

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 507-1

Deiche an Fließgewässern Teil 1: Planung, Bau und Betrieb

Dezember 2011

26.10.2024, 11:28

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.49



DGGT 
Deutsche Gesellschaft
für Geotechnik e. V.
German Geotechnical Society



DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 507-1

Deiche an Fließgewässern Teil 1: Planung, Bau und Betrieb

Dezember 2011

Gemeinsames Merkblatt
der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT),
des Deutschen TalsperrenKomitees (DTK),
der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.



Herausgeber und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Druckhaus Köthen

ISBN:

978-3-941897-76-2

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblattes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Der DWA-Fachausschuss WW-4 „Talsperren und Flusssperrern“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) hat – vor dem Hintergrund des Eindrucks der Hochwasserereignisse der vergangenen Jahre an verschiedenen Flüssen in Deutschland – beschlossen, das im Jahre 1986 veröffentlichte DVWK-Merkblatt 210 „Flussdeiche“ zu überarbeiten. Wenngleich das Merkblatt DVWK-M 210 – neben der DIN 19712 – zurzeit noch als technische Regel im Rahmen der Bearbeitung der unterschiedlichen Aspekte wie Planung, Bau und Unterhaltung von Deichen dient, war Aufgabe der eingesetzten Arbeitsgruppe, die a. a. R. d. T. zu berücksichtigen und zusammenzufassen.

Ziel war eine ganzheitliche und geschlossene Bearbeitung der umfassenden Thematik unter Einbeziehung auch kleiner Deiche. Somit konnte die Anwendung des Merkblattes nicht auf Flussdeiche beschränkt bleiben, weshalb eine Klassifizierung von Deichen nach Höhe und Schadenspotenzial eingeführt wird. Diese ist bei verschiedenen Aspekten der ingenieurtechnischen Bemessung von Bedeutung. Auf Grundlage der aktuellen Normen wurde ein geotechnisches Nachweiskonzept unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes erarbeitet. Besonderer Raum wurde dem Nachweis der inneren Erosionssicherheit von Deich und Untergrund eingeräumt. Da auch zukünftig große Anstrengungen zur Ertüchtigung bestehender Deichstrecken erforderlich sein werden, wurde diesem Aspekt ein eigener Abschnitt gewidmet. Ferner werden Hinweise zur Qualitätssicherung, Deichunterhaltung, Deichüberwachung sowie zur Deichverteidigung gegeben.

Das Merkblatt DVWK-M 210 „Flussdeiche“ wird mit Erscheinen dieses Weißdruckes zurückgezogen.

Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe WW-4.3 „Deiche an Fließgewässern“ des DWA-Fachausschusses WW-4 „Talsperren und Flusssperrern“, einem gemeinsamen Fachausschuss mit der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) sowie dem Deutschen Talsperrenkomitee (DTK) erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe WW-4.3 „Deiche an Fließgewässern“ gehören folgende Mitglieder an:

BIEBERSTEIN, Andreas	Dr.-Ing., Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Karlsruhe (Sprecher)
BIELITZ, Eckehard	Dipl.-Ing., Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna
BUSCHHÜTER, Erik	MR Dipl.-Ing., Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, vormals Staatliches Umweltamt Krefeld, Krefeld
HASELSTEINER, Ronald	Dr.-Ing., Enerjisa, Ankara, Türkei, vormals Technische Universität München, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, München
KAST, Karl	Dr.-Ing., Dr.-Ing. Karl Kast + Partner Ingenieurgesellschaft für Umwelt- und Geotechnik, Ettlingen
POHL, Reinhard	apl. Prof. Dr.-Ing. habil., Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Dresden

Als Gast hat mitgewirkt:

SCHOLZ, Rosemarie	Dr.-Ing., Planungsgesellschaft Scholz + Lewis mbH, Dresden
-------------------	--

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden
----------------	--

Die Arbeitsgruppe bedankt sich für die Anregungen und die Unterstützung des DWA-Fachausschusses WW-4 „Talsperren und Flusssperrern“. Darüber hinaus sei allen Fachleuten, Dienststellen und Behörden gedankt, die mit wertvollen Hinweisen zum Entstehen des vorliegenden Merkblattes beigetragen haben.

Karlsruhe, im September 2011

Andreas Bieberstein

Inhalt

Vorwort	.....	3
Verfasser	.....	3
Bilderverzeichnis	.....	7
Tabellenverzeichnis	.....	8
Benutzerhinweis	.....	9
Einführung	.....	9
1 Anwendungsbereich	.....	9
2 Begriffe	.....	10
3 Grundlegendes	.....	10
3.1	Notwendigkeit und Auswirkung von Deichen	10
3.2	Klassifizierung von Deichen an Fließgewässern	11
3.3	Ökologische Aspekte bei Deichen an Fließgewässern	12
3.4	Rechtsgrundlagen	12
4 Deichtrasse	.....	13
5 Hydrologische und hydraulische Bemessungsgrundlagen	.....	13
5.1	Allgemeines.....	13
5.2	Bemessungshochwasserstand	13
5.3	Freibord und Festlegung der Kronenhöhe	16
6 Deichquerschnitt	.....	17
6.1	Allgemeine Anforderungen	17
6.2	Querschnittelemente.....	19
6.2.1	Deichkrone, Bermen und Deichwege.....	19
6.2.2	Deichböschungen	20
6.2.3	Deichrampen und Viehtriften.....	20
6.3	Dichtungen	21
6.3.1	Allgemeines.....	21
6.3.2	Oberflächendichtungen	23
6.3.3	Innendichtungen.....	23
6.3.4	Dichtungsbaustoffe	24
6.4	Deichentwässerung und Wasserableitung	25
6.4.1	Dräns und Filter	25
6.4.2	Wasserableitung im Deichhinterland, Qualmpolder	26
6.5	Schutz des Deiches und des Vorlandes	27
6.5.1	Allgemeines.....	27
6.5.2	Grasnarbe	27
6.5.3	Wasserseitige Befestigungen	27
6.5.4	Überlaufstrecken.....	28
6.5.5	Gehölze.....	29
6.5.6	Wühltiere und Nutztiere	31

7	Geotechnische Untersuchungen	31
7.1	Einordnung in Geotechnische Kategorien (GK)	31
7.2	Anforderungen an den Untergrund und das Deichlager	32
7.3	Erkundung des Untergrundes und von Altdeichkörpern	33
8	Nachweise	36
8.1	Einführung	36
8.2	Hydraulische Grundlagen und Nachweise	38
8.2.1	Allgemeines	38
8.2.2	Freibord	38
8.2.3	Ermittlung der hydraulischen Einwirkungsgrößen	39
8.2.4	Nachweis der hydraulischen Filterwirksamkeit	40
8.2.5	Dimensionierung von Dräns und Dränleitungen	41
8.2.6	Oberflächenerosion auf der wasserseitigen Böschung und Strömungsdruck	41
8.3	Geotechnische Berechnungen und Nachweise	41
8.3.1	Nachweiskonzept für die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit	41
8.3.2	Allgemeine Hinweise zu den Nachweisen der Tragfähigkeit	42
8.3.3	Allgemeine Hinweise zu den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit (SLS)	42
8.3.4	Einwirkungen und Beanspruchungen	43
8.3.5	Bemessungssituationen	43
8.3.6	Zusammenstellung der Nachweise gemäß DIN 1054	44
8.4	Hinweise zur Nachweisführung: Standsicherheit	45
8.4.1	Allgemeine (globale) Standsicherheit	45
8.4.2	Lokale Standsicherheit von Böschungen	46
8.4.3	Lokale Standsicherheit am Böschungsfuß-Spreizsicherheit	47
8.4.4	Standsicherheit von Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Deichkörper aus	47
8.4.5	Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	47
8.5	Nachweise zur Sicherheit gegen Materialtransport	49
8.5.1	Formen des Materialtransportes	49
8.5.2	Vorgehensweise zu den Nachweisen der Sicherheit gegen Materialtransport	51
8.5.3	Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion (Typ A, mechanische Filterwirksamkeit)	53
8.5.4	Nachweis der Sicherheit gegen Suffosion (Typ B)	56
8.5.5	Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch (Typ C)	56
8.5.6	Hinweise zur Sicherheit gegen Fugenerosion entlang von Bauwerken und Bauteilen	58
8.5.7	Erforderliche Sicherheiten	58
8.5.8	Hinweise zur prozessorientierten Beurteilung des Materialtransportes	59
8.5.9	Anwendungshinweise	60
8.6	Hinweise zur Nachweisführung der Gebrauchstauglichkeit: Verformungen und Rissbildungen	60
9	Baustoffe, Baudurchführung und Qualitätssicherung	61
9.1	Baustoffe	61
9.1.1	Allgemeines	61
9.1.2	Anforderungen an Deichbaustoffe	61
9.2	Baudurchführung, Erdarbeiten	62
9.2.1	Allgemeines	62
9.2.2	Vorbereitende Arbeiten, Deichlager	62
9.2.3	Einbau	62
9.2.4	Verdichtung	63
9.3	Boden- und Untergrundverbesserung	64
9.4	Qualitätssicherung	65

10	Bauliche Anlagen im Deichbereich	66
10.1	Allgemeines.....	66
10.2	Bauwerke.....	66
10.2.1	Wasserwirtschaftliche Bauwerke im Deichkörper.....	66
10.2.2	Deichscharten, Deichtore und Deichüberfahrten.....	66
10.2.3	Häuser, Wände, Brücken und Sonstiges.....	67
10.3	Leitungen (Rohre und Kabel).....	67
10.3.1	Allgemeines.....	67
10.3.2	Linienführung im Grundriss.....	67
10.3.3	Sicherheitsanforderungen bei Leitungsquerungen.....	69
10.3.4	Bemessung.....	70
10.3.5	Schutzrohre.....	71
10.3.6	Durchpressungen.....	71
10.3.7	Verlegen in offener Baugrube.....	71
10.3.8	Absperrorgane und Schächte.....	72
10.3.9	Rohrwerkstoffe.....	72
10.3.10	Bauabnahme, Inbetriebnahme und laufende Kontrollen.....	72
10.4	Bohrungen, Schürfe, Brunnen.....	73
10.5	Bodenentnahmestellen.....	73
11	Maßnahmen zur Deichertüchtigung	74
11.1	Allgemeines.....	74
11.2	Rahmenbedingungen.....	75
11.2.1	Bestehender Deich (Altdeich).....	75
11.2.2	Platzverhältnisse.....	75
11.2.3	Berücksichtigung des Naturhaushaltes.....	75
11.2.4	Landschafts- und Städtebild.....	75
11.2.5	Ausführungszeit.....	75
11.3	Vorgehen bei Deichertüchtigungsmaßnahmen.....	76
11.3.1	Übersicht.....	76
11.3.2	Bewertung und Definition des Ertüchtigungsbedarfes.....	76
11.3.3	Ertüchtigungsprioritäten.....	77
11.4	Maßnahmenkatalog.....	77
11.4.1	Verlegung des Deiches.....	77
11.4.2	Verbesserung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit.....	78
11.4.3	Maßnahmen zur Erhöhung des Deiches.....	85
12	Deichunterhaltung	87
12.1	Pflege der Grasnarbe, der Böschungen und der Bepflanzung.....	87
12.2	Maschinelle Deichunterhaltung.....	88
12.3	Verwendung von Chemikalien.....	88
12.4	Beweiden.....	88
12.5	Unterhaltung der Bauwerke.....	88
12.6	Sonstige Unterhaltungsarbeiten.....	88
12.7	Bekämpfung von Wühltieren.....	89
13	Deichüberwachung	89
13.1	Allgemeines.....	89
13.2	Deichbuch.....	89
13.3	Statusbericht.....	90
13.4	Verfügbarkeit der Überwachungsunterlagen.....	90
13.5	Aufsichtsschau.....	90

14	Deichverteidigung	91
14.1	Vorbereitung	91
14.2	Deichüberwachung bei Hochwasser	91
14.3	Deichverteidigungsarbeiten	91
14.4	Deichverteidigungsmittel	92
14.5	Maßnahmen zur Eisabwehr	92
Anhang A Begriffe		93
Anhang B Abkürzungen		100
Bundesrecht		101
Technische Regeln		101
DIN-Normen		101
DWA-Regelwerk		103
Sonstige technische Regeln und Empfehlungen		103
Literatur		105

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Deiche, Fachbegriffe	10
Bild 2:	Begriffe bei Deichen an Fließgewässern	11
Bild 3:	Freibord	16
Bild 4:	Deichprofil für Sanierungen der Elbdeiche	17
Bild 5:	Deichprofil Rheindeich Nordrhein-Westfalen	18
Bild 6:	Homogener Deich	18
Bild 7:	2-Zonen-Deich	18
Bild 8:	3-Zonen-Deich	19
Bild 9:	Beispiel einer Rampenanlage	21
Bild 10:	Wasserseitige Oberflächendichtung vor Stützkörper aus durchlässigem Material und Dränkörper auf gering durchlässigem Untergrund	22
Bild 11:	Innendichtung als Bodenvermörtelung bis zum tief liegenden gering durchlässigen Untergrund	22
Bild 12:	Oberflächendichtung in Dichtungsteppich (DT) auslaufend	22
Bild 13:	Beispiel eines Qualmpolders	26
Bild 14:	Bei Hochwasser freigelegte Durchwurzelung eines Deiches infolge von Baumbewuchs	29
Bild 15:	Böschungserosion landseitig infolge von Baumbewuchs und Überströmung	29
Bild 16:	Anordnung der Aufschlüsse	34
Bild 17:	Mindestuntersuchungstiefen im Hauptaufschlussprofil	34
Bild 18:	Berechnungen und Nachweise bei Deichen	37
Bild 19:	Durchströmung eines homogenen Deiches auf gering durchlässigem Deichlager	40
Bild 20:	Kreisförmige Gleitflächen (schematisch)	42
Bild 21:	Sickerlinie in einem homogenen Deich für den Bemessungshochwasserstand	46
Bild 22:	Sickerlinie in einem homogenen Deich bei schnell fallendem Wasserspiegel	46
Bild 23:	Druckentlastung landseitig	47
Bild 24:	Belastung landseitig	48
Bild 25:	Querschnitt eines Deiches auf geschichtetem Untergrund mit möglichen inneren Erosionsformen	49
Bild 26:	Kontakterosion an einer Schichtgrenze	50

Bild 27:	Suffosion – feine Partikel bewegen sich in den Poren des aus der gröberen Kornfraktion bestehenden tragenden Kornskelettes	50
Bild 28:	Aufbruch einer Decklehmschicht mit nachfolgender rückschreitender Erosion.....	51
Bild 29:	Vorgehensweise zu den Nachweisen der Sicherheit gegen Materialtransport.....	52
Bild 30:	Kriterium nach CISTIN & ZIEMS zum Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion	53
Bild 31:	Kritisches Strömungsgefälle im Basismaterial bei aufwärts gerichteter Strömung und aufliegendem Filtermaterial	54
Bild 32:	Kritischer hydraulischer Gradient für horizontale Schichterosion bei schichtparalleler Durchströmung ...	55
Bild 33:	Definitionsskizze zum Kriterium von WELJERS & SELLMELJER (1993)	57
Bild 34:	Kriterium von WELJERS & SELLMELJER (1993) für $D_s = 10$ m und drei verschiedene Fein- bzw. Mittelsande	58
Bild 35:	Lage von Leitungen zum Deich	68
Bild 36:	Beispiel für eine Druckrohrleitung innerhalb des Deiches	69
Bild 37:	Beispiel für eine Freispiegelleitung im Deichuntergrund	70
Bild 38:	Schematische Skizze einer Deichrückverlegung	78
Bild 39:	Ertüchtigung eines Altdeiches mittels Oberflächendichtung.....	79
Bild 40:	Ertüchtigung eines Altdeiches mittels Innendichtung.....	79
Bild 41:	Abflachen der Böschungen.....	80
Bild 42:	Verbreiterung des Deiches.....	80
Bild 43:	Beispiel einer nachträglich eingebauten, vollkommenen Innendichtung	81
Bild 44:	Beispiel einer mineralischen Oberflächendichtung mit Dichtungssporn und daran angeschlossener, unvollkommener Untergrundabdichtung (Tauchwand)	82
Bild 45:	Anschüttung einer dränfähigen und filterwirksamen Berme mit Deichverteidigungsweg	83
Bild 46:	Anordnung eines Dräns bei Teilabtrag und/oder Teilneubau des Deiches.....	83
Bild 47:	Aufhöhung eines Deiches (um ΔH) durch Einbau einer landseitigen Stützwand ohne Verbreiterung des Deichlagers.....	85
Bild 48:	Aufhöhung des Deiches (um ΔH) mit Verbreiterung des Deichlagers, Abflachen der Böschungen und Einbau einer landseitigen Berme.....	86
Bild 49:	Aufhöhung eines Deiches (um ΔH) mit Integration einer Oberflächendichtung	86
Bild 50:	Aufhöhung eines Deiches durch Spundwand (wasserseitig) und darauf aufgesetzter Wand	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifizierung von Deichen an Fließgewässern nach Höhe und Schadenspotenzial.....	11
Tabelle 2:	Objektkategorien und mögliche Zuordnung von Schadenspotenzialen sowie Anhaltswerte für das Wiederkehrintervall.....	15
Tabelle 3:	Prinzipielle Einordnung von Deichen in Geotechnische Kategorien (GK) nach DIN 19712 (Entwurf)	31
Tabelle 4:	Übersicht über zu berücksichtigende Bemessungssituationen und Einwirkungen am Beispiel eines Deiches der Klasse I nach Tabelle 1	44
Tabelle 5:	Kriterium zur Filterbemessung.....	54
Tabelle 6:	Mechanische Filterwirksamkeit für bindige Böden	54
Tabelle 7:	Kritischer Kontrollgradient i_{krit}	56
Tabelle 8:	Teilsicherheitsbeiwerte γ_H zur Bestimmung der Sicherheit gegen Materialtransport (hydraulische Kriterien)	59
Tabelle 9:	Einsatz von Verdichtungsgeräten im Erdbau	64

Benutzerhinweis

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Einführung

Jeder Wasserlauf hat ein natürliches Überschwemmungsgebiet, in das sich Hochwasser ausbreiten kann. Ohne Schutzmaßnahmen würden Hochwasserereignisse dabei in dicht besiedelten Regionen meist Schäden anrichten.

Sollen Beeinträchtigungen durch Hochwasser klein gehalten werden, müssen

- Überschwemmungsgebiete weitgehend von hochwasserempfindlichen Nutzungen freigehalten,
- Hochwasserabflüsse durch Rückhaltung oberhalb verringert und/oder
- Sicherungsmaßnahmen im Überschwemmungsgebiet getroffen

werden.

Die Rückhaltung geschieht wasserwirtschaftlich besonders vorteilhaft durch Verzögerung des Abflusses im Gelände, durch Förderung der Versickerung, durch Flutungspolder, durch Hochwasserrückhaltebecken sowie durch Talsperren. Zum lokalen Schutz können Flutmulden und Entlastungskanäle errichtet werden, die einen Teil des Hochwassers vom gefährdeten Gebiet fernhalten. Diese Maßnahmen können aber nicht überall und vollständig das weitgehend schadlose Abführen von Hochwasser sicherstellen.

Eine der ältesten Methoden des technischen Hochwasserschutzes ist der Bau von Deichen, deren Schutzwirkung sich an der Schutzwürdigkeit und dem Gefahrenpotenzial im Hinterland orientiert. Aus wirtschaftlichen Gründen können sie aber in der Regel nicht so dimensioniert werden, dass ein absoluter Schutz vor dem größtmöglichen Hochwasser erreicht wird. Auch können andere öffentliche Interessen, vor allem Belange des Städtebaues, soziale Aspekte und Gesichtspunkte des

Landschaftsschutzes sowie die Schonung des Auen-Ökosystems das Sicherheitsmaß mitbestimmen. Da Deiche, wie andere technische Hochwasserschutzeinrichtungen auch, einen Teil des natürlichen Überschwemmungsgebietes vom Wasserlauf abtrennen, können sie auch nachteilige Auswirkungen haben.

1 Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt gilt für Deiche an Fließgewässern (z. B. Flussdeiche) ohne Tideeinfluss und Flutungspolder. Es behandelt nicht Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss nach DIN 19700-12, Stauhaltungsdämme nach DIN 19700-13 und Seedeiche.

Die in diesem Merkblatt gegebenen Empfehlungen – insbesondere zu den Fragen der Untergrunderosion, zu Leitungsführungen und zum Bewuchs – können auf Hochwasserschutzwände und mobile Hochwasserschutzanlagen (BWK-M6) sowie Mischformen unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen an diese Bauwerke übertragen werden.

2 Begriffe

Deiche sind zeitweilig eingestaute Dämme an Fließgewässern zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser, die meist aus Erdbaustoffen (Bodenmaterial) bestehen. Besonders an größeren Flüssen im Flachland können Ein-stauperioden von mehreren Wochen auftreten, die in ihren hydraulischen Wirkungen wie ein Dauerstau zu berücksichtigen sind. Im Unterschied zu Seedeichen ist die Wellenbeanspruchung in der Regel geringer.

Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Deichen an Fließgewässern sind dem Anhang A und den Bildern 1 und 2 zu entnehmen. Siehe auch DIN 4047-2.

Es ist zu beachten, dass Deiche keine völlig dichten Bauwerke sind, sondern je nach Situation und Bauweise landseitig mehr oder weniger Dränge- bzw. Sickerwasser anfällt (siehe Abschnitt 6). Die Nutzung des Polders sollte im Hinblick auf den begrenzten Hochwasserschutz in geeigneter Weise angepasst werden.

Deiche trennen das zu schützende Gebiet vom Gewässer und seinem Vorland ab. Wasserwirtschaftliche Nachteile können durch den Bau eines Deiches entstehen, wenn durch die Eindeichung der durchflossene Querschnitt verringert, der Abfluss beschleunigt und die Laufzeiten der Hochwasserwellen verkürzt werden. Die Veränderung der Abflussverhältnisse kann Änderungen der Feststoffbewegung und der Flussmorphologie zur Folge haben. Die infolge von Deichbauten wegfallenden Retentionsräume werden im Gewässersystem nicht mehr wirksam. Wo weite Talniederungen nicht mehr überflutet werden, kann sich die Grundwasserneubildung vermindern. Auch wird die Binnenentwässerung wegen der Veränderung der Vorflutverhältnisse unter Umständen erschwert. Diese Auswirkung wird noch dadurch verstärkt, dass die Sedimentation im nicht eingedeichten Teil des Vorlandes weiterhin stattfindet, während sie binnenseits im Polder unterbunden wird. Langfristig können also die Flussvorländer höher als die eingedeichten Polder liegen.

3 Grundlegendes

3.1 Notwendigkeit und Auswirkung von Deichen

Entsprechend ihrem Schutzgrad kehren Deiche das Hochwasser bis zu einem bestimmten Wasserstand. Damit verringern sie in den geschützten Gebieten die Schadenshäufigkeit durch Hochwasser. Allerdings wird eine Eindeichung Schäden nicht völlig ausschließen, da eine obere Grenze für den Hochwasserstand nicht zuverlässig angegeben werden kann und somit ein Restrisiko verbleibt. Nutzen-Kosten-Betrachtungen können bei der Beurteilung helfen, ob oder in welchem Umfang eine Eindeichung zweckmäßig ist.

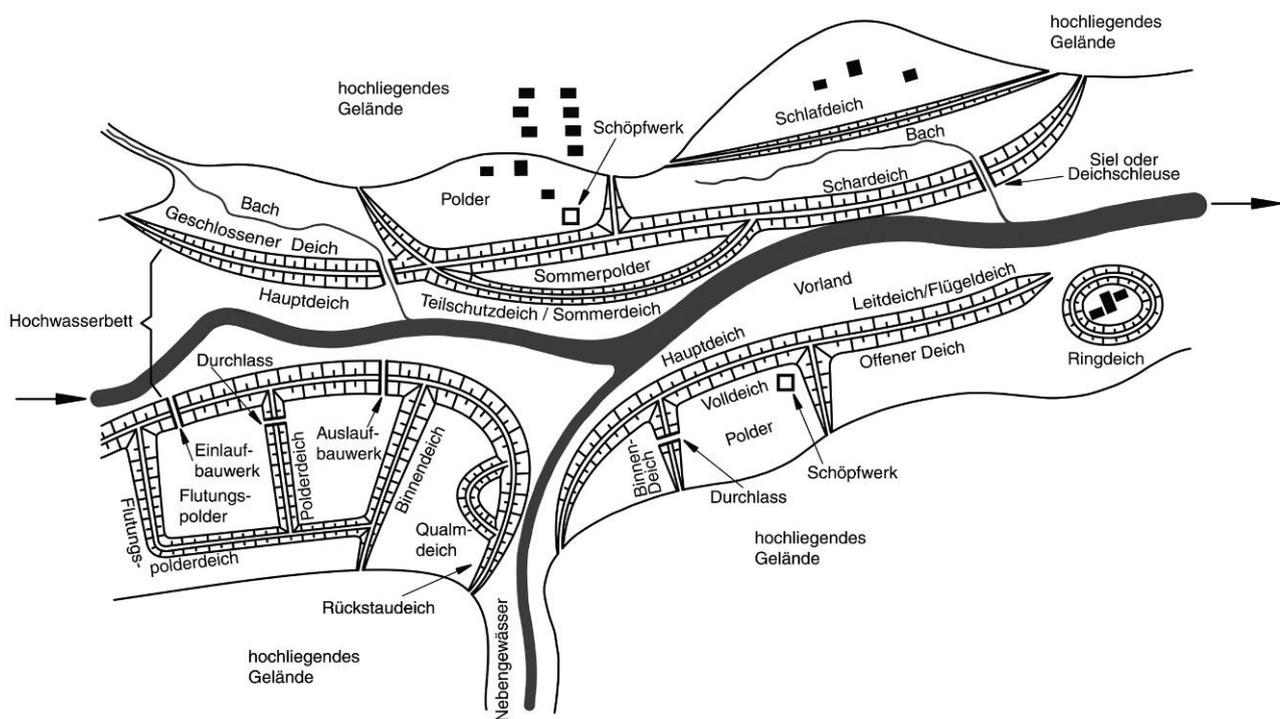


Bild 1: Deiche, Fachbegriffe

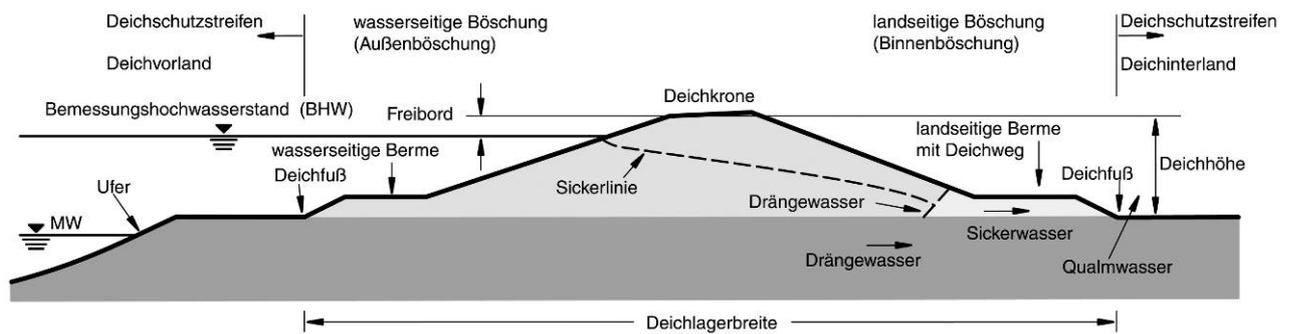


Bild 2: Begriffe bei Deichen an Fließgewässern

Ein eventueller Deichbruch lässt sich auch durch die Wahl eines höheren Bemessungshochwassers oder einen größeren Freibord nicht vollständig ausschließen. Beide Maßnahmen können aber die Versagenswahrscheinlichkeit deutlich verringern. Die im Falle eines plötzlichen Deichbruches zu erwartenden Schäden sind größer als bei einer großflächigen Überflutung ohne Deich oder einer langsamen Polderfüllung. Abhängig von der örtlichen Situation kann Letzteres unter Umständen durch die gezielte Anordnung von erosionsfesten Überlaufstrecken oder anderen Flutungsbauwerken erreicht werden.

3.2 Klassifizierung von Deichen an Fließgewässern

Insbesondere für Deiche, die den Polderraum unmittelbar vor Überflutung bei Hochwasser schützen (vgl. Bild 1), stellt die nachfolgende Einordnung von Deichen eine Orientierungshilfe für die an Deiche zu stellenden Anforderungen dar. In der Regel richtet sich die Einordnung nach dem Kriterium, welches die übergeordnete Einordnung verlangt; Tabelle 1 kann aber wegen der komplexen Entscheidungsvorgänge, die unter Einbeziehung technischer, wirtschaftlicher und gestalterischer Aspekte stattfinden, nicht als starre Regel verstanden werden. In begründeten Fällen kann bei der Zuordnung von den Vorgaben der Tabelle 2 (siehe Abschnitt 4.2) abgewichen werden.

Tabelle 1: Klassifizierung von Deichen an Fließgewässern nach Höhe und Schadenspotenzial

Deichklasse		Schadenspotenzial nach Tabelle 2		
		hoch	mittel	gering
Deichhöhe h	≥ 3 m	Klasse I	Klasse II	Klasse II
	$3 \text{ m} > h \geq 1,5$ m	Klasse I	Klasse II	Klasse III
	$1,5 \text{ m} > h > 0$ ¹⁾	Klasse I	Klasse III	Klasse III
ANMERKUNGEN				
Im Falle langer Einstaudauer und/oder bei Böschungsneigungen $1 : m = 1 : 2$ und steiler kann der Deich in eine höherwertige Klasse eingeordnet werden. Bei kurzer Einstaudauer und/oder flacher Böschungsneigung ($m > 3$) kann eine geringer wertige Einstufung erfolgen.				
1) Geringste Deichhöhe = 0 m, weil der Deich unter Umständen an höher liegendes Gelände anschließt.				

Hinweis: Bei Deichen, die keine unmittelbare Schutzfunktion im Hochwasserfall haben (z. B. Leitdeich, Schlafdeich, Binnendeich usw.) sollte eine Klassifizierung und alle daraus abzuleitenden Anforderungen im Einzelfall festgelegt werden.

Die Höhe der Deiche für die Einordnung ist definiert als vertikaler Abstand zwischen der binnenseitigen Geländehöhe am Deichfuß (im Bereich des Deichlagers) und dem höheren (wasser- oder luftseitigen) Punkt der Deichkrone. Für hydraulische und statische Nachweise sowie die Freibordbemessung sind die in den jeweiligen Berechnungsansätzen relevanten Höhen zu verwenden.

3.3 Ökologische Aspekte bei Deichen an Fließgewässern

Flussauen stellen Ökosysteme mit einer hohen Artenvielfalt dar, die durch den Wechsel des Durchflusses und des Feststofftransportes geprägt wurden und werden. Das für Flussauen kennzeichnende räumliche Nebeneinander (Zonation) und zeitliche Nacheinander (Sukzession) der Vegetation ist durch flussdynamische Prozesse (Umlagerung, Erosion, Sedimentation) immer wieder Veränderungen unterworfen. Durch das Wegfallen der regelmäßigen Überflutungen und veränderter Feststoffbewegung ergeben sich Auswirkungen auf das Ökosystem, die vor einem Deichbau untersucht werden sollten.

Zum Schutz der Deiche müssen früher frei pendelnde (mäandrierende) Flüsse oft in ihrem Lauf festgelegt werden, wodurch bettgestaltende Prozesse und die Neubildung von Lebensräumen infolge Bettverlagerung eingeschränkt werden.

Deiche sind Hochwasserschutzanlagen und dienen in dieser Eigenschaft ausschließlich dem Schutz der Bevölkerung und von Sachwerten vor Überschwemmungen. Bei der Planung, Sanierung und Unterhaltung von Deichen und deren Schutzstreifen sind deshalb vorrangig Sicherheitsanforderungen wie Standsicherheit, Deichüberwachung und Deichverteidigung zu beachten. Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes in der Flussaua sind dabei weitgehend zu mindern.

Zum Schutz der Deiche ist deren Bewuchs mit Gehölzen und Bäumen grundsätzlich zu verhindern (BAW MSD 2005, DÖSCHER & ARMBRUSTER 1999). Wenn aus ökologischen, landschaftsgestalterischen oder anderen Gründen Gehölze auf einem Deich gefordert werden, so ist deren Anpflanzung oder Belassung nur unter bestimmten Bedingungen möglich (vgl. Abschnitt 6.5.5 und DVWK-M 226/1993). Gegebenenfalls sind in diesem Zusammenhang weitere Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit sowie der Deichverteidigung des Deiches erforderlich. Erhöhte finanzielle Aufwendungen dadurch sowie

infolge einer dauerhaft erforderlichen Gehölzpflege sind in diesem Zusammenhang bei Planungen – auch unter Kosten-Nutzen-Betrachtungen – zu beachten.

Ebenfalls zum Schutz der Deiche müssen Laufverlagerungen der Fließgewässer durch Uferschutzmaßnahmen verhindert oder auf definierte Flächen begrenzt werden. Dadurch werden bettgestaltende Prozesse und die damit verbundene Neubildung von Lebensräumen eingeschränkt.

Die Umgestaltung, Ertüchtigung oder Sanierung von Deichen ist immer im Zusammenhang mit den vorhandenen Landschaften und Lebensräumen zu betrachten. Vor diesem Hintergrund ist bei der Sanierung bestehender, mit Gehölzen und/oder Bäumen bewachsener Deiche zunächst zu prüfen, ob diese erhalten werden können, ohne dass die Standsicherheit des Deiches nach Abschluss der Sanierung beeinträchtigt wird (vgl. Abschnitt 6.5.5 und Abschnitt 11). Ist dies nicht möglich, muss der bestehende Bewuchs einschließlich der Wurzelstöcke aus dem Deichkörper entfernt werden.

Die Nutzung von Deichen zur Tierhaltung ist grundsätzlich unzulässig, weil dadurch die in der Regel auf Deichen vorhandene Grasnarbe zerstört wird. Lediglich die gezielte Unterhaltung von Deichen durch Beweidung mit Schafen ist nicht nur zulässig, sondern auch vorteilhaft (vgl. Abschnitt 6.5.6 und 12.4).

Deiche sind von Wühltieren freizuhalten (vgl. Abschnitte 6.5.6 und 12.7 sowie Merkblätter DVWK-M 226/1993 und DVWK-M 247/1997).

3.4 Rechtsgrundlagen

Für Bau, Unterhaltung und Betrieb des Deiches sowie der Bauwerke, Leitungen und Anlagen in seinem Bereich sind die Wassergesetze des Bundes und der Länder sowie zugehörige Verordnungen gültig. Der Bau und die wesentliche Veränderung von Deichen setzen in der Regel ein Genehmigungsverfahren voraus (vgl. z. B. in PATT 2001). Auch der Bau von Anlagen im Deichbereich bedarf immer der öffentlich-rechtlichen Genehmigung.

Weiterhin sind z. B. die Umwelt- und Naturschutzgesetze sowie baurechtliche Vorschriften zu berücksichtigen.

4 Deichtrasse

Die Linienführung eines Deiches im Grundriss wird von den folgenden Gegebenheiten bestimmt:

- Fluss- und Talverlauf,
- hydraulische Randbedingungen,
- Untergrund,
- landschaftliche, ökologische und städtebauliche Belange,
- vorhandene Nutzungsansprüche.

Hydraulische Gründe sprechen dafür, Deiche möglichst gestreckt in Richtung des Hochwasserabflusses zu führen. Scharfe Krümmungen, plötzliche Verengungen oder Erweiterungen des Gewässerquerschnittes sind wegen der Gefahr von Wasserstandserhöhungen, Eisversetzungen, Ablagerungen und der Bildung von Querströmungen oder Wirbeln zu vermeiden. Aus letztgenanntem Grund dürfen Baum- und Strauchbewuchs sowie Bauwerke nur in genügend großem Abstand vom Deich zugelassen werden (vgl. Abschnitte 6 und 10).

Die Mindestbreite des Vorlandes ergibt sich aus dem hydraulisch erforderlichen Durchflussquerschnitt. Zum Ausgleich des wasserwirtschaftlichen und landschaftlichen Eingriffs sind möglichst breite Vorländer anzustreben. Dadurch wird auch die Beanspruchung des Deiches durch die Gewässerströmung geringer, und Uferabbrüche führen nicht unmittelbar zu Deichschäden. Die Gefahr einer Besiedelung des Deiches durch wasserliebende, grabende Tiere ist am geringsten, wenn der Deich abgesetzt vom Gewässerbett auf höheren Geländeteilen gebaut wird (vgl. hierzu Abschnitt 6.5.6). Zudem steht dort vielfach geeigneterer Untergrund an. Ein reichlich bemessenes Vorland erlaubt eine landschaftsgerechte Gestaltung.

