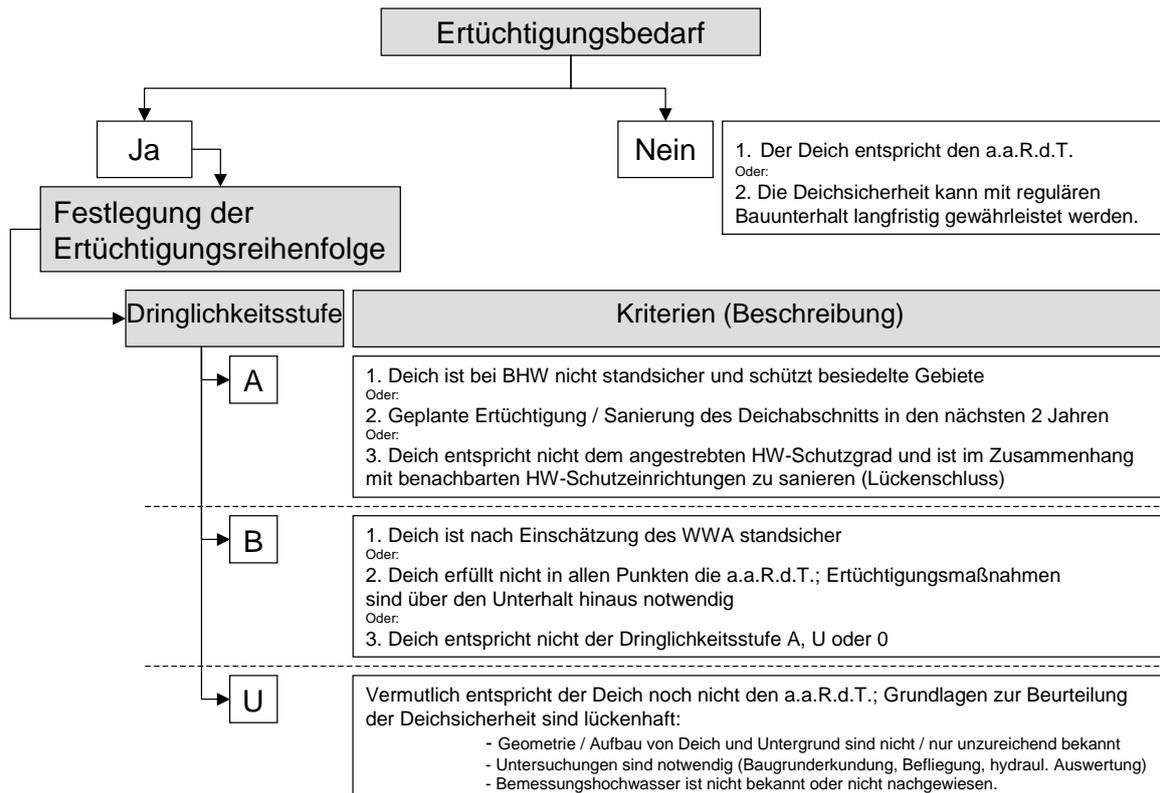


Bild 6: Systematik der Priorisierung von Ertüchtigungsmaßnahmen in Anlehnung an das Vorgehen der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung (Stand: 2005) (aus [8])

4.3 Planungsschritte

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 Fürsorge. 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 dadurch, dass tragfähige Kompromisse gefunden und eingegangen werden (vgl. [14]).

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. Bild 7). Da Flussdeiche häufig in naturnahen Landschaftsbereichen befinden, ist die Berücksichtigung der ökologischen bzw. naturhaushaltlichen Aspekte im Rahmen der unterschiedlichen Planungsschritte besonders wichtig. Erfahrungen haben gezeigt, dass bereits durch einfache Anpassungen von z. B. der Bewuchsart auf den Böschungen entscheidende Pluspunkte bei der Aufstellung der Ökobilanz erzielt werden können.