Zur Minimierung der hydraulischen Belastung sollten sich die Deiche dem Wasserlauf bei Hochwasser und der Geländestruktur in leicht geschwungener Linienführung anpassen. Dabei sind nach Möglichkeit auch Aspekte der Landschaftsgestaltung zu berücksichtigen.

Vorhandene oder geplante Nutzungen im Überschwemmungsgebiet, aber auch erhaltenswerte Biotope können örtlich ein Abweichen von einer hydraulisch und landschaftsgestalterisch idealen Linienführung erfordern. Auentypische, insbesondere von Fließgewässern geprägte Biotopbereiche sollten soweit wie möglich in das künftige Deichvorland einbezogen werden.

Die Vorländer sind von jeder Bebauung freizuhalten, die den Abfluss behindern würde. Die Landwirtschaft sollte sie nicht zum Ackerbau, sondern nur als Grünland nutzen, das bei starken Strömungen nicht so leicht erodiert. Bei Vorhandensein eines Auenwaldes muss beachtet werden, dass der Abfluss entweder nicht behindert oder

die Abflussreduktion bei der Ermittlung des Bemessungshochwasserstandes berücksichtigt wird (vgl. Merkblatt DVWK-M 220/1991). Auch die Mitführung von Totholz und dessen möglicher Anprall an die wasserseitige Deichböschung sollte betrachtet werden.

5 Hydrologische und hydraulische Bemessungsgrundlagen

5.1 Allgemeines

Alle Hochwasserschutzeinrichtungen für einen zusammenhängenden Polder müssen hinsichtlich ihres Schutzgrades nach einer einheitlichen Konzeption dimensioniert werden. Hierfür ist die einheitliche Festlegung eines Bemessungshochwasserstandes (BHW) unter Berücksichtigung der Verhältnisse ober- und unterstrom des Polders notwendig.

Die Höhe des Deiches bzw. anderer Schutzbauwerke wird in erster Linie vom Bemessungshochwasserstand, vom Freibord, von eventuell erforderlichen Deichvorsorgehöhen (bei zu erwartender Auflandung oder Bergsenkung) sowie gegebenenfalls bautechnisch erforderlichen Überhöhungen zur Kompensation planmäßiger Setzungen der Schüttung bestimmt.

In Abhängigkeit vom gewählten Schutzbauwerk, den maßgebenden Streichlängen sowie der Flussmorphologie ergeben sich häufig differierende erforderliche Freibordhöhen. Dies führt in der Regel zu unterschiedlichen Bauwerkshöhen, weil sich die erforderlichen Freibordmaße nach der Art der Bauwerke (Deiche, Hochwasserschutzwand o. a.) richten.

5.2 Bemessungshochwasserstand

Der Bemessungshochwasserstand (BHW) ist der höchste Wasserstand, der sich aus dem Bemessungshochwasserabfluss an der betreffenden Stelle ergibt.

Die früher übliche Methode, allein den Wasserstand des höchsten bisher bekannt gewordenen Hochwassers gegebenenfalls auch mit einem Sicherheitszuschlag anzusetzen, wird nicht mehr empfohlen, weil dabei der Schutzgrad und das Restrisiko nicht erkennbar sind.

Die Wahl des **Bemessungshochwassers** ist entscheidend für die Dimensionierung eines Deiches. Mit einem besonderen Maß an Verantwortung muss eine Entscheidung getroffen werden, die wirtschaftliche, technische, ökologische und städtebauliche Gesichtspunkte berücksichtigt (LAWA 2003, DVWK-M 209/1989, MOSONYI & BUCK 1976).

Im Regelfall wird das Bemessungshochwasser als Hochwasser einer bestimmten Überschreitungswahrscheinlichkeit mit Hilfe von Abfluss- oder Niederschlagsbeobachtungen und deren Statistik ausgewählt. Man nimmt ein bestimmtes Restrisiko in Kauf, über dessen Annehmbarkeit unter Berücksichtigung der Folgen (des Schadenspotenzials) zu entscheiden ist. Grundlage der Wahl des Wiederkehrintervalls T_n des Bemessungshochwassers ist die Schutzbedürftigkeit des eingedeichten Gebietes, wobei es auf das Leben und die Gesundheit von Menschen, auf Sachwerte (Kosten) sowie die Beeinflussung von Städtebau, Landschaft und Natur ankommt. Bei dem gewählten Wiederkehrintervall T_n sollte der im weitesten Sinne verstandene Nutzen der Eindeichungsmaßnahme größer sein als ihre Kosten.

Nur in ganz besonderen Fällen (Sonderobjekte mit außergewöhnlichen Konsequenzen im Hochwasserfall) wird man einen Deich auf einen außergewöhnlich hohen Schutzgrad ausbauen. Dem käme man mit der Ermittlung des „vermutlich größten Hochwassers“ (englisch: Probable Maximum Flood – PMF) nahe.

Über den Ablauf eines Entscheidungsprozesses, der auf der Erfassung der Maßnahmenwirkungen verschiedener Lösungen und deren Beurteilung mittels Nutzen-Kosten-Untersuchungen basiert, gibt es ausführliche Merkblätter und Schriften, auf die verwiesen wird (LAWA 1979, LAWA 1981, DVWK-Mitteilung 10/1985, DVWK-M 204/1984, LTV Sachsen 2003).

Zur Vereinfachung der Wahl des Bemessungshochwassers sind Schutzziele durch Zuordnung des Wiederkehrintervalls der Überflutung zu bestimmten Objektkategorien formuliert worden (z. B. DVWK-M 202/1991, LTV Sachsen 2003, BWV et al. 1997). In Tabelle 2 sind diese Anhaltswerte berücksichtigt worden und können zur Orientierung für die Wahl des Schutzzieles dienen. In der Praxis kann unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen von diesen Anhaltswerten abgewichen werden.

Als Hilfestellung für das Erkennen einer Schutzbedürftigkeit durch Deiche können auch Gefahrenkarten herangezogen werden, in denen für raumplanerische Belange die Hochwassergefährdungen in Abhängigkeit von deren zu erwartender Häufigkeit und Intensität verschiedenfarbig dargestellt werden (LTV Sachsen 2003, BWV et al. 1997). Auch bei diesem Vorgehen muss sowohl der Wert der zu schützenden materiellen und immateriellen Güter betrachtet werden als auch die Gefahr, die von einem Hochwasser ausgeht. Ein Gewässer mit sehr großer Abflussfülle und langer Hochwasserdauer ist hierbei anders zu beurteilen als ein Gewässer mit kleiner Abflussfülle und mit schnell ablaufendem Spitzenabfluss, bei dem es gegebenenfalls noch nicht zur Ausbildung der stationären Sickerlinie im Deich kommt.

Mit dem Fortschreiben der Durchflussmessungen und der daraus resultierenden Verlängerung der Jahresreihen können sich für einen Durchflusswert veränderliche Wiederkehrintervalle ergeben. Deshalb kann es im Einzelfall auch sinnvoll sein, das Schutzziel anhand eines Bemessungshochwasserabflusses zu definieren, und das Wiederkehrintervall in größeren Zeitabständen einer Überprüfung zu unterziehen.

Bei der Festlegung des Wiederkehrintervalls und der Ermittlung der Abflüsse sind die voraussehbaren Änderungen im betrachteten Überschwemmungsgebiet sowie im Einzugsgebiet des Flusses zu berücksichtigen (z. B. Versiegelung, Klimaänderung). Weiterhin ist für die Umrechnung der Hochwasserstände in Scheiteldurchflüsse eine eventuelle Änderung von Pegelschlüsselkurven zu berücksichtigen.

Für die Deichplanung ist von großer Bedeutung, welche Auswirkungen **ein über den Bemessungswert hinausgehender Abfluss** hat. Der Frage ist bei der Wahl des Bemessungshochwassers nachzugehen. Wird das geschützte Hinterland dann lediglich von ober- oder unterstrom der Deichstrecke überflutet, sind Schadensablauf und -ausmaß für die Risikobetrachtung überschaubar (vor allem wenn entsprechend bestehender Notfallpläne vorgewarnt und evakuiert werden kann). Das kann auch für Deiche mit geringer Schutzfunktion gelten, deren Hinterland zwar nicht allmählich kontrolliert überschwemmt wird, aber so unbedeutend genutzt wird, dass ein Deichbruch als Folge einer Überströmung hingenommen werden kann.

Eine Überströmung des Deiches birgt große Gefahren, da die bei einem Deichbruch frei werdenden Wassermassen im Hinterland katastrophale Schäden anrichten können. Daher sollte der Polderraum bei Überschreiten der Bemessungsgrenze allmählich gefüllt werden, um somit den unkontrollierten Bruch zu vermeiden. Hierzu bietet sich die gezielte Anordnung von erosionsstabilen Überlaufstrecken (vgl. auch Abschnitt 6.5.4) oder anderen Flutungsbauwerken an. Um diese Auswirkungen im Polderraum zu begrenzen, kann dieser durch Kammern (Binnendeiche) planmäßig unterteilt werden. Dabei ist für entsprechende Abflussmöglichkeiten zu sorgen, um die Ausbreitung des Wassers im Hinterland nach Unterstrom zu verhindern. Ein derartiges Vorgehen reduziert die Schäden im Polderraum im Vergleich zum unplanmäßigen Bruch erheblich.

Für die hydraulische Berechnung des **Bemessungshochwasserstandes** aus den vorgegebenen Abflüssen sind verschiedene Gesichtspunkte zu beachten. Betrachtungen zu Veränderungen des Wasserspiegels durch Windeinfluss sind Bestandteile der Freibordbemessung (vgl. Abschnitt 8.2.2) und werden hier nicht berücksichtigt, wohl aber örtliche Besonderheiten, wie z. B.:

- Änderungen des Abflussquerschnittes,
- Querneigung in Flusskrümmungen,
- Rückstau,
- Einfluss von Eis,
- Bewuchs im Abflussquerschnitt sowie
- stehende Wellen bei schießendem Abfluss (Kreuzwellen), die bei Störungen des Abflusses (Änderung der Fließrichtung, Einbauten, Untiefen o. Ä.) entstehen.

Änderung des Abflussquerschnittes

Beim Ausbau eines Wasserlaufes ist die mögliche Änderung des Hochwasserstandes in bedachten Querschnitten oder oberhalb davon zu berücksichtigen. Auch die Querschnitte eines ausgebauten Wasserlaufes können sich verändern, z. B. durch Anlandungen in Bühnenfeldern, durch Auflandung und Verwachsung oder Abgrabungen der Vorländer oder durch zusätzliche Eindeichungen. Bei größeren Abweichungen von den bisherigen Verhältnissen sind die Wasserspiegellagen neu zu ermitteln. Infolge der gegenüber dem Gewässerbett im Allgemeinen geringeren Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft über dem Vorland, verbunden mit der Schwebstofffiltration von Pflanzen, lagern sich dort Schlick und andere Sinkstoffe vermehrt ab. Die hierdurch langfristig entstehenden Aufhöhungen können auch stark verwachsen und den Hochwasserstand anheben. Die Vorlandhöhen müssen daher in größeren Zeitabständen überprüft werden. Unter Umständen sind Verwachsungen oder Vorlandaufhöhungen zu beseitigen, damit die Deiche nicht überströmt werden. Sollen natürlich gewachsene wertvolle Lebensräume im Vorland erhalten werden, müssen Auflandungen und Bewuchs im hydraulischen Nachweis berücksichtigt und erforderlichenfalls höhere Deiche angeordnet werden.

Tabelle 2: Objektkategorien und mögliche Zuordnung von Schadenspotenzialen sowie Anhaltswerte für das Wiederkehrintervall

Objektkategorie	Schadenspotenzial	Anhaltswerte für das maßgebende mittlere statistische Wiederkehrintervall T_n in Jahren ¹⁾
Sonderobjekte mit außergewöhnlichen Konsequenzen im Hochwasserfall	hoch	im Einzelfall zu bestimmen ²⁾
Geschlossene Siedlungen	hoch	ca. 100 ²⁾
Industrieanlagen	hoch	ca. 100 ²⁾
Überregionale Infrastrukturanlagen	hoch	ca. 50 bis 100
Einzelgebäude, nicht dauerhaft bewohnte Siedlungen	mittel	ca. 25
Regionale Infrastrukturanlagen	mittel	ca. 25
Landwirtschaftlich genutzte Flächen ³⁾	gering	bis 5
Naturlandschaften	gering	–
ANMERKUNGEN		
1) Die jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit entspricht dem reziproken Wert des Wiederkehrintervalls.		
2) In der Praxis sind auch Wiederkehrintervalle von 500 Jahren begründbar und bereits umgesetzt worden.		
3) In der Regel ist eine der Situation angepasste Landwirtschaft zu betreiben.		

Einfluss von Flusskrümmungen

In Flusskrümmungen treten Querneigungen des Wasserspiegels auf. Diese können gemessen oder errechnet werden (z. B. NAUDASCHER 1992) und mehrere Dezimeter betragen.

Rückstau

An plötzlichen Erweiterungen oder Einengungen des Fließquerschnittes und Einbauten (z. B. Brückenpfeiler) treten örtliche hydraulische Verluste auf, die bei strömendem Abfluss einen Rückstau nach Oberwasser bewirken können. Dieser ist bei der Ermittlung des Bemessungswasserstandes in der Regel als mit einem Beiwert versehene Geschwindigkeitshöhe zu berücksichtigen.

Einfluss von Eis

Die Wasserspiegelanhebung durch Eisstau ist im Gegensatz zur Wasserspiegelanhebung durch Eisstand (geschlossene Eisdecke) nicht ohne Weiteres abschätzbar. Der Überströmungsgefahr infolge Eisstau wird deshalb häufig nicht durch Erhöhung des Bemessungswasserstandes, sondern nur durch Maßnahmen der Deichverteidigung begegnet.

Aufgrund der beschriebenen Komplexität der Veränderungen beim Deichbau, Deichumbau oder Deichrückbau sollten die Strömungsverhältnisse bei allen maßgebenden Wasserständen vor bzw. nach der Maßnahme mit Hilfe numerischer oder physikalischer hydraulischer Modelle untersucht werden (vgl. DVWK-M 220/1991, BWK-M1).

5.3 Freibord und Festlegung der Kronenhöhe

Der Freibord ist der vertikale Abstand zwischen der Deichkrone auf der Wasserseite und dem Bemessungshochwasserstand, welcher durch das Schutzziel bestimmt wird.

Der Freibord ist ein Maß für die Gewährleistung der Bauwerkssicherheit gegenüber Versagen infolge Deichüberströmung. Er setzt sich aus Windstau, Wellenauflauf und zusätzlichen Kronenerhöhungen zusammen (Bild 3).

Als zusätzliche Kronenerhöhungen gelten auch Ausführungstoleranzen sowie Erhöhungen aus konstruktiven Dichtungüberdeckungen (z. B. Oberboden, Wegaufbau).

Auch bereichsweise zu erwartende Setzungen des Deichkörpers werden durch zusätzliche Kronenerhöhungen berücksichtigt.

In Bergsenkungsgebieten und Auflandungsstrecken von Flüssen können sich Höhenlagen ändern. Auch diese Anteile, die sich aus den prognostizierten Höhenänderungen ergeben (DIN 19712), sind als zusätzliche Kronenerhöhung (Vorsorgehöhen) einzuplanen. Hierbei sind auch Veränderungen des Bemessungshochwasserstandes (z. B. aus zu erwartenden Senkungen bzw. aus voraussichtlichen Auflandungsmaßen) zu berücksichtigen.

Auch der so vergrößerte Freibord bietet jedoch keine absolute Sicherheit gegen Überströmung.

Die Bestimmung der rechnerisch erforderlichen Freibordhöhe kann nach Abschnitt 8.2.2 erfolgen.

Bei der Festlegung der Kronenhöhe werden neben der sich aus der Addition von Bemessungshochwasserstand und rechnerisch erforderlicher Freibordhöhe ergebenden Kronenhöhe in der Regel auch weitere Gesichtspunkte wie der Mindestfreibord (vgl. Abschnitt 8.2.2), benachbarte und gegenüberliegende Deichkronenlagen sowie das Schutzziel und das Restrisiko zu berücksichtigen sein.

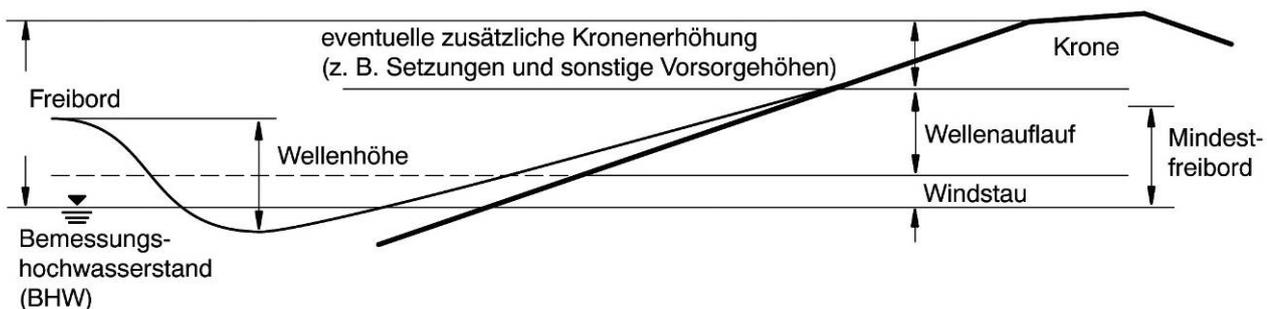


Bild 3: Freibord

6 Deichquerschnitt

6.1 Allgemeine Anforderungen

Die Form eines Deiches wird bestimmt durch die Neigung seiner Böschungen, die Anordnung von Bermen und die Breite der Krone. Die Querschnittsgestaltung richtet sich vor allem nach den Beanspruchungen, denen der Deich je nach seiner Lage, seinem Zweck und seiner Höhe ausgesetzt ist, nach dem Deichbaumaterial und den Untergrundverhältnissen.

Ein Deich muss so ausgebildet werden, dass er für alle in Betracht kommenden Belastungsfälle auf dem Untergrund und im Querschnitt standsicher ist (siehe Abschnitt 8). Dabei ist grundsätzlich davon auszugehen, dass eine gewisse Durchsickerung und Durchströmung auftritt. Sickerströmungen beeinflussen die Standsicherheit. Die schadlose Abführung des anfallenden Sicker- und Drängewassers ist zu gewährleisten.

Erosionserscheinungen infolge des Austretens von Wasser aus dem Deich und dem deichnahen Hinterland müssen verhindert werden.

Dies kann sowohl mit einem homogenen Deich aus geeignetem Material und ausreichend flachen Böschungen als auch dadurch, dass Material geringerer Durchlässigkeit auf der Wasserseite und solches größerer Durchlässigkeit landseitig davon eingebaut wird, erreicht werden.

Einfluss auf die Formgebung haben auch Gesichtspunkte der Deichunterhaltung, der Deichverteidigung sowie der landschaftlichen Einbindung und des Städtebaues.

Wenn Deiche auch Fremdnutzungen (z. B. befestigte Radwege auf der Deichkrone) dienen, muss dies bei der Querschnittsgestaltung berücksichtigt werden. Hierbei sind auch die erforderlichen Zu- und Abgänge zum Deichkörper mit einzubeziehen.

In einigen Bundesländern haben sich den regionalen Anforderungen entsprechende Deichprofile besonders im Zusammenhang mit Deichsanierungen bewährt. Beispiele hierfür sind im Folgenden (siehe Bild 4 und Bild 5) angegeben.

Allgemeingültige Regelprofile für Deiche können aufgrund der verschiedenen örtlichen Gegebenheiten nicht angegeben werden. Grundsätzlich kann zwischen homogenen und zonierten (gegliederten) Deichquerschnitten unterschieden werden. Die im Folgenden beschriebenen typischen Bauweisen stellen eine Auswahl aus den in der Praxis möglichen dar und werden deshalb an die Bedingungen des jeweiligen Falles anzupassen sein.

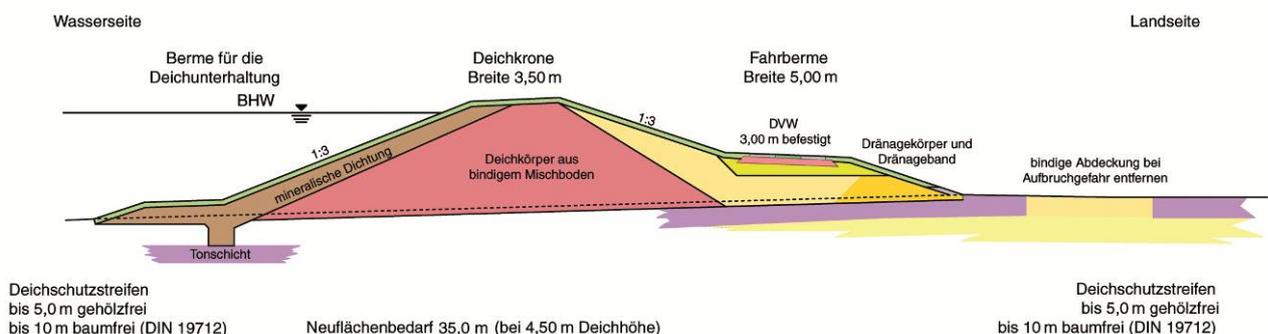


Bild 4: Deichprofil für Sanierungen der Elbdeiche (Quelle: LHW Sachsen-Anhalt)

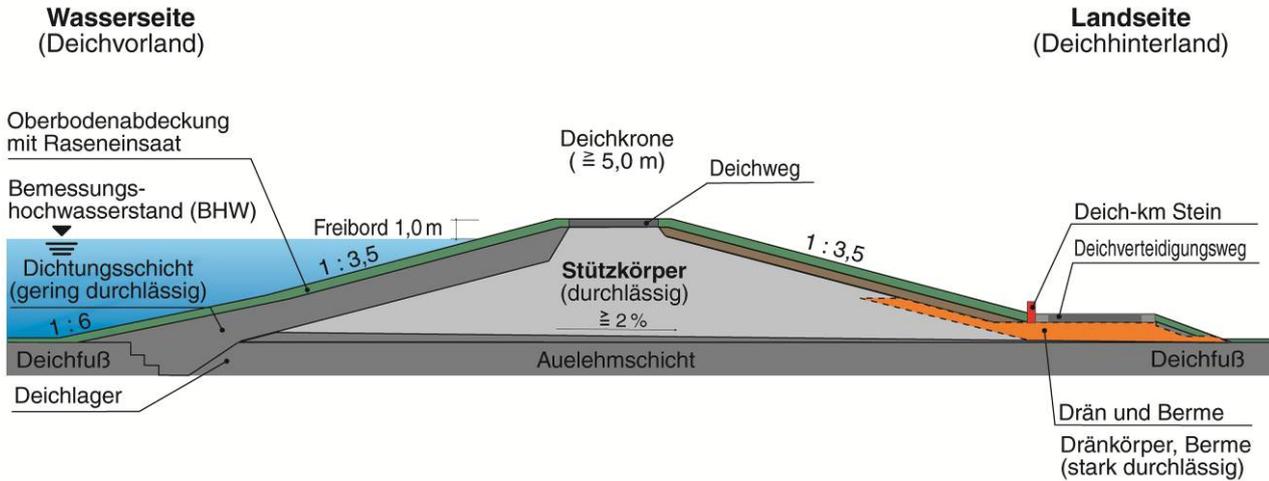


Bild 5: Deichprofil Rheindeich Nordrhein-Westfalen (Quelle: StUA Krefeld)

Homogener Deich (Bild 6)

Der Querschnitt des Deiches besteht nur aus dem Stützkörper (St), welcher die Dichtungsfunktion übernimmt und unmittelbar an den Untergrund (U) grenzt. Neben dem landseitigen Böschungsfuß ist der Deichverteidigungsweg (DVW) vorzusehen. Die Sickerwasserableitung ist sicherzustellen.

Dieser Querschnitt ist vorzugsweise für Deiche der Klasse III nach Tabelle 1 und kurze Einstaudauer zu empfehlen.

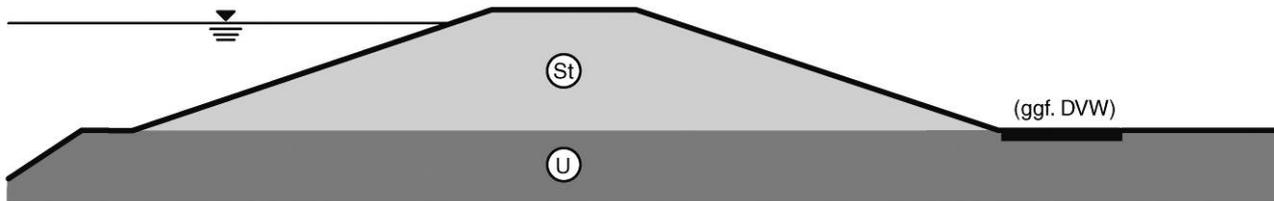


Bild 6: Homogener Deich

2-Zonen-Deich (Bild 7)

Der Querschnitt des Deiches besteht aus dem dichtenden Stützkörper (St) und dem landseitig angeordneten stark durchlässigen Dränkörper (Dr). Beide Zonen grenzen unmittelbar an den Untergrund (U). Dieser Querschnitt ist für Deiche der Klasse I und II nach Tabelle 1 sowie für kurze und lange Einstaudauer zu empfehlen.

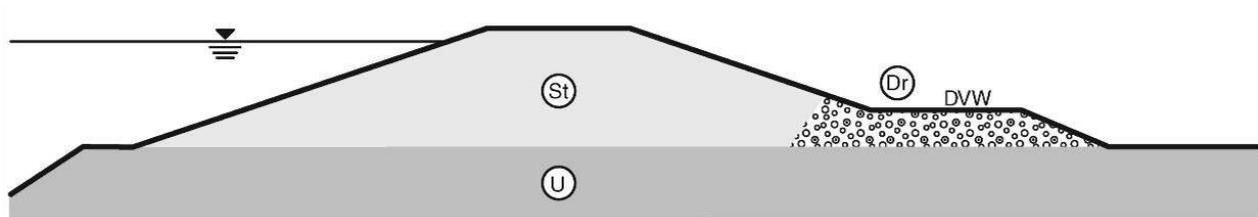


Bild 7: 2-Zonen-Deich

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

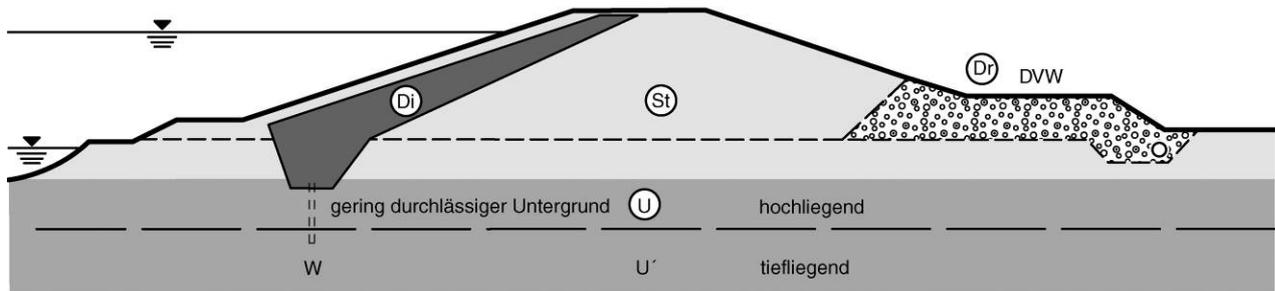


Bild 8: 3-Zonen-Deich

3-Zonen-Deich (Bild 8)

Der Querschnitt besteht aus dem Stützkörper (St), dem landseitig angeordneten stark durchlässigen Dränkörper (Dr) und einer Dichtung (Di), die möglichst an den gering durchlässigen Untergrund (U) anschließt. Gegebenenfalls kann dies auch mittels einer Untergrundabdichtung (W) erfolgen, wenn der gering durchlässige Untergrund (U') tiefer ansteht.

6.2 Querschnittselemente

6.2.1 Deichkrone, Bermen und Deichwege

Die Deichkrone sollte im Allgemeinen mindestens 3 m breit sein. Bei Deichen der Klasse III nach Tabelle 1 kann die Kronenbreite auf 2 m eingeschränkt werden. Sie muss zur guten Entwässerung schwach gewölbt oder zur Wasserseite hin geneigt (Quergefälle $\geq 2\%$) und bei Deichen der Klasse I zur Überwachung und Unterhaltung befahrbar sein.

Bermen erleichtern die Unterhaltung und können die Standsicherheit erhöhen. Der Deichfuß an der Wasserseite soll bei Mittelwasser (MW) wasserfrei zugänglich sein. Bei tief liegendem Deichfuß kann dazu eine mindestens 50 cm über MW liegende wasserseitige Berme angelegt werden. An der Landseite können den Bedürfnissen entsprechend weitere Bermen angeordnet werden. Die Breite dieser Bermen richtet sich danach, ob die Berme befahren (Fahrberme) oder nur begangen werden soll (Gehberme). Eine Gehberme sollte mindestens 1 m, eine Fahrberme mindestens 3 m breit sein.

Zur Deichüberwachung und -verteidigung sollten Schutzstreifen von 5 m Breite an den land- und wasserseitigen Böschungsfüßen vorhanden sein, die von Gehölzbewuchs, Gebäudebebauung sowie ackerbaulicher Nutzung freizuhalten sind.

Bei Deichen der **Klasse I** nach Tabelle 1 müssen unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse zur Deichverteidigung Wege (Zufahrten) vorgesehen werden, die auch für schwere Fahrzeuge (z. B. nach Arbeitsblatt DWA-A 904 S. 11: Fahrzeuge mit 3 oder mehr Achsen) befahrbar sind. Die konstruktive Durchbildung der Deichverteidigungsweges kann für hohe Beanspruchungen unter Berücksichtigung der Untergrundverhältnisse in Anlehnung an DWA-A 904 erfolgen. Auch bei Deichen der **Klassen II und III** sollte die Möglichkeit der Anlage eines solchen Deichverteidigungsweges in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und Erfordernissen geprüft werden. Die Deichkrone sollte nur im Ausnahmefall zur Anlage eines solchen Weges genutzt werden, weil die Fahrsicherheit hier bei Nacht, Sturm, Nebel, Schnee und Eis sowie Hochwasser stark beeinträchtigt ist. Der Deichverteidigungsweg sollte vielmehr im Interesse eines sicheren und schnellen Transportes am landseitigen Deichfuß (Deichhinterweg) oder auf landseitiger Berme angeordnet werden. Die Befahrbarkeit muss auch bei möglichen landseitigen Wasserständen zuverlässig gewährleistet werden.

Als Befestigung bieten sich je nach Belastung des Weges beispielsweise hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT), Schottertragschicht, Verbundpflaster, Spurplatten, Beton oder Asphalt an.

Die befestigte Breite der Wege bei Richtungsverkehr muss mindestens 3 m betragen. Wenn kein Ringverkehr möglich ist, sind Wendeplätze erforderlich. Die Wege sollten dann möglichst eine befestigte Breite von 5 m haben oder Ausweichstellen (mind. 25 m Länge) im Abstand von etwa 400 m. Lagermöglichkeiten für Deichverteidigungsmaterial sind vorzusehen.

Wird die Krone ausnahmsweise als Deichverteidigungsweg ausgebaut, so sollte bei Deichen der Klasse I zur Deichüberwachung trotzdem am Deichfuß ein begehbare, mindestens 2 m breiter Streifen angeordnet werden.

Wird eine befestigte Fahrbahn auf der Deichkrone angelegt, so muss konstruktiv sichergestellt werden, dass ihr (frostsicherer) Unterbau die Wirksamkeit der Dichtung des Deiches nicht vermindert oder gar aufhebt (vgl. Abschnitt 6.3.1). Die Fahrbahnbreite sollte so gewählt werden, dass noch eine ausreichende Randstreifenbreite vorhanden ist. Durch die Anordnung von Borden kann die Fahrbahn gegebenenfalls so abgegrenzt werden, dass weder die Randstreifen noch die Deichböschungen befahren werden. Die Borden müssen jedoch so angeordnet und konstruktiv ausgebildet sein, dass sie selbst im Falle der Deichüberströmung möglichst keine erosionsfördernden Hindernisse bilden.

Eine einwandfreie Entwässerung der Fahrbahn ist unerlässlich (Quergefälle $> 2\%$).

Auch an Längswegen auf landseitigen Bermen kann die feste Fahrbahn gegen den Deich durch einen Bord abgegrenzt werden, um ein Befahren und damit Beschädigen des Deiches zu verhindern. Die Berme muss ein vom Deich abweisendes Quergefälle erhalten. Im Übrigen gilt entsprechendes wie für die Deichkrone.

6.2.2 Deichböschungen

Für die Wahl der Böschungsneigung sind hauptsächlich Gesichtspunkte der Standsicherheit (Abschnitt 8), der Unterhaltung und der Landschaftsgestaltung maßgebend. Die Planung des Deichquerschnittes muss bereits die spätere Unterhaltung berücksichtigen und sollte dafür möglichst großräumige natürliche und maschinelle Arbeitsweisen (Beweidung, Mahd) ermöglichen. Eine Neigung von $1 : 3$ für Wasser- und Landseite hat sich dafür als geeignet erwiesen.

Böschungen, die $1 : 3$ oder flacher geneigt sind, bieten nur geringe Angriffsmöglichkeiten für aufschlagende, durch Strömung und Wind verursachte Wellen. Besonders an Flussstrecken mit starkem Wellengang oder bei Polderdeichen sind solche Belastungsgrößen zu beachten.

Überprofilierungen (flachere und wechselnde Böschungsneigung, Anlage von geschwungenen Bermen, Verstärkung des Deichkörpers für Fremdnutzungen, wie z. B. Bepflanzung) bieten meist auch den Vorteil einer landschaftsgerechten Gestaltung ohne Sicherheitsbeeinträchtigung. Grundsätzlich haben aber die Belange der Deichsicherheit Vorrang vor Gesichtspunkten der Gestaltung.

6.2.3 Deichrampen und Viehtriften

Deichrampen dienen dem Verkehr zwischen der eingedeichten Niederung und dem Vorland sowie dem Befahren der Krone. Ihre Zahl ist auf ein Mindestmaß zu beschränken. Die Neigung sollte nicht steiler als $1 : 10$, besser $1 : 15$ sein.

Wasserseitig sollten Rampen nur an Stellen mit geringer Belastung aus Strömung und Wellenschlag angelegt werden, möglichst in Strömungsrichtung fallen und keinesfalls senkrecht zur Flussachse, sondern parallel zum Deich (Parallelrampen) verlaufen, damit sie den Abfluss nicht behindern und keinen Anlass zur Kolkung geben (vgl. Bild 9). Bei schmalem Vorland sollten sie sich auf beiden Flusseiten nicht gegenüberliegen. Die Parallelrampen dürfen nicht in den statisch erforderlichen Deichquerschnitt einschneiden. Ihre Böschungen erhalten die gleiche Neigung wie die Deichböschungen. Die Rampenbreite richtet sich nach der Bedeutung des Weges, bei Anschluss an einen Fahrweg nach dessen Breite. Ist die Rampe nicht an einen Fahrweg angeschlossen und wird sie dementsprechend nur gelegentlich von landwirtschaftlichen Fahrzeugen benutzt, sollte sie dennoch mindestens 4 m breit angelegt und 3 m breit befestigt werden.

Die Befestigung ist ausreichend weit über den Deichfuß hinauszuführen und am Abschluss sicher einzufassen. Sie sollte 2% bis 3% Neigung vom Deichkörper weg haben und mit einem Bord gegen ihn begrenzt werden.

An Stellen, an denen der Deich durch täglichen Viehtrieb überquert werden muss und an denen hierzu keine Rampen zur Verfügung stehen, sind Viehtriften einzurichten. Diese sind prinzipiell analog den Rampen zu gestalten und zu befestigen. Zweckmäßig ist die Kennzeichnung mit Leitzäunen. Für die Viehtriften können Böschungsverflachungen angeordnet werden, die wasserseitig stetig in das Normalprofil überführt werden müssen. Sie dürfen einerseits nicht zu steil sein, um vom Vieh angenommen zu werden, andererseits aber auch den Fließquerschnitt nicht zu stark einengen; eine Neigung von $1 : 5$ hat sich bewährt.