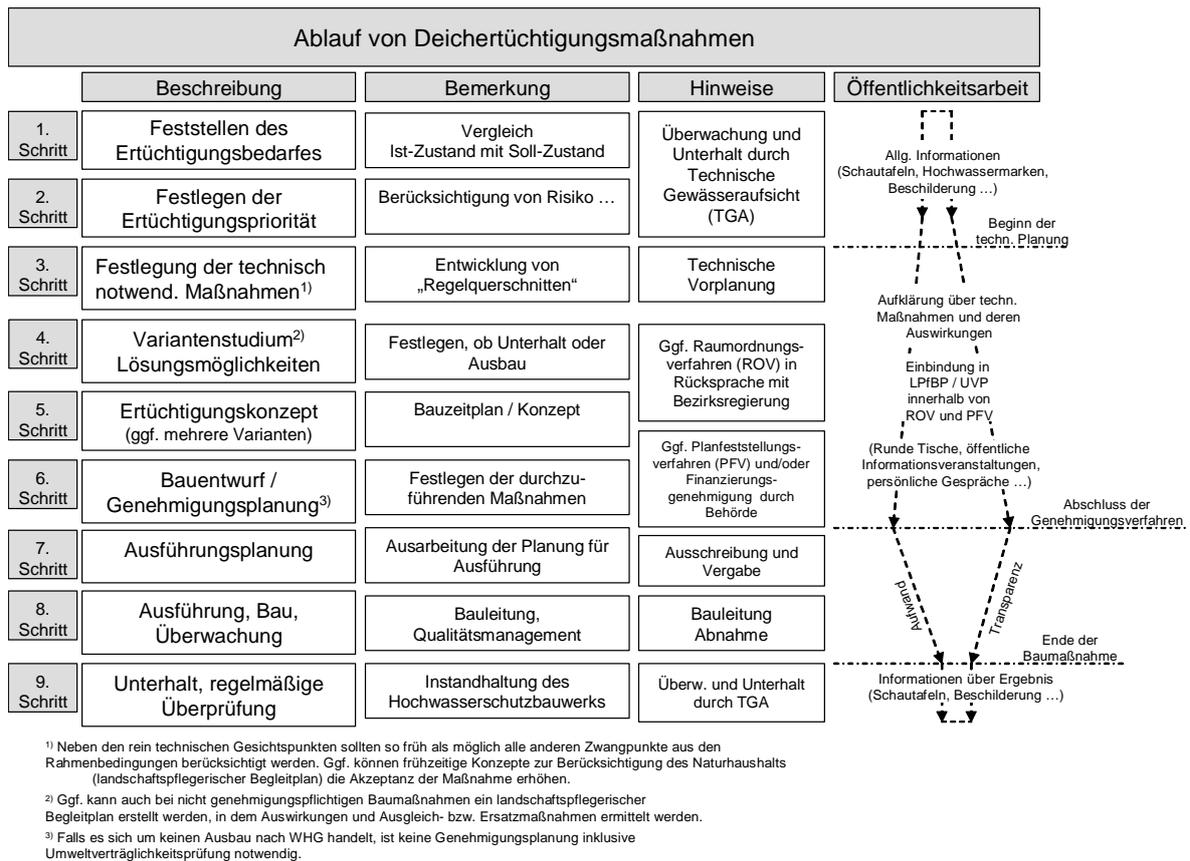


Bild 7: Ablauf von Deichertüchtigungsmaßnahmen mit Hinweisen zu den öffentlich-rechtlichen Verfahren und dem Aufwand in der Öffentlichkeitsarbeit (aus [7])

Auch wenn die Notwendigkeit von Deichertüchtigungsmaßnahmen ausreichend begründet und dargelegt wurde, kommt es immer wieder zu Spontanaktionen von Naturschützern, die z. B. verhindern wollen, dass Bäume auf Deichen entfernt werden. Hier haben Erfahrungen gezeigt, dass besonders im Nachlauf von Hochwasserereignissen derartige Vorkommnisse weitgehend ausgeblieben sind.

5 MAßNAHMENKATALOG

Methoden und Techniken zur Ertüchtigung von Deichen existieren zur Genüge. In einzelnen Teilbereichen ist jedoch eine rein konstruktive Lösung auf der sicheren Seite wirtschaftlich nicht zu vertreten. Dies ist z. B. der Fall, wenn im Untergrund erosionsanfällige Schluff- oder Sandlinsen auftreten, weshalb abgeschätzt werden muss, ob geringe Bodenumlagerung und ggf. Setzungen in Kauf genommen werden können und dadurch eine Abdichtung bis in weite Tiefen mittels Dichtwänden vermieden werden kann. Die Unsicherheiten liegen sowohl in Hydrologie und Hydraulik für die Abschätzung der Kronenkote als auch in der Beschaffenheit des Untergrundes und des Deichs selbst vergraben. Die verwendeten Baumaterialien selbst dürften hierbei, sofern die üblichen Qualitätsmaßstäbe angesetzt werden, keine größeren Unsicherheiten aufweisen.

Die primäre Aufgabe der handelnden Ingenieure besteht demnach darin unter Beachtung all dieser mit Unsicherheiten behafteten Randbedingungen, aus dem Maßnahmenkatalog die richtigen, wirtschaftlichen Methoden auszuwählen bzw. zu kombinieren. Das Ziel ist immer ein Ingenieurbauwerk zu errichten, dass ein bestimmtes Risikopotential abdeckt.

5.1 Übersicht möglicher Maßnahmen

Prinzipiell sind alle konstruktiven Baumaßnahmen aus dem Wasserbau und aus der Geotechnik auch bei der Deichertüchtigung anwendbar. Wertvolle Vorschriften und Hinweise sind hier auch dem Erd- und Straßenbau zu entnehmen, wie sie die FGSV erarbeitet. Einschränkungen können daraus erwachsen, dass sich Deiche nicht selten in besonders schützenswerten Gebieten, wie z. B. FFH-, Naturschutz-, Wasserschutz oder Vogelschutzgebieten, befinden oder daran grenzen.

Eine Unterteilung von Maßnahmen kann nach [8] in folgende Punkte erfolgen:

- Verlegung des Deichs
- Verbesserung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Deichs
- Erhöhung des Deichs

Die genannten Maßnahmen sind einzeln und kombiniert möglich. Nicht selten werden in letzter Zeit Altdeiche, die an das Gewässer grenzen, mit schlechtem Zustand und mit geringer Höhe belassen, und ein neuer, den a.a.R.d.T. angepasster Deich im Hinterland errichtet, um Retentionsraum zu schaffen, der erst ab einem erhöhten Wasserstand, d. h. z. B. bei Überschreiten des Wasserstands von der Kronenkote des Altdeichs in Anspruch genommen wird. Diese ungesteuerten, mit einem Altdeich und einem neuen Deich im Hinterland abgegrenzten Retentionsräume haben eine höhere Wirksamkeit als reine Fließpolder. Die naturhaushaltlich zur Erhaltung des Vegetationstyps notwendige hydraulische Beaufschlagung eines solchen Polders kann über mehrere kleine, ggf. steuerbare Durchlässe durch den Altdeich erfolgen [43].

Eine weitere Möglichkeit der Einteilung mit Angabe möglicher Maßnahmen nach [7] ist in Tab. 5.1 dargestellt.

Tab. 5.1: Übersicht der Deichertüchtigungsmaßnahmen (nach [7])

Einteilung	Methoden
Erdbauliche Maßnahmen	Deich(rück)verlegung / Neutrassierung
	Abtrag / Neubau / Bodenaustausch
	Abflachung der Böschungen
	Verbreiterung der Deichkrone
	Anordnung von Bermen und Wegen
	Anordnung eines Dräns
	Anordnung eines Filters
	Erdbauliche Erhöhung
Bauwerke	Anordnung von Stützbauwerken
	Einbau von Dichtungen
	Mauern / Mobile Elemente / Überst. Dichtungen
Materialverbesserung	Verwendung von Geokunststoffen
	Baugrund- / Bodenverbesserung
Oberflächensicherung	Erosionssicherung der Böschung
	Ausbildung von Überlaufstrecken
Sicherung von Deichen mit Gehölzen	Schütten eines Überprofils
	Einbau von Wurzelhemmschichten
	Einzelsicherung von Bäumen
	Einbau statisch wirksamer Dichtungen

Die notwendigen Maßnahmen sind natürlich entscheidend von den Randbedingungen abhängig. Bei der Suche nach der optimalen – ein wirtschaftlicher, technischer und naturhaushaltlicher Kompromiss – Lösung sollte in einem ersten Schritt von einer rein erdbaulichen Lösung ausgegangen werden und nach „Abklopfen“ der Randbedingungen Anpassungen erfolgen.

Eine etwas anschaulichere Übersicht der möglichen Deichertüchtigungsmaßnahmen ist in Bild 8 gegeben.

5.2 Ergänzende Hinweise zu den Maßnahmen und zum Vorgehen

Zur Orientierung können gewässerabhängig so genannte „Regelprofile“ hilfreich sein. Im Vorfeld von größeren Ertüchtigungsmaßnahmen an Rhein, Elbe und Donau wurden derartige „Leitkonstruktionen“ entwickelt, um den Planern im Hinblick auf notwendige Abmessungen und Bestandteile des Deichquerschnittes Hilfestellung zu leisten (siehe [8]).

Diese Leitkonstruktionen können natürlich nur allgemeine Hinweise geben, wie ein Querschnitt gestaltet werden soll. Aber i. d. R. spiegeln sie gewisse gewässerspezifische Eigenschaften wider. So weisen die „Regelprofile“ an den deutschen Flüssen mit möglichen lang anhaltenden Hochwassern meist Dichtungen auf. An der bayrischen Donau wurde ein Regelprofil entwickelt, dass aufgrund des Vorhandenseins von feinen Ablagerungsböden (z. B. Auelehme) eine natürliche Oberflächendichtung aufweist (Bild 9). Hier ist anzumerken, dass das „Regelprofil“ nicht einen endgültigen Ausbauzustand beschreibt, sondern Anforderungen an Sofortmaßnahmen stellt, um die Standsicherheit sicherzustellen und eine Deichverteidigung zu ermöglichen.

Erdbauliche Maßnahmen	Deichrückverlegung / Neutrassierung		Abflachung der Böschungen	
	(Teil-)Abtrag / Neubau / Bodenaustausch		Anordnung Drän/Filter	
	Deichweg / Berme/ Verbreiterung der Krone		Erdbauliche Erhöhung	
Bauwerke	Stützbauwerke		Mauern / Mobile Elemente	
	Dichtungen		Oberflächendichtung	
Material-Verbesserung	Geokunststoffe		Boden- / Baugrundverbesserung	
Oberflächensicherung	Erosionssicherung wasserseitige Böschung		Überströmstrecken	
Sicherung von Deichen mit Gehölzen	Überprofil		Wurzelhemmschichten	
	Sicherung von Einzelbäumen		Statisch wirksame Sicherungselemente	

Bild 8: Übersicht möglicher Deichtertüchtigungsarbeiten (aus [42])

5.2.1 Erkundung von Altdeichen

Im Vorfeld von klassischen und geophysikalischen Erkundungsmethoden bzw. Aufschlüssen steht die Erhebung bestehender Daten, wobei die in [5] aufgezählten Punkte erhoben werden sollten. In Tab. 5.2 sind die in [5] beinhalteten Punkte mit praktischen Hinweisen erweitert worden.

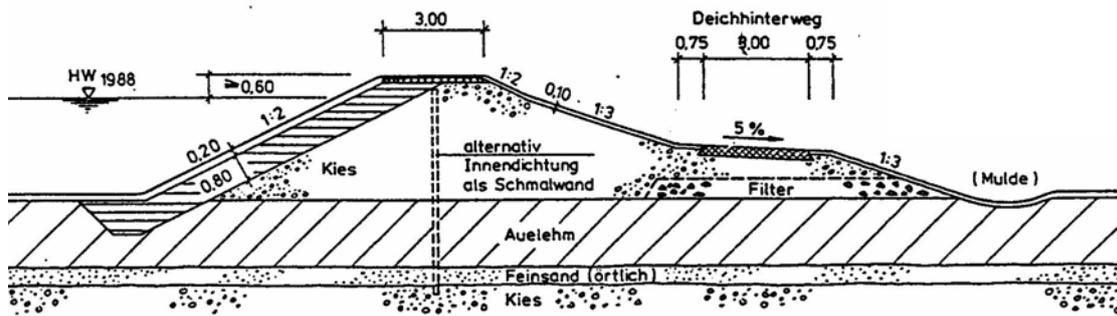


Bild 9: „Regelprofil“ für Sofortmaßnahmen an Donaudeichen (Zwischenausbau) im Bereich des Wasserwirtschaftsamtes Deggendorf aus [45]

Tab. 5.2: Inhalte einer Deicherhebung mit Hinweisen (nach [5], vgl. [21])