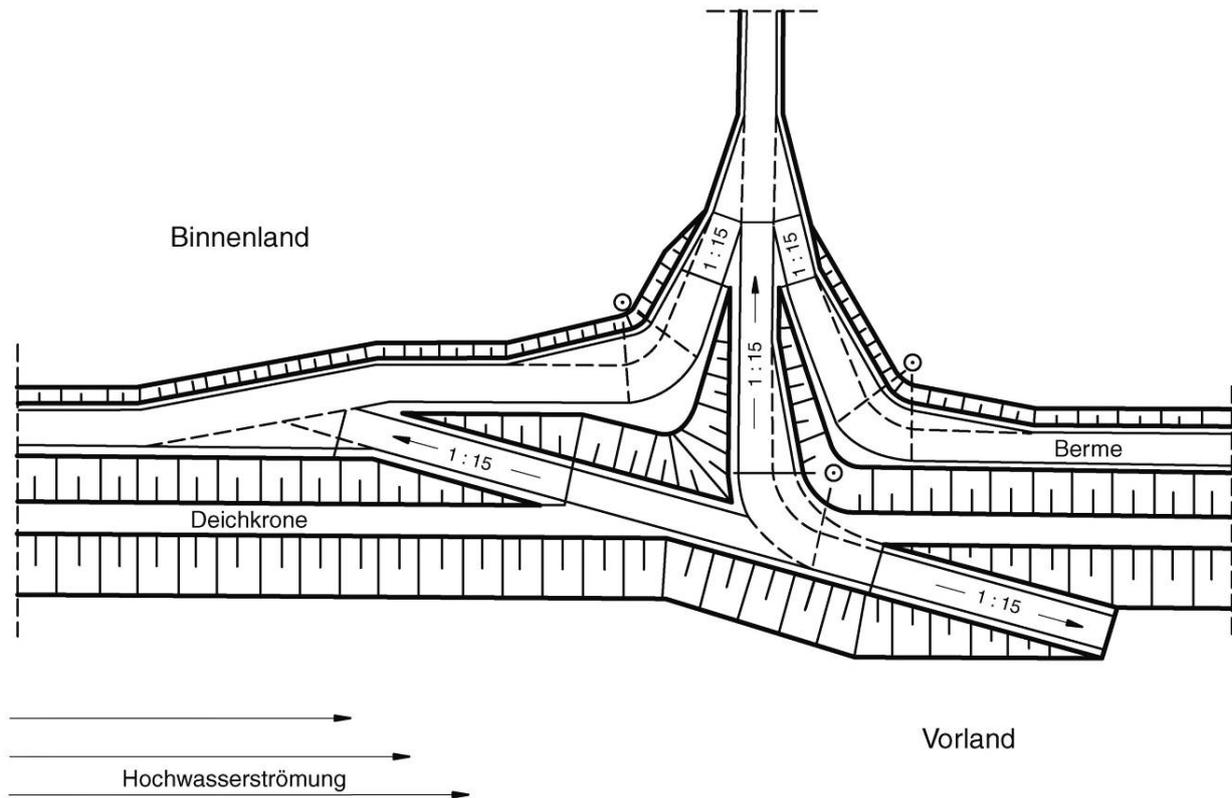


Bild 9: Beispiel einer Rampenanlage

6.3 Dichtungen

6.3.1 Allgemeines

Dichtungen in Deichen vermindern Sickerwasseranfall und damit die Strömungsbelastung des hinter der Dichtung liegenden Deichkörpers. Sie erhöhen damit gleichzeitig die Standsicherheit des Deiches. Neben der Reduzierung des Durchflusses wird der hydraulische Gradient nach Betrag und Richtung verändert. Dabei können lokal auch sehr große hydraulische Gradienten auftreten (z. B. Spundwandfuß). Dies kann durch den Verlauf der Strom- und Potenziellinien (hydrodynamisches Netz) veranschaulicht werden (DWA-Themen 2005).

Für die Dimensionierung der Dichtung und für die Querschnittsgestaltung des Deiches ist unter anderem die Begrenzung der Durchströmung maßgebend.

Neben der Begrenzung der Durchlässigkeit des Deiches sind an Dichtungssysteme weitere wesentliche Anforderungen zu stellen, die sich auf eine Sicherstellung der

- Erosionsstabilität,
- Suffosionssicherheit,
- Alterungsbeständigkeit und Langzeitbeständigkeit sowie der

- Witterungsbeständigkeit (Hitze, Frost, UV-Strahlung, Niederschlag)

beziehen.

Bei Dichtungen muss gewährleistet sein, dass sich kleine Fehlstellen oder Leckagen bei Durchströmung nicht aufweiten. Deshalb ist die Erosionsstabilität durch die Materialeigenschaften der Dichtung oder durch den Aufbau des Dichtungssystems (Dichtung mit filterwirksamen Bodenschichten oder geotextilem Filter) zu gewährleisten. Bei hydraulisch gebundenen Dichtungen kann ab einer Mindestfestigkeit im einaxialen Druckversuch von $q_u = 0,3 \text{ MPa}$ von einer ausreichenden Erosionsstabilität ausgegangen werden (DVWK-M 215/1990, vgl. Abschnitt 8.5).

Weitere relevante Anforderungen können sich ergeben hinsichtlich der

- Beständigkeit gegen mechanische Einwirkungen (z. B. Treibgut, Wellen, usw.),
- Beständigkeit gegen chemische und biologische Einwirkungen (z. B. Mikroorganismen, Wühltiere, Durchwurzelung),

- Verformbarkeit (ohne Beeinträchtigung der Materialeigenschaften) sowie der
- Festigkeit.

Zur Abdichtung kann der Deich ganz oder teilweise aus gering durchlässigen Böden erstellt werden oder eine gesonderte Dichtung erhalten. Je nach Lage der Dichtung im Querschnitt wird zwischen Oberflächendichtung (Außendichtung, Böschungsdichtung nach Bild 10) oder Innendichtung (z. B. Kerndichtung nach Bild 11) unterschieden (DIN 4048).

Zu prüfen ist, ob die Dichtung an eine gering durchlässige Untergrundsicht angeschlossen werden kann (vollkommene Dichtung, vgl. auch HASELSTEINER (2007) und Abschnitt 11.4.2). Liegt diese Schicht besonders tief, kann sie durch eine tief reichende Dichtung erreicht werden, z. B. durch eine Dichtwand (Bild 11). Hierbei ist der Einfluss auf die Grundwasserströmung und auf den Austausch zwischen Gewässer und Grundwasser (Infiltration, Exfiltration) und damit auf etwaige Polderwasserstände zu beachten.

Wenn ein Anschluss an eine tief liegende, gering durchlässige Schicht aus technischen oder wasserwirtschaftlichen Gründen nicht erforderlich oder möglich ist, kann die Oberflächendichtung zu einem Dichtungsteppich verlängert werden (unvollkommene Dichtung, Bild 12).

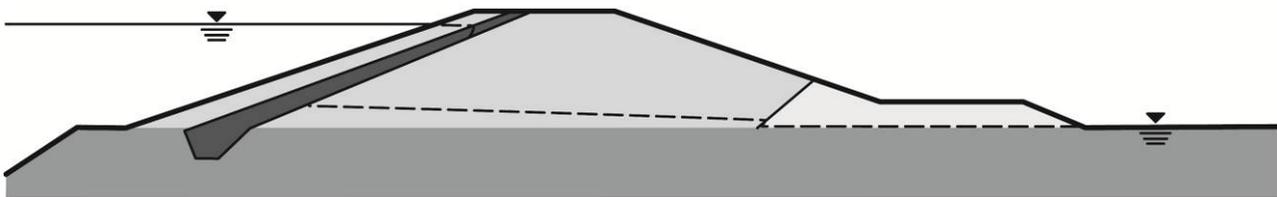


Bild 10: Wasserseitige Oberflächendichtung vor Stützkörper aus durchlässigem Material und Dränkörper auf gering durchlässigem Untergrund (Prinzipskizze)

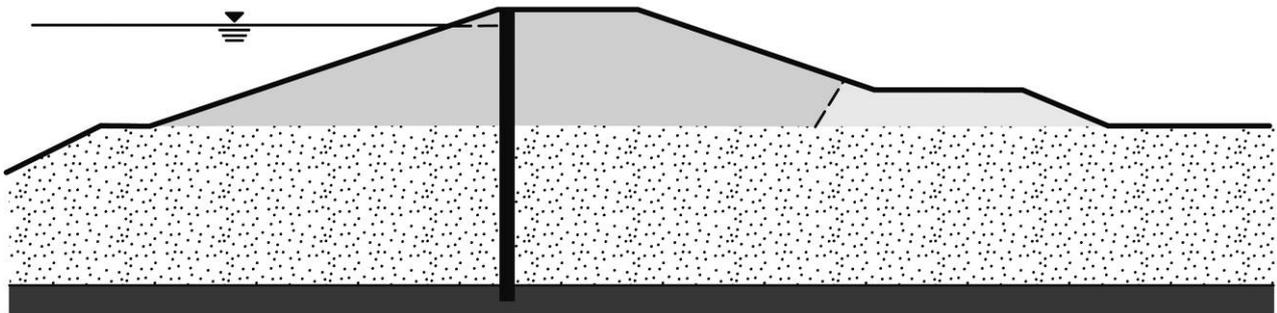


Bild 11: Innendichtung als Bodenvermörtelung bis zum tief liegenden gering durchlässigen Untergrund (vollkommene Dichtung; Prinzipskizze)

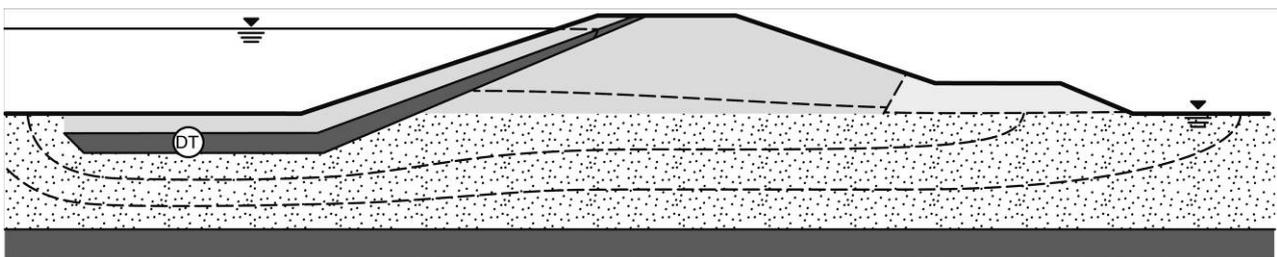


Bild 12: Oberflächendichtung in Dichtungsteppich (DT) auslaufend (unvollkommene Dichtung; Prinzipskizze)

Auch wenn der Bemessungshochwasserstand (BHW) überschritten wird, muss ein Deich noch standsicher sein (siehe Abschnitt 8.3.4). Deshalb sind Dichtungen soweit wie technisch möglich und erforderlich über den BHW zu führen (vgl. Bild 10). Die Wirksamkeit der Dichtung des Deiches muss auch bei bordvollem Einstau gegeben sein. Falls das Deichprofil von künstlichen Einbauten unterbrochen wird, ist die Dichtung besonders sorgfältig anzuschließen. Dies gilt unter Rampen und insbesondere bei Durchlass- und Querungsbauwerken.

Keine Dichtung und kein homogener Deich vermögen eine Sickerwasserströmung bei Hochwasser vollständig zu unterbinden. Die Überlegungen zur Dichtung eines Deiches müssen daher in jedem Fall mit dem Entwurf einer schadlosen Sickerwasserführung verknüpft werden.

Die Auswahl eines geeigneten Dichtungssystems erfolgt aufgrund technischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte. Ein wesentliches Kriterium ist z. B. die Verfügbarkeit geeigneter Böden für die Dichtung unter Berücksichtigung des anstehenden Baugrundes und der vorhandenen Deichbaustoffe. Im Rahmen der Wahl der Dichtungen können folgende Punkte maßgebend sein:

- Bei Innendichtungen besondere Anforderungen an die statische Wirksamkeit, z. B. wenn Böschungen im Hochwasserfall erodierbar sind oder wenn Auflagerkräfte von aufgesetzten permanenten oder temporären Dichtungselementen abzutragen sind,
- Funktion der Dichtung als Erosionssperre,
- Aufbau und Beschaffenheit der Dichtung, des Deichkörpers und -untergrundes,
- das Vorkommen von Hindernissen im Boden, wie Findlinge, Schlufflinsen, Bauwerke u. Ä.,
- Möglichkeit der Einbindung in dichtende Schichten,
- die Herstellbarkeit der Dichtung in Abhängigkeit von z. B. der Tragfähigkeit des Deiches, des Planums und des Untergrundes sowie der Zugänglichkeit während der Herstellung,
- die Möglichkeit bzw. der Aufwand für Anschlüsse an andere Dichtungselemente, vorhandene Dichtungen oder temporäre Dichtungselemente,
- Möglichkeiten, die Dichtung mit dem gewählten System trotz des unerwarteten Auftretens von Hindernissen herstellen zu können,
- die verfahrensspezifische Bauzeit,
- verfahrensbedingte Emissionen, Lärm, Erschütterungen,
- Kostengesichtspunkte, z. B. das Verhältnis zwischen den Kosten für die Baustelleneinrichtung und dem Bauvolumen,
- der Aufwand zur Verwertung bzw. Entsorgung des Erdaushubes.

6.3.2 Oberflächendichtungen

Die Oberflächendichtung liegt auf der profilgemäß hergestellten wasserseitigen Böschung des Stützkörpers. Bei einem mineralischen Dichtungsbaustoff ist die Neigung der Dichtung insbesondere von dessen bodenmechanischen Eigenschaften abhängig.

Der Durchlässigkeitsbeiwert k_f des Dichtungsmaterials sollte mindestens zwei Zehnerpotenzen kleiner als der des Stützkörpermaterials sein.

Die Filterstabilität zwischen Dichtung und dahinter liegendem Stützkörper muss gewährleistet sein (vgl. Abschnitt 6.4.1).

Dichtungsmaterialien werden im Abschnitt 6.3.4 behandelt.

Die Dichtung ist vor mechanischen und atmosphärischen Einwirkungen (Frost, Austrocknung, Wühltiere, Durchwurzelung) durch eine entsprechend mächtige Deckschicht zu schützen. Die Deckschicht sollte als Wachstums- oder Erosionsschutzschicht (DIN 19657) geeignet sein.

Wenn die Dichtungsschicht so dick ist, dass ihre Wirkung durch Austrocknungsrisse und Frosteinwirkungen unabhängig von der Dicke der Deckschicht nicht beeinträchtigt werden kann, genügt es, sie gegen mechanische Einwirkungen zu schützen. Hierfür reicht vielfach eine Rasendecke aus. Die Dicke der Dichtung sollte wegen der Zunahme des Wasserdruckes zum Deichfuß hin zunehmen.

Es ist jedoch zu prüfen, ob gegen Einwirkungen aus hohen Fließgeschwindigkeiten oder Eisgang, besonders bei fehlendem Vorland, ein besonderer Schutz notwendig ist. Einzelheiten dazu werden in den Abschnitten 6.5.2 und 6.5.3 behandelt.

Wenn beim Rückgang des Hochwassers (schnell fallender Wasserspiegel, siehe Abschnitt 8) Porenwasserüberdruck entstehen kann, ist die Dicke der Dichtung hierfür zu bemessen oder die Böschung abzuflachen.

6.3.3 Innendichtungen

Als Innendichtungen in Deichen kommen – in Abstimmung mit den Untergrundverhältnissen und der Einbautiefe – überwiegend Spundwände, Einphasenschlitzwände, Schmalwände, Injektionswände, spezielle Verfahren der Bodenvermörtelung und mineralische Dichtungen aus gering durchlässigen Böden zum Einsatz (DWA-Themen 2005). Bohrpfahlwände, Ortbetonwände und Zweiphasenschlitzwände sind aus technischer Sicht für Innendichtungen ebenfalls geeignet, kommen aber im Deichbau aus wirtschaftlichen Gründen lediglich in Ausnahmefällen in Betracht. Innendichtungen können statisch wirksam ausgeführt werden.

Dichtungsmaterialien sind in Abschnitt 6.3.4 behandelt.

Eine Innendichtung wird im Allgemeinen etwa in der Mitte des Deichquerschnittes angeordnet. Sie kann entweder gesondert vor dem Bau des Stützkörpers errichtet, gleichzeitig mit diesem oder nachträglich hergestellt werden. Das Aufhängen des Dichtungsbodens am Stützkörper (Gewölbewirkung) wird durch Schräglage oder Verjüngung des Dichtungskörpers nach oben (Trapezform) weitgehend vermieden. Die Dichtung kann auch nachträglich in den fertigen Deichkörper eingebracht werden (vgl. Abschnitt 11).

Unter dem Begriff der Bodenvermörtelung werden Verfahren zusammengefasst, bei denen das Korngefüge des Bodens in situ vollständig zerstört und mit einer Suspension, bestehend aus Zement und gegebenenfalls Bentonit, versetzt wird, sodass ein Boden-Bindemittel-Gemisch entsteht, das anschließend abbindet. Die verschiedenen Verfahren unterscheiden sich in der maschinentechnischen Herstellung der Vermörtelung des Bodens. In der Regel verbleibt der Großteil des Bodens im Untergrund.

Der Vorteil der nachträglichen Dichtungsherstellung ist, dass die Deichdichtung mit einer Untergrundabdichtung in einem Zuge eingebaut werden kann und die wesentlichen Setzungen des Stützkörpers bereits abgeklungen sind. Dessen Herstellung wird nicht durch den Dichtungseinbau gestört.

Allgemein bestehen die Vorteile der Innendichtung darin, dass sie die geringste Dichtungsfläche erfordert, dass die beidseitige Überdeckung sie sehr gut gegen äußere Einwirkungen schützt und dass sie Wasserdruck von beiden Seiten aufnehmen kann (z. B. bei Deichen an Flutungspoldern). Aus statischer Sicht kann nachteilig wirken, dass beim Gleitsicherheitsnachweis nur der halbe, der Binnenseite zugewandte Deichkörper ange-setzt werden kann.

6.3.4 Dichtungsbaustoffe

Für Dichtungen können grundsätzlich alle Bodenarten und Materialien verwendet werden, die die Anforderungen nach Abschnitt 6.3.1 erfüllen, die gewünschte Dichtungswirkung ergeben, sich nicht zersetzen oder auflösen, die Standsicherheit des Deiches nicht gefährden und das Grundwasser nicht schädigen.

Als Dichtungen werden mineralische Böden (Lehm, Ton), künstlich zusammengesetzte Böden (z. B. Ton und Zuschlagstoffe), Stahl, Geosynthetische Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten), Dichtungen mit hydraulischen Bindemitteln, Dichtungen mit bituminösen Bindemitteln und Kunststoffdichtungen verwendet.

Beton-, Asphalt- und Kunststoffdichtungen sind im Deichbau an Binnengewässern als Oberflächendichtungen im Allgemeinen aus wirtschaftlichen, technischen und landwirtschaftsgestalterischen Gründen nicht mehr üblich.

Natürliche bindige Böden

Mineralische Dichtungen bestehen aus natürlichen, gering durchlässigen Böden, die mit einem geeigneten Wassergehalt eingebaut und verdichtet werden. Für die Verdichtbarkeit ist der Wassergehalt maßgebend. Die anstehenden Böden müssen daher in der Regel entsprechend aufbereitet werden.

Bindiger Boden als Dichtung muss dauerhaft ausreichend verformbar sein. Seine Eignung lässt sich durch Bestimmen der bodenmechanischen Kennziffern feststellen. Mit Steinen durchsetzter Lehm kann geeignet sein, sofern der Anteil an bindigem Boden überwiegt. Die Dicke der Dichtungsschicht richtet sich nach der geforderten Wirkung. Sie wird bestimmt nach der Durchlässigkeit, der Deichhöhe bzw. dem Gefälle, aber auch nach der Einbau- und Verdichtungsmöglichkeit. Die Güte der Dichtung hängt vom Einhalten des geforderten Verdichtungsgrades und vor allem von einem homogenen Einbau ab.

Natürliche Baustoffe für mineralische Dichtungen sind aufgrund langjähriger wasserbaulicher Erfahrungen alterungs- und langzeitbeständig. Die konstruktive Ausbildung einer mineralischen Dichtung erfolgt im Wesentlichen unter Berücksichtigung ihrer Durchlässigkeit, der Schichtdicke, der Deichhöhe bzw. dem hydraulischen Gefälle sowie den Einbau- und Verdichtungsmöglichkeiten.

Als Schutz vor mechanischen, chemischen und biologischen Einwirkungen und aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Frost- und Tauwechseln sowie Trocknungsrisse sollte eine 1 m dicke mineralische Dichtung mit einer Deckschicht von mindestens $d > 80$ cm inklusive der Vegetationsschicht geschützt werden. Mit zunehmender Dicke der Dichtungsschicht kann die Deckschicht abnehmen oder gegebenenfalls auch entfallen. Nach derzeitigem Kenntnisstand wird bei einer Dicke der mineralischen Dichtung von mindestens 1 m und mit der vorgenannten Deckschicht ihre Dichtungswirksamkeit durch Austrocknungsbeanspruchungen oder Frosteinwirkungen nicht mehr beeinträchtigt.

Künstlich zusammengesetzte bindige Böden

Grundsätzlich können auch künstlich zusammengesetzte Dichtungsstoffe (aufbereitete Erddichtungen) in Frage kommen, die vor Ort (mixed-in-place) oder in Mischanlagen (mixed-in-plant) hergestellt werden (DVWK-M 215/1990). Dies sind z. B. Mischungen aus Tonen, Schluffen und Additiven; solche Böden haben dieselben Anforderungen zu erfüllen wie die natürlichen bindigen Böden. Ihre Dauerbeständigkeit ist zu gewährleisten.

Ton-Zement-Massen

Ton-Zement-Massen (Tonbeton) werden aus einer Suspension aus Zement und aufbereitetem Ton hergestellt (DVWK-M 215/1990). Sie dienen z. B. zum Bau von Ein- und Zweiphasenschlitzwänden sowie Schmalwänden oder auch der Anwendung bei der Bodenvermörtelung.

Der Tonbeton setzt sich zusammen aus:

- Wasser,
- Tonmehl,
- hydraulischen Bindemitteln (vorzugsweise Zement nach DIN 1164, insbesondere HOZ),
- Zuschlägen und
- in Sonderfällen umweltverträglichen Zusatzmitteln, z. B. Verflüssiger.

Die Homogenität der Mischung ist durch eine geeignete Mischeinrichtung und ausreichende Mischzeit sicherzustellen. Eine Mischanlage auf der Baustelle, die den speziellen Anforderungen des Tonbetons gerecht wird, ist zweckmäßig.

Die Dichte des frischen Tonbetons sollte mindestens $1,8 \text{ t/m}^3$ betragen. Bei Anwendung von Tonbeton als Dichtungsbaustoff in Schlitzwänden muss beim Zweiphasenverfahren der Fließwiderstand des Frischbetons deutlich über dem der zu verdrängenden Suspension liegen. Sind geringe Unterschiede im Fließwiderstand vorhanden, so muss durch eine besondere Vorrichtung im Schlitz verhindert werden, dass es zu einer Vermischung des Dichtungsbaustoffes mit der Suspension kommt.

Bei der Verwendung von Zusatzmitteln ist deren Einfluss auf das Verhalten des Tonbetons durch Eignungsversuche zu überprüfen.

Stahl

Stahl wird zu Dichtungszwecken in Form von Spundwänden verwendet. Deren Einsatz ist in besonderen Fällen geboten, wo beengter Raum, statische Tragwirkung oder andere Gründe, z. B. nachträgliche Einbringung, den Aufwand rechtfertigen.

Eine Spundwand kann in nahezu alle Böden eingebracht werden. In sehr dicht gelagerten Böden kann ein Vorbohren erforderlich werden. Hindernisse im Boden können Schlosssprengungen verursachen oder den Einsatz einer Spundwand insbesondere beim Einpressen ganz verhindern. Die Wahl des Einbringverfahrens muss u. a. auf die anstehenden Bodenarten abgestimmt sein. Außerdem ist beim Rütteln und Rammen zu überprüfen, ob in locker gelagerten Böden bei Wassersättigung ungewollte Effekte wie Bodenverflüssigung oder Umlagerungen im Korngefüge locker gelagerter, nicht wassergesättigter Böden auftreten, und ob diese bei nachträglichem

Einbringen zur Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit des Deiches oder Schäden an benachbarten Anlagen und Bauwerken führen können.

Geosynthetische Tondichtungsbahnen

Der Stand der Technik hinsichtlich Bemessung, Anwendung und Prüfung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) wird in den Empfehlungen für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (EAG-GTD 2002) ausführlich beschrieben (vgl. hierzu auch BAW EAO 2002). Geosynthetische Tondichtungsbahnen bestehen aus zwei Geotextillagen, zwischen denen eine Bentonitschicht (Na- oder Ca-Bentonit) eingelagert ist.

Zum Schutz vor Austrocknung (Schrumpfrissen), Frost- und Tauwechseln sowie vor mechanischen Einwirkungen, Wühltieren und Durchwurzelungen sollte die Überdeckung einer GTD $d \geq 0,80 \text{ m}$ inkl. der Vegetationsschicht betragen. Bei geosynthetischen Tondichtungsbahnen können z. B. durch Wühltiere und Durchwurzelung Schäden an der relativ dünnlagigen Dichtung auftreten, die ihre Dichtungswirkung und somit die Standsicherheit des Deiches beeinträchtigen. Gegebenenfalls sind konstruktive Maßnahmen erforderlich.

6.4 Deichentwässerung und Wasserableitung

6.4.1 Dräns und Filter

Dräns haben die Aufgabe, Sickerwasser aus dem Deichkörper zu sammeln und zuverlässig abzuleiten (DIN 4095). Sie liegen in der Regel im Bereich der landseitigen Böschung und haben gegebenenfalls auch Sickerwasser aus dem Untergrund aufzunehmen. Sie können aus Dränrohren, Dränschichten oder Sickerpackungen bestehen.

Die Dränmaterialien dürfen den Wasseraustritt aus dem zu entwässernden Boden nicht behindern, sie müssen aber gegenüber diesem Boden filterwirksam sein. Wird ein Deich aus Materialien stark unterschiedlicher Körnung hergestellt, so ist an deren Grenze ebenfalls jede Kontaktrosion durch Einhalten der Filterregeln (vgl. Abschnitt 8.5) zu vermeiden. Filter bestehen im Allgemeinen aus Sand, Kies, Splitt, Schotter, Schlacke oder Geokunststoffen.

Filter haben die Aufgabe, bei Durchströmung von Bodenschichten unterschiedlicher Körnung im Deich einen Materialtransport zu verhindern.

Bei Kornfiltern wird zwischen Stufen- und Mischkornfiltern nach BAW MAK (1989) unterschieden. Stufenfilter bestehen aus Schichten jeweils gleichförmiger Körnung. In der Praxis werden Mischkornfilter bei Deichen bevor-

zugt, die sich beim Einbau jedoch nicht entmischen dürfen (EAU 2004, E 32). Die Dicke von Mischkornfiltern sollte mindestens 50 cm bei Mischfiltern und jeweils 25 cm bei Stufenfiltern betragen. Geotextile Filter werden entsprechend BAW MAG (1993) nach dem Bodentypverfahren oder nach den Filterregeln nach DVWK-M 221/1992 dimensioniert (vgl. Abschnitt 8.5.3).

6.4.2 Wasserableitung im Deichhinterland, Qualmpolder

In Abhängigkeit von der Nutzung des Deichhinterlandes (z. B. wichtige Verkehrswege, industrielle Nutzung, Wohnbebauung o. Ä.) muss das anfallende Drängewasser teilweise oder vollständig abgeleitet werden, um Schäden zu verhindern.

Das anfallende Drängewasser ist gegebenenfalls unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten in geeigneter Weise einer Vorflut oder temporär einer Fassung zuzuleiten. Dabei darf die Standsicherheit des Deiches und des Untergrundes nicht beeinträchtigt werden. Dies könnte zum Beispiel der Fall sein, wenn dafür anzulegende Seitengräben oder Leitungen die vorhandene Decklehmschicht schwächen oder durchstoßen.

Deshalb sollte eine solche Entwässerung nur in Ausnahmefällen und nach gründlicher Prüfung aller relevanter Einflüsse auf den Deich und in ausreichender Entfernung vom Deichfuß angelegt werden.

Wenn infolge hoher wasserseitiger Wasserstände landseitig Wasser aus dem Untergrund so stark austritt, dass die Gefahr des Ausspülens von Boden besteht, oder wenn der Qualmwasserandrang ein Maß erreicht, das mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand durch Schöpfwerke nicht mehr beherrscht werden kann, können Qualmpolder Abhilfe schaffen (vgl. Bild 13).

Sie entstehen dadurch, dass Flächen mit starkem Qualmwasserandrang durch einen Höhenrand im Gelände oder einen zweiten, niedrigeren Qualmdeich gegen das Hinterland abgesperrt werden. Bei Hochwasser füllt das Drängewasser den Qualmpolder, wodurch die Höhendifferenz zwischen Fluss- und Polderwasserstand verkleinert und damit der Drängewasserzufluss herabgesetzt wird. Lage und Höhe des Qualmdeiches richten sich nach den örtlichen Verhältnissen. Zum Schutz vor Überströmung können Entlastungseinrichtungen bei Qualmdeichen vorgesehen werden.

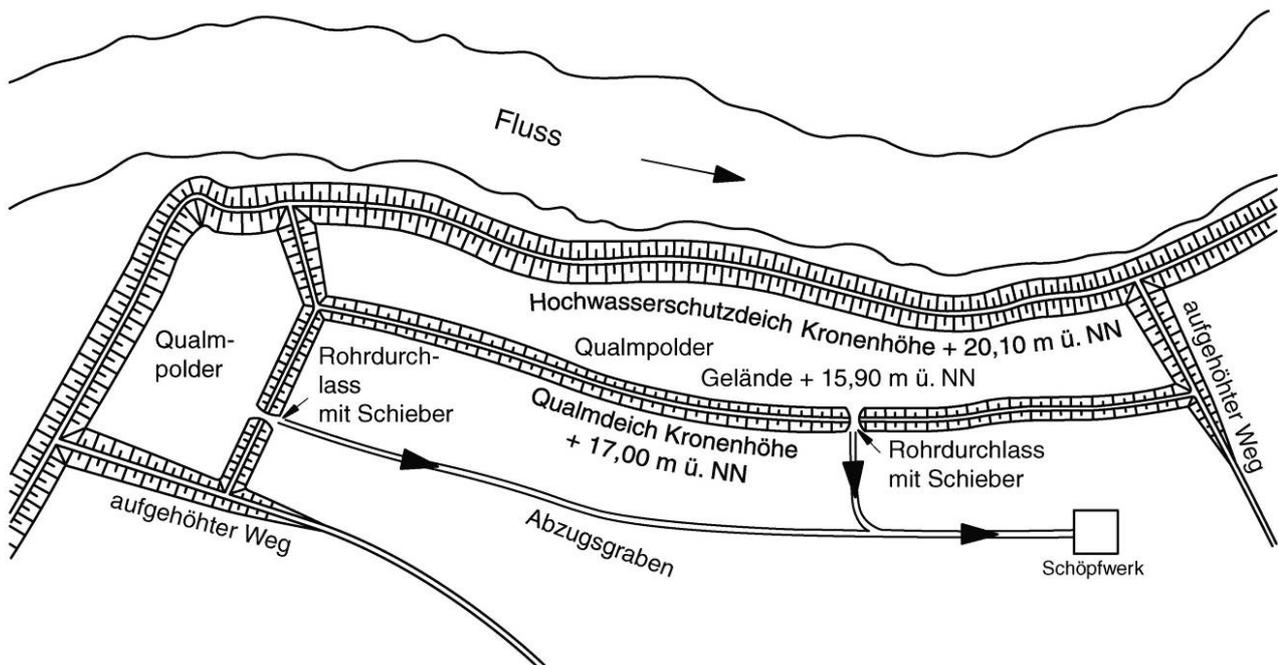


Bild 13: Beispiel eines Qualmpolders

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

6.5 Schutz des Deiches und des Vorlandes

6.5.1 Allgemeines

Die Deichböschungen und Böschungsfüße müssen wasser- und landseitig soweit gegen mögliche Schädigungen gesichert werden, wie das verwendete Deichbaumaterial nicht selbst ausreichenden Widerstand bietet.

Solche Schädigungen entstehen durch:

- Starkregen,
- Wellen und Strömung,
- Überströmung,
- Eisgang und Eisstau,
- Gehölze,
- Nutztiere und Wühltiere.

Hinweise in Zusammenhang mit der Überströmung werden in Abschnitt 6.5.4 gegeben.

Der Stoß treibender und der Druck sich stauender Eisschollen kann die Deichböschungen schädigen. Wenn sich eine Grasnarbe nicht bewährt hat, können die Böschungen an solchen Stellen flacher geneigt oder durch widerstandsfähigere Deckwerke nach Abschnitt 6.5.3 geschützt werden. Einen zusätzlichen Schutz können auch Bäume im Vorland bieten (vgl. Abschnitt 6.5.5). Näheres zu Wühltieren findet sich in Abschnitt 6.5.6.

6.5.2 Grasnarbe

Der beste wirtschaftliche und natürliche Schutz für den Deichkörper ist eine gut gepflegte, dauerhafte, geschlossene und dichte Grasnarbe auf den Böschungen.

Vor allem die stark beanspruchten Flächen, wie z. B. die wasserseitige Böschung, sind neben möglichen technischen Sicherungen durch eine dauerhafte und geschlossene Grasnarbe zu schützen. Auf den weniger beanspruchten Deichflächen sind auch Magerrasen (Wild- und (Halb-) Trockenrasen) möglich (vgl. DVWK-M 226/1993 und BLOEMER et al. 2007).

Eine Grasnarbe gedeiht am besten auf einem bindigen, mindestens 20 cm starken Oberbodenauftrag. Ist der Deichkörper aus schluffigem bzw. bindigem Material aufgebaut, so wird sich auch bei einem schwächeren Oberbodenauftrag die gewünschte Grasnarbe einstellen. Für Magerrasenstandorte können ebenfalls geringere Oberbodendicken für die Etablierung einer Grasnarbe ausreichend sein.

Für die Herstellung einer Grasnarbe mit ausreichender Schutzfunktion ist die Saatgutauswahl entscheidend. Örtliche Standortverhältnisse und die spätere Unterhaltung (vgl. Abschnitt 12) sowie die Verbreitung und Wuchseigenschaften der auszuwählenden Gräser sind dabei vordringlich zu beachten (BIELITZ 2000). Mischungen und Samenmengen werden u. a. in DIN 19657:1973-09 in Tabelle 6 angegeben.

Hinsichtlich des Erosionsschutzes haben sich in der Praxis artenreiche, ökologisch wertvolle Rasengesellschaften bewährt (vgl. BLOEMER et al. 2007).

Folgende Verfahren nach DIN 19657:1973-09 Abschnitt 5.6.2.1, werden bei der Begrünung von Deichen angewandt:

- Normalsaaten, evtl. mit Bindemittel,
- Decksaaen bei erosionsgefährdeten Standorten,
- Nasssaaten (Anspritzenverfahren) bei keinem oder nur geringem Oberbodenauftrag,
- Fertiggrasen von anderen möglichst entsprechenden Standorten oder von benachbartem Gelände aus standortgerechten Saatmischungen,
- Saatmatten (organische Matten).

Fertigrasen und Saatmatten schützen die Deichoberfläche sehr rasch gegen Auswaschungen. Fertiggrasen ist jedoch nur begrenzt lagerfähig, wohingegen Saatmatten lange gelagert werden können, wenn sie vor Feuchtigkeit geschützt sind; sie sind außerdem leichter als Fertiggrasen. Saatmatten können den Nachteil haben, dass sie nur sehr langsam verrotten und daher in den ersten Jahren die Unterhaltung erschweren. Bei der Befestigung von Erosionsschutz- und Saatmatten sowie Fertiggrasen sollte auf die Verwendung von verrottbaren Erdnägeln geachtet werden.

6.5.3 Wasserseitige Befestigungen

Eine besondere Sicherung der wasserseitigen Böschung mit spezieller Befestigung kann bei Schardeichen, bei Deichen mit schmalem Vorland und in Ortslagen mit steiler als 1 : 1,5 geneigten Böschungen erforderlich werden. Dies gilt auch, wenn mit ungewöhnlichen äußeren Angriffen (z. B. erhöhte Strömungsbelastungen) zu rechnen oder die pflegende Unterhaltung einer Rasendecke nicht gewährleistet ist (BAW GBB 2004). Insbesondere gilt dies auch für die wasserseitigen Böschungen der Deiche bei Flutpoldern.