Nr.	Erhebungsgegenstand / -inhalt	Hinweise / Bemerkung ^{A)}
1	Lage des Deiches (Gewässer, Flusskilometer, Vorland, Hinterland, ...)	Einfach aus bestehenden Kartenwerken zu ermitteln.
2	Bauwerke am und im Deich (Einbindung, Zustand)	Aus Kartenwerken und bei einer Begehung festzustellen.
3	Zuständigkeiten (Deich, Einbauten, Liegenschaftsverhältnisse, ...)	Meist einfach aus Katasterkarten zu ermitteln. Sparten können im Einzelfall Probleme verursachen.
4	Deichgeometrie (Kronenbreite, Neigungen, Böschungsneigungen)	Einfach anhand von Vermessungsdaten festzustellen.
5	Deichaufbau (Deichbaustoffe, Schichtungen, Dichtungen, Dränvorrichtungen)	Besonders bei "Altdeichen" sind oft keine genauen Daten über den Aufbau vorhanden. Hier können geotechnische Bohrungen oder Aufschlüsse punktuelle Informationen bieten. Flächeninformationen können geophysikalische Verfahren bieten.
6	Zustand des Deichkörpers (Lagerungsdichte, Wühltierbefall)	Die Lagerungsdichte kann durch Sondierungen ermittelt werden. Wühltierbefall kann i. d. R. durch visuelle Begutachtung festgestellt werden.
7	Bewuchs (Vegetationsschichten, Büsche, Bäume)	Die Bewuchsformen sind durch eine visuelle Begutachtung ermittelbar. Die Ausbreitung der Wurzeln ist i. Allg. nicht abschätzbar.
8	Untergrund (Schichtungen, bindige Deckschicht, dichter Horizont, Homogenität, Altarme, Kolke)	Die Erkundung des Untergrunds ist ähnlich zu dem des Deichaufbaus. Tiefe Untergrundschichten sind i. Allg. schwer zu erkunden. Im Untergrund können aufgrund der Entstehungsgeschichte von flussnahen Ablagerungsböden Schichten oder Linsen unterschiedlicher Böden auftreten, deren Lage und Zusammensetzung u. U. nicht exakt bestimmt werden können.
9	Bemessungswasserstand, Kronenhöhe, Freibord	Die aktuelle Kronenhöhe ist i. d. R. aus Vermessungsergebnissen bekannt, wobei je nach Zeitpunkt der Vermessungsarbeiten die aktuellen Daten mehr oder weniger abweichen können. Der Bemessungswasserstand und der damit verbundene vorhandene Freibord wird i. d. R. von den Behörden vorgegeben und basiert auf den Ergebnissen von hydraulischen Berechnungen.
10	hydraulische Verhältnisse (Grundwasserstand, Abflussquerschnitt, Krümmungen, Anströmung)	Die hydraulischen Verhältnisse werden i. d. R. anhand von mehr oder minder aufwendigen Berechnungsverfahren (1-dim, 2-dim) abgeschätzt. Die Verhältnisse, die bei den Berechnungen herangezogen wurden, können sich verändert haben.
11	geschützte Objekte im Hinterland (Bebauung, Infrastruktur, Landwirtschaft)	Die vorhandene Bebauung ist i. d. R. einfach zu ermitteln. Im Einzelfall kann sich das Schadenspotential seit der letzten Erhebung erhöht haben.
12	verfügbare Einrichtungen zur Deichverteidigung (Verteidigungsweg, Zugänglichkeit, Infrastruktur)	Oft ist ein Deichverteidigungskonzept bzw. Katastrophenschutzplan nicht vorhanden. Weisen Deiche zur Deichverteidigung notwendigen baulichen Gestaltungsmerkmale auf, ist i. d. R. auch ein Schutzkonzept für den Katastrophenfall vorhanden.
13	Erfahrungen und besondere Beobachtungen im Hochwasserfall (Sickerwassertreten, gefährdete Bereiche, ...)	Erfahrungen während der Hochwasser sind i. Allg. spärlich vorhanden, es sei denn es traten Schäden auf, die visuell dokumentiert werden konnten. Schäden und Umlagerungsprozesse im Untergrund sind generell schwer festzustellen. Ggf. kann indirekt aufgrund von Setzungen auf sie geschlossen werden.

^{A)} Ansprechpartner zu den Erhebungsdaten ist in erster Linie die unterhaltungspflichtige Behörde.

Der Ablauf der Erkundung mit und ohne geophysikalischer ist in Bild 10 dargestellt. Nach der Datenerhebung wird eine geotechnische Erkundung durchgeführt. Sofern eine geophysikalische Erkundung durchgeführt werden soll, ist eine Gliederung der geotechnischen Erkundung in eine Vor- und Nacherkundung sinnvoll. Die Aufschlussdichte der Vorerkundung kann dabei unter Berücksichtigung der örtlichen, aus der Datenerhebung bekannten Verhältnisse sehr gering gewählt werden. Aufgrund der heterogenen Verhältnisse in Deichen und deren Untergrund ist mit geophysikalischen Verfahren prinzipiell lediglich eine Abschätzung von Bereichen mit gleichen Eigenschaften nach der Kalibrierung anhand geotechnischer Aufschlussbohrungen möglich. Hierzu kann eine Widerstandskartierung (Widerstandsgеоelektrik) durchgeführt werden. Zur Auffindung besonderer Bauwerke (Rohre, Leitungen, Bauwerksreste,...) können auch andere geophysikalischen Verfahren, wie z. B. das Georadar, Anwendung finden (vgl. [21], [22] und [8]). Von einem stufenweisen, adaptiven Vorgehen mit wechselndem Einsatz von geotechnischen und geophysikalischen Methoden wird nicht selten aufgrund aufwendigerer Logistik abgesehen. Das vorgestellte 5-stufige Herangehen ist bei Deichen i. d. R. jedoch ausreichend.

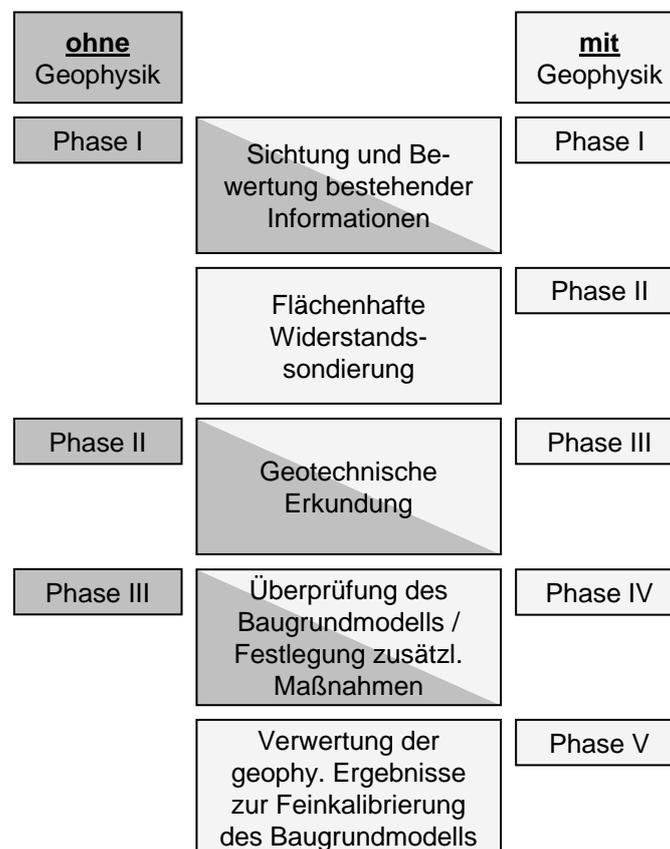


Bild 10: Erkundung von Deich und Untergrund im Rahmen von Deichertüchtigungsmaßnahmen (aus [8])