Ein weiteres Kriterium für eine besondere Böschungssicherung kann bei Deichen eine Wellenbelastung werden, wenn entsprechend große Streichlängen und Windgeschwindigkeiten bei ausreichenden Wassertiefen zu relevanten Wellenhöhen führen (IWD 2000).

Für eine solche Sicherung werden in DIN 19657:1973-09: Abschnitt 5, zahlreiche Bauweisen als Regelausführungen beschrieben: Schotterrassen, Steinschüttung, Steinsatz, Setzpack, Rauhpfaster u. a.

Die in DIN 19657:1973-09: Abschnitt 5.2, erwähnten Gussasphalt, Einguss- und Asphaltbetondecken sollten bei Deichen an Fließgewässern vermieden werden, weil sie nicht begrünt werden können. Bei Schardeichen wird ein durchlässiges bituminöses Deckwerk aus Mastix-Kies und Mastix-Schotter erfolgreich verwendet. Der über Wasser gelegene Teil dieser Bauart lässt das Wachsen von Gräsern und Kräutern zu.

Die in DIN 19657:1973-09: Abschnitt 5.3, genannten Drahtsenkwalzen, Steinmatten und Drahtschotterkästen eignen sich vorwiegend für Uferböschungen, bei Deichen nur gelegentlich für deren Böschungsfüße.

Maßgebend für die Standsicherheit solcher massiver Deckwerke ist, dass sie der Strömungsbelastung widerstehen. Dafür ist die Einhaltung der zulässigen Fließgeschwindigkeit oder Schubspannung für die bei BHW im Gewässer vorhandenen Abfluss- und Strömungsbedingungen nachzuweisen (vgl. Abschnitt 8.2).

Bei gepflasterten Böschungen müssen Unterbau und Fugen sicher gegen Ausspülungen sein.

Bei gering durchlässigen Böschungsbefestigungen ist darauf zu achten, dass sich auch bei schnell fallendem Wasser kein Druck aus dem Deichkörper bilden kann (vgl. Abschnitt 8.4.4). Das ist nur dann gewährleistet, wenn die Befestigung durchlässiger ist als das angrenzende Deichmaterial. Beispielsweise kann Pflaster mit Fugenverguss weniger durchlässig sein als der Deichkörper. Es wäre dann so schwer auszubilden, dass es unter Berücksichtigung eines Wasserüberdruckes aus dem Deichinnern noch standsicher ist.

Böschungstreppen sollten nur an Stellen angelegt werden, wo sich sonst Trampelpfade nicht verhindern lassen. Die Böschungstreppen sollten ausreichend breit sein und seitliche Wangen haben, die erosionsicher in die Grasnarbe einbinden.

6.5.4 Überlaufstrecken

Selbst bei Volldeichen ist in extremen Hochwassersituationen ein Überströmen nicht ausgeschlossen. Die dabei überlaufenden Abflüsse sind bezüglich der daraus resultierenden Wasserstände für das Hinterland häufig relativ unbedeutend. Allerdings besteht das Risiko darin, dass die Erosionswirkung des Wassers zum Deichbruch führt und sich der Wasserstand im Polder sehr schnell und unkontrolliert erhöht, falls der Polder nicht schon zuvor von ober- oder unterstrom gefüllt wurde (vgl. auch DIN 19712).

Um dieses Risiko zu verringern, ist zu prüfen, ob die erosionsgefährdeten Bereiche des Deiches gesichert werden müssen. Auf der gesamten Deichstrecke wäre das unwirtschaftlich. Vielmehr sollten günstig gelegene Abschnitte als Überlaufstrecken eine etwas geringere Kronenhöhe und eine entsprechende Erosionssicherung erhalten. Damit werden die entsprechenden Deichabschnitte begrenzt überlastbar. Die Möglichkeit der Anlage solcher Überströmstrecken sollte aus den vorgenannten Gründen grundsätzlich in die Planung von Deichbaumaßnahmen mit einbezogen werden.

Zur Ausführung von planmäßigen und bemessenen Überströmstrecken, die in der Regel auf der Sicherung der erosionsgefährdeten Oberflächenbereiche des Deiches mittels Deckwerken beruhen, kommen verschiedene Bauweisen in Frage, wobei selbsttragende und nicht selbsttragende Lösungen unterschieden werden. Insgesamt kommen folgende Bauweisen zur Anwendung (DORNACK 2001, LfU Baden-Württemberg 2004, QUEIBER 2006, RATHGEB 2001, HASELSTEINER et al. 2007):

- Deckwerke in Lockerbauweise:
 - Steinschüttung
 - Steinsatz
- Kohärente Deckwerke:
 - Mastix-Schotter-Deckwerk
 - Verbundene Rasengittersteine
 - Geogittermatratzen
- Bodenverfestigung mittels Bindemittelzugabe
- Verbundbauweisen.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Auswahl der Bauweise ist die Möglichkeit und der Aufwand bei der Unterhaltung und Pflege der Bauwerke.

Für derartige Sicherungselemente ist ein Standsicherheitsnachweis zu führen. Aufgrund der statischen Erfordernisse ergeben sich in der Regel vergleichsweise flache landseitige Böschungsneigungen, die abhängig vom abzuführenden Abfluss häufig zwischen 1 : 5 und 1 : 10 liegen. Das Deckwerk wird in der Regel auch im Kronenbereich und im Bereich der wasserseitigen Böschungsschulter eingebaut. Im Bereich des landseitigen Böschungsfußes ist die schadlose Energieumwandlung sicherzustellen. Die Anschlüsse und Übergangsbereiche an die nicht gesicherten Böschungs- und Kronenbereiche sind sorgfältig zu konstruieren und auszuführen. Insgesamt kommt der Qualitätssicherung bei der Bauausführung eine hohe Bedeutung zu.

6.5.5 Gehölze

Gehölze (Bäume, Sträucher und Hecken) auf Deichen und in deren unmittelbarer Nähe beeinträchtigen die Unterhaltung, Überwachung, Deichverteidigung sowie die Standsicherheit.

Das Gefährdungspotenzial, das wachsende Gehölze auf Deichen an Fließgewässern für diese Hochwasserschutzanlagen darstellt, beruht auf zahlreichen, oft nicht oder nur teilweise sichtbaren Interaktionen und Wirkungsmechanismen.

In jedem Fall sind wasserseitige Böschungen und Bermen, der Bereich der Deichkrone und alle Überlaufstrecken sowie überströmbare Teilschutzdeiche und die beidseitigen Deichschutzstreifen von jeglichem Gehölzbewuchs freizuhalten.

Grundsätzlich kann zwischen primären und sekundären Schäden durch Gehölze unterschieden werden.

Als **primäre Schäden** sind dabei alle durch direkte Einwirkung eines Bewuchses oder seiner Wurzeln möglichen Effekte zu bezeichnen:

- Gehölze, insbesondere große Bäume, können infolge von Windwurf aufgrund der sich bildenden Wurzelkrater von mehreren Metern Durchmesser Deiche ohne Vorankündigung teilweise oder vollständig zerstören.
- Gehölze können mit ihren Wurzeln Strömungskanäle im Inneren des Deiches bilden, die schnell zu konzentrierter Durchströmung, verbunden mit starken Erosionserscheinungen (Piping) und damit zu Deichbrüchen führen können (vgl. Bild 14).



Bild 14: Bei Hochwasser freigelegte Durchwurzelung eines Deiches infolge von Baumbewuchs

- Nicht entfernte Wurzeln abgestorbener Gehölze stellen langfristig ein latentes Gefahrenpotenzial dar, weil sie Hohlräume bilden, die das Auftreten von Piping begünstigen.
- Die Wurzeln von Gehölzen können die Dichtungsschicht eines Deiches zerstören und damit unwirksam werden lassen.
- Gehölze bieten Ansatzpunkte für Böschungserosionen (Erosionsstarter) infolge Strömungen und Wellenschlag (vgl. Bild 15).
- Insbesondere flach wurzelnde Bäume können die Standsicherheit von Böschungen durch windinduzierte Pumpeffekte nachhaltig gefährden und das Bodengefüge auflockern.

Zu den **sekundären Schäden** und Wirkungen, die sich indirekt negativ auf Deiche auswirken, gehören im Wesentlichen:

- Gehölze können die Ansiedlung von Wühltieren begünstigen, da sie diese vor ihren natürlichen Feinden (Raubvögel) schützen.
- Gehölze behindern die Deichschau und können das Erkennen von Wasseraustrittsstellen im Hochwasserfall erschweren oder verhindern.
- Gehölze erschweren die Deichunterhaltung und wirken sich negativ auf die Entwicklung einer widerstandsfähigen Grasnarbe auf der Deichböschung aus (Beschattung).
- Gehölze behindern die Deichverteidigung im Hochwasserfall.



Bild 15: Böschungserosion landseitig infolge von Baumbewuchs und Überströmung

Die Vielzahl der möglichen Wirkungen und Schäden macht deutlich, dass von Gehölzen auf Deichen Gefahren und Unwägbarkeiten ausgehen, die in ihrem Zusammenwirken die Standsicherheit dieser Hochwasserschutzbauwerke erheblich herabsetzt. Die infolge eines Deichversagens möglichen Personen- und Sachschäden stehen häufig in Missverhältnis zu den von Bäumen zweifelsohne ausgehenden landschaftsgestaltenden Impulsen und ihrem Wert in der Gewässerlandschaft.

Normal dimensionierte Deiche aus Bodenarten, die eine Durchwurzelung begünstigen (z. B. bindige und sandige Böden), sind deshalb nicht mit Gehölzen zu bepflanzen.

Zu der Entfernung vorhandener Gehölzbestände auf Deichen und ihren Schutzstreifen, die sich infolge mangelnder oder unterbliebener Unterhaltung entwickelt haben (natürliche Sukzessionsstadien), besteht angesichts der zahlreichen damit verbundenen Probleme und Gefahren grundsätzlich keine Alternative.

Der Erhalt von Gehölzbeständen oder von Einzelbäumen auf bestehenden Deichen kann ausnahmsweise unter folgenden Bedingungen zugelassen werden, wenn nicht andere Gründe dagegen sprechen:

- Der bestehende Deich verliert durch Deichrückverlegung vollständig und dauerhaft jegliche Hochwasserschutzfunktion.
- Der bestehende Deich wird so ertüchtigt, dass sich der Bewuchs im Ergebnis der Maßnahme außerhalb des erdstatisch erforderlichen Querschnittes auf der landseitigen Böschung befindet und ein Eindringen der Wurzeln in diesen dauerhaft verhindert wird. Die Standsicherheit des Deiches muss auch bei Windwurf nachweisbar sein.
- Das untere Drittel der landseitigen Böschungen muss für Sickerwasserbeobachtungen und die Deichverteidigung frei bleiben (DVWK-M 226/1993).

Die Fremdnutzung des Deiches durch teilweise Bepflanzung der landseitigen Böschung mit Sträuchern und niedrig wachsenden Baumarten kann ausnahmsweise zugelassen werden, wenn bestimmte Voraussetzungen vorliegen oder Vorkehrungen getroffen werden (DVWK-M 226/1993, DIN 19712, BAW MSD 2005, LfW Bayern 1990):

- Die bepflanzten Bereiche müssen so überhöht sein, dass auch bei Überschreitung des bordvollen Einstaus an dieser Stelle kein Überlaufen stattfindet.
- Die bepflanzten Bereiche müssen so verbreitert (abgeflacht) sein, dass die Wurzeln der Gehölze nicht in den erdstatisch erforderlichen Deichquerschnitt eindringen (Überprofil). Das untere Drittel der landseitigen Böschungen muss für Sickerwasserbeobachtungen und für die Deichverteidigung in jedem Fall frei bleiben.

- Das Überprofil ist so zu wählen, dass die Standsicherheit des Deiches für alle maßgebenden Lastfälle unter Annahme eines Wurzelkraters, dessen Radius in Abhängigkeit von der vorgesehenen Baumart festzulegen ist und mindestens 1,5 m betragen muss, nachgewiesen werden kann.
- Die Bepflanzung sollte nur in Gruppen und nicht zu dicht vorgenommen werden. Die Flächendeckung der Gehölze darf höchstens 50 % betragen. Linienförmige Heckenpflanzungen sind wegen der Unterhaltungsschwernisse zu vermeiden.

Die Anlage von Halbtrocken- oder Trockenrasen auf Deichen kann vielfach eine ökologisch gleichwertige Alternative zur Bepflanzung sein.

Beidseits des Deiches sollten Bäume einen Mindestabstand von 10 m (Pappeln 30 m) vom Deichfuß aufweisen. Als grober Anhalt für die Wurzelenausbreitung kann bei verschiedenen Laubbäumen davon ausgegangen werden, dass diese etwa der zu erwartenden Kronenausbildung entspricht.

In ausreichend breitem Vorland können außerhalb des Deichschutzstreifens standorttypische Anpflanzungen zugelassen werden, soweit der Abfluss des Hochwassers nicht behindert wird oder eine Behinderung bei der Wasserspiegelberechnung berücksichtigt ist. Darüber hinaus müssen die Pflanzungen abflussgerecht der Fließrichtung des Wassers angepasst werden, sodass Kolke im Deichbereich nicht auftreten. Solche fachgerecht angelegten Baumreihen können unter Umständen bei Eisgang eine Schutzfunktion für die Grasnarbe haben. Bäume sollten so weit vom Deichfuß entfernt sein, dass sie den Deich nicht durchwurzeln können. Wurzelsperren können das Eindringen von Wurzeln in den Deich verringern oder weitgehend verhindern (WINSKI 2006).

Wenn keine nachteiligen Auswirkungen auf den Abfluss entstehen, sollte vorrangig versucht werden, bestehenden Auwald auszudeichen.

Bei allen Bepflanzungen, die in der Regel in landschaftspflegerischen Begleitplänen darzustellen sind, sollte auf die Bodenständigkeit der gewählten Arten und einen geringen Pflegeaufwand geachtet werden. Die regelmäßige Pflege und Bewirtschaftung nach wasserwirtschaftlichen Grundsätzen ist sicherzustellen (DVWK-M 204/1984, LfW Bayern 1979).

6.5.6 Wühltiere und Nutztiere

Wühltiere verursachen für den Bestand des Deiches bedrohliche, langgezogene Hohlräume im Deichkörper, die eine unkontrollierte Durchströmung mit Materialausstrag (Sickerröhrenbildung) im Hochwasserfall begünstigen (vgl. auch DVWK-M 247/1997).

Zu den Wühltieren zählen u. a.:

- Kaninchen, Wanderratte, Bisam, Biber, Große Wühlmaus, Feldmaus (Nagetiere),
- Maulwurf und Spitzmaus (Insektenfresser),
- Fuchs, Iltis, Wiesel und andere Marderarten (Raubtiere).

Alle Wühltiere wühlen wegen des leichteren Bodenausstrages möglichst von unten nach oben. Sie nehmen daher flache Böschungen weniger an als steile. Von flachen Böschungen dringt auch mehr Niederschlagswasser störend in die Wühlgänge ein. Der Biber kann sowohl das Abflussregime im Gewässer beeinflussen als auch den Deich direkt beschädigen.

Einige Wühltiere, wie die Große Wühlmaus und der Bisam, setzen die Eintrittsöffnung ihrer Wühlgänge oft oder ausschließlich unter Wasser an. Daher sollten am Deich bis zu Entfernungen von 10 m bis 15 m keine Dauerwasserflächen bestehen.

Die Wurzeln einzelner Baumarten, speziell der Obstbäume und Pappeln, werden von der Großen Wühlmaus als Nahrung bevorzugt. Das Anpflanzen von Bäumen ist auch deshalb in der Nähe von Deichen unzulässig (siehe Abschnitt 6.5.5).

Aus Bergematerial (siehe Abschnitt 9.1.2) hergestellte Deiche werden von Wühltieren gemieden. Gleiches gilt für Deiche mit grobkörnigen Deckschichten.

Feste Dichtungsschichten oder mechanische Wühltier-sperren auf der Böschung oder im Deichinnern sind erfahrungsgemäß nur dann eine Abwehr gegen Wühl-tiere, wenn sie bis etwa 50 cm über den höchsten Wasser-spiegel und bis etwa 50 cm unter den mittleren Grund-wasserstand reichen. Auf Merkblatt DVWK-M 247/1997 und DVWK-Schriften 26/1976 wird hingewiesen. Der Einsatz von Innendichtungen kann unter derartigen Einflüssen vorteilhaft sein.

Nutztiere wie Pferde, Kühe, Schweine, Geflügel, welche die Grasnarbe zerstören, müssen aus dem Deichbereich ferngehalten werden. Schafbeweidung dagegen ist unter bestimmten Voraussetzungen vorteilhaft und erwünscht (vgl. Abschnitt 12.4).

7 Geotechnische Untersuchungen

7.1 Einordnung in Geotechnische Kategorien (GK)

Deiche im Sinne des vorliegenden Merkblattes werden prinzipiell in Abhängigkeit ihrer Klassifizierung gemäß Tabelle 1 einer Geotechnischen Kategorie (GK) nach DIN 1054 bzw. DIN 4020 gemäß Tabelle 3 zugeordnet.

Tabelle 3: Prinzipielle Einordnung von Deichen in Geotechnische Kategorien (GK) nach DIN 19712 (derzeit Entwurf)

Deichklasse ^{*)}	Geotechnische Kategorie (GK)
Klasse I	GK 3
Klasse II	GK 3
Klasse III	GK 1
*) gemäß Tabelle 1 dieses Merkblattes	

In Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Maßnahme bzw. bei Besonderheiten kann von der Einstufung in Tabelle 3 abgewichen werden. Eine abweichende Zuordnung ist im Einzelfall zu begründen.

Für Deiche der Klasse III nach Tabelle 1 (siehe Abschnitt 3.2) ist in der Regel GK 1 gemäß Tabelle 3 ausreichend. Im Falle besonderer Beanspruchung bzw. bei im Deich integrierte Bauwerke mit hohem Schwierigkeitsanspruch – z. B. bei Überlaufstrecken – ist eine Einstufung in GK 2 bzw. GK 3 (Hauptdeiche) erforderlich.

Nach den Einordnungen in eine GK richten sich die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität geotechnischer Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen während der Bauausführung.

Für den Bereich der GK 1 kann es als ausreichend betrachtet werden, wenn die Gründungs- und Untergrundverhältnisse im unmittelbaren Umfeld (doppelte Tiefe und Entfernung vom Deich):

- aus örtlichen Bauerfahrungen in der Nachbarschaft bekannt sind,
- die Gründungs- und Untergrundverhältnisse (Bodenart, Schichtung, Tragfähigkeit, Erosionsanfälligkeit) durch z. B. Schürfen, Kleinbohrungen und Sondierungen erkundet werden,
- die Grundwasserverhältnisse vor und während der Bauausführung abgeschätzt werden,
- der Gründungsbereich des Deiches (Deichlagerbereich) besichtigt wird und
- keine Besonderheiten auftreten.

In diesem Fall können weitergehende geotechnische Untersuchungen im Allgemeinen als entbehrlich betrachtet werden. Auch für Verhältnisse der GK 1 ist DIN 4020 zu beachten, und ein Geotechnischer Bericht (eventuell nur eine Seite) ist erforderlich. Grundsätzlich sollte die Trag- und Erosionssicherheit von einem erfahrenen, sachkundigen Fachmann aus dem Bereich Geotechnik/Wasserbau beurteilt werden.

In allen anderen Fällen sind Geotechnische Untersuchungen nach DIN 4020 – je nach Schwierigkeitsgrad in steigendem Ausmaß gemäß GK 2 oder GK 3 – zwingend erforderlich. Hierzu gehören u. a.:

- Direkte Aufschlüsse, insbesondere zur Beurteilung von Tragfähigkeit und Erosionsstabilität des Untergrundes.
- Bestimmung der Bodenkenngrößen im Labor zur Durchführung der geotechnischen Berechnungen.
- Bestimmung aller für die Problemstellung relevanter bodenhydraulischer Parameter.

Im Zweifelsfall oder wenn Besonderheiten im Baugrund bzw. bei bestehenden Deichen im Aufbau (z. B. steile Böschungen auf der Wasserseite, nicht tragfähiger Baugrund, erosive Böden, nicht ausreichende Abdichtungen im Untergrund, naheliegende Leitungen und Kanäle usw.) vorliegen, ist gegebenenfalls eine Höherstufung von GK 1 nach GK 2 oder von GK 2 nach GK 3 vorzunehmen. Die betreffenden Untersuchungen sind zwingend durch einen aufgrund umfassender gesicherter Erfahrungen sachkundigen Fachmann aus dem Bereich Geotechnik/Wasserbau durchzuführen.

7.2 Anforderungen an den Untergrund und das Deichlager

Deichkörper und Untergrund bilden in Bezug auf den Hochwasserschutz sowie die Standsicherheit eine Einheit. Mit einbezogen sind dabei – insbesondere im Bezug auf Drängewasserfragen und die Erosionssicherheit des Deichuntergrundes – das Deichvorland und das Deichhinterland. Die Beschaffenheit des Untergrundes, insbesondere seine

- Durchlässigkeit,
- Erosionsbeständigkeit,
- Scherfestigkeit und
- Zusammendrückbarkeit

sind für die Standsicherheit des Deiches entscheidend.

Ein Untergrund mit möglichst dicker und geschlossener, abdichtender Deckschicht aus bindigem Boden (z. B. aus Decklehm) ist vorteilhaft. Der Untergrund muss dabei eine ausreichende Tragfähigkeit aufweisen, um alle Beanspruchungen durch den hydraulisch und gegebenenfalls auch hydrodynamisch belasteten Deich sicher aufnehmen zu können.

Im Einzelnen sind in Bezug auf die Untergrundbelastung vom Deich her maßgebend:

- Deichprofil (Deichlagerbreite, Deichhöhe, Kronenbreite und Böschungsneigungen, gegebenenfalls Bermen).
- Innerer Aufbau des Deichkörpers (Bodenarten, Scherfestigkeiten).
- Durchströmungssituation (Sickerlinie, Strömungskräfte, Porenwasserdrücke).
- gegebenenfalls innere Verformbarkeit des Deichkörpers (Steifigkeit, Konsistenz- und Austrocknungsverhalten).

Bei weichen, bindigen und bei organischen Böden im Untergrund ist ein durch die (gegebenenfalls auch nur temporär auftretende) Belastung aus Gewicht, Verkehrslasten und Wasserdruck auftretender Porenwasserüberdruck bei der Ermittlung der Tragfähigkeit einzubeziehen.

Im Untergrund dürfen keine großen Unterschiede in der Zusammendrückbarkeit vorhanden sein, die zu schädlichen Setzungsunterschieden (Zeitsetzung/Freiborddifferenzen, Gewölbewirkung, Aufhängung) führen können. Eine sorgfältige Untersuchung ist besonders bei unregelmäßig aufgebautem Untergrund erforderlich (z. B. bei alten Deichbruchstellen oder bei Querung eines ehemaligen Bach- bzw. Flussbettes).

Auch an Standorten mit Altdeichen muss von bereichsweise unregelmäßigen Bodenverhältnissen ausgegangen werden, da hier z. B. lokale Veränderungen/Fehlstellen durch (historische) Materialentnahmen zum Altdeichbau zu erwarten sind.

In Gebieten mit untertägigem Abbau von Bodenschätzen sind die durch den bergbaulichen Betrieb zu erwartenden Verformungen (Senkungen, gegebenenfalls Stufenbildungen, Zerrungen/Pressungen) zu berücksichtigen.

7.3 Erkundung des Untergrundes und von Altdeichkörpern

Vor Beginn der Untersuchungen ist es erforderlich, sich einen Überblick über den geologischen Aufbau und die Entstehungsgeschichte des Geländes im Bereich der Deichaufstandsfläche und im Vor- und Hinterland zu verschaffen. In einem ersten Schritt können hierzu geologische Karten dienen. Ebenso ist es hilfreich zu prüfen, ob Bestandsunterlagen früherer Deichbaumaßnahmen, Altaufschlüsse oder geotechnische Gutachten existieren. Bei den zuständigen Ämtern dokumentierte Informationen zu eventuellen Schäden und Schadensursachen infolge vergangener Hochwasserereignisse sind gleichwohl zu recherchieren. Zusätzliche Erkenntnisse können aus geotechnischen Datenbanken, beispielsweise der geologischen Landesarchive, gewonnen werden. Weitere Hinweise gibt hierzu DIN 4020.

Ziel ist in dieser Bearbeitungsphase, insbesondere die Stellen mit uneinheitlichen Untergrundverhältnissen herauszufinden und damit den Umfang und die geeigneten Verfahren für eine gegebenenfalls im Weiteren erforderliche Baugrunderkundung auswählen zu können. Zur Erkundung des Untergrundes können direkte und indirekte Methoden dienen. Direkte Methoden sind z. B. Bohrungen und Schürfungen, indirekte sind Sondierungen oder auch geophysikalische Aufschlussmethoden.

Für Voruntersuchungen können die Erkundungen gegebenenfalls mit Kleinbohrungen und/oder Sondierungen beginnen. An Stellen mit Bodenschichtung oder Bodenarten, für welche genauere Untersuchungen benötigt werden, sollten bereits frühzeitig Bohrungen mit Entnahme von Bodenproben durchgeführt werden.

Der Abstand von Aufschlüssen – insbesondere im Rahmen von Hauptuntersuchungen nach DIN 4020 – sollte bei Deichen der GK 3 im Mittel nicht größer als 100 m betragen (Hauptbohrungen gemäß Bild 16).

Gegebenenfalls kann der Erkundungsabstand durch Anwendung geophysikalischer Verfahren (s. u.) vergrößert werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass Schwachstellen wie z. B. unter dem Deich verlaufende Altarme, ehemalige Deichbruchstellen oder inhomogener Deichaufbau in lokalen Bereichen, auch durch ein enges Aufschlussraster ohne flächendeckende geophysikalische Erkundung unter Umständen unentdeckt bleiben können. Das Aufschlussraster ist dann abhängig von den Ergebnissen zu vergrößern oder zu verkleinern.

Wenn eine besondere Genauigkeit in der Feststellung der Schichtenfolge, der Kornzusammensetzung und der Durchlässigkeit erforderlich ist, sollten Bohrungen mit Gewinnung eines kontinuierlichen Kernes ausgeführt werden. Dies ist besonders dann der Fall, wenn im Untergrund erosionsanfällige Böden vorhanden sind (z. B. Schichtungen aus Fein- und/oder Mittelsanden, vgl. auch Abschnitt 8.5).

Die geotechnischen Untersuchungen sind ausreichend weit in das Deichvor- und Deichhinterland, mindestens auf das 10-fache der Deichhöhe, gemessen vom Böschungsfuß, auszudehnen.

Sämtliche durch Aufschlüsse entstandene Öffnungen und Hohlräume (z. B. Bohrlöcher, Schürfe, etc.) sind unverzüglich fachgerecht zu verschließen.

In Bezug auf die Aufschlusstiefe gelten grundsätzlich die Anforderungen der DIN 4020. Ansonsten können gelten:

Anzahl und Tiefe von Aufschlüssen (vgl. Bild 17), die Hauptbohrungen ergänzen, sind so zu wählen, dass hierdurch Unregelmäßigkeiten im Aufbau und Verlauf von Deckschichten ausreichend genau erfasst werden. Zum Nachweis der Anbindung einer Deichdichtung an eine oberflächennahe zusammenhängenden Lehmdecke größerer Dicke genügt auf der Strecke zwischen den Hauptbohrungen gemäß Bild 16 eine Untersuchungstiefe von etwa $z_a = 2$ m. Ein lückenloser Aufschluss wird durch die Anordnung eines Anbindesporns an den Untergrund erreicht (vgl. hierzu Abschnitt 11.4.2).

Die Hauptbohrungen selbst sind stets tiefer zu führen, um auch Beschaffenheit und Dicke von darunter lagernden durchlässigen Schichten erfassen zu können. Die Kenntnis der Dicke einer Deckschicht unterlagernden durchlässigen Schicht kann wichtig sein für die Ermittlung der Druckhöhe des Sickerwassers und des Drängewasseranfalls.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Feststellung der geohydraulischen Verhältnisse im Deich und im Untergrund. Hierbei ist die Bestimmung der Bodenparameter zur Ermittlung der Lage der Sickerlinie im Deich erforderlich. Ungünstige Deichquerschnitte mit nachteiliger Verteilung der Durchlässigkeit im Deichkörper und/oder Schichtungen im Deich und Untergrund, Vorfluter, Gräben, Teiche sowie Deckschicht-Fehlstellen und dergleichen können die Durchsickerungsverhältnisse wesentlich beeinflussen.

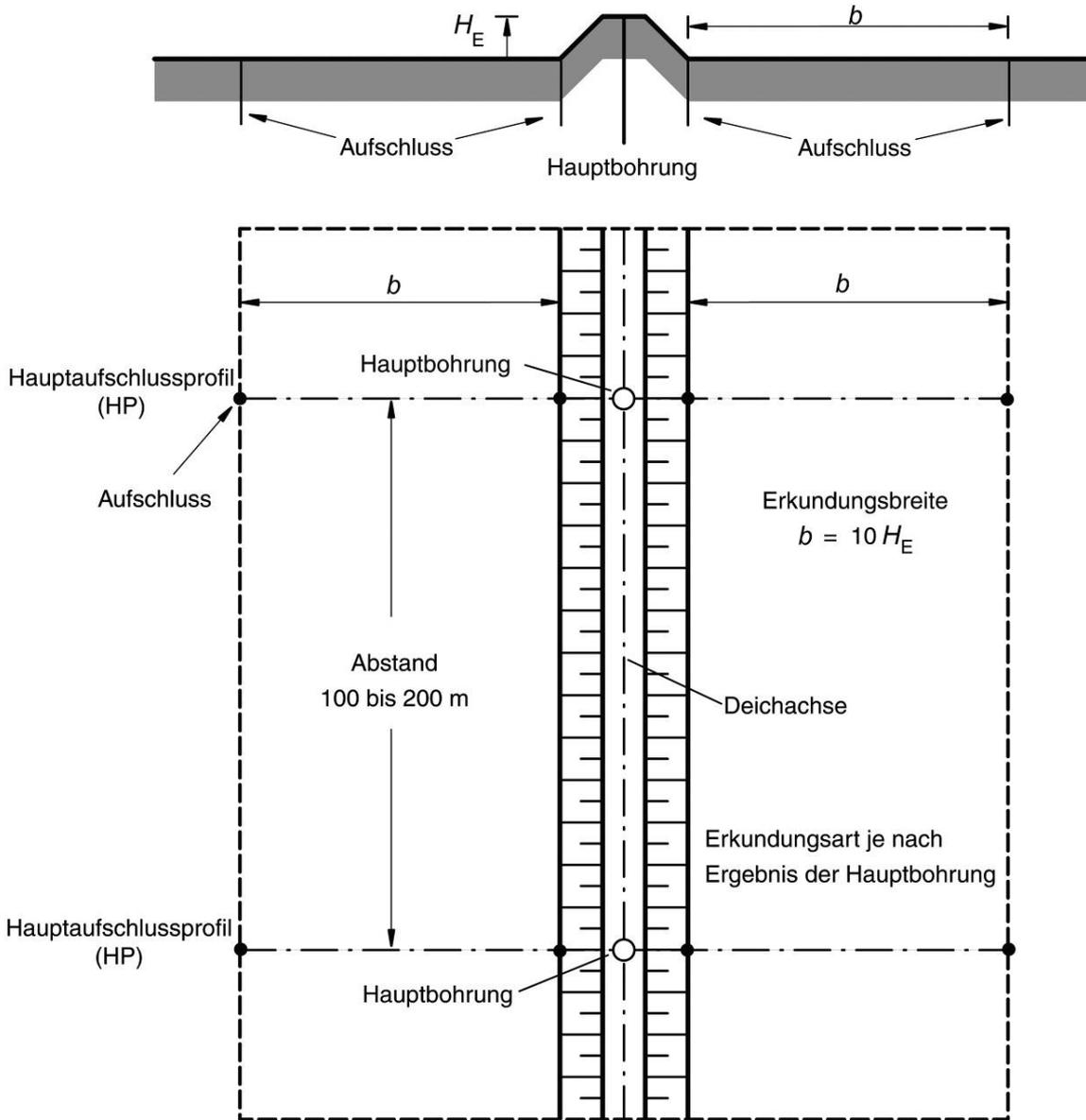


Bild 16: Anordnung der Aufschlüsse

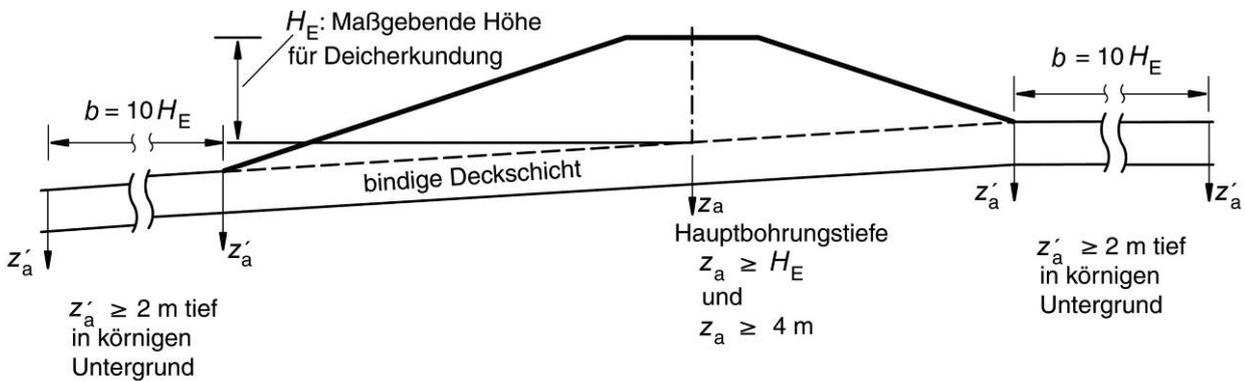


Bild 17: Mindestuntersuchungstiefen im Hauptaufschlussprofil

Die mit der Bestimmung der hydraulischen Verhältnisse verbundenen Unsicherheiten können eine Verwendung von Grundwassermessstellen (GWM) notwendig machen. Bei Hochwasser kann damit der Grundwasserstand gemessen werden, um eine Beziehung zwischen Flusswasserstand und Sickerlinie und gegebenenfalls Drucksituationen im Hinterland zu erhalten. Diese GWM sind unter Berücksichtigung der Durchlässigkeit des Untergrundes entsprechend auszubilden. Dazu ist DIN EN ISO 22475-1 zu beachten. Insbesondere ist beim Setzen von GWM die Ausbildung vertikaler Sickerwege durch geeignete Abdichtungen zu vermeiden.

Speziell in inhomogenen Bereichen ist eine stufenweise Erkundung unter Einbeziehung geophysikalischer Verfahren sinnvoll, bei der beispielsweise mit einem relativ groben Raster der Aufschlüsse begonnen wird. In Abhängigkeit von den ersten Ergebnissen wird für eine zweite Erkundungsstufe das erforderliche feinere Raster festgelegt.

Je nach angewandtem geophysikalischem Verfahren und lokaler Situation können beispielsweise Inhomogenitäten im Untergrund, Schichtgrenzen, der Verlauf von Felsoberkanten oder der Grundwasserspiegel festgestellt werden. Zur Auswertung der Messergebnisse ist jedoch in jedem Fall eine Kalibrierung bzgl. Materialansprache und Tiefenbestimmung an den Ergebnissen der direkten Aufschlüsse erforderlich. In der Praxis übliche geophysikalische Verfahren sind u. a. Geoelektrik, Georadar und Seismik. Werden geophysikalische Verfahren angewandt, ist in jedem Fall eine Aufbereitung und Bewertung der Ergebnisse unter Einbeziehung der konventionellen Erkundungen durch einen Geotechniker gemeinsam mit einem erfahrenen Geophysiker erforderlich.

Hinweise zu geophysikalischen Verfahren:

Nachfolgend wird ein Überblick über gängige geophysikalische Erkundungsverfahren gegeben. Detaillierte Erläuterungen, Anforderungen, Möglichkeiten und Grenzen dieser Verfahren finden sich u. a. in BAM (2008).

In der derzeitigen Praxis werden für die Deicherkundung vorzugsweise geoelektrische Verfahren im Vorfeld von konventionellen Erkundungen zur Festlegung der Aufschlusspunkte angewendet. Im Gegensatz zu den punktuellen Aufschlüssen liefern geoelektrische Verfahren dabei ein lückenloses Erkundungsprofil (Längs- oder Querprofil).