Erfahrungen bei der Erkundung haben gezeigt, dass Bodenkennwerte, Schichtgrenzen oder Bodenarten i. Allg. nicht ausreichend exakt mittels geophysikalischer Verfahren abgeschätzt werden können. Sie beruht nicht zuletzt auf der Tatsache, dass viele geophysikalische Verfahren auf der Leitfähigkeit der Böden bzw. von Wasser beruhen und auch im Wasser gelöste Salze einen entscheidenden Einfluss nehmen können

(Widerstandskartierung, ...) (siehe z. B. [23] und [24]). Da ein Deich i. d. R. ein relativ kleines Bauwerk darstellt, kann auf die Erkundung von großen Tiefen (häufig verzichtet werden, da nicht selten ein erster Grundwasserstauer relativ hoch (5 – 20 m unter GOK) ansteht. Deshalb ist die Verwendung von geophysikalischen Verfahren, wie es z. B. bei der Refraktionsseismik der Fall ist, im Deichbau nicht üblich. Zudem kommt noch, dass derartige Verfahren aus der Ingenieurgeologie kommen und dort Tiefen von mehreren 1.000 m erkundet werden, wobei der Genauigkeitsanspruch bei Deichen ein anderer ist. Da im Deichbau es wesentlich ist, wo z. B. eine Auenlehmschicht vorhanden ist und ob sie 2,0 m oder nur 0,2 m mächtig ist.

Aus [8] lassen sich im Hinblick auf die geophysikalischen Erkundungsmethoden im Deichbau folgendes zusammengefasst werden:

- Die Homogenität einer Baugrundsichtung und Anomaliebereiche können festgestellt werden. Kleinere Anomaliebereiche müssen nicht erkannt werden.
- Die Anwendung ist nur im Zusammenhang mit klassischen Baugrunduntersuchungen zweckmäßig.
- Quantitative Aussagen über Schichtgrenzen oder Bodenparameter können mit für den Deichbau relevanter Genauigkeit nicht gemacht werden.
- Aufgrund der qualitativen Mehrinformation über den Deich und den Untergrund ist eine Kosteneinsparung nicht zu erwarten, sondern es ist aufgrund des Klärungsbedarfes von Unregelmäßigkeiten i. d. R. durch herkömmliche geotechnische Erkundungsverfahren eher mit einer Kostenerhöhung zu rechnen bzw. mit einem Mehraufwand bei der Beurteilung der vorhandenen Verhältnisse.
- Die geophysikalische Untersuchung kann zu einer Steigerung der Aussagekraft der Erkundung führen, was die Planungs- und Bauwerkssicherheit verbessern kann.

5.2.2 Verlegung der Deichtrasse

Die Verlegung eines Deichs entspricht einem Neubau. Eine Verlegung wird in der Praxis meistens dazu durchgeführt, um Retentionsraum zu gewinnen und Auenstandorte zu erschließen. Andere Gründe, wie z. B. ungünstige Strömungs- oder Untergrundverhältnisse, treten weitgehend in den Hintergrund. Deichrückverlegungen sind aus naturhaushaltlichen Gründen besonders wertvoll [25] [26].

Die Deichverlegung bedarf oft des Grunderwerbs der danach als z. B. Aue genutzten Fläche und i. d. R. der Deichaufstandsfläche selbst. Bleibt ein Erwerb der Auenfläche aus, sollte die Nutzung in den Standorten vorgeschrieben und eine Entschädigungsregelung für die Eigentümer gefunden werden. Beides kann im Einzelfall zu erheblichen Verzögerung im Genehmigungsprozess führen.

Bei den üblichen Verhältnissen an eingedeichten Gewässern ist die mit einer Deichrückverlegung für Unterlieger erzielbare Retentionswirkung relativ gering im Vergleich zu anderen Maßnahmen, wie z. B. im Vergleich zu Flutpoldern, herkömmlichen Hochwasserrückhaltebecken, der Steuerung von großen Speichern oder forstwirtschaftliche Maßnahmen im Einzugsgebiet [27]. Dies bestätigen auch neuere Untersuchungen aus dem Donauebiet. Das Argument, mit Deichrückverlegungen Retention zu betreiben, tritt in den Hintergrund. Möglich ist hingegen eine Erhöhung der Fließzeit bzw. eine Verlangsamung der „Hochwasserwelle“. Die Auswirkungen hieraus auf das Hochwassergeschehen Unterstrom sollten jedoch eine genauen Prüfung unterzogen werden, da dies auch zu einer Verschärfung der Verhältnisse führen kann [43].

5.2.3 Neuaufbau / Teilabtrag

Im Rahmen der Planung muss nach der Erkundung und der Bewertung des bestehenden Altdeichs entschieden werden, was infolge der Ertüchtigung mit dem Altdeich geschehen soll. Sofern der Altdeich in einem sehr schlechten Zustand ist, muss er i. d. R. abgetragen und neu aufgebaut werden. Es können jedoch auch Ertüchtigungsmethoden durchgeführt werden, die weitgehend unabhängig vom Zustand des Deiches sind. Dies hat jedoch häufig eine Kostensteigerung z. B. für den Einbau von statisch wirksamen Dichtungen zur Folge. Die Integration vom Altdeich in ein Deichertüchtigungskonzept hängt i. Allg. von folgenden Punkten ab (siehe [8]):

- Inhomogener, ungünstiger Aufbau durch z. B. den historischen Teilausbau und –umbau
- Unzureichende Kenntnis über den Aufbau und Zustand des Altdeichs
- 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 Abtreppung des bestehenden Erdkörpers erreicht werden. Dies sorgt für eine gute Verzahnung der konstruktiven Elemente (Dichtung, Stützkörper bzw. Altdeich, Drän) und stellt die Möglichkeit einer ordnungsgemäßen horizontalen Verdichtung möglich. Bei Böden mit hohen Scherwiderständen (z. B. gebrochene Grobkiese) kann auf eine Abtreppung verzichtet werden.

Der Altdeich muss so integriert werden, dass die Durchlässigkeit im Querschnitt hin zur Landseite durchlässiger wird. Je nach dem, 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.

5.2.4 Erdbauliche Maßnahmen

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 sind jedoch die globale und lokale Standsicherheit nach [28]. Die Breite der Krone sollte 3 m nicht unterschreiten. In [19] werden für Deiche am Rhein auch größere Kronenbreiten empfohlen. Unter Einbehaltung der Deichlagerbreite kann eine Verbreiterung der Krone durch steilere Böschungen erreicht werden.

Nachträglich angeordnete Bermen verbessern die Standsicherheit des Deichs. 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 auch im Hochwasserfall sichergestellt ist.

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. Ein

unbekannter Aufbau und unbekanntes Material im Altdeich tragen jedoch zur Unsicherheit der Filterbemessung und Wirksamkeit von Dränvorrichtungen bei.

5.2.5 Nachträglicher Einbau von Dichtungen

Die Notwendigkeit einer Dichtung kann in der Begrenzung der Durchsickerung 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 (Bild 10, [21]).

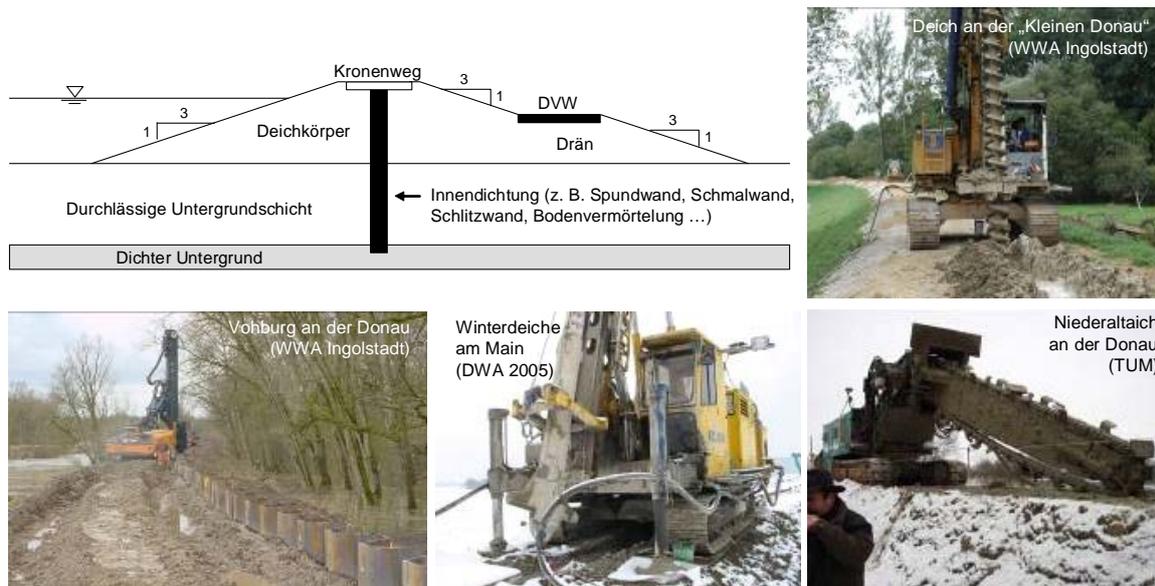


Bild 10: Nachträglich eingebaute künstliche Innendichtung (aus [7])

Die mit Stahlträger verstärkten Bodenvermörtelungswände tragen das Biegemoment über die so genannte Silotragwirkung ab. Zur Abstimmung der Widerstandskräfte müssen u. a. die Dicke der Dichtwand, die Druckfestigkeit der Dichtwand als auch die Abstände der Bewehrungsstäbe festgelegt werden. Zur Ermittlung der notwendigen Einbindetiefe der Dichtwand müssen in den unterschiedlichen Bemessungssituationen die einwirkenden Kräfte bestimmt bzw. festgelegt werden. Aus dem Beispiel einer überströmten, bewehrten Bodenvermörtelungswand an einem Deich an der Iller, der der Überströmungsbelastung standgehalten hat, kann gefolgert werden, dass Dichtwände auch zur Überströmungssicherung eingesetzt werden können. Hierbei muss jedoch die landseitige Kolkentiefe festgelegt oder durch konstruktive Sicherungsmaßnahmen sichergestellt werden. Hierzu wurden am Lehrstuhl für Wasserbau der Technischen Universität München Versuche durchgeführt, die darlegten, dass die Erosionstiefe hinter einer Dichtwand sehr begrenzt sein kann, wenn z. B. die Überfallhöhe gering ist oder der Unterwasserstand bzw. der Wasserstand im entstehenden Kolk die Energie des überströmenden Wassers reduziert [47].

Die Abschätzung der notwendigen Druckfestigkeit der Dichtwand oder der Abstände der Stahlträger kann anhand einfacher Formel nach [46] erfolgen. Eine Auswertung für

einen Abstand der Stahlträger von $L_T = 3\text{ m}$ ist in Bild 11 gegeben. Eine hydraulische Druckhöhe von $H_D + h_u = 3,0\text{ m}$ kann hiernach mit einer Druckfestigkeit von $f_{ck} = 1,2\text{ MN/m}^2$ über Bogentragwirkung abgetragen werden. Weiteres hierzu ist z. B. in [48] zu finden.