Mit Hilfe des Verfahrens der **Widerstandsgeoelektrik** – dem im Rahmen der Deicherkundung am häufigsten eingesetzten geoelektrischen Verfahren – ist nicht in jedem Fall eine sichere Abgrenzung einzelner Bodenschichten möglich, da die Änderung des gemessenen scheinbaren, spezifischen elektrischen Widerstandes nicht nur durch Wechsel im Untergrundaufbau, sondern

auch durch die Schwankungen des Wassergehaltes innerhalb einer ansonsten einheitlichen Boden- oder Gesteinsschicht verursacht sein kann. Mit der Geoelektrik lassen sich im Vergleich zu anderen geophysikalischen Verfahren vergleichsweise gut Inhomogenitätsbereiche (Vernässungszonen, Hohlräume) im Deich oder Untergrund ermitteln.

Bei Anwendung des **Georadars** werden hochfrequente elektromagnetische Wellen (Impulse) von der Geländeoberfläche aus in den Untergrund abgestrahlt. Diese werden an Objekten oder Schichtgrenzen zum Teil reflektiert und laufen zurück zur Oberfläche, wo sie durch Empfangsantennen registriert werden. Aus der Laufzeit dieses „Echos“ kann in Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen die Tiefenlage des Reflektors bestimmt werden. Die Eindringtiefe ist je nach Frequenz und Untergrundverhältnissen auf Dezimeter bis einige Meter beschränkt. Mit dem Verfahren können im oberflächennahen Untergrund trockene und wassergesättigte sowie bindige und nichtbindige Bereiche abgegrenzt werden. Auf Basis der Radargramme ist eine Bestimmung von Schichtgrenzen und Einzelschichtdicken sowie von Grundwasserhorizonten möglich. Inhomogenitäten, aber auch Objekte, wie beispielsweise Rohrleitungen im Deich oder Untergrund werden registriert. Die Auflösung ist abhängig von der Abstrahlungsfrequenz. Sie liegt im Zentimeter- bis Dezimeterbereich und ist damit im Vergleich zu anderen Verfahren sehr hoch. Das Verfahren versagt jedoch, wenn an der Oberfläche gut leitende Substrate (z. B. feuchte Tone und Schluffe oder eisenhaltige Schlacken) vorkommen.

Bei Anwendung von **Seismischen Verfahren** werden durch Impulsquellen an der Geländeoberfläche Erschütterungswellen ausgelöst, die sich im Untergrund ausbreiten. An größeren Objekten und Schichtgrenzen werden sie gebrochen, gebeugt oder reflektiert. Die zur Oberfläche zurücklaufenden Wellen werden mit Geophonen aufgezeichnet. Die gemessenen Wellengeschwindigkeiten und Laufzeiten der reflektierten seismischen Wellen sind von den Materialeigenschaften der einzelnen Bodenschichten und ihrer Dichte abhängig. Schichtgrenzen, z. B. die Grenzflächen zwischen Aquiferen und grundwasserstauenden Horizonten oder die Grenzfläche zwischen Deichschüttung und gewachsenem Boden, können mit diesem Verfahren erkannt werden. Seismische Untersuchungen eignen sich zur tieferen strukturellen Erkundung des Deichauflagers. Die Anwendung seismischer Verfahren ist mit einem vergleichsweise hohen zeitlichem und gerätetechnischem Aufwand sowie entsprechenden Kosten verbunden.

Mit Hilfe der Aufschlussuntersuchungen müssen auch die hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsraum zweifelsfrei erkundet werden. Bei bestehenden Altdeichanlagen können hierzu gegebenenfalls vorhandene Grundwassermessstellen und daraus vorhandene Grundwasserganglinien aus zurückliegenden Jahren

ausgewertet werden. Insbesondere ist auf einen gegebenenfalls vorhandenen Druckwasserspiegel bei Hochwasser zu achten. Hieraus können Rückschlüsse gezogen werden auf eine gegebenenfalls vorliegende Beeinträchtigung der Standsicherheit durch die Druckwassersituation und Fragen der Auftriebssicherheit im Bereich des landseitigen Deichfußes.

Für die Auswahl der Verfahren sowie deren Durchführung und Dokumentation für geotechnische Untersuchungen gilt DIN 4020 bzw. die dort genannten einschlägigen Normen (z. B. DIN EN ISO 22475-1, DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689-1, DIN EN ISO 22475, DIN 4023, DIN 4094-1 und -2, DIN EN ISO 22476-2, DIN 4094-4 und -5, DIN 18196, DIN 18300).

8 Nachweise

8.1 Einführung

Mit der Einführung der DIN 1054 im Jahre 2005 wurde die Nachweisführung auch im Deichbau auf das Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten umgestellt. Weiterführende Hinweise zu geotechnischen Sicherheitsnachweisen folgen in Abschnitt 8.3.1.

Entsprechend ihrer Bestimmung müssen Deiche insbesondere allen auf sie einwirkenden hydraulischen Belastungen aus einem festgelegten Bemessungshochwasserstand (vgl. Abschnitt 4.2) standhalten. Darüber hinausgehende Wasserstände bis zu einem bordvollen Wasserstand werden ebenfalls betrachtet und entsprechenden Einwirkungen und Bemessungssituationen (BS) zugewiesen (vgl. Abschnitt 8.3.4).

Bei allen Betrachtungen sind Deichkörper und Untergrund stets als Einheit anzusehen, sodass betreffende Berechnungen und Nachweise sowohl für den Deichkörper als auch für den Untergrund gelten müssen.

Insgesamt lassen sich die durchzuführenden Berechnungen und Nachweise bei Deichen wie folgt untergliedern:

- Hydraulische Berechnungen und Nachweise,
- Geotechnische Nachweise zur
 - Tragfähigkeit,
 - Erosionssicherheit,
 - Gebrauchstauglichkeit.

Im Hinblick auf die **hydraulischen Berechnungen und Nachweise** werden, neben der zunächst erforderlichen Ermittlung eines ausreichenden

- Freibords

im Folgenden die erforderlichen Berechnungen zur Bestimmung der hydraulischen Belastungen (Einwirkungsgrößen) aus den vorkommenden hydraulischen Belastungssituationen (Wasserstände) aufgeführt. Diese sind:

- Durchströmungswirkungen (Bestimmung von stationären und instationären Sickerlinien) und
- Wasserdruckwirkungen im Untergrund (Bestimmung der Wasserdruckverhältnisse, Potenzialverteilungen).

Daneben sind auch hydraulische Berechnungen und Nachweise zur:

- Sicherheit gegenüber Kolmation,
- Durchströmung des Deichkörpers und des Untergrundes, auch unter Berücksichtigung eines Versagens von Elementen,
- Dimensionierung von Dräns und Dränleitungen,
- Abführung des daraus maximal resultierenden Sicker- und Drängewasseranfalls im Deichhinterland sowie
- Sicherheit gegen Oberflächenerosion auf der wasserseitigen Böschung

zu führen.

Hinweis: Zur Herstellung der Sicherheit gegen Oberflächenerosion der wasserseitigen Böschungen aus den Wirkungen des vorbeifließenden Wassers können auch konstruktive Lösungen dienen.

Im Hinblick auf die **Tragfähigkeitsnachweise** kann unterschieden werden in:

- Allgemeine (globale) Standsicherheit (Nachweise der land- und wasserseitigen Böschungen gegen Böschungsbruch, Böschungsgrundbruch und Abschieben des Deichkörpers).
- Lokale Standsicherheit im Bereich der land- und wasserseitigen Böschungen.
- Lokale Standsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit).
- Standsicherheit von Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Deichkörper her (z. B. infolge schnell absinkenden Wasserspiegels).
- Auftriebssicherheit bzw. Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch.

Zu den **Nachweisen zur Sicherheit gegen Materialtransport** (vgl. Abschnitt 8.5) zählen die Nachweise

- zur Kontakterosion (mechanische Filterwirksamkeit),
- der Suffosionsstabilität,
- zum Erosionsgrundbruch sowie
- zur Fugenerosion.

Alle betreffenden Nachweise zur Erosionssicherheit sind bei allen relevanten Materialien, Materialwechsel-/Übergangsbereichen der vorhandenen Deich- und Untergrundelemente zu bearbeiten.

Die **Nachweise der Gebrauchstauglichkeit** (vgl. Abschnitt 8.6) bestehen zunächst in der Abschätzung/ Ermittlung von:

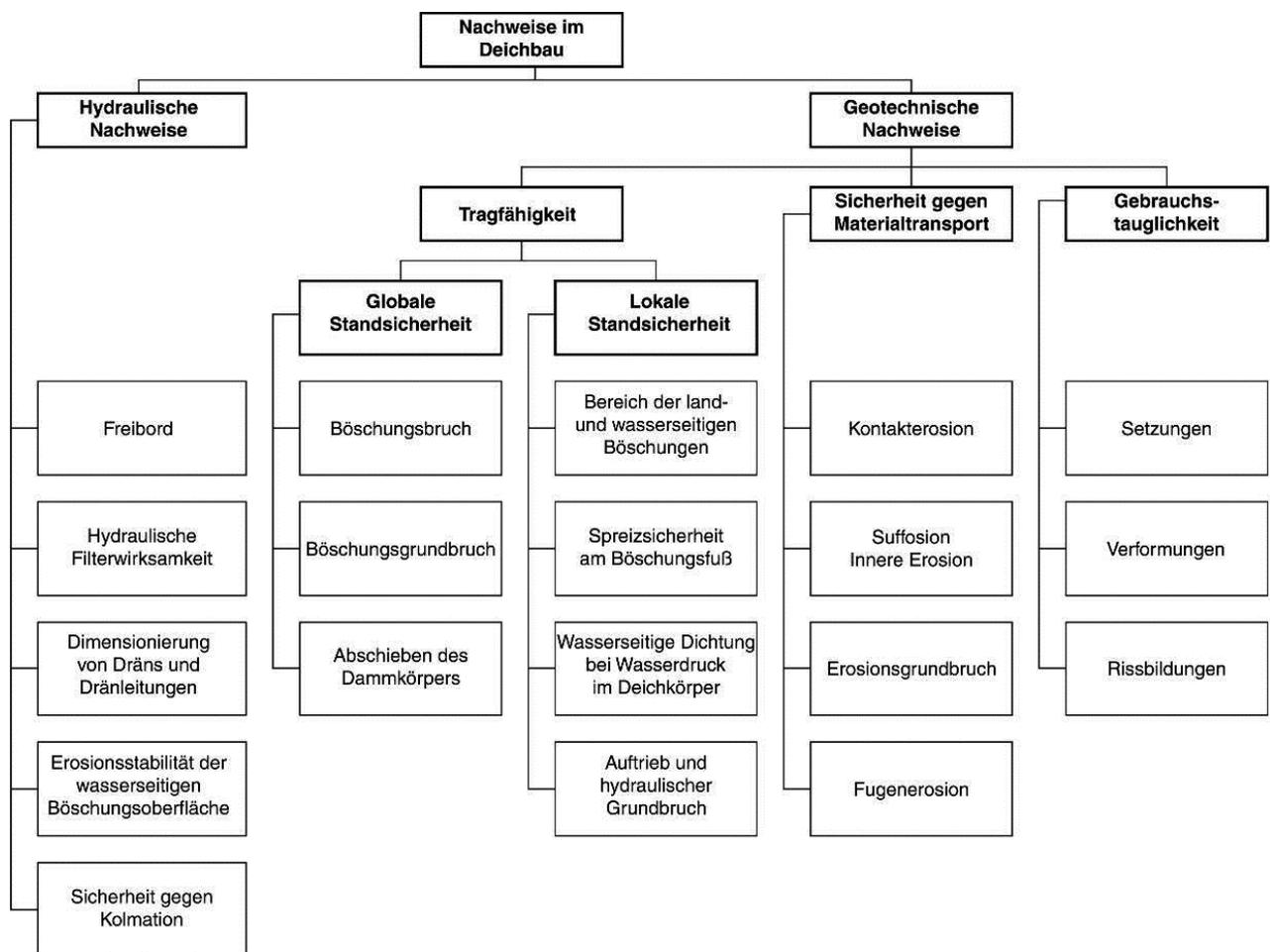
- Setzungen und gegebenenfalls auch des
- Zeitsetzungsverhaltens.

Dabei sind Rückwirkungen auf die (Anfangs-)Stand-sicherheit durch Konsolidierungsverzug zu beachten.

Daneben ist eine Beurteilung – je nach der Erfordernis im Einzelfall auch ein konkreter Nachweis – der

- Sicherheit gegen unverträgliche Verformungen und
 - Rissbildungen
- vorzunehmen.

Bild 18 enthält eine Übersicht über die erforderlichen Berechnungen und Nachweise.



Berechnung/Ermittlung hydraulischer Einwirkungsgrößen als Grundlage für geotechnische und hydraulische Nachweise sowie den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit:

- Stationärer Strömungszustand in Deich und Untergrund (u. a. Sickerlinie)
- Instationäre Durchströmung von Deich und Untergrund
- Durchströmungssituation bei schnell fallendem Wasserspiegel
- Binnenseitiger Dränge- und Sickerwasseranfall

Bild 18: Berechnungen und Nachweise bei Deichen

8.2 Hydraulische Grundlagen und Nachweise

8.2.1 Allgemeines

Als Eingangswerte u. a. für die meisten Standsicherheitsnachweise sowie für die Erosionsnachweise sind hydraulische Grundlagen bzw. Nachweise erforderlich, die die Kenntnis möglicher Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten und deren zeitlichen Ablauf erfordern (POHL 2000).

8.2.2 Freibord

Die erforderliche Freibordhöhe (Definition vgl. Abschnitt 5.3, Bild 3) wird als Summe von Windstau, Wellenauflauf und zusätzlichen Kronenerhöhungen berechnet.

Gegebenenfalls vorhandene stehende Wellen, Aufstau durch Hindernisse und ein erhöhter Wasserstand an der Außenseite von Krümmungen infolge von Wasserspiegelquerneigungen sind in der Ermittlung des Bemessungshochwasserstandes zu berücksichtigen; weitere Unsicherheiten in Bezug auf die Festlegung des Bemessungshochwassers oder bei der Berechnung des Wasserstandes sind dort zu berücksichtigen und orientieren sich in ihrem Maß am Vertrauensbereich der dort verwandten Daten (vgl. Abschnitt 5.2).

Der **Windstau** ist abhängig von:

- der Form und Ausdehnung der vom Wind überwehten Fläche (Streichlänge),
- von der hauptsächlich Windrichtung,
- der Windgeschwindigkeit,
- der Windeinwirkzeit,
- der Wassertiefe und der Strömung.

Der Windstau lässt sich mit diesen Vorgaben berechnen bzw. abschätzen (DVWK-M 246/1997, POWELEIT 1985, POHL 2001). Anhaltswerte können örtliche Beobachtungen an vergleichbaren Stellen liefern. Der Windstau kann bei kleineren Fließgewässern vernachlässigt werden. Bei großen Wasserflächen und geringen Tiefen (z. B. Vorländer, Flutungspolder) kann er im Dezimeterbereich liegen.

Zur Berechnung des winderzeugten **Wellenauflaufes** werden zusätzlich zu den für die Ermittlung des Windstaus erforderlichen Größen noch Angaben zur Form und Beschaffenheit der wasserseitigen Deichböschung benötigt. An kleineren Fließgewässern liegt der Wellenauflauf allenfalls im Bereich eines Dezimeters. An Flüssen mit großen Ausdehnungen der Wasserflächen im Hochwasserfall und in Flutungspoldern kann er dagegen beträchtlich sein. Es gibt verschiedene Verfahren zur Berechnung der Auflaufhöhe, wobei zunächst die Berechnung der Wellenkennwerte erforderlich ist.

Die für die Berechnung von Windstau und Windwellenkennwerten auf Fließgewässern zur Verfügung stehenden Ansätze basieren meist auf Beobachtungen an stehenden Gewässern und gelten daher nur für sehr geringe Fließgeschwindigkeiten (DVWK-M 246/1997, POHL 2001). Die Bestimmung der Windstau- und Wellenhöhen bei schneller strömenden Fließgewässern ist noch nicht abschließend erforscht, kann aber vorläufig näherungsweise mit den Ansätzen für stehende Binnengewässer abgeschätzt werden.

Zusätzliche Kronenerhöhungen sind meist querschnittbezogen in begrenzten Bereichen des Deiches zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 5.3). Bei Deichen der Klassen II und III kann der Nachweis entfallen, wenn Wellenauflauf und Windstau keine den Mindestfreibord überschreitende Größe erwarten lassen, was in der Regel bei Hauptstreichlängen unter 100 m und Wassertiefen unter 5 m sowie wasserseitigen Böschungsneigungen von 1 : 3 und flacher der Fall ist.

Die abschnittsweise Festsetzung des Freibordes hat sich als zweckmäßig erwiesen. Die Summe aller ermittelten Freibordanteile ist mit dem Mindestfreibord zu vergleichen. Maßgebend wird der größere Wert.

In Abhängigkeit von der Klassifizierung von Deichen (vgl. Tabelle 1) werden die folgenden Mindestfreiborde empfohlen:

- Deiche der Klasse I:
 - bis 3 m Deichhöhe: 0,50 m,
 - ab 5 m Deichhöhe: 1,0 m,
- Deiche der Klassen II und III:
 - 0,50 m.

Zwischen 3 m und 5 m Deichhöhe wird eine gleitende Mindestfreibordhöhe (z. B. mit linearer Interpolation von 0,50 m bis 1,0 m) empfohlen.

8.2.3 Ermittlung der hydraulischen Einwirkungsgrößen

Für die Einzelnachweise der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit von Deichen der Klassen I und II muss die Sickerlinie ermittelt werden. Darüber hinaus ist es oft zweckmäßig, das hydrodynamische Netz (Strom- und Potenziallinien, Potenzialfeld) für Deich und Untergrund numerisch oder mit geeigneten Verfahren analytisch zu ermitteln. Im Einzelnen sind dabei folgende Strömungszustände bzw. hydraulische Einwirkungsgrößen zu berücksichtigen:

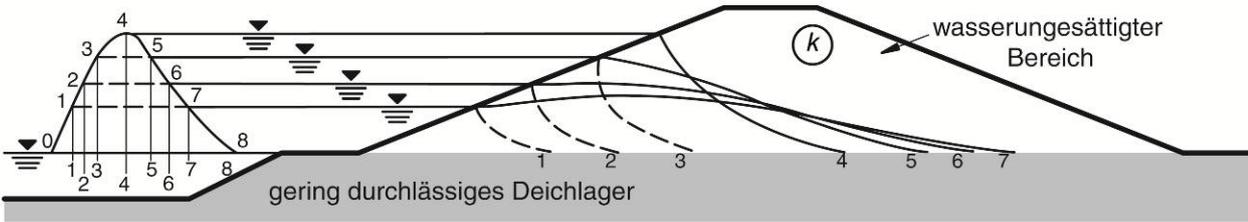
- **Stationärer Strömungszustand:**
Für die Nachweise zur Standsicherheit des Deiches ist in der Regel der Verlauf der Sickerlinie im stationären Zustand als ungünstigste Strömungssituation in Ansatz zu bringen. Sowohl für homogene Deiche als auch für Deiche mit gegliedertem Querschnitt existieren vereinfachte Berechnungsmethoden (z. B. nach KOZENY & CASAGRANDE, vgl. CASAGRANDE 1934). Eine Zusammenstellung unterschiedlicher vereinfachter Berechnungsmethoden befindet sich u. a. in DAVIDENKOFF (1964) und ERB (1965).
- **Instationäre Durchströmung:**
Wenn aufgrund des Deich- und Untergrundmaterials und der für das Bemessungshochwasser maßgebenden (kurzen) Einstaudauer davon ausgegangen werden kann, dass sich keine nahezu stationären Strömungsverhältnisse einstellen, darf für eine charakteristische bzw. maßgebende Hochwasserwelle der Verlauf der instationären Durchströmung des Deichkörpers überprüft und in Ansatz gebracht werden. Konkret ist hier zu klären, ob für die Dauer des in Ansatz gebrachten Hochwassers die Sickerlinie die Binnenseite des Deiches erreicht (vgl. Bild 19). Als maßgebende Faktoren sind hierbei die Deichgeometrie (Deichhöhe und wasserseitige Böschungsneigung) und der Deichaufbau (Eigenschaften des Baustoffes und Wechsellagerungen) sowie die meteorologischen Randbedingungen (resultierende Vorfeuchte im Deichinnern) zu berücksichtigen. Sind keine detaillierten Informationen über den Wasserhaushalt des Deiches vorhanden, kann als Vorfeuchte die Feldkapazität des Deichbaumaterials angesetzt werden. Die Standsicherheit kann dann mit der Lage der ungünstigsten temporären Sickerlinie im Deichkörper ermittelt werden. Die instationäre Berechnung ist in einfachen Fällen mit geeigneten vereinfachten analytischen Methoden möglich (vgl. z. B. SCHEUERMANN 2005, HASELSTEINER 2007).
- **Sickerlinie für den Lastfall schnell fallender Wasserspiegel:**
Wenn schnelle Wasserspiegelabsenkungen (auf der Wasserseite oder – falls eingestaut – auch auf der Landseite) zu erwarten sind, sollte die Sickerlinie auch unter diesen instationären Bedingungen berücksichtigt werden. Wenn keine diesbezüglichen

instationären Berechnungen, die die Wechselwirkung zwischen Absenkgeschwindigkeit des Wasserspiegels, der Lage der Sickerlinie im Deichkörper bei BHW und der Durchlässigkeit der Deichkörpermaterialien berücksichtigen, durchgeführt werden, kann auf eine vereinfachende Abschätzung der Lage der Sickerlinie zurückgegriffen werden (vgl. Abschnitt 8.4.1).

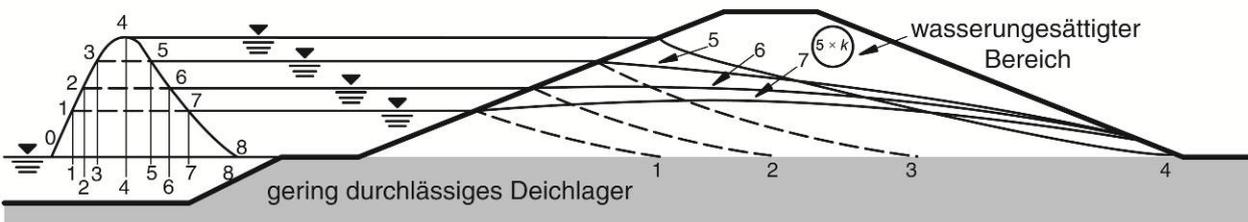
- **Wasserdruckverhältnisse und Potenzialverteilung im Untergrund:**
Für die Nachweise zur Standsicherheit (z. B. lokale Standsicherheit am Böschungsfuß, den Nachweis der Auftriebssicherheit bzw. der hydraulischen Grundbruchsicherheit) sowie für die Nachweise zur Erosionssicherheit ist die Kenntnis der hydraulischen Druckverhältnisse (bzw. Potenzialverteilungen) im Untergrund erforderlich. Im Allgemeinen reicht es aus, diese unter vereinfachenden Annahmen abzuschätzen. In komplexen Situationen kann es erforderlich sein, die Potenzialverteilung mit Hilfe betreffender numerischer Rechenprogramme zu ermitteln.
- **Hydraulische Gradienten in Deich und Untergrund:**
Zur Führung der Nachweise zur Erosionssicherheit ist die Ermittlung der hydraulischen Gradienten im Deich bzw. im Untergrund erforderlich. Insbesondere an Grenzflächen zweier benachbarter Bodenschichten bzw. entlang von festen Einbauten im Deich und im Untergrund können erhöhte hydraulische Gradienten auftreten, die im Detail auf Grundlage von z. B. hydrodynamischen Netzen ermittelt werden können (vgl. Abschnitt 8.5).
- **Binnenseitiger Dränge- und Sickerwasseranfall:**
Der zu erwartende binnenseitige Dränge- und Sickerwasseranfall infolge Durchströmung von Deich und Untergrund ist zu ermitteln. Es ist zu plausibilisieren – bzw. falls die binnenseitige Nutzung dies erfordert, im Einzelfall auch nachzuweisen –, dass der ermittelte Abfluss bei der gewählten Planungskonzeption abgeführt werden kann (Deichgraben, Vorflut, Schöpfwerk; vgl. Abschnitt 6.4.2). Dabei sind auch mögliche Rückwirkungen von Veränderungen binnenseitiger Wasserstände durch Drän- und Wasserabführmaßnahmen (z. B. Vorflutgräben) auf die Trag- und Erosionssicherheit zu beachten.

Für den Fall der Durchströmung von Deichen kann der Durchfluss in der Regel bereits aus den vereinfachenden Berechnungen der Sickerlinie im stationären Zustand abgeschätzt werden. Für die Unterströmung können geeignete Verfahren verwendet werden, um den Sickerwasseranfall zu ermitteln (z. B. nach DACHLER 1936). Im speziellen Einzelfall kann auch hier der erhöhte Aufwand durch Einsatz numerischer Verfahren zur Ermittlung der Zuströmungen gerechtfertigt sein.

a) instationäre Durchströmung (Durchlässigkeit des Deichkörpers: k)



b) instationäre Durchströmung (Durchlässigkeit des Deichkörpers: $5 \times k$)



c) stationäre Durchströmung

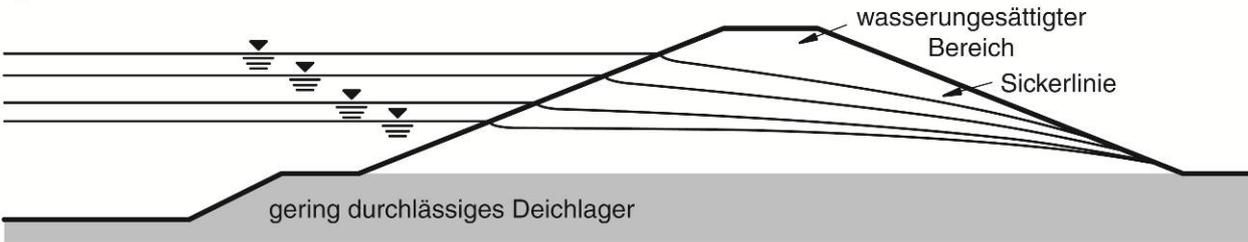


Bild 19: Durchströmung eines homogenen Deiches auf gering durchlässigem Deichlager

8.2.4 Nachweis der hydraulischen Filterwirksamkeit

Im Grenzbereich zweier Deichzonen (z. B. a) Übergang von Dichtung zum Stützkörper oder auch b) Übergang von Stützkörper zum Dränkörper) ist der Nachweis der hydraulischen Filterwirksamkeit zu führen. Die hydraulische Filterwirksamkeit ist wesentlich für die Annahmen zur Ausbildung der Sickerlinien. Dabei muss die Durchlässigkeit der Zonen des Deichquerschnittes in Richtung Landseite – gegebenenfalls von der Dichtung an – zunehmen.

Wegen der erforderlichen druckwasserfreien Sickerwasserführung innerhalb des Deichkörpers auch bei besonderen Lastfällen (Ausfall der Dichtung, Röhrenbildungen bei Wühltierbefall u. a. m.) sind die Anforderungen bzgl.

der Kornabstufung sowie der Verdichtung und der daraus folgenden Durchlässigkeit der Materialien festzulegen. Zur Nachweisführung kann auf BAW MAK (1989) (dort Abschnitt 5.2.3), bei geotextilen Filtern auf BAW MAG (1993) oder Merkblatt DVWK-M 221/1992 verwiesen werden.

Wesentlich ist, dass in Bezug auf die hydraulischen Eigenschaften zwischen den Materialien des Querschnittaufbaues insbesondere bei bindigen Böden (z. B. Dichtung >> Stützkörper) jeweils ein Abstand der Durchlässigkeitsbeiwerte k von 10^2 (Faktor 100) einzuhalten ist.

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

8.2.5 Dimensionierung von Dräns und Dränleitungen

Die Sicherung eines ansonsten nicht standsicheren Deiches ist am einfachsten und wirtschaftlichsten mit Dräns zu gewährleisten. Hierbei wird grundsätzlich zwischen innenliegenden Dräns (z. B. Fußdrän oder Sohlrdrän) und aufgesetzten Dräns (z. B. Auflastdrän) unterschieden. Je nach Anordnung werden Dräns unterschiedlich hydraulisch belastet, weswegen ihre Dimensionierung fallweise betrachtet werden muss. Grundsätzliche Vorgaben zur Drändimensionierung können dem Merkblatt BAW MSD (2005) entnommen werden. Für spezielle Anordnungen von Dräns sind angepasste Kriterien zur Bemessung hinzuzuziehen (z. B. bei Sohlendräns BRAUNS & RAJU 1993, bei Streifendräns BRAUNS & GOTTHEIL 1989, bei Dränrohren POWELEIT 1988, bei Vertikaldräns BRAUNS & SCHULZE 1988). Geosynthetische Dränschichten werden z. B. nach EAG-Drän (in Vorbereitung) oder gemäß dem Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues (FGSV 549) bemessen.

Dräns sind so zu bemessen, dass sie das zu erwartende Sickerwasser mit mindestens zweifacher Sicherheit abführen können.

Werden Rohre zu Dränzwecken bzw. zur Ableitung des Sickerwassers angeordnet, ist deren Zugänglichkeit dauerhaft über die gesamte Länge für Inspektions- sowie Unterhaltungszwecke zu gewährleisten. Gegebenenfalls sind in regelmäßigen Abständen Schachtbauwerke anzuordnen. Ist dies nicht gegeben, muss die Standsicherheit ohne die Wirkung der Dränrohre nachgewiesen werden (DIN 19702; EAU 2004 E 18).

8.2.6 Oberflächenerosion auf der wasserseitigen Böschung und Strömungsdruck

Zur Führung der Nachweise bzw. für konstruktive Überlegungen zur Beherrschung der Oberflächenerosion der wasserseitigen Böschungen aus den Wirkungen des vorbeifließenden Wassers sind die an der Deichkörperoberfläche wirkenden Strömungskräfte abzuschätzen.

Hinweis: Auch landseitig können Oberflächenerosionen entstehen, wenn z. B. ein Deich überströmt wird oder wenn an der Landseite Sickerwasser austritt.

Die Sicherheit der wasserseitigen Deichböschung gegenüber Oberflächenerosionen durch die Schubspannung (Schleppkraft) des vorbeifließenden Wassers kann z. B. durch Vergleich mit zulässigen Schubspannungen oder Fließgeschwindigkeiten für das jeweilige Böschungsmaterial nachgewiesen werden (BOLLRICH 2000, DVWK-Schriftenreihe Heft 118/1997).

Bei schräger Anströmung oder in Außenkrümmungen (insbesondere bei Schardeichen) sollte zusätzlich geprüft werden, ob der Strömungsdruck einer eventuell vorhandenen rechtwinklig auf die Deichlinie gerichteten Geschwindigkeitskomponente zu Zerstörungen der wasserseitigen Böschung oder zu einer bei der allgemeinen Standsicherheit zu beachtenden zusätzlichen Belastung führen kann.

8.3 Geotechnische Berechnungen und Nachweise

8.3.1 Nachweiskonzept für die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit

Bereits im Jahr 1997 wurden mit der DIN 19712 die geotechnischen Nachweise gemäß dem Nachweiskonzept mit Teilsicherheiten (auch Partialsicherheitskonzept genannt) eingeführt. Nachdem nun die übergeordneten Normen, insbesondere Eurocode 7 mit seinem Teil 1 als DIN EN 1997-1 sowie die Normen zur Berechnung der Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau (insbesondere DIN 1054) vorliegen, wird auch in der in Überarbeitung befindlichen DIN 19712 die Anwendung des Konzeptes zwingend vorgeschrieben werden.

Im Hinblick auf die Nachweise zur Tragfähigkeit gilt als generelle Vorgabe, dass nachzuweisen ist, dass Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Bei Deichen tritt die Sicherheit gegen Materialtransport im Deichkörper und im Untergrund hinzu. Der hierfür erforderliche Untersuchungsaufwand richtet sich dabei nach der Einordnung des Bauwerkes in die jeweilige Geotechnische Kategorie (vgl. Abschnitt 7.1).

8.3.2 Allgemeine Hinweise zu den Nachweisen der Tragfähigkeit

Der Deich muss gegenüber allen Einwirkungen bei den im Einzelfall gegebenen Untergrundverhältnissen standsicher sein, d. h. die Nachweise der Tragfähigkeit erfüllen. Dies wird dadurch nachgewiesen, dass für jede mögliche Gleitfläche ein Bruch ausgeschlossen werden kann. Deich und Untergrund sind bei dieser Untersuchung als Einheit anzusehen. Dementsprechend sind nicht nur Gleitflächen durch den Deichkörper allein (Böschungsbruch), sondern auch solche durch Deichkörper und Untergrund (Böschungsgrundbruch) zu untersuchen (Bild 20); die Beschaffenheit des Untergrundes ist für die Standsicherheit des gesamten Deiches mitentscheidend (siehe Abschnitt 7).

Die Nachweise der Sicherheit gegen Böschungsbruch sowie Böschungsgrundbruch werden zusammen mit dem Nachweis der Sicherheit gegen Abschieben des Deichkörpers in der allgemeinen Standsicherheit zusammengefasst.

Für diese erdstatischen Nachweise gilt DIN 4084 in Zusammenhang mit DIN EN 1997-1, DIN 1054 sowie DIN 19712. In Einzelfällen – insbesondere bei Deichen der Klasse I nach Tabelle 1 mit Höhen ab 5 m und lang anhaltendem Einstau – können auch die weitergehenden Anforderungen, die in den Grundsätzen zur Tragsicherheitsuntersuchung der DIN 19700-10 aufgeführt sind, Anwendung finden.

Insbesondere wenn Sickerwasser aus Böschungen austreten kann, ist für Gleitflächen, die parallel und nahe der Böschungsoberfläche verlaufen, die lokale Standsicherheit nachzuweisen. Bei Situationen mit geneigten Deichaufstandsflächen und bindigem Deichlager wird besonders auf den Nachweis der Aufnahme von Spreizspannungen in der Aufstandsfläche des Deiches hingewiesen (lokale Standsicherheit des Böschungsfußes: Sicherheit gegen Spreizen; vgl. Abschnitt 8.4.3).

Ein Nachweis der Tragfähigkeit kann als entbehrlich angesehen werden,

- wenn für eine gleichartige Deichkonstruktion mit gleichen Bodenmaterialien und Untergrundaufbau ein Nachweis bereits vorliegt sowie
- für Deiche der Klasse III gemäß Tabelle 1, wenn Verhältnisse der geotechnischen Kategorie GK 1 vorliegen (vgl. Abschnitt 7.1).

8.3.3 Allgemeine Hinweise zu den Nachweisen der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Die Gebrauchstauglichkeit eines Deiches ist gegeben, wenn festgelegte Nutzungseigenschaften des Bauwerkes bzw. von Bauwerksteilen in vorgegebenen Toleranzen beibehalten werden. Für Deiche der Klassen I und II ist nachzuweisen, dass auch unter unvorhergesehenen Bedingungen (z. B. bei Verformungen) die Standsicherheit erhalten bleibt. Das gleiche gilt für Einbauten im Deich und im Untergrund, die eine ihnen zugeordnete Funktion zu erfüllen haben. Schränken Verformungen und Rissbildungen die Funktionstüchtigkeit von Dichtungen und Dräns ein, so sind diese bei den hydraulischen Berechnungen und Nachweisen zu berücksichtigen.

Gemäß DIN 1054 können für den Nachweis der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für alle Einwirkungen und Beanspruchungen die Teilsicherheitsbeiwerte mit 1,0 angenommen werden.

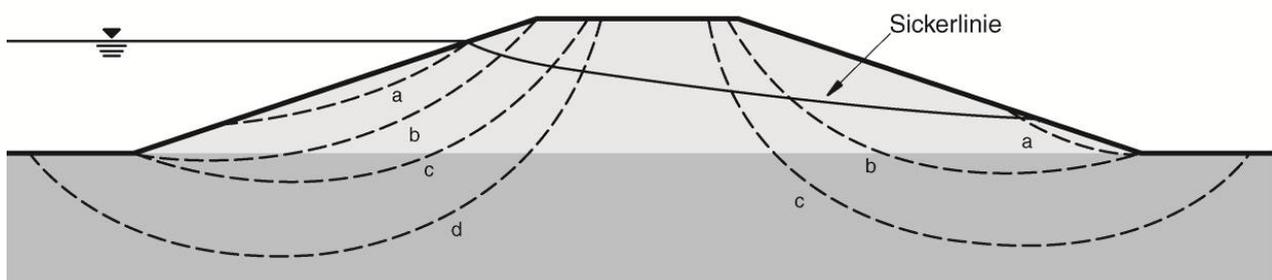


Bild 20: Kreisförmige Gleitflächen (schematisch)

8.3.4 Einwirkungen und Beanspruchungen

Einwirkungen auf den Deich oder den Untergrund sowie daraus resultierende Beanspruchungen sind nach DIN EN 1990 als charakteristische Werte zu ermitteln und in ständige, veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen einzuordnen.