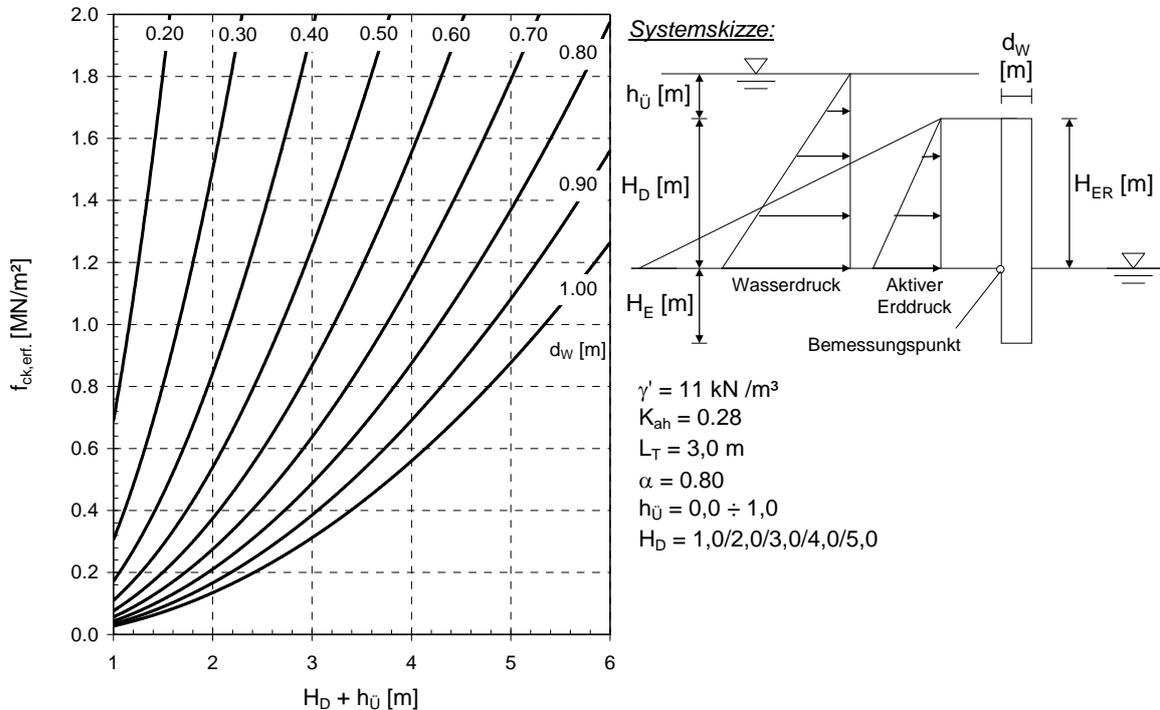


Bild 11: Erforderliche Druckfestigkeit in Abhängigkeit der Summe aus Deichhöhe und Überströmhöhe für den Grenzzustand der Belastung (nach [46] aus [47])

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 Dichtungssporns 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 (siehe [30]). Eine Anbindung an eine Untergrunddichtung kann über eine Tonplombe oder durch Überlappung erfolgen.

5.2.6 Ertüchtigung von Deichen mit 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 [6] und [31] ist die Zulässigkeit von Gehölz auf Deichen eindeutig geregelt (vgl. [12]). Durch die Auswahl der Gehölze (Art, Standort ...) und den Einsatz von bautechnischen Sicherungsmaßnahmen können Gehölze auch regelkonform direkt auf Deichen platziert werden [5] [11].

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 bzw. beurteilt werden [11].

5.2.7 Sonstige Maßnahmen und Techniken

Methoden der Bodenverbesserung (Bindemittelzugabe, Kiessäulen, ...) bieten eine ebenso große Vielfalt der Anwendung wie z. B. Geokunststoffen (siehe [32]). Im Bedarfsfall können auch Bauwerke in den Deich als Stützkonstruktionen integriert werden oder zur Erhöhung von Deichen Mauern auf die Krone aufgesetzt werden. Maßnahmen zur Verbesserung von Böden, wie z. B. die Zugabe von Bindemitteln, können die Durchlässigkeit oder die Festigkeit von Böden in gewünschter Weise verändern. Im Bedarfsfall können auch Deiche überströmungssicher ausgebildet werden, um planmäßige Überströmstrecken auszubilden oder Deiche für den Fall des Eintretens von Extremhochwassern zu sichern (siehe [33]).

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Haselsteiner, R. (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung. Dissertation, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München, Band 111
- [2] WG BY (1994): Bayerisches Wassergesetz. Juli 1994
- [3] WHG (1996): Wasserhaushaltsgesetz. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes.
- [4] StMLU BY (2002): Hochwasserschutz in Bayern – Aktionsprogramm 2020. Daten + Fakten + Ziele, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), München
- [5] DWA-M 507/2007: Deiche an Fließgewässern. Gelbdruck des Merkblatts Nr. 507, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef
- [6] DIN 19712 (1997): Flussdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [7] Haselsteiner, R. (2006): Deichertüchtigung in Bayern - Eine Übersicht. Tagungsband zur Fachtagung "Deichertüchtigung und Deichverteidigung in Bayern", Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Band Nr. 107, S. 13 - 28, 13./14. Juli 2006, Wallgau
- [8] 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>)
- [9] Schweitzer, F.; Wildner, H. (2004): Nachträgliche Abdichtung von Deichen und Dämmen in Bayern. Tiefbau 116, Heft 10, S. 619 – 624
- [10] Hahn-Weißhaupt, A., Trömel, H. P. (2003): Historischer Deichbau im Oderbruch. Wasser und Boden, 55/6, S. 15 – 18
- [11] Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2006): Deichertüchtigung unter besonderer Berücksichtigung von Gehölzen. Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen: Handbuch für Theorie und Praxis, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi, Vol. II, S. 325 – 353
- [12] 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
- [13] Garbrecht, G. (1992): Hochwasserschutz in der Historie. Wasserwirtschaft, 82. Jahrgang, Heft 7/8, S. 356 - 365
- [14] Rasp, F. (2003): Die Deichsanierung in der Praxis. Landesverbandstagung des ATV-DVWK Landesverbandes Bayern, Fürth, 22./23. Oktober 2003
- [15] Kempfler, K. F. (2003): Sanierung von Deich- und Dammbauten an Gewässern erster Ordnung in Bayern. Bayerische Verwaltungsblätter, Heft 9, S. 261 – 265
- [16] LfW BY (2003): Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- [17] Annen, G. (1971): Deiche im Emscher- und Lippegebiet. Wasserwirtschaft 5, S. 136 – 140
- [18] Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2006): Zum Freibord an Flussdeichen. Wasserbausymposium - Stauhaltungen und Speicher - Von der Tradition zur Moderne. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Heft 46/2, Band 2, S. 475 – 489
- [19] Schneider, H.; Schuler, U.; Kast, K.; Brauns, J. (1997): Bewertung der geotechnischen Sicherheit von Hochwasserschutzdeichen und Grundlagen zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen. Abteilung Erddammbau und Deponiebau, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 7
- [20] Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2007): Constraints and Methods of Refurbishment Measures of Dikes. 3rd International Symposium on Integrated Water Re-sources Management, 26. – 28. September 2006, Ruhr-University Bochum, Proceedings by Red Book Series of International Association of Hydrological Sciences (IAHS)
- [21] DWA (2005): Dichtungssysteme in Deichen. DWA-Themen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef
- [22] DIN 4020 (2003): Geotechnische Untersuchung für bautechnische Zwecke. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [23] Huwald, A.; Krüger, F. (2003): Geotechnische Erkundung des Aufbaus von Hochwasserschutzdeichen. Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special 04/03, S. 48 – 50