Ständige Einwirkungen auf Deiche und deren Untergrund sind:

- Eigenlasten,
- Auflasten und
- gegebenenfalls Erddruck.

Zeitlich und örtlich **veränderliche Einwirkungen** auf Deiche sind:

- Beanspruchungen aus dem Bemessungshochwasser (BHW),
- Beanspruchungen aus schnell aus dem BHW fallendem Wasserstand im Gewässer,
- Verkehrslasten,

ANMERKUNG: Wenn nicht besondere Randbedingungen vorliegen, sollten auf befestigten Deichverteidigungswegen Verkehrslasten von 33 kN/m^2 in Ansatz gebracht werden. Für sonstige Wege gelten Verkehrslasten von 16 kN/m^2 , für Kronen und Bermen ohne Fahrwege werden 5 kN/m^2 verwendet (vgl. hierzu auch Abschnitt 4.2.1).

- Beanspruchungen aus einem bauzeitlichen Bemessungshochwasserstand (BauHW) und
- bauzeitlich erhöhte Verkehrslasten.

Zusätzlich sind gegebenenfalls weitere, veränderliche Einwirkungen zu berücksichtigen, wie z. B. Wellenlasten, Eislasten (siehe z. B. CARSTENSEN 2010), bergbauliche Einwirkungen (Einwirkungen aus Senkungen, Senkungsunterschieden, Längenänderungen und Krümmungen), Stoßlasten, landseitiger Einstau des Deiches.

Außergewöhnliche Einwirkungen auf Deiche sind Beanspruchungen infolge:

- eines das Bemessungshochwasser überschreitenden Hochwassers (bordvoller Wasserstand),
- Ausfall von Dichtungen oder
- Ausfall von Dräns.

Zusätzlich sind gegebenenfalls weitere außergewöhnliche Einwirkungen zu berücksichtigen, wie z. B. Beanspruchungen infolge Kolkbildung oder Schiffsstoß.

Dem bordvollen Wasserstand entspricht ein wasserseitiger Einstau bis zur wasserseitigen Böschungsschulter ohne Berücksichtigung von lokalen Über- oder Unterhöhen und konstruktiv erforderlichen Überhöhungen.

8.3.5 Bemessungssituationen

Die Einwirkungen sind nach DIN EN 1990 zu Einwirkungskombinationen zusammenzufassen und den Bemessungssituationen zuzuordnen. Für den Nachweis der Tragfähigkeit wird unterschieden in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen.

Die **ständige Bemessungssituation (BS-P)** beinhaltet alle den normalen Nutzungsbedingungen des Deiches entsprechenden Einwirkungskombinationen, d. h.:

- die ständigen, gemeinsam mit jeweils gleichzeitig auftretenden veränderlichen Einwirkungen, (z. B. Eigenlasten und Auflasten)

gemeinsam mit

- Verkehrslasten sowie Wasserdruck- und Strömungskräfte bei BHW

oder

- Verkehrslasten und Wasserdruck- und Strömungskräfte bei schnell aus BHW fallendem Wasserspiegel.

In die **vorübergehende Bemessungssituation (BS-T)** sind Bau- oder Instandsetzungsmaßnahmen an, auf oder neben Deichen einzustufen. Dazu gehören Einwirkungskombinationen

- der ständigen Einwirkungen gemeinsam mit zeitlich begrenzt auftretenden veränderlichen Einwirkungen.

Dabei können sowohl die ständigen (z. B. anwachsende Eigenlasten, Auflasten) als auch die veränderlichen Einwirkungen (z. B. Bauverkehr) von den in der ständigen Bemessungssituation anzusetzenden Einwirkungen abweichen.

Ein bauzeitlicher Bemessungshochwasserstand (BauHW) darf unter Berücksichtigung der Dauer der Bau- oder Instandsetzungsmaßnahme festgelegt werden. Bei Bau- und Instandsetzungsmaßnahmen sind grundsätzlich geeignete Sicherungsmaßnahmen für den Fall einer Überschreitung des festgelegten bauzeitlichen Bemessungshochwasserstandes (BauHW) vorzusehen.

Zur **außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A)** gehören die Einwirkungen der ständigen Bemessungssituation oder der vorübergehenden Bemessungssituation zusammen mit einer außergewöhnlichen Einwirkung.

Hinweis: Die Bemessungssituation aus Erdbebenbelastung (BS-E) ist beim Nachweis der Tragfähigkeit von Deichen im Allgemeinen entbehrlich.

Für den Deich sind die Einwirkungen in den verschiedenen Bemessungssituationen zu den maßgebenden **Einwirkungskombinationen** zusammenzufassen.

In Tabelle 4 sind beispielhaft die für Deiche in den verschiedenen Bemessungssituationen zu berücksichtigenden Einwirkungskombinationen zusammengestellt.

Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte:

Zur Ermittlung der Bemessungswerte der Einwirkungen bzw. Beanspruchungen für die geotechnischen und bautechnischen Nachweise sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen bzw. Beanspruchungen mit Teilsicherheitsbeiwerten zu beaufschlagen. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind in Abhängigkeit von der Art der Einwirkung (ständig, veränderlich oder außergewöhnlich) und der Bemessungssituation (ständig, vorübergehend oder außergewöhnlich) nach den relevanten geotechnischen und bautechnischen Normen festzulegen (siehe oben).

Für geotechnische Nachweise nach DIN 1054 sind die aus Wasserdruck- und Strömungskräften resultierenden charakteristischen Einwirkungen, unabhängig von ihrer Einstufung als veränderliche Einwirkungen, mit den Teilsicherheitsbeiwerten von ständigen Einwirkungen zu belegen.

Kombinationsbeiwerte nach DIN 1055-100 bzw. DIN EN 1990 zur Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit gleichzeitig auftretender veränderlicher Einwirkungen sind im Allgemeinen zu 1,0 zu setzen.

8.3.6 Zusammenstellung der Nachweise gemäß DIN 1054

Hinsichtlich der zu untersuchenden Grenzzustände der Tragfähigkeit, der Erosionssicherheit und der Gebrauchstauglichkeit können die zu führenden Einzelnachweise wie folgt eingeteilt werden:

1. Nachweise ausreichender globaler und lokaler Standsicherheit (GEO-2 bzw. GEO-3):

- Böschungsbruch (global),
- Böschungsgrundbruch (global),
- Abschieben/Gleiten des Deichkörpers (global),
- lokale Standsicherheit der wasser- und landseitigen Böschungen,
- lokale Standsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit),

Tabelle 4: Übersicht über zu berücksichtigende Bemessungssituationen und Einwirkungen am Beispiel eines Deiches der Klasse I nach Tabelle 1 (vgl. DIN E 19712 (Februar 2011))

Einwirkungen		Bemessungssituation					
		BS-P ständig		BS-T vorübergehend	BS-A außergewöhnlich		
		(Hochwasser- zustand)		(Bau- und Revisionszustand)	(Besondere Belastungen und Situationen)		
		P.1	P.2	T.1	A.1	A.2	A.3
Ständige	Eigenlasten und Auflasten	X	X	X	X	X	X
Veränderliche	Verkehrslasten	X	X	X	X	X	X
	Beanspruchungen durch BHW	X				X	
	Beanspruchungen durch aus BHW fallenden Wasserspiegel		X				
	Beanspruchungen durch BauHW			X			X
Außer-gewöhnliche	Beanspruchungen durch Wasserstand „bordvoll“ ^{a)}				X		
	Beanspruchungen infolge Versagens von Dichtungen bzw. Dräns ^{b)} und Sonstiges ^{c)}					X	X

ANMERKUNGEN

a) Dies entspricht bei Deichen einem wasserseitigen Einstau bis zur wasserseitigen Böschungsschulter ohne Berücksichtigung von lokalen Über- oder Unterhöhen (z. B. aus Überfahrten oder Überlaufstrecken) und konstruktiv erforderlichen Überhöhungen.

b) Die Systemsicherheit von Dichtungs- und Dränelementen ist zu berücksichtigen. Bei nachweislich erosionsstabilen Systemen darf gegebenenfalls ein Teilversagen angesetzt werden. Das Maß des Versagens ist jeweils systemabhängig festzulegen.

c) Sonstiges: z. B. Windwurf, Kolkbildung, bergbauliche Einwirkungen.

- Standsicherheit bei Belastungen infolge des Versagens der Dichtung,
- Standsicherheit bei Belastungen infolge des Versagens der Dränung,
- Standsicherheit infolge des Versagens von sicherheitsrelevanten Bauteilen bzw. Bauwerken (z. B. von statisch wirksamen Innendichtungen).

2. Nachweise gegen das Versagen durch hydraulischen Grundbruch (HYD) und Aufschwimmen (UPL):

- Auftriebssicherheit bzw. hydraulischer Grundbruch,
- Standsicherheit der Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Deichkörper her.

3. Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (SLS):

- Nachweis Verträglichkeit von Setzungen und Verformungen,
- Nachweis der Sicherheit gegen Rissbildungen.

4. Nachweise der Sicherheit gegen Materialtransport (HYD):

- Nachweise zur Sicherheit gegen Kontakterosion (mechanische Filterwirksamkeit),
- Nachweise zur Suffosionsstabilität,
- Nachweis zum Erosionsgrundbruch im Deichkörper bzw. im Untergrund,
- Nachweis zur Fugenerosion.

8.4 Hinweise zur Nachweisführung: Standsicherheit

8.4.1 Allgemeine (globale) Standsicherheit

Der Nachweis der Böschungsstandsicherheit ist gemäß DIN 4084 unter Berücksichtigung des Konzeptes mit Teilsicherheitsbeiwerten zu führen. Je nach Aufbau und Gliederung von Untergrund und Deich sind dabei auch nichtkreisförmige Gleitflächen zu betrachten. Ferner ist der Nachweis gegen Abschieben zu führen.

In bindigem Untergrund können sich beim Deichbau unter der Eigenlast oder später unter einseitigem Wasserüberdruck Porenwasserüberdrücke einstellen, die die Scherfestigkeit herabsetzen. Sie sind bei der Standsicherheitsuntersuchung, gegebenenfalls entsprechend der zeitlichen Veränderung des Porenwasserüberdruckes, zu berücksichtigen (z. B. durch Ansatz von Scherparametern für den undrängierten Boden φ_u und c_u nach DIN 18137).

Ebenso sind im Hochwasserfall Porenwasserdrücke im Deichlager und im Hinterland, die durch bindige Deckschichten entstehen, zu berücksichtigen.

Sofern weicher, bindiger Untergrund nur als dünne Schicht ansteht, ist in der Regel mit gebrochenen Gleitflächen zu rechnen.

Hinweis: Mitunter ist es wirtschaftlicher, solche weichen Bodenschichten vollständig oder zumindest im Bereich der Böschungsfüße auszutauschen, um Reibungsschluss zwischen dem Material des Deichkörpers und dem ausreichend reibungsbegabten Untergrund herzustellen (vgl. Abschnitt 9.3).

Besondere Bedeutung kommt der Lage des Wasserspiegels vor dem Deich sowie der Lage der Sickerlinie im Deich zu. In der Regel sollte – auf der sicheren Seite liegend – eine stationäre Deichdurchströmung in Ansatz gebracht werden (vgl. Bild 21).

Hinweis: Von Verlauf und Dauer des Hochwassers, von der Durchlässigkeit des Deichmaterials sowie von den meteorologisch wie hydraulisch beeinflussten Feuchtebedingungen innerhalb des Deichkörpers hängt es ab, ob die Deiche einer teilweisen oder einer völligen Durchströmung ausgesetzt sind (vgl. Bild 19 und Abschnitt 8.2.3). Bei Ansatz einer nicht stationären Durchströmung ist dieser in besonderer Weise zu prüfen und zu rechtfertigen.

Insgesamt können die zugrunde zu legenden Durchströmungszustände durch vereinfachte Betrachtungen auf der sicheren Seite liegend wie folgt eingegrenzt werden:

- Die Sickerströmung wird für den Bemessungshochwasserstand (BHW) gemäß Bild 21 für den stationären Zustand ermittelt (vgl. CASAGRANDE 1934). Ist die Standsicherheit nicht erfüllt, muss überprüft werden, inwieweit mit einer vollständigen Durchströmung gerechnet werden muss. Der Verlauf der instationären Durchströmung kann hierbei mit geeigneten Methoden abgeschätzt (z. B. SCHEUERMANN 2005) oder numerisch berechnet werden.
- Für Berechnungen mit bordvollem Einstau ist die Sickerlinie ausgehend von einem bordvollen Wasserstand (vgl. Tabelle 4) zu ermitteln und in den Standsicherheitsnachweisen zu berücksichtigen. Hierbei sind insbesondere die Höhenlage einer Dichtung bzw. die Durchlässigkeitsverhältnisse im Kronenbereich (z. B. bei dortiger Anordnung eines Deichweges) zu berücksichtigen.
- Für die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung kann der fallende Wasserspiegel kritisch sein. Dabei ist der freie Wasserspiegel vor dem Deich in seiner ungünstigsten Lage anzunehmen. In erster Näherung könnte dieser bei $W/3$ gemäß Bild 22 angenommen

werden (OHDE 1956). In Einzelfällen können genauere Nachweise erforderlich werden, bei denen die Wechselwirkung zwischen der Absinkgeschwindigkeit des Wasserspiegels, der Lage der Sickerlinie im Deichkörper bei BHW und der Durchlässigkeit des Deichbaustoffes berücksichtigt wird. Von einer schnellen Wasserspiegelsenkung, die infolge von Strömungskräften und Überdrücken im Deich zu einer geringeren Standsicherheit als im stationären Fall führen kann, wird ausgegangen, wenn für die Wasserspiegelsenkgeschwindigkeit v_w gilt (vgl. auch SCHNEIDER et al. 1997):

$$k_f / (n_e \times v_w) < 25 \tag{1}$$

mit:

k_f Durchlässigkeitsbeiwert nach Darcy,

n_e wirksamer (effektiver) Porenanteil

8.4.2 Lokale Standsicherheit von Böschungen

Je nach Aufbau des Deiches, der Oberflächenbeschaffenheit der Böschungen sowie dem Einfluss möglicher Störungen (z. B. durch Bewuchs oder Wühltierbefall) ist für die freie Oberfläche des Deichkörpers die lokale Standsicherheit in Abhängigkeit der Strömungsrichtung nachzuweisen (vgl. DIN 4084, BAW MSD 2005). Für Böschungen aus kohäsionslosem Baustoff ist dieser Nachweis für die Böschungsstandsicherheit maßgebend,

wenn kein Einfluss aus einer Querschnittsgliederung vorliegt. Bei bindigem Material wird mit zunehmender Kohäsion die lokale Standsicherheit größer, sodass die allgemeine Standsicherheit maßgebend wird.

Erosionserscheinungen infolge oberflächigen Abfließens von Sickerwasser aus der Hangquelle können durch hinreichend flach geneigte Böschungen oder durch Oberflächenfilter verhindert werden. In der Regel reicht hier eine gut unterhaltene Grasdecke als Erosionsschutz aus (vgl. Abschnitt 6.5.2). Erfahrungsgemäß ist eine (bewachsene) Böschung mit einer Neigung von 1 : 3 bei Sand und von 1 : 4 bei Schluff ohne besondere Schutzmaßnahmen (z. B. Deckwerk) als erosionsfest anzusehen.

Für die Bemessung der wasserseitigen Böschung kann der Teilstau maßgebend werden. Zur Abdeckung des Standsicherheitserfordernisses kann eine Ausrundung der Böschung am wasserseitigen Böschungsfuß herangezogen werden. Bei auf der Wasserseite oberflächennah angeordneten Dichtungselementen ist die Schubkraftübertragung zu angrenzenden Schichten nachzuweisen (vgl. u. a. DWA-Themen 2005).

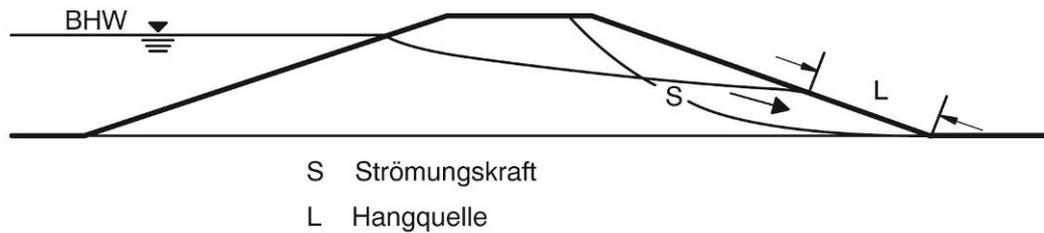


Bild 21: Sickerlinie in einem homogenen Deich für den Bemessungshochwasserstand (stationärer Zustand, Beispiel)

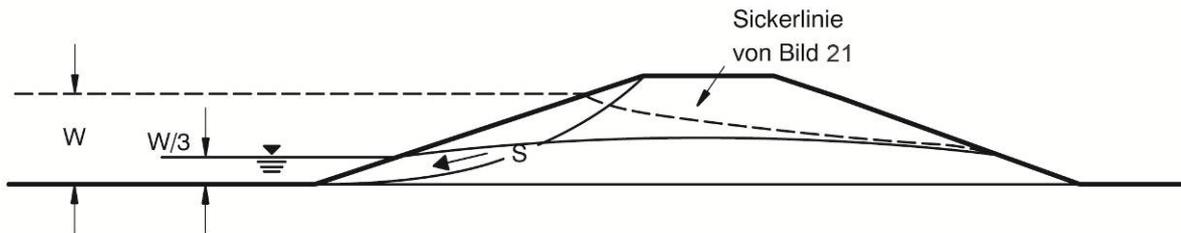


Bild 22: Sickerlinie in einem homogenen Deich bei schnell fallendem Wasserspiegel (Beispiel)

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

8.4.3 Lokale Standsicherheit am Böschungsfuß-Spreizsicherheit

Je nach Aufbau und Gliederung von Deich und Untergrund können Spreizspannungen in Schichtgrenzen und anderen Bereichen mit relativ zur Umgebung geringerer Scherfestigkeit ein Ausweichen des Böschungsfußes verursachen. Geneigte Schichtgrenzen bzw. Strömungskräfte in Richtung der Böschungen erhöhen die Neigung des Spreizens. Der Nachweis der Aufnahme von Spreizspannungen in derartigen Schichtgrenzen (z. B. in der Aufstandsfläche des Deiches) ist mit entsprechenden Verfahren zu erbringen (vgl. BRAUNS 1980, KAST 1985).

8.4.4 Standsicherheit von Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Deichkörper aus

Insbesondere bei Deichen mit herabgesetzter Funktionstüchtigkeit des wasserseitigen Dichtungselementes kann sich im Falle eines Hochwassers im Stützkörper unterhalb der Dichtung ein nennenswert hoher Wasserstand einstellen. Bei Abklingen des Hochwassers besteht die Möglichkeit, dass der Wasserspiegel im Fluss schneller fällt, als die während des Hochwassers im Deich angestiegene Sickerlinie (SCHNEIDER et al. 1997). In solchen Fällen wird die gering durchlässige Dichtung durch Wasserüberdruck von der Unterseite her beansprucht. Auch schiffsbegleitende Sunkwellen verursachen solche Beanspruchungen. Es ist fallweise zu überprüfen, ob ein derartiger Lastfall eintreten kann.

In Fällen dieser Art sollte der schnell fallende Wasserspiegel bei der Standsicherheitsbetrachtung berücksichtigt werden (z. B. EAK 2002).

8.4.5 Auftriebssicherheit und Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

In den meisten Flusstälern liegt unter der Geländeoberfläche eine bindige Deckschicht, unter welcher stärker durchlässige Sedimente aus Sand und Kies anstehen. Bei Hochwasser kann sich in diesem durchlässigeren Untergrund eine Druckhöhe des Wassers einstellen, die über die Geländeoberfläche reicht (artesischer Druck). Wenn dieser Überdruck ebenso groß ist wie das Gewicht der Deckschicht, wird der Boden praktisch gewichtslos. Hierdurch werden die Stützkkräfte für die erdstatische Standsicherheit und die Auftriebssicherheit unter Umständen deutlich verringert. Für den Nachweis der Auftriebssicherheit zeigen Erfahrungen, dass im Allgemeinen auf etwa 100 m Sickerstrecke ein Abbau des hydraulischen Potenzials von etwa 0,3 m in Ansatz gebracht werden kann. Bei Entlastungsöffnungen in der Deckschicht ist der Potenzialverlauf gesondert zu ermitteln.

Folgende Abhilfemaßnahmen kommen in der Regel in Frage:

- **Druckentlastung am landseitigen Böschungsfuß:** Diese kann z. B. erreicht werden durch bis zur durchlässigen Schicht reichende Sickerschlitz- oder Entlastungsrigolen (mit durchlässigem Material verfüllte Grabenschlitzungen) genügender Breite (Bild 23). Dabei ist auf die filterstabile Ausbildung der Verfüllung zu achten, und zwar auch für die Oberfläche der Entlastungsstellen, damit bei späterer Nutzung des Geländes keine schädigende Verschmutzung des Dränkörpers eintritt. Falls die Erosionssicherheit es erlaubt, kann der Entlastungsgraben auch offen bleiben.

Hinweise: Die Zugrundelegung einer linearen Abnahme der hydraulischen Druckhöhe liegt in der Regel im Nachbereich eines Entlastungsgrabens nicht auf der sicheren Seite. Druckentlastungen führen stets zu erhöhtem Qualmwasserandrang im Hinterland.

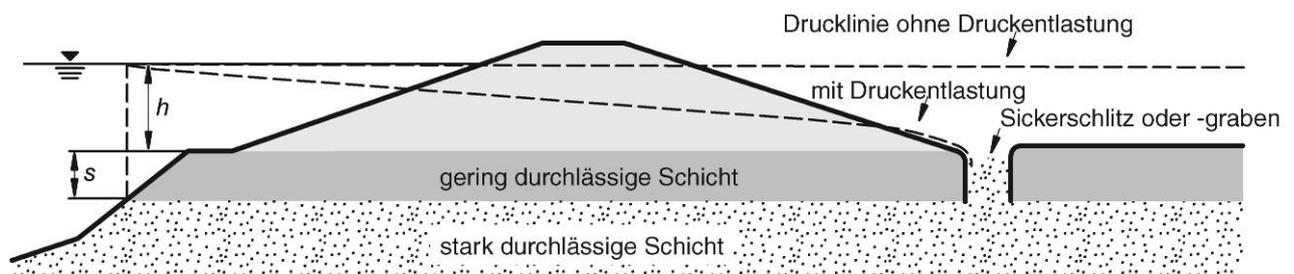


Bild 23: Druckentlastung landseitig (schematisch)

- Belastung landseitig zur Aufnahme des Überdrucks:** Diese kann durch Schüttung zusätzlicher Bodenauflast (z. B. als Auflastberme) am landseitigen Deichfuß erreicht werden. Diese Lösung ist vorteilhaft in Verbindung mit einem Deichverteidigungsweg (Bild 24).

Die Aufschüttung muss so breit sein, dass eine etwa verbleibende Gefahr von Bodenaufbrüchen einen ausreichenden Abstand vom Deichfuß (Fuß des Deichkörperquerschnittes ohne Beachtung einer landseitigen Auflastberme) hat, und somit die landseitige Deichböschung selbst nicht mehr gefährdet ist. Es hat sich dabei als sinnvoll erwiesen, die Bermbreite entsprechend der doppelten Deichhöhe auszubilden. Bei erosionsgefährdetem Untergrund (vgl. Abschnitt 8.5) sind aus Sicherheitsgründen Maßnahmen der Deichverteidigung auf die unter Umständen verbleibenden Aufbruchsituationen im weiteren Deichhinterland abzustellen.

Die Aufschüttung sollte so durchlässig sein, dass das Sickerwasser drucklos abgeführt und die Wirksamkeit der Auflast nicht durch Auftrieb vermindert wird (Auflastfilter gemäß Bild 24). Die gegebenenfalls erforderliche Dicke der Aufschüttung (a_{erf}) ergibt sich aus der Standsicherheitsbedingung für die Auftriebsicherheit unter Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten:

$$\gamma_w \times (h_2 + s) \times \gamma_{G,\text{dst}} \leq (s \times \gamma_1 + a_{\text{erf}} \times \gamma_2) \times \gamma_{G,\text{stb}} \quad (2)$$

Daraus folgt:

$$a_{\text{erf}} = \gamma_w / \gamma_2 \times \gamma_{G,\text{dst}} / \gamma_{G,\text{stb}} \times (h_2 + s) - \gamma_1 / \gamma_2 \times s \quad (3)$$

mit

a_{erf}	Stärke der Aufschüttung
h_2	hydraulische Druckhöhe über Binnenland
s	Dicke der gering durchlässigen Deckschicht (gegebenenfalls auch inkl. Überlagerung)
γ_w	Wichte des Wassers (10 kN/m ³)
γ_1	Wichte der Deckschicht (feucht)
γ_2	Wichte der Aufschüttung (feucht)
$\gamma_{G,\text{dst}}$	Teilsicherheitsbeiwert für ungünstige ständige Einwirkungen nach DIN 1054
$\gamma_{G,\text{stb}}$	Teilsicherheitsbeiwert für günstige ständige Einwirkungen nach DIN 1054

Für den Fall fehlender Deckschichten ist die Standsicherheit gegen hydraulischen Grundbruch, z. B. nach EAU (2004), sinngemäß nachzuweisen.

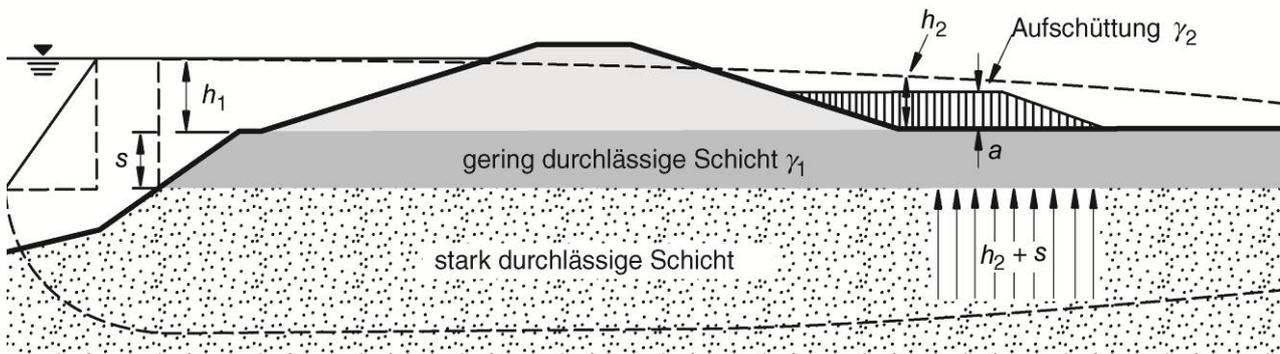


Bild 24: Belastung landseitig (schematisch)

8.5 Nachweise zur Sicherheit gegen Materialtransport

8.5.1 Formen des Materialtransportes

In Bild 25 sind mögliche Formen des Materialtransportes für einen üblichen Deichaufbau und eine häufig anzutreffende Untergrundsituation (idealisiert) zusammengestellt:

(A) Kontakterosion an Schichtgrenzen

A1: Senkrecht zur Schichtgrenze

A2: Parallel zur Schichtgrenze

(B) Suffosion innerhalb eines Erdstoffes

(C) Erosionsgrundbruch am landseitigen Böschungsfuß

Für das Eintreten der unter (A) und (B) genannten Erosionsformen ist neben einer hinreichenden hydraulischen Belastung vor allem eine **geometrische** Voraussetzung erforderlich. Hierbei muss erfüllt sein, dass die Partikel eines feinen Erdstoffes (Basis) sich durch die Poren eines groben Erdstoffes (Filter) bewegen können. Ist eine derartige Situation gegeben, so ist in einem zweiten Schritt zu untersuchen, ob die **hydraulische** Belastung auf das Korngerüst – ausgedrückt durch den

sich aus der Potenzialverteilung ergebenden hydraulischen Gradienten – für einen Erosionsvorgang ausreichend groß ist (hydraulisches Kriterium). Für den Vorgang des Erosionsgrundbruches (Erosionsform (C)) ist ein ausreichendes hydraulisches Gefälle zum anhaltenden Materialaustrag und – falls vorhanden – das Aufbrechen der bindigen Deckschicht (beispielsweise infolge Verlust der Auftriebssicherheit (vgl. Abschnitt 8.4.5)) erforderlich. Nachstehend ist der Ablauf der Erosionsformen (A) bis (C) näher beschrieben:

Kontakterosion (A) kann an der Schichtgrenze von fein- zu grobkörnigen Böden stattfinden, falls die Sicherung vom feinen zum groben Erdstoff (A1) oder parallel zur Schichtgrenze (A2) verläuft. Hierbei werden die Teilchen des feineren Bodens an der Schichtgrenze durch die Poren des gröberen Bodens transportiert (vgl. Bild 26). Im Grenzbereich der benachbarten Schichten kommt es zu einer Vermengung von Grob- und Feinkorn, wodurch sich das Bodenvolumen im Bereich der Schichtgrenze vermindert bzw. eine Auflockerung des Gefüges eintritt. Durch den Austrag des Basiserdstoffes kann sich die Stützung oberhalb liegender Bauwerke oder Erdkörper verschlechtern (BUSCH et al. 1993) bzw. es können Geländesenkungen als Folge auftreten.

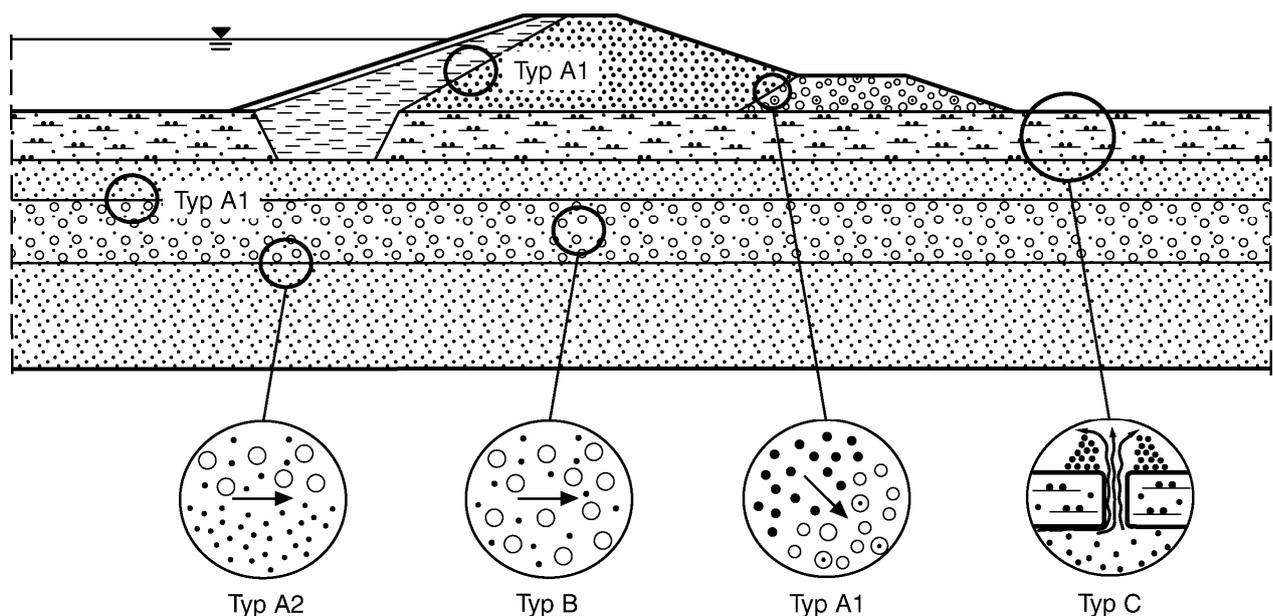


Bild 25: Querschnitt eines Deiches auf geschichtetem Untergrund mit möglichen inneren Erosionsformen
(nach SCHULER & BRAUNS 1993)

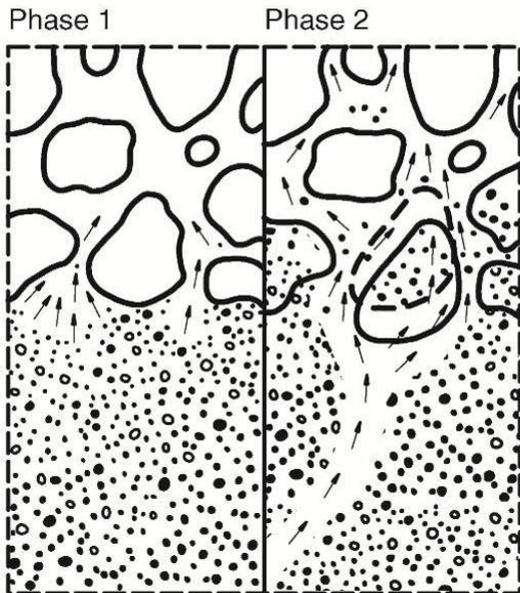


Bild 26: Kontakterosion an einer Schichtgrenze (ZIEMS 1967)

Bei **Suffosion (B)** werden die feineren Partikel eines Korngemisches von der Sickerströmung im Boden umgelagert; sie werden dabei durch die Poren des aus der größeren Kornfraktion gebildeten tragenden Kornskeletts transportiert (vgl. Bild 27). Dabei bleibt das Volumen des Bodenkörpers zunächst konstant, solange sich die größeren Bodenkörner noch gegenseitig abstützen. Da sich die Stabilität durch Suffosion in der Regel jedoch verschlechtert (gegebenenfalls Kollapsgefahr) und sich außerdem die hydraulischen Verhältnisse infolge der Materialumlagerung ungünstig verändern können, müssen derartige unter Umständen progressive Vorgänge unterbunden werden. Eine Suffosionsgefahr kann vor allem bei ungleichförmiger und intermittierend gestufter Korngrößenverteilung (auch Ausfallkörnung genannt) gegeben sein, vor allem wenn solche Böden locker gelagert sind bzw. wenn der Grobkornanteil bei Ausfallkörnungen überwiegt und somit gerüstbildend ist.

Erosionsgrundbruch bzw. rückschreitende Erosion (Piping) (C) entstehen (oftmals unterstützt durch Suffosionsvorgänge (B)) wenn – von der landseitigen Böschung oder vom Hinterland ausgehend – durch Austreten von Sickerwasser an einer Erosionsstelle („Erosionstrichter“) zunächst Bodenteilchen ausgetragen werden und sich nachfolgend ein röhrenförmiger Erosionskanal – z. B. im Schutze einer tragfähigen Zone im Untergrund – in Richtung Wasserseite auszubilden beginnt (Bild 28). Bei anhaltendem Vorgang bildet sich die Röhre derart aus, dass im Endzustand des Erosionsgrundbruches ein direkter Zugang zur Wasserseite entsteht und sich eine freie Durchströmung mit höchstem Erosionspotenzial einstellt.

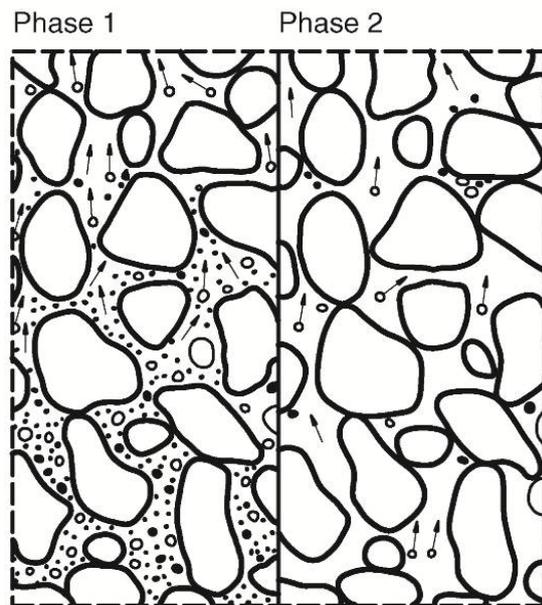


Bild 27: Suffosion – feine Partikel bewegen sich in den Poren des aus der größeren Kornfraktion bestehenden tragenden Kornskeletts (ZIEMS 1967)

Häufig begünstigen auch Imperfektionen (Bewuchs, Wühltiergänge) oder feste Berandungen durch in den Deich integrierte Bauwerke das Entstehen von Erosionskanälen (pipes). Insbesondere wenn eine entstandene Röhre entlang einer stabilen Berandung (steifer, kohäsiver Boden; vgl. hierzu auch FOSTER 1999) überbrückt wird, kann der entstandene Hohlraum oder die Schwächestelle im Untergrund auch über das Hochwasserereignis hinaus fortbestehen. Bei wiederholter hydraulischer Belastung durch Hochwasser kann der Erosionsprozess reaktiviert werden, und die Schwächezonen können sich fortentwickeln.

Bei allen Erosionsformen ist neben der Bodenart und der evtl. vorhandenen Schichtung das hydraulische Gefälle i an der Stelle maßgebend, an der diese Vorgänge beginnen können. Von Bedeutung ist hierbei, dass diese Erosionsprozesse unter Umständen in ursprünglich stabilen Untergrundbereichen einsetzen können, wenn eine Erhöhung des hydraulischen Gradienten – z. B. nach erfolgter Deichaufhöhung – vorliegt. Generell zeigen Beobachtungen, dass lockere Lagerung, geschichteter Untergrund, (insbesondere enggestufte Fein- und Mittelsande unter bindigen Deckschichten steifer Konsistenz), Körnungslinien mit Fehlkorn sowie Bauwerks- und Leitungsberandungen innere Erosionsprozesse begünstigen.

8.5.2 Vorgehensweise zu den Nachweisen der Sicherheit gegen Materialtransport

Für die Nachweise zur inneren Erosionsstabilität von Deichkörper und Untergrund ist eine fallspezifische Vorgehensweise sinnvoll. Hierzu ist Voraussetzung, dass Informationen sowohl über den Aufbau des Deichkörpers als auch über den des unmittelbaren und tieferen Untergrundes (Schicht- und/oder Linsenstrukturen im Deichlager sowie im Vor- und Hinterland) vorliegen. Neben Daten zu den vorhandenen Erdstoffen, z. B. Korngrößenverteilungen, ist es wesentlich, die sich aus der äußeren hydraulischen Belastung ergebenden hydraulischen Gradienten zu ermitteln. Zunächst genügen dabei auf der sicheren Seite liegende Abschätzungen (z. B. durch Ermittlung des **mittleren** hydraulischen Gradienten). Im konkreten Einzelfall ist es unter Umständen erforderlich, das Potenzialfeld mit den Strömungsrichtungen zu ermitteln.

Zur Beurteilung der Untergrundverhältnisse sind in der Regel Kernbohrungen (Linerverfahren) zweckmäßig, die eine detaillierte und tiefenorientierte Probengewinnung ermöglichen. Hierbei können die Aufschlüsse in relevanten Untersuchungsquerschnitten konzentriert werden, wobei zumindest in den Bereichen der Böschungsfüße sowie der Deichkrone Bohrungen niederzubringen sind (vgl. hierzu auch Abschnitt 7.3). Wie die Erfahrung zeigt, genügt die Aufschlussgenauigkeit aus einfachen Bohrverfahren im Allgemeinen nicht, um eine ausreichende Beurteilung strukturierter Sedimente in Hinsicht auf ihre Erosionsanfälligkeit vornehmen zu können.

Auf dieser Basis sind die erforderlichen Erosionsnachweise – unter Hinzuziehung von geometrischen bzw. hydraulischen Kriterien (vgl. nachfolgenden Abschnitt 8.5.3) – in den einzelnen Zonen sowie an den Schichtgrenzen zu führen. Ein zweckmäßiges Schema zur konkreten Vorgehensweise ist in Bild 29 (BAW MSD 2005) gezeigt.

Im Rahmen der Bewertung von bestehenden Erdbauwerken hinsichtlich der Gefahr des Eintritts von zum Kollaps führenden Erosionsvorgängen, wie z. B. Piping, haben FOSTER & FELL (1999) eine Herangehensweise auf Grundlage eines Ereignisbaumes erarbeitet. Eine derartige Vorgehensweise kann insbesondere im Falle von nur unzureichend vorliegendem Datenmaterial eine zweckmäßige Hilfe sein, entsprechende Gefahren sachgerecht zu bewerten. Nähere Hinweise zu dieser Herangehensweise sind in Abschnitt 8.5.8 gegeben.

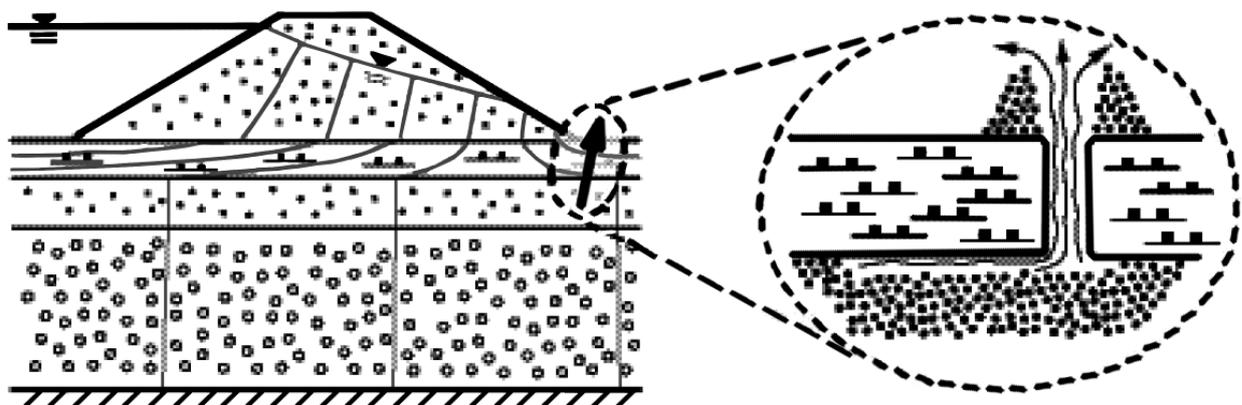


Bild 28: Aufbruch einer Decklehmschicht mit nachfolgender rückschreitender Erosion (Erosionsgrundbruch, SAUCKE 2004)

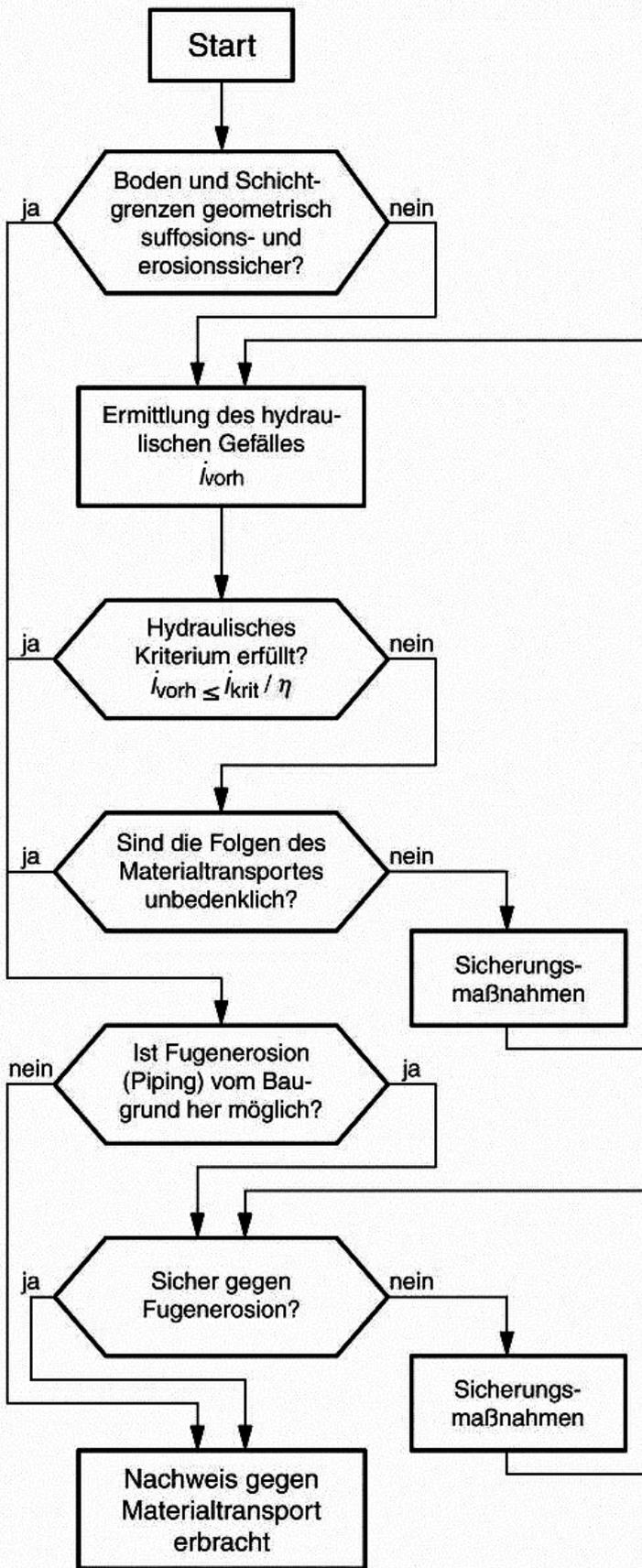


Bild 29: Vorgehensweise zu den Nachweisen der Sicherheit gegen Materialtransport (BAW MSD 2005)

8.5.3 Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion (Typ A, mechanische Filterwirksamkeit)

A: Mechanische Filterwirksamkeit – Geometrische Erosionssicherheit

Zunächst ist die **geometrische Erosionssicherheit** zu prüfen. Hierzu werden im Regelfall die Partikelgrößen des feineren Erdstoffes („Basismaterial B“) mit den Porenöffnungsweiten des gröberen Erdstoffes („Filtermaterial F“) verglichen (vgl. z. B. SCHULER & BRAUNS 1993). Es existiert eine Vielzahl von oftmals empirisch gewonnenen Kriterien. Stellvertretend sei für nichtbindige Erdstoffe hier das Kriterium von TERZAGHI (TERZAGHI & PECK 1948)

$$\frac{d_{15F}}{d_{85B}} \leq 4 \quad (4)$$

genannt, das streng genommen nur für enggestufte Sande gilt, obwohl spätere Arbeiten eine gewisse Ausdehnung des Gültigkeitsbereiches zulassen (vgl. z. B. SHERARD et al. 1984a, 1984b).

Für nichtbindige Erdstoffe mit $U \leq 20$ wird auch das in Bild 30 dargestellte Kriterium von CISTIN & ZIEMS, das eine Sicherheit von $\eta = 1,5$ enthält, empfohlen (z. B. BUSCH et al. 1993). Hierbei wird über die Ungleichförmigkeit des Basiserdstoffes (U_B) und die des gröberen Filtererdstoffes (U_F) ein zulässiges Abstandsverhältnis $A50_{zul}$ ermittelt. Zum Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion muss das vorhandene Abstandsverhältnis

$$A50_{vorh} = d50_F / d50_B \quad (5)$$

der Bedingung

$$A50_{vorh} \leq A50_{zul} \quad (6)$$

genügen.

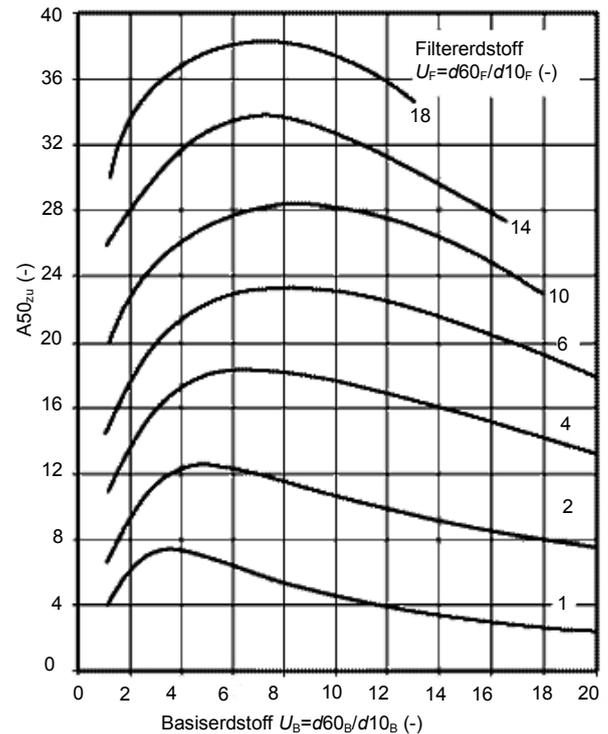


Bild 30: Kriterium nach CISTIN & ZIEMS zum Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion (nach BUSCH et al. 1993)

Ein weitergehender Nachweis kann nach WITT (1986) geführt werden. Dieses Kriterium, das auf wahrscheinlichkeitstheoretischer Grundlage basiert, berücksichtigt, dass ein Partikeltransport aufgrund von Blockierungen der Porenpfade dann stagniert, wenn der eingetragene Basiserdstoff Partikel enthält, die größer sind als die effektive Filteröffnung. Zur Erreichung dieses Zustandes ist dabei zwangsläufig eine gewisse Verlustmasse an Basiserdstoff zu akzeptieren. Unter Vorgabe von Grenzwerten für die Eindringtiefe sowie unter Festsetzung der Bandbreite und des Vertrauensbereiches der Körnungsbänder von Basis- und Filtererdstoff wurde das in Tabelle 5 angegebene Kriterium zur Filterbemessung entwickelt.

Für **bindige** Böden ist es wegen der Kohäsion der Feinanteile im Allgemeinen nicht erforderlich, den Boden nach den geometrischen Filterkriterien CISTIN/ZIEMS (vgl. Bild 30) oder WITT (vgl. Tabelle 5) nachzuweisen. Weitere Hinweise sind in GDA E 3-7 enthalten (vgl. DGGT 1997).

Tabelle 5: Kriterium zur Filterbemessung nach WITT (1986)

	Ungleichförmigkeit des Filters		
	$U_F \leq 3$	$3 < U_F \leq 6$	$U_F > 6$
$d_{5F} < 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\max d_{30F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{95B}} \leq 2,5$
$d_{5F} \geq 0,5 \text{ mm}$	$\frac{\max d_{30F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{10F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$	$\frac{\max d_{5F}}{\min d_{85B}} \leq 2,5$

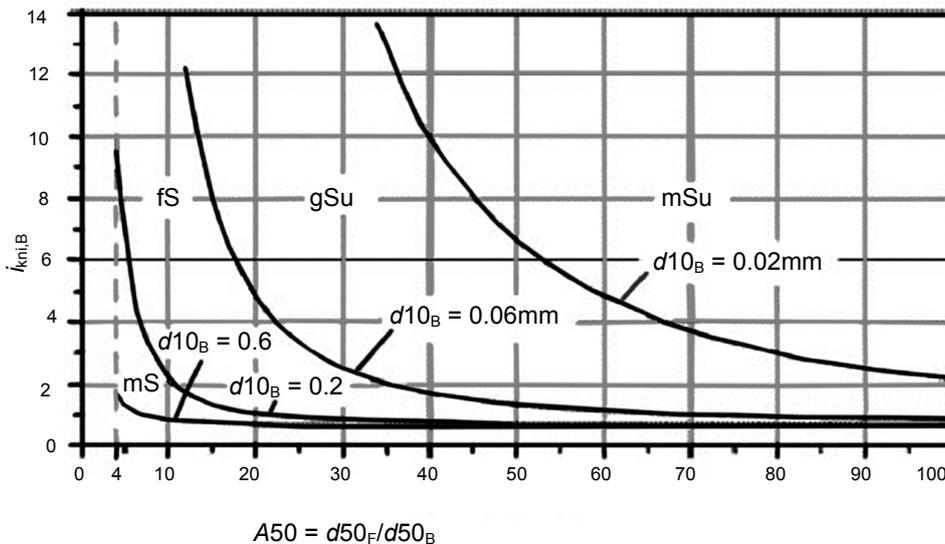
ANMERKUNGEN
 Versagenswahrscheinlichkeit eines Filterelementes $p_f = 10^{-3}$, Vertrauensbereich der Körnungsbänder $\geq 90 \%$.
 Für Filtererdstoffe mit $d_{5F} < 0,5 \text{ mm}$ wird die maximale Eindringtiefe des Basismaterials in den Filter mit $330 \times d_{5F}$ angegeben. Für Filtererdstoffe mit $d_{5F} \geq 0,5 \text{ mm}$ beträgt diese $52 \times d_{5F}$.

Nach BAW MAK (1989) besteht mechanische Filterwirksamkeit, wenn der Kornfilter die in Tabelle 6 aufgeführten Körnungsanteile enthält:

Tabelle 6: Mechanische Filterwirksamkeit für bindige Böden nach BAW MAK (1989)

bindiger Boden	Filter
$I_p < 0,15$ $c_u \geq 10 \text{ kN/m}^2$	$D_{10} \leq 0,2 \text{ mm}$ $D_{60} \leq 0,7 \text{ mm}$
$I_p \geq 0,15$ $c_u \geq 10 \text{ kN/m}^2$	$D_{10} \leq 0,16 \text{ mm}$ $D_{60} \leq 2,0 \text{ mm}$

ANMERKUNG
 Bei Böden mit $c_u < 10 \text{ kN/m}^2$ ist Bodenaustausch vorzunehmen



$$i_{krit,B} = 0,66 + \frac{6}{d_{10B}^2 \times A_{50}^2}, U_B \leq 5 \quad (7)$$

Bild 31: Kritisches Strömungsgefälle im Basismaterial bei aufwärts gerichteter Strömung und aufliegendem Filtermaterial nach ZIEMS (1969)

B: Mechanische Filterwirksamkeit – Hydraulische Erosionssicherheit

Im Falle einer nicht gegebenen geometrischen Sicherheit gegen Kontakterosion ist mit Hilfe eines **hydraulischen Kriteriums** zu prüfen, inwieweit unter der gegebenen hydraulischen Belastung – ausgedrückt als lokaler hydraulischer Gradient – die Gefahr der Partikelbewegung besteht (vgl. Bild 29).

Ein Kontakterosionskriterium für die Bestimmung eines kritischen hydraulischen Gradienten bei **aufwärts gerichteter Strömung** (Fall A1: Strömung senkrecht zur Schichtgrenze) gibt ZIEMS (1969) an. Der kritische Gradient bezieht sich hierbei auf den im Basismaterial vorliegenden Gradienten. Die Eingangparameter sind der Korndurchmesser d_{10_B} und das Abstandsverhältnis A_{50} . Grafisch ist das Kriterium in Bild 31 dargestellt.

Für den Fall einer **horizontal gerichteten** sowie parallel zu einer Schichtgrenze verlaufenden Strömung (Fall A2) kann ein Nachweis der mechanischen Filterwirksamkeit nach BRAUNS (1985) erfolgen (Bild 32).

Weitergehende Hinweise:

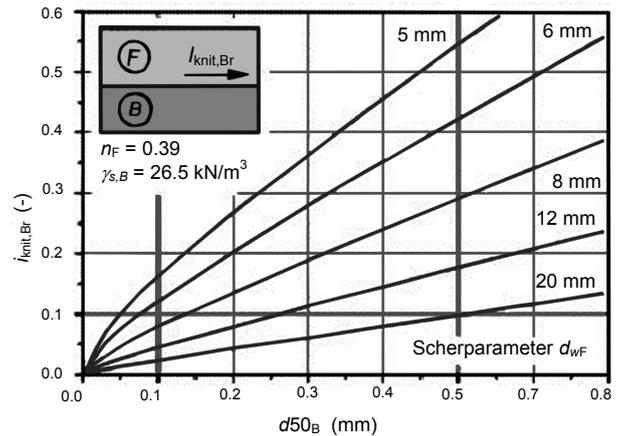
Im besonderen Fall einer **nicht schichtparallelen Strömung** kann das hydraulische Erosionskriterium nach BEZULJEN et al. (1987) zur Anwendung empfohlen werden.

Für den Fall des Vorliegens ausgeprägt strukturierter Untergrundverhältnisse (z. B. inhomogener Untergrund mit Linsbildungen bzw. Schichtungen mit Rollkieslagen) und schichtparalleler Strömungsbeanspruchung kann auf SAUCKE (2004) verwiesen werden.

C: Mechanische Filterwirksamkeit bei Geotextilien

Bei der Verwendung von Geotextilien muss die mechanische und hydraulische Filterwirksamkeit mit dem Bodentypverfahren nach BAW MAG (1993) oder nach den Filterregeln entsprechend dem Merkblatt DVWK-M 221/1992 entsprechend nachgewiesen werden.

Bemerkung: Bei der Verwendung von Geotextilien ist insbesondere der Fragestellung der Dauerhaftigkeit der hydraulischen Wirksamkeit nachzugehen. Ein Verstopfen der Poren des Dränvlieses (sog. Clogging) muss dabei unter allen Umständen ausgeschlossen sein, um die Sickerwasserführung im Deichkörper nicht negativ zu beeinflussen (vgl. hierzu auch Abschnitt 8.2.4).



Eingangsparameter:

- Korndurchmesser d_{50_B}
- wirksamer Korndurchmesser d_{wF} des Filtererdstoffes aus der Korngrößenverteilung:

$$d_{wF} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\Delta p_{mj}}{d_j}} \quad (8)$$

mit

d_j kennzeichnende Korngröße der j-ten Kornklasse

Δp_{mj} Massenprozentanteil der j-ten Kornklasse

Bild 32: Kritischer hydraulischer Gradient für horizontale Schichterosion bei schichtparalleler Durchströmung nach BRAUNS (1985)

8.5.4 Nachweis der Sicherheit gegen Suffosion (Typ B)

Für den Nachweis der geometrischen Sicherheit gegen Suffosion, für die insbesondere weitgestufte Böden mit nur geringen Feinanteilen sowie Erdstoffe mit intermittierender Kornverteilung (Ausfallkörnung) anfällig sind (vgl. oben), wird eine Auftrennung in einen Fein- und einen Grobanteil mit nachfolgendem Kontaktersionsnachweis gemäß Abschnitt 8.5.3 empfohlen (vgl. u. a. KENNEY & LAU 1985 oder BAW MSD 2005).

In vielen Fällen erfolgt zweckmäßigerweise die Trennung bei den weitgestuften Böden im Bereich zwischen 10 % und 20 % Siebdurchgang (gegebenenfalls markanter Knickpunkt in der Korngrößenverteilung). Die intermittierend gestuften Korngrößenverteilungen werden sinnvoller Weise im Bereich des Fehlkorndurchmessers (Sattelpunkt der Korngrößenverteilung) getrennt, wobei Voraussetzung ist, dass der grobe Bestandteil Skelett bildend ist (vgl. hierzu z. B. WITTMANN 1980).

Im Falle einer nicht gegebenen geometrischen Sicherheit gegen Suffosion kann auch mit Hilfe eines hydraulischen Kriteriums geprüft werden, ob unter der gegebenen hydraulischen Belastung die Gefahr einer Partikelbewegung überhaupt besteht (BUSCH et al. 1993, vgl. hierzu BAW MSD 2005). Hierzu kann auch auf das von WITTMANN (1980) erarbeitete hydraulische Suffosionskriterium hingewiesen werden. Ein Vergleich verschiedener Suffosionskriterien findet sich z. B. in SCHULER (1995) oder auch in WAN & FELL (2004).

8.5.5 Nachweis der Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch (Typ C)

Aufgrund der vielfältigen Randbedingungen und des zu erwartenden Phänomens eines kombinierten Röhrenbildungs- und Kollapsverhaltens im Untergrund eines Deichlagers, sind die betreffenden Abschätzungen zu kritischen hydraulischen Gradienten – in Hinsicht auf die Aktivierung von Erosionsvorgängen unter deichquerenden Bauwerken sowie im homogenen und geschichteten Untergrund – nach wie vor mit großen Unsicherheiten behaftet, sodass deren Anwendung mit Bedacht vorgenommen werden sollte. Nach derzeitigem Stand des Wissens darf im Grundsatz davon ausgegangen werden, dass die hier aufgenommenen Abschätzungen – bei sorgsamer Anwendung innerhalb der jeweiligen Anwendungsgrenzen – auf der sicheren Seite liegen.

In Anbetracht der erwähnten Unsicherheiten in der Bewertung, aber auch in Hinsicht auf den Stichprobencharakter der Erkundungen ist anzuraten, im Rahmen der Deichverteidigung sandende Auswurftrichter – die als sicheres Zeichen von kritischen Erosionsprozessen

gelten – sorgsam zu erfassen und sicherzustellen, dass sofort nach Entdeckung entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, die darauf abzielen, den Erosionsprozess zu stoppen (vgl. Abschnitt 14).

Anhaltswerte für einen Nachweis gegenüber der Gefahr einer konzentrierten Unterspülung eines Bauwerkes, wie z. B. eines Wehres, durch Röhrenbildung (Piping) im Untergrund geben die Kriterien von BLIGH & LANE sowie von CHUGAEV (DAVIDENKOFF 1970).

Bemerkung: Der Berechnungsvorschlag von CHUGAEV ist dabei demjenigen von BLIGH & LANE überlegen, da er das konkret vorhandene Strömungsbild unterhalb des Bauwerkes in der Bestimmung der zulässigen Potenzialdifferenz zwischen ober- und unterstrom berücksichtigt (vgl. hierzu DAVIDENKOFF 1970, HANSES 1985).

Für verschiedene Erdstoffe kann nach CHUGAEV aus Tabelle 7 ein kritischer Kontrollgradient i_{krit} entnommen werden, der sich auf den mittleren Gradienten der Strömung unterhalb des Staubauwerkes bezieht.

Tabelle 7: Kritischer Kontrollgradient i_{krit} nach CHUGAEV (DAVIDENKOFF 1970)

Bodenart	i_{krit} (-)
Dichter Ton	0,40 – 0,52
Grobsand, Kies	0,25 – 0,33
Schluffiger Ton	0,20 – 0,26
Mittelsand	0,15 – 0,20
Feinsand	0,12 – 0,16

Obwohl das Kriterium von CHUGAEV aus der Unterspülung von Bauwerken entwickelt wurde, kann es – in erster Näherung – auch für den Nachweis kritischer Gradienten in einem weitgehend homogenen Deichuntergrund angewandt werden. Die kritischen hydraulischen Gradienten nach CHUGAEV konnten dabei z. B. von MÜLLER-KIRCHENBAUER et al. (1993) in Modelluntersuchungen im Labor bestätigt werden. Für die Nachweisführung ist jeweils die untere Grenze der angegebenen Wertebereiche des kritischen hydraulischen Gradienten heranzuziehen. Hinweise zur Erosionsbeständigkeit bindiger Lockergesteine enthält REHFELD (1967).

Für einen detaillierteren Nachweis gegen rückschreitende Erosion unter einer bindigen Deckschicht oder dem Deichlager ist aus den Niederlanden das Kriterium von WEIJERS & SELLMELJER (1993) bekannt, mit dem – bei Vorliegen vergleichbar (hydraulisch) homogener Untergrundverhältnisse – ein quantitativer Nachweis geführt werden kann (vgl. auch TAW 1999).

Mit den Gleichungen von WEIJERS & SELLMELJER (1993) lässt sich ein u. a. bodenabhängiger kritischer Gradient $i_{\text{krit,We}}$ bestimmen. Nachfolgend sind die zugehörigen Formelzusammenhänge aufgeführt (vgl. auch Definitionsskizze in Bild 33).

$$i_{\text{krit,We}} = \Delta H_{\text{krit,We}} / L_S = \alpha_S \times c_S \times \frac{\rho'_S}{\rho_w} \times \tan(\theta_S) \times [0,68 - 0,1 \times \ln(c_S)] \quad (9)$$

mit

$$\text{Beiwert } \alpha_S = \left(\frac{D_S}{L_S} \right)^{\frac{0,28}{\left(\frac{D_S}{L_S} \right)^{2,8} - 1}} \quad (10)$$

$$\text{Beiwert } c_S = \eta \times \left(\frac{d70^2}{\kappa_S} \times \frac{d70}{L_S} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (11)$$

$$\text{spezifische Permeabilität } \kappa_S = \frac{\nu}{g} \times k_f \quad (12)$$

Dabei sind

- k_f mittlere Durchlässigkeit des (homogenen) Aquifers
- g Erdbeschleunigung (9,81 m/s²)
- ν kinematische Viskosität (ca. $1,2 \times 10^{-6}$ m²/s bei 10 °C)
- η Schleppkraftkoeffizient (ca. 0,3)
- $d70$ Korndurchmesser des erosiven Bodens bei $a = 70$ %
- D_S Mächtigkeit des Aquifers
- L_S Länge des Sickerweges
- ρ_w Dichte von Wasser 1,0 g/cm³
- ρ'_S Korndichte unter Auftrieb (ca. $2,65 - 1,0 = 1,65$ g/cm³)
- θ_S Bettungswinkel (ca. 41°)

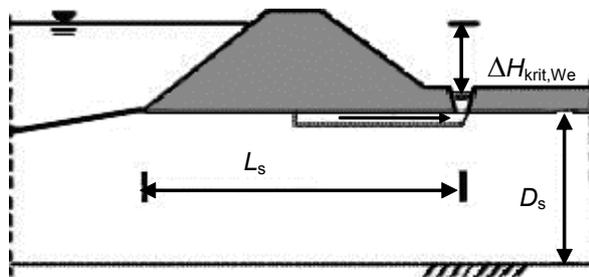


Bild 33: Definitionsskizze zum Kriterium von WEIJERS & SELLMELJER (1993)

In Bild 34 ist das Kriterium von WEIJERS & SELLMELJER beispielhaft für einen Aquifer mit einer Mächtigkeit $D_S = 10$ m für Fein- und Mittelsande (vgl. Korndurchmesser $d70$) grafisch dargestellt.

Weitergehende Hinweise: Modelluntersuchungen zu der vorliegenden Fragestellung wurden auch von MÜLLER-KIRCHENBAUER (1978), MIESEL (1978) und HANSES (1985) durchgeführt. In den Untersuchungen von HANSES stehen die Vorgänge im Erosionskanal selbst im Vordergrund. Ergebnis ist die Postulierung eines Stagnationsgradienten, der für den Fortschritt der rückschreitenden Erosion sukzessive überschritten werden muss. Erst wenn der Erosionskanal eine Länge von ca. 25 % bis 50 % des gesamten Sickerweges unterhalb des Staubaueswerkes erreicht hat, vollzieht sich die weitere Ausbildung ohne weitere Erhöhung der Potenzialdifferenz zunehmend progressiv.

Sowohl HANSES (1985) als auch MÜLLER-KIRCHENBAUER (1993) weisen – neben der erforderlichen Zeit zur Entwicklung von Röhrenbildungen (Piping) – auch auf den eventuellen negativen Einfluss einer deichlagernahen **Untergrundschichtung** hin. Förderlich für die Entwicklung von Erosionsbildungen ist offenbar eine Situation, bei der direkt unterhalb der Deckschicht anstehende enggestufte Sande auf durchlässigeren Erdstoffen gelagert sind und sich in einem landseitigen Quelltrichterbereich somit der Potenzialabbau in der Sandschichtung konzentriert. Hierzu legen MÜLLER-KIRCHENBAUER et al. (2000) weitere Versuchsergebnisse vor. Die Ergebnisse lassen erkennen, dass ein etwa nach CHUGAEV bestimmter kritischer Kontrollgradient für einen geschichteten Deichuntergrund auf der unsicheren Seite liegen kann.

Aus diesen Erkenntnissen verdeutlicht sich die komplexe Natur der Gefahr des Erosionsprozesses der Röhrenbildung (Piping), die sich durch einfache Kriterien nicht in jedem Fall ohne weiteres abdecken lässt. Daher ist bei Vorhandensein von oberflächennahen Schichtungen aus einkörnigen Fein- und Mittelsanden eine konservative Herangehensweise angemessen. In jedem Fall sollten auch Beobachtungen und Erfahrungen aus vorlaufenden Hochwasserereignissen mit in eine Bewertung einfließen.

8.5.6 Hinweise zur Sicherheit gegen Fugenerosion entlang von Bauwerken und Bauteilen

Der Vorgang der Fugenerosion kann auftreten, wenn z. B. im Kontaktbereich Bauwerk/Boden Imperfektionen (Hohlräume) bestehen, in denen es bei einem entsprechenden hydraulischen Kurzschluss nach unterstrom zu erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten mit Materialtransport kommen kann. Soweit zweidimensionale Strömungsverhältnisse im Bereich von lang gestreckten Bauwerken im Untergrund vorliegen, kann gemäß Abschnitt 8.5.5 vorgegangen werden. Müssen jedoch die Strömungsverhältnisse als dreidimensional betrachtet werden, wie es oftmals bei einzeln stehenden Bauwerken im Deich der Fall ist, findet sich eine geeignete Vorgehensweise zur Ermittlung der maßgebenden Potenzialverteilung im Untergrund in BAW MSD (2005).

Konkrete Kriterien für den Nachweis gegenüber der Gefahr der Fugenerosion liegen für die Nachweisführung nicht vor. Jedoch wird es als sachgerecht betrachtet, für Vorgänge an vertikalen Fugen mit aufwärts gerichteter Strömung das Kriterium von WITTMANN (1980) sowie für Vorgänge an horizontalen Fugen das Kriterium von WEIJERS & SELLMELJER (vgl. Bild 34) anzuwenden. Ferner wird hierzu auf BAW MSD (2005) verwiesen.

Wie auch in BAW MSD (2005) angemerkt, werden jedoch konstruktive Maßnahmen zur Minimierung von Fugenbildungen (z. B. Abschrägungen bei vertikalen Bauteilen) oder Erhöhung der Fließwege (Konstruktions-teile zur Sickerwegverlängerung, z. B. Schikanen oder zur Wasserseite hin positionierte Tauchwände) vielfach nicht zu umgehen sein. Bewährt haben sich auch Einpackungen von umströmten Bauteilen mit steinfreien, plastischen und bindigen Materialien (vgl. Abschnitt 10).

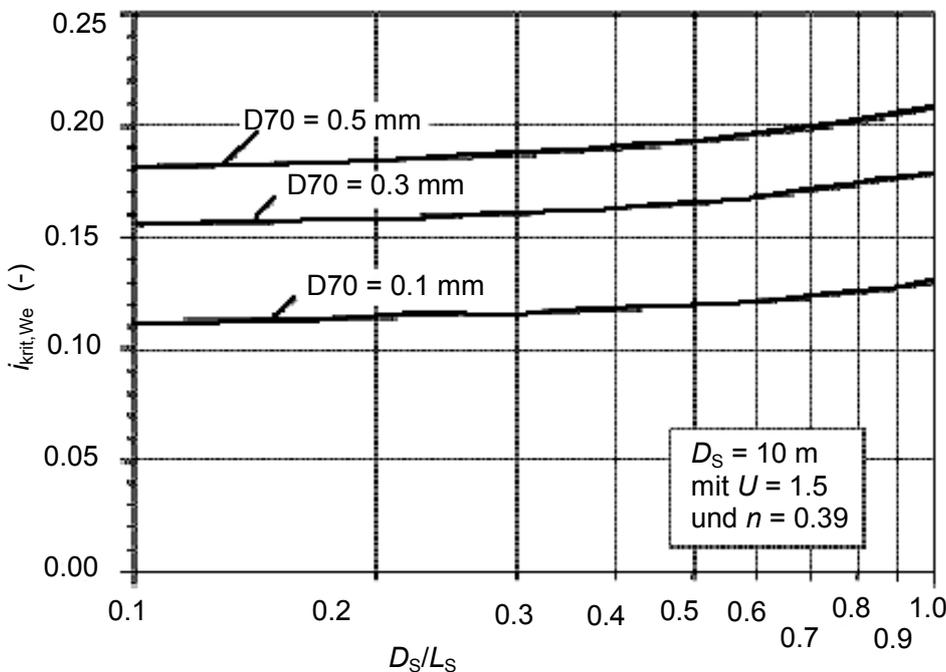
8.5.7 Erforderliche Sicherheiten

Im Rahmen der konkreten Nachweisführungen sind die aus den verschiedenen Kriterien folgenden kritischen hydraulischen Gradienten i_{krit} mit den in der jeweiligen Einwirkungskombination ermittelten Gradienten i_{vorh} zu vergleichen. Hierbei sind die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{H,vorh}$ und $\gamma_{H,krit}$ nach Tabelle 8 anzuwenden.

Dabei gilt:

$$i_{vorh} \times \gamma_{H,vorh} \leq i_{krit} / \gamma_{H,krit} \tag{13}$$

Die geometrische Sicherheit ist mit entsprechenden Faktoren in den jeweiligen Nachweisen berücksichtigt (vgl. Abschnitte 8.5.3 und 8.5.4).