- [24] Hohlfeld, T.; Geiling, P.; Dörrer, T. (2004): Geophysikalisch-geotechnische Untersuchung zur Einschätzung der Baugrundverhältnisse an Hochwasserschutzdeichen. *Geotechnik* 27, Heft Nr. 4, S. 356 – 363
- [25] Meyerhoff, J.; Dehnhardt, A. (2004): Eine Nutzen-Kosten-Analyse für Rückdeichungen entlang der Elbe. *Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special* 1/04, S. 17 – 21, Weinheim
- [26] Lux, M. (2004): Auswirkungen eines ökologischen Entwicklungskonzeptes bei einer Deichrückverlegung. *Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special* 1/04, S. 45 – 46, Weinheim
- [27] Göttle, A.; Pharion, H. (2004): Flutpolder als Instrumente des modernen Hochwasserschutzes. *Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special* 4/04, S. 48 – 52, Weinheim
- [28] DIN V 4084-100 (1996): Böschungs- und Geländebruchberechnungen. Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [30] DGGT EAG-GTD (2002): Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen (EAG-GTD). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- [31] DVWK 226 (1993): Landschaftsökologische Gesichtspunkte bei Flussdeichen. *Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 226*, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- [32] Saathoff, F.; Werth, K. (2003): Geokunststoffe in Dämmen und Deichen. *Sicherung von Dämmen und Deichen: Handbuch für Theorie und Praxis*, S. 221 – 237, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi
- [33] Haselsteiner, R.; Mett, M.; Strobl, Th. (2007): Überströmungssicherung von Deichen mit Geokunststoffen. 5. Naue-Geokunststoffkolloquium, 25./26.01.2007, Bad Lauterberg
- [34] Haselsteiner, R. (2008): Maßnahmen zur Ertüchtigung von Deichen. *Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW)*,
- [35] TAW (1991): Guidelines on design of river dikes. Technical Advisory Committee for Flood Defence (TAW), Published by the Centre for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Gouda, The Netherlands
- [36] TAW (1996): Clay for Dikes. Technical Report. Technical Advisory Committee for Flood Defence (TAW), The Hydraulic Engineering Department of The Road and Hydraulic Engineering Institute (DWW), Delft, The Netherlands
- [37] TAW (1999): Grass Cover as a Dike Revetment. Technical Advisory Committee for Flood Defence (TAW), Delft, The Netherlands
- [38] USACE (2000): Design and Construction of Levees. Engineer Manual – Engineering and Design, US Army Corps of Engineers (USACE), Washington DC, 2000
- [39] USACE (2002): Startup Training Levee Rehabilitation. Snohomish County, Washington, U.S. Army Corps of Engineers, Seattle District
- [40] Marks, Dan B.; Tschantz, Bruce A. (2002): A Technical Manual on the Effects of Tree and Woody Vegetation Root Penetrations on the Safety of Earthen Dams. Marks Enterprises Of NC, PLLC, North Carolina

- [41] Müller, U. (2007): Die Hochwasserschutzkonzepte im Freistaat Sachsen – Erstellung, Priorisierung, Umsetzung. Dresdner Wasserbaukolloquium 2007 "Fünf Jahre nach der Flut", 08. bis 09. Oktober 2007, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 35, S. 55 – 64
- [42] Haselsteiner, R., Strobl, Th. (2007): Priorisierungskonzepte zur optimalen Umsetzung von Deichertüchtigungsmaßnahmen. Dresdner Wasserbaukolloquium 2007 "Fünf Jahre nach der Flut", 08. bis 09. Oktober 2007, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 35, S. 343 – 352
- [43] Fischer, M. (2008): Ungesteuerte und gesteuerte Retention entlang von Fließgewässern – Beurteilung der Wirksamkeit möglicher Maßnahmen unter Verwendung hydrodynamisch numerischer Modellierung. Dissertation. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Mitteilungsheft Nr. 119, Technische Universität München
- [44] DIN 19700 (2004): Stauanlagen. Teil 10 - 15. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [45] Weiß, H. (1997): Projektierung von Dämmen und Deichen – Deiche und Dämme für Stauhaltungen. Lehrgangsunterlagen, Technische Akademie Esslingen, Weiterbildungszentrum, Esslingen
- [46] Weißenbach, A. (1977): Baugruben. In Grundbautaschenbuch, Teil 3, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin
- [47] Haselsteiner, R.; Mett, M.; Strobl, Th. (2007): Verwendung von Geokunststoffen zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Deichen und die Wirkung von Innendichtungen bei Überströmung. Endbericht zu gleichnamigem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München (unveröffentlicht)
- [48] Dörendahl, K. (2004): Das Tragverhalten von Einphasen-Dichtwandmassen als Ausfachung von Baugrubenwänden. Bericht-Nr. 27, Bodenmechanik und Grundbau, Abteilung Bauingenieurwesen, Bergische Universität Wuppertal