Hinweis: Das Kriterium hat vorrangig Gültigkeit für die im Beispieldiagramm verwendeten fein- bis mittelsandigen Erdstoffe. Für größere Materialien, wie z. B. enggestufte Grobsande, liegen die mit der Gleichung von WEIJERS & SELLMELJER erhaltenen Ergebnisse (relativ hohe i_{krit} -Werte) auf der unsicheren Seite.

Bild 34: Kriterium von WEIJERS & SELLMELJER (1993) für $D_s = 10$ m und drei verschiedene Fein- bzw. Mittelsande

Tabelle 8: Teilsicherheitsbeiwerte γ_H zur Bestimmung der Sicherheit gegen Materialtransport (hydraulische Kriterien)

Hydraulisches Kriterium	Teilsicherheitsbeiwerte			
	Einwirkungen $\gamma_{H,vorh}$			Widerstände $\gamma_{H,krit}$
	BS-P	BS-T	BS-A	
Kontakterosion	1,35	1,2	1,1	1,1
Suffosion	1,35	1,2	1,1	1,5
Erosionsgrundbruch	1,35	1,2	1,1	1,1

8.5.8 Hinweise zur prozessorientierten Beurteilung des Materialtransportes

Für das Verständnis von Materialtransportvorgängen in Deichen kann es hilfreich sein, die Prozesse als eine Aneinanderreihung von Einzelprozessen zu verstehen. Dies kann zu einer Erleichterung der Beurteilung der Bauwerksgefährdung führen. Innerhalb definierter Prozessstadien kann auf diese Weise die Notwendigkeit von Risikominderungsmaßnahmen abgeschätzt werden.

Eine prozessorientierte, systematische Herangehensweise zur Beurteilung des Materialtransportes bedingt dessen Unterteilung in mehrere Teilprozesse, die den Beginn, die Entwicklung und den Fortschritt des Transportvorganges bis hin zum Bruch einschließen. Diese vier Phasen, die sich direkt mit der Umlagerung und dem Transport von Bodenpartikeln in durchströmten Erdbauwerken beschäftigen, bilden das Grundgerüst für eine Unterteilung, die bis zu acht Schritte umfassen kann (FRY 2009, FELL & FRY 2007, FELL et al. 2007a):

1. Systemidentifikation
2. Lokalisierung der Transportvorgänge
3. Beginn
4. Entwicklung
5. Fortschritt
6. Erkennung/Messung
7. Intervention/Maßnahmen
8. Bruch

Die in den Abschnitten 8.5.2 bis 8.5.7 aufgeführten Nachweisverfahren lassen sich in die genannten Schritte eingliedern. Die einzelnen Schritte werden nachfolgend erläutert (vgl. PERZLMAIER & HASELSTEINER 2006).

Die **Systemidentifikation** umfasst sowohl die Beschreibung und Beurteilung des Deichzustandes und des Untergrundes also auch die Erstellung relevanter Belastungsszenarien. Bei der Erkundung bestehender Deiche bleibt trotz des möglichen Einsatzes von flächendeckenden physikalischen Messverfahren (DIN 4020) eine zu bewertende

Ungenauigkeit des Baugrundmodells bestehen, die in der Beurteilung zu berücksichtigen ist. Innerhalb der Systemidentifikation sind die (Bemessungs-)Wasserstände und die daraus resultierenden Durchströmungszustände zu ermitteln. Wesentliche Aufgabe bei der Systemidentifikation besteht ferner darin, die für eine Beurteilung des Materialtransportes notwendigen Bodenkennwerte zu ermitteln oder abzuschätzen und entsprechend ihrer Qualität bei den Nachweisen einzusetzen und zu bewerten.

Die Besonderheit bei Deichen stellt der definitionsgemäße temporär auftretende Einstau dar, der im Allgemeinen zu instationären Durchströmungszuständen führt. Dabei auftretende Transportvorgänge (**Lokalisierung**) werden während wiederkehrender Hochwasserereignisse jeweils neu initiiert. Diese Bodenumlagerungsprozesse können sich über Jahre und Jahrzehnte entwickeln, bevor es zu einer kritischen Beeinträchtigung der Standsicherheit des Deiches kommen kann.

Der **Erosionsbeginn** kann nach FELL & FRY (2007) bei Auftreten von rückschreitender Erosion an einem ungefilterten Sickerwasseraustritt oder im Bereich einer konzentrierten Wasserwegigkeit, wie z. B. einem Riss oder einer aufgehenden Fuge, auftreten. Auch Suffosionsvorgänge können weitergehenden Erosionsvorgängen vorausgehen. WAN (2007) empfiehlt eine modifizierte Anwendung der Suffosionskriterien, die von KENNEY & LAU (1985, 1986) entwickelt wurden. Generell sind Böden mit Ausfallkörnung oder einer flach auslaufenden Sieblinie im Feinteilbereich für Suffosionsvorgänge anfällig. Weiteres zum Erosionsbeginn ist in FELL et al. (2007b) zu finden.

Die Beurteilung der Filterwirksamkeit von angrenzenden Boden- und Materialsichten (Kontakterosion) wird im Rahmen der **Entwicklung von Transportvorgängen** betrachtet. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass es in der Grenzschicht zwischen einem Basis-Filter-System zu Transportvorgängen kommen kann (WITT 1986). Hierbei kann eine genauere Beurteilung der Filterwirksamkeit hilfreich sein. In FOSTER (2007) werden zu den in Abschnitt 8.5.3 vorgestellten Kriterien weitere angegeben und bestehende Böden bzgl. ihrer Filterwirksamkeit kategorisiert. Die häufig verwendete Filterregel nach TERZAGHI & PECK (1948) gilt als konservativer Ansatz.

Bei der Beurteilung des **Fortschrittes eines Transportvorganges** spielt die Veränderung der hydraulischen Verhältnisse ebenso eine Rolle wie die Möglichkeit der Bildung von standfesten Erosionsröhren (piping). Partikeltransport in kohäsionslosen durchströmten Böden wird nur selten zu einer standfesten Röhre führen, wohingegen der Austrag von Feinsand unter einer kohäsiven Deckschicht im Bereich des Deichlagers kritischer anzusehen ist (FELL et al. 2007a). Vergleichbares gilt für den Prozess der Fugenerosion.

Zur **Früherkennung von Transportvorgängen** im Deich können in der Regel keine Messinstrumente zum Einsatz kommen. In bekannt sensiblen Bereichen werden Pegelstandsrohre eingesetzt, um auf die lokalen Sickerwasserhältnisse schließen zu können. Meist ist die Erkennung nur anhand von visuellen Kontrollen möglich.

Im Rahmen der Deichverteidigung können **Maßnahmen** ergriffen werden, den Materialtransport zu reduzieren bzw. zu verhindern. Wirksam und einfach hat sich der Einsatz von grobkörnigen Auflastfiltern sowie Aufkadtungen aus Sandsäcken erwiesen.

Falls keine Deichverteidigungsmaßnahmen möglich oder vorgesehen sind, sollte ein potenzielles Deichversagen in die Betrachtung einbezogen werden. Die Vorhersage von **Deichbrüchen** und daraus resultierenden Flutwellen wird z. B. von BRIECHLE (2006), NIEMEYER (2007) und COURIVAUD & FRY (2007) behandelt.

8.5.9 Anwendungshinweise

Die in Abschnitt 8.5 aufgeführte Zusammenstellung von unterschiedlichen Erosionskriterien wie auch die Hinweise auf weiterführende Literaturquellen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Rahmen der praktischen Anwendung haben sich diese jedoch bewährt und liefern sachgerechte Ergebnisse. Trotzdem wird es bei der Bearbeitung von konkreten Fragestellungen aufgrund der Komplexität der Thematik immer wieder zu prüfen sein, inwieweit die den Kriterien zugrunde liegenden Randbedingungen im jeweiligen Einzelfall gegeben sind. Gegebenenfalls sind in Grenzfällen Vergleichsuntersuchungen mit anderen Kriterien vorzunehmen und nachfolgend auf Grundlage des Ingenieurverständes unter defensiven Annahmen eine Entscheidung für eine robuste Dimensionierung aller Bauwerkskomponenten (z. B. Berme, Tauchwand) hinsichtlich Abmessungen und einzubauenden Erdstoffen zu treffen. Diese Vorgehensweise erscheint nicht zuletzt auch unter dem Gesichtspunkt der Inhomogenität des natürlich entstandenen Untergrundes wie auch der Unwägbarkeiten bei der Erstellung von Erdbauwerken sachgerecht. Wegen der unter Umständen ziemlich geringen Größe der bei Untergrunderosionen maßgeblichen hydraulischen Gradienten (bis hinab zu 0,1 und geringer) ist jedenfalls eine vorsichtige Bemessung anzu-

raten, vor allem wenn die hydraulischen Belastungen nicht nur gelegentlich, sondern häufig oder gar quasi permanent auftreten bzw. vorliegen (SAUCKE 2006).

8.6 Hinweise zur Nachweisführung der Gebrauchstauglichkeit: Verformungen und Rissbildungen

Ungleichmäßige Setzungen bzw. Verformungen am Deich bzw. in dessen Umgebung können Beschädigungen von konstruktiven Elementen (z. B. der wasserseitigen Dichtung) verursachen. Aus Berechnungen ermittelte Setzungen (DIN 4019) müssen besonders in Anbetracht der Dauerhaftigkeit des Bauwerks und der Gewährleistung der Hochwassersicherheit schon bei der Planung berücksichtigt werden.

Zur Beurteilung der Rissicherheit dient das Verformungsbild des Deichquerschnittes und des beteiligten Untergrundbereiches. Hierbei ist einerseits nachzuweisen, dass im Anschluss des Deichkörpers bzw. des Untergrundes an Bauwerken keine Verformungen (in Form von Setzungsunterschieden oder Gewölbeformungen) auftreten können, die im Falle eines Hochwassers zu kritischen Wasserwirkungen führen (vgl. Abschnitt 10). Andererseits ist zu zeigen, dass sicherheitsrelevante Elemente bzw. Bereiche im Deichkörper oder Untergrund keinen Verformungen ausgesetzt sind, die ihre Funktion einschränken (z. B. bei wasserseitigen Dichtungen oder nachträglich eingebrachten Dichtungselementen). Wird die Funktionstüchtigkeit derartiger sicherheitsrelevanter Elemente aufgehoben, ist zu überprüfen, ob die Standsicherheit des Deiches noch gegeben ist. Weitere Hinweise zur Nachweisführung liefert DIN EN 1997-1.

Stark unterschiedliche Setzungen, die zu schädlichen Scher- und Dehnungsbeanspruchungen im Deichkörper führen, sind möglichst auszuschließen oder durch entsprechende Maßnahmen in ihren Wirkungen auszugleichen.

Insbesondere sind derartige Einwirkungen in Bergsenkungsgebieten zu untersuchen. Die Auswirkungen, z. B. infolge des Untertagebergbaues, müssen hinsichtlich ihrer Größe ermittelt werden. In Bezug auf die Bergsenkungen müssen Deiche zeitlich vauseilend entsprechend erhöht werden. In Bezug auf Zerrungs- und Pressungsbeanspruchungen sind – zumindest während der aktiven Beanspruchungsphase – gegebenenfalls entsprechende konstruktive Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen, um Erosionsrisiken infolge Rissbildungen zu kompensieren. Beispiele zur Ausbildung von Deichen unter Berücksichtigung des Untertagekohlebergbaues sind in KAST & BRAUNS (2003) sowie in HEERTEN et al. (2003) beschrieben.

Deiche unterliegen im Allgemeinen über Jahrzehnte einer gewissen Alterung aufgrund hydraulischer, meteorologischer, aber auch biologischer Vorgänge im Deichkörper und im Untergrund. Hierdurch können Verformungen auftreten, die die Deichgeometrie und die Deichhöhe verändern. Derartige Verformungen bzw. Beeinträchtigungen sind durch Deichschauen und regelmäßige Profilaufnahmen zu erfassen (vgl. Abschnitt 13) und gegebenenfalls baulich zu korrigieren. Hierbei ist zu beachten, dass etwa nachträglich aufgebraachte dünne Erdschichten auf Böschungen meist nicht stand sicher sind (vgl. Abschnitt 11.4.3).

9 Baustoffe, Baudurchführung und Qualitätssicherung

9.1 Baustoffe

9.1.1 Allgemeines

Je nach Deichaufbau können bei Deichbauten folgende Baustoffe zur Anwendung kommen:

- bindige Böden (Dichtungen, Stützkörper),
- nichtbindige Böden (Stützkörper, Dräns, Filter),
- Stahlbeton (Stützwände, Böschungssicherungen, Wege),
- Asphalt (Straßen, Wege, Böschungssicherungen),
- Ton-Bindemittel-Gemische (Dichtungen, Bodenverbesserung),
- Erdbeton (Dichtungen, Erosionsschutzwände),
- Geokunststoffe (Dichtungen, Bodenbewehrungen, Dräns, Filter),
- Stahl (Dichtungen, Bewehrungen),
- Baustoffrecyclingmaterial (Stützkörper, Wege, Dräns).

Dichtungsbaustoffe für Deiche sind gesondert in Abschnitt 6.3.4 behandelt (vgl. DIN 18300; ZTV E-StB 09, ZTV-W LB 205 oder EAG-GTD (2002)). Die Klassifikation, Beschreibung und Benennung von Böden sind in DIN 4020, DIN EN ISO 14688-1, DIN EN ISO 14689-1, DIN EN ISO 22475, DIN 4023 und DIN 18196 geregelt. Versuche und Versuchsgeräte und die Untersuchung von Proben von natürlichen Böden werden in der Normenreihe DIN 18121 bis DIN 18137 behandelt. Boden- und Pflanzarbeiten sowie Unterhaltungsarbeiten an Vegetationsschichten, Schutz von Vegetation bei Baumaßnahmen und ingenieurbio logische Bauweisen für den Landschaftsbau sind in der Normenreihe DIN 18915 bis DIN 18920 geregelt.

9.1.2 Anforderungen an Deichbaustoffe

Alle Baustoffe für den Deich müssen dauerbeständig sein. Sie dürfen sich im Laufe der Zeit nicht zersetzen, nicht auflösen, nicht übermäßig quellen und nicht entzündbar sein. Die Eignung der Böden als Deichbaustoff ist auch von der Querschnittsgestaltung abhängig, insbesondere, ob bindige oder nichtbindige Bodenarten benötigt werden.

Auch die Durchlässigkeit, Verdichtungsfähigkeit, Scherfestigkeit, Kornzusammensetzung und Filtereigenschaften, die jeweils gefordert werden müssen, können die Brauchbarkeit eines Deichbaustoffes bestimmen.

Geeignete natürliche mineralische Böden sind z. B. Ton, Schluff, Sand, Kies, Steine, ferner gebrochenes Gestein wie Grus, Splitt und Schotter.

Grundsätzlich sollte angestrebt werden, die für einen Deichbau benötigten Bodenmassen in der Nähe der Einbaustelle z. B. aus vorhandenen Lehmablagerungsstätten und Kiesgruben zu gewinnen. Sie müssen jedoch zuvor auf ihre Eignung hin untersucht und bewertet werden.

Geeignet sind auch künstlich hergestellte Schüttmaterialien. Hierzu gehören nichtbindige Materialien wie Hochofenschlacke, granuliert e Schlacke usw., sofern sie gut einbau- und verdichtungsfähig sowie umweltverträglich sind.

Der Einsatz von Recyclingbaustoffen kann nur dann erfolgen, wenn deren Eignung (z. B. Einbaubarkeit, Verdichtungsfähigkeit, Umweltverträglichkeit usw.) hinreichend nachgewiesen ist.

Gleichfalls hat sich Bergematerial bewährt, welches bei der Trennung der Rohstoffe (z. B. Steinkohle) als Grubenberge oder Waschberge anfällt. Im eingebauten Zustand hat dieses Gestein neben einer großen Reibungsfestigkeit noch eine Haftfestigkeit bzw. einen Gefügewiderstand (vgl. ANNEN & STALMANN 1968, EGLV 2008). Beim Einsatz von Bergematerialien in aktiven Bergsenkungsgebieten ist zu beachten, dass das Material eine hohe Kohäsion entwickeln kann (gegebenenfalls auch durch Verbackungen) und daher in Bereichen mit höheren Zerrungsbeanspruchungen (z. B. > 2 mm/m) zu Rissbildungen neigt (vgl. KAST & BRAUNS 2003).

Nicht geeignet sind im Allgemeinen Bodenarten mit mehr als vier Masseprozent an organischen Bestandteilen wie Torf, Moorerde, Mudde und organischen Klär rückständen. Torfige Böden können unter Umständen zusätzlich zur Oberbodenschicht als äußere Andeckung auf der Landseite des Deiches verwendet werden.

9.2 Baudurchführung, Erdarbeiten

9.2.1 Allgemeines

Die wichtigsten Grundsätze für den Bau von Deichen sind nachstehend aufgeführt. Im Übrigen gelten sinngemäß die Vorschriften und Empfehlungen der DIN 18300.

Die zur Verwendung beim Deichbau örtlich anstehenden Bodenarten können mitunter vielfältig zusammengesetzt sein. Neben ihrer grundsätzlichen Eignung ist insbesondere vor Verwendung die bautechnische Eignung zu prüfen.

Durch Lockerzonen und Inhomogenitäten (Entmischungen) in der Dammschüttung werden rückschreitende Erosion und Feinkornaustrag (Suffosion) begünstigt. Ein homogener Einbau und eine gute, gleichmäßige Verdichtung sind daher besonders wichtig. Auf Anschlüsse von Bauwerken ist besonders zu achten (siehe Abschnitt 10.2).

9.2.2 Vorbereitende Arbeiten, Deichlager

Auf dem Deichlager sind zunächst alle den Zusammenhang mit dem Untergrund und die gleichmäßige Schüttung störenden Bodenarten (Schlamm, Torf usw.) und Hindernisse (Baumstümpfe, Baumwurzeln, Mauerreste usw.) zu beseitigen. Vertiefungen sind so aufzufüllen, dass der Füllboden möglichst ebenso dicht liegt wie der anstehende Boden (vgl. auch ZTV-W LB 205). Sickerstellen, Quellen und Wasserrinnsale müssen filterwirksam gefasst und abgeleitet werden.

Besondere Beachtung muss der Untergrund im Bereich des Deichlagers erhalten. Sind dort ungeeignete Bodenbestandteile vorhanden, müssen diese entfernt und ersetzt werden. Gegebenenfalls können Maßnahmen der Bodenverbesserung die gewünschten Bodeneigenschaften sicherstellen.

Ein Quergefälle der Aufstandsfläche von mindestens 1 % zur Landseite trägt zur Entwässerung des Deichlagers sowie des Deiches bei.

9.2.3 Einbau

Bindige Bodenarten, z. B. für Dichtungen, und nichtbindige Bodenarten, z. B. für den Stützkörper, müssen beim Einbau unterschiedlich behandelt werden.

Ein homogener Deich sollte in der Regel gleichzeitig in der ganzen Breite lagenweise aufgebaut werden, wobei in Anschlussbereichen auf eine ausreichende Verzahnung zu achten ist (vgl. hierzu auch Abschnitt 11.4.2 f.). Die einzelnen Schüttlagen und die fertige Oberfläche müssen eben sein und das für die Entwässerung notwendige Gefälle besitzen. Die jeweiligen Schüttflächen bindiger Böden sind gegebenenfalls glatt zu walzen, damit Regenwasser ständig ungehindert abfließen kann. Unmittelbar vor Aufbringen der nächsten Schüttlage ist die Oberfläche aufzurauen. Aufgrund von Witterungsverhältnissen kann es notwendig sein, Wasser zu trockenem Boden zuzuführen oder bei zu hohem Wassergehalt den Boden zu trocknen, um bei geeignetem Wassergehalt verdichten zu können. Eingebaute Schüttlagen sind gegebenenfalls vor Austrocknung zu schützen.

Größere Steine oder größere Bodenschollen, mit denen das Schüttgut durchsetzt ist, sind so zu beseitigen, dass eine Bildung schädlicher Hohlräume und Inhomogenitäten in der Schüttung vermieden wird.

Felsigen und grobkörnigen Böden ist unter Umständen Feinkorn lagenweise beizugeben und zu durchmischen, um eine hohlraumarme Schüttung zu erhalten.

Witterungsunbeständige, grobkörnige Böden, z. B. Schieferton und Mergel, erfordern eine hohe Verdichtungsenergie und dünne Schüttlagen, damit ein Hohlraumminimum erreicht wird und eine Sackung durch weiteren Zerfall vermieden wird. Bei entsprechenden Witterungsverhältnissen müssen diese empfindlichen Böden abgedeckt werden.

Der Einbau von Geokunststoffen ist nahezu witterungsunabhängig möglich, sofern die entsprechenden Anforderungen an das Planum und die Abdeckung eingehalten werden können.

Während der laufenden Bauarbeiten ist darauf zu achten, dass keine Erosionsschäden und Rutschungen an der Schüttung auftreten. Dies ist durch geeignete Maßnahmen (Verdichtung, geeignete Niederschlagswasserführung, Schutz durch Abdeckungen) sicherzustellen. Trotzdem eingetretene Auswaschungen sind möglichst bald mit gleichartigen, genügend trockenen Böden lagenweise zu verfüllen und zu verdichten. Rutschschäden einschließlich ihrer Ursachen sind zu beheben.

9.2.4 Verdichtung

Einbauart, Schütthöhe, Verdichtungsgerät, -betrieb und -dauer können bei der Ausschreibung der Deichbauarbeiten vorgeschrieben werden. Die Verdichtung ist abhängig vom Deichaufbau, von der Art und der Verdichtungsfähigkeit der Böden, vom Verdichtungsgerät und dessen Leistung sowie von der Arbeitsweise (vgl. DIN 18300). Hinweise und Empfehlungen enthalten die Merkblätter der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 591/E 2, FGSV/E 3, ZTV E-StB 09 sowie ZTV-W LB 205).

Die zum Einsatz kommenden Verdichtungsgeräte müssen den betreffenden Bodenarten gerecht werden. Schütthöhe und Anzahl der Arbeitsgänge müssen sich nach Art und Größe des Verdichtungsgerätes sowie nach der einzubauenden Bodenart richten; eine Schütthöhe der Einbaulagen von 0,5 m, bei bindigen Böden von 0,3 m, darf nicht überschritten werden. Die Verdichtungsvorgaben müssen dabei in der gesamten Schüttlage eingehalten werden.

Einen Anhalt für den Einsatz von Verdichtungsgeräten in Abhängigkeit von der Bodenart und die zu wählende Schütthöhe gibt Tabelle 9 aus FGSV 516 (2003).

Wichtig ist auch eine gute Verdichtung der böschungsnahen Zonen (vgl. ZTV-W LB 205). Dazu kann die Schüttung eines Überprofils mit nachfolgendem Abziehen dienen. Das gilt besonders für die wasserseitige Böschung, um Rutschungen beim erstmaligen Einstau, bei schwankendem Wasserspiegel und mechanischen Einwirkungen (Wellenschlag, Eis) zu vermeiden.

Einbau und Verdichtung sind den Witterungsverhältnissen anzupassen und gegebenenfalls bei nasser Witterung einzustellen, wenn eine ausreichende Verdichtung nicht mehr gewährleistet ist. Boden, der durch Regen und/oder Befahren aufgeweicht ist, darf nicht überschüttet werden. Er ist zu entfernen oder wieder zu verdichten, sobald er abgetrocknet ist. Durch Zugabe von trockenem Boden oder Kalk kann ebenfalls eine ausreichende Festigkeit erreicht werden. Die Veränderung von Bodenparametern, wie z. B. Steifigkeit und Durchlässigkeit infolge Kalkzugabe, ist zu berücksichtigen (KERTSCHER 1988, FGSV 591/B11.5).

Für die Prüfung der Verdichtung kommen je nach Bodenart unterschiedliche Verfahren in Frage:

- Dichtebestimmung nach der Bodenersatzmethode,
- Plattendruckversuche,
- Rammsondierungen und
- die Anlage von Prüffeldern.

Moderne Einbaugeräte verfügen häufig über ein System zur flächendeckenden Verdichtungskontrolle (FDVK) während des Einbaues (vgl. FGSV 591/E 2). Detaillierte Angaben zu den Verdichtungsanforderungen, die im Deichbau im Allgemeinen einzuhalten werden, sind für grob-, gemischt- und feinkörnige Böden in ZTV-W LB 205 gegeben.

Für Deiche, die zeitweise auch von schweren Fahrzeugen befahren werden, muss der Verdichtungsgrad bis 1 m unter dem Oberbau bei bindigen Böden mindestens 97 % und bei nichtbindigen Böden 100 % der einfachen Proctordichte betragen (vgl. auch ZTV-W LB 205). Bei Steinschüttungen und steinigen Bodenarten ist die Definition einer Proctordichte nicht möglich; die Bedingungen für den Bodeneinbau (Einbauart, Schütthöhe, Verdichtungsgerät und -dauer) können durch Dichteuntersuchungen an einem Prüffeld gewonnen werden.

Tabelle 9: Einsatz von Verdichtungsgeräten im Erdbau (Quelle: FGSV 516)

Verdichtungsgerät und Betriebsgewicht		Eignung (E), Schichtdicke (H), Übergänge (Ü) nach Bodenart											Anwendungsbereiche			
		grobkörnig (nicht bindig) Sande – Kiese			gemischtkörnig (bindig) Mischböden, schwach steinig			feinkörnig (bindig) Schluffe – Tone			Fellsschüttung ³⁾		Bauwerks-hinterfüllungen	Leitungsgräben	Trasse	
statisch		E	H (cm)	Ü (Anz.)	E	H (cm)	Ü (Anz.)	E	H (cm)	Ü (Anz.)	E	H (cm)	Ü (Anz.)	E	E	E
		Glattmantel ≥ 12 t	⊗	10 - 20	4 - 8	⊗	10 - 20	4 - 8	⊗	10 - 20	4 - 8					
	Gummiradwalze 20 t - 30 t	+	10 - 20	6 - 10	+	10 - 20	6 - 10	+	10 - 20	6 - 10						+
dynamisch	Fallplatte h=2,0 m; G=2,5 t										+	50 - 80	3 - 5 ¹⁾			+
	Schnellschlagstamper 50 - 80 kg	⊗	20 - 30	3 - 7	⊗	20 - 30	3 - 7	⊗	10 - 20	2 - 4				+	+	
	Walzenzug bis 7 t	+	20 - 30	4 - 8	+	20 - 30	4 - 8	+	20 - 30	4 - 8				+		+
	bis 12 t	+	30 - 50	4 - 8	+	30 - 40	4 - 8	+	20 - 30	4 - 8	+	20 - 50	4 - 6	²⁾		+
	bis 20 t	+	30 - 60	4 - 8	+	40 - 50	4 - 8	+	20 - 40	4 - 8	+	30 - 60	4 - 6	²⁾		+
	über 20 t	+	40 - 80	4 - 8	+	40 - 80	4 - 8	+	30 - 60	4 - 8	+	40 - 80	6 - 8	²⁾		+
	Tandem bis 7 t	+	20 - 30	4 - 6										+	+	
	Vibr.-Walze über 7 t	+	30 - 40	4 - 6	⊗	20 - 40	5 - 8							+	+	
	Vibrat.- bis 400 kg	+	20 - 30	4 - 6	⊗	10 - 20	4 - 6							+	+	
	Platten über 400 kg	+	30 - 40	4 - 6	⊗	20 - 40	4 - 6	⊗	20 - 30	6 - 8				+	+	

¹⁾ Anzahl Schläge/Punkt ²⁾ Nur mit Einzelnachweis der dynamischen und statischen Einwirkungen ³⁾ zul. Größtkorn max. 2/3 H
 Die Angaben setzen einen Wassergehalt im Bereich des optimalen Wassergehaltes voraus
 1 Übergang ≙ 1 Überfahrt in Vor- oder Rückwärtsbewegung.

+ empfohlen
 ⊗ meist geeignet

9.3 Boden- und Untergrundverbesserung

Mittels Verdichtung, Wasserentzug oder Wasserbindung, Austausch, Einmischen von Boden oder Bindemittel und Bewehrung können die Eigenschaften der Deichbaumaterialien und des Untergrundes verbessert werden.

Dadurch können u. a. Verformungs- und Setzungsverhalten, Durchlässigkeit, Filtereigenschaften, Erosionsstabilität und Scherparameter den Anforderungen entsprechend beeinflusst 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 Höferschüttung des Deiches (Vorbelastung und Konsolidierung).
- Nachträgliche Verdichtung des Deichkörpers und/oder des Untergrundes (Dynamische Tiefenverdichtung u. v. m.).
- Beschleunigung der Konsolidierung des Untergrundes und Erhöhung der Scherfestigkeit mittels Vertikaldränung (Tiefdränung).

- Einrütteln eines Steingerüstes in den weichen Untergrund (Rüttelstopfverdichtung).
- Einbau von zugfesten und verrottungsbeständigen Einlagen, wie z. B. Geogitter, zur Verminderung der Scherbeanspruchung (Bewehrung).
- Auskoffnung des nicht tragfähigen Bodens und teilweiser oder vollständiger Ersatz durch Boden größerer Scherfestigkeit und geringerer Zusammendrückbarkeit (Bodenaustausch).

Anzustreben ist, dass Setzungen weitgehend während der Bauzeit eintreten und sich die Scherfestigkeit des Untergrundes erhöht. Schädliche Wirkungen aus Setzungen und Setzungsunterschieden können dann noch während der Bauarbeiten beseitigt werden.

Die (im Allgemeinen normale) Unterströmung des Deiches kann unter bestimmten Bedingungen nachteilige Auswirkungen auf die Standsicherheit und die Erosions-sicherheit des Untergrundes haben. Die bestehende Gefahr einer Untergrunderosion kann durch die Unterbrechung von Erosionswegen (z. B. durch Erosionssperren, d. h. erosionsfeste Tauchwände bzw. unvollkommene Dichtungen wie z. B. MIP-(mixed-in-place)-Wände) reduziert werden (vgl. Abschnitte 6.3 und 11.4.2).

Für Bodenverbesserungen und Bodenverfestigungen im Rahmen von Erdarbeiten für Straßen, Wege und sonstige Verkehrsflächen kann auf FGSV (1991, 1994a, 2004) verwiesen werden.

Baugrundinjektionen sind in DIN 4093 und DIN EN 12715 geregelt. Hinweise zu Verpressarbeiten in Lockergestein sind auch in KUTZNER (1991) zu finden.

Das Merkblatt DVWK-M 221/1992 gibt Hinweise zur Anwendung von Geokunststoffen im Wasserbau. Weitere Hinweise und Erläuterungen zur Planung und Ausführung von Bodenverbesserungsmaßnahmen mittels Geokunststoffen bieten EBGeo (2010) und FGSV 549.

Hinweise zu den verschiedenen Verdichtungsverfahren sind z. B. in BUJA (2001) zu finden.

9.4 Qualitätssicherung

Alle Erdbaumaßnahmen sind einem Qualitätsmanagement zu unterwerfen. Hierzu ist ein Qualitätssicherungsplan (QSP) aufzustellen, der alle relevanten Überwachungserfordernisse beinhaltet.

Ein Qualitätssicherungsplan gliedert sich im Allgemeinen in:

- Kurzfassung der **Aufgabenstellung**,
- **Beteiligte** (Bauherr, Planer, Geotechniker, Eigen- und Fremdüberwacher, gegebenenfalls auch Sachverständiger für Geotechnik als Prüfgutachter),
- Untersuchungen zur Tauglichkeit aller im Rahmen der Deichbaumaßnahme zum Einsatz vorgesehenen Materialien (**Eignungsprüfungen**),
- **Eingangskontrollen** von angelieferten und zum Einsatz vorgesehenen Materialien,
- Festlegung von **Prüfkriterien**,
- Festlegung der durchzuführenden **Kontrollen der Eigenüberwachung** und der **Kontrollprüfung**,
- Festlegungen zur **Dokumentation** der Ergebnisse der Kontrollen.

Im Hinblick auf die Ausführung der in den Ausschreibungsunterlagen beschriebenen Arbeiten muss der Unternehmer dem Auftraggeber die Verfahren, Methoden, Geräte sowie die an der Ausführung beteiligten Personen mitteilen. Die an einer Baumaßnahme beteiligten Personen mit Kontaktinformationen sowie die bestehenden Verantwortlichkeiten sind festzulegen.

Eine gesonderte Eignungsprüfung kann entfallen, wenn die Tauglichkeit der vorgesehenen Materialien bereits nachgewiesen ist. Dies kann z. B. bei industriell vorgefertigten Baustoffen durch spezielle Prüfsertifikate der Fall sein.

Angelieferte Baustoffe sollten ständig überprüft werden. Ungeeignete Erdbaustoffe können bereits anhand von Farbveränderungen und/oder dem Vorhandensein von groben Bestandteilen visuell erkannt werden. Bei industriell vorgefertigten Fertigbaustoffen, wie z. B. Baustählen oder Geokunststoffen, kann bei Anlieferung eine Kontrolle der Lieferscheine ausreichend sein.

Prüfkriterien sollten in Abstimmung mit den für die spezielle Deichbaustelle erforderlichen Anforderungen festgelegt werden. Richtwerte für z. B. die Verdichtungsanforderungen im Deichbau sind in Abschnitt 9.2.4 enthalten. Probeverdichtungen können im Einzelfall erforderlich sein.

Die Verdichtung ist lagenweise zu kontrollieren. Falls keine flächenhafte Verdichtungskontrolle durchgeführt wird, sollte der Umfang der Kontrollen der Verdichtung in Anlehnung an die ZTV E-StB 09 bzw. ZTV-W LB 205 erfolgen.

Zur Dokumentation der Ergebnisse der Kontrollen sind angefertigte Datenblätter mit den notwendigen Informationen einem Auswertungsprotokoll beizufügen. Regelmäßig sollten die Ergebnisse der Kontrollen in Berichten dokumentiert werden. Bei begründeten Anzeichen von Qualitätsmängeln sind sowohl der Ausführende als auch die Verantwortlichen der Auftraggeberseite unverzüglich zu unterrichten. Gegebenenfalls ist der Baubetrieb zu unterbrechen. Können die festgestellten Mängel der Baumaterialien Einfluss auf Standsicherheit und Dauerhaftigkeit vom Deich oder von Deichbestandteilen haben, dürfen gelieferte Baumaterialien keine Verwendung finden und müssen eingebaute Materialien wieder ausgebaut werden.

Weitere Hinweise zur Qualitätssicherung können den Empfehlungen in FGSV 591/E 2, FGSV 591/E 3, GDA (1997), ZTV E-StB 09 sowie ZTV-W LB 205 entnommen werden.

10 Bauliche Anlagen im Deichbereich

10.1 Allgemeines

Im Deich sind alle bauliche Anlagen Fremdkörper, die nur geduldet werden dürfen, wo sie unvermeidbar sind. Dränrohre, die am landseitigen Deichfuß Sickerwasser abführen, sind keine baulichen Anlagen in diesem Sinne. Nicht mehr benötigte Anlagen sind möglichst zu entfernen.

Die Übergänge zwischen massiven Bauwerken und Deich sind kritische Bereiche. Sie müssen so ausgebildet und abgedichtet werden, dass die Standsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Erosionssicherheit nicht beeinträchtigt werden. Verformungen im Deichkörper (z. B. Setzungen) oder an der baulichen Anlage dürfen nicht zum Versagen der Dichtung führen. Gegebenenfalls kann eine Überhöhung der Deichkrone im Anschlussbereich an bauliche Anlagen sinnvoll sein.

Es wird empfohlen, alle gegen den Deichkörper gerichteten starren Wandungen mit einer leichten Neigung gegenüber der Vertikalen (z. B. 10 : 1 bis 20 : 1) schräg auszubilden, damit die unvermeidlichen relativen Setzungsbewegungen des Deichkörpers nicht zu Erosionswegigkeiten entlang der festen Bauwerksränder führen. Wo für eine einwandfreie Sickerwasserführung erforderlich, sind auch horizontale Bauwerksflächen mit Gefälle nach außen abzuschrägen.

Über die Deichböschung hinausragende Bauteile (z. B. Brückenwiderlager oder Pfeiler) sind so zu gestalten, dass der Hochwasserabfluss ohne Walzen und Wirbel gesichert ist. Setzen sich die baulichen Anlagen im deichnahen Vorland fort, so darf der Hochwasserabfluss dadurch nicht behindert werden.

Bei der Bemessung der Anlagen ist gegebenenfalls eine künftig erforderliche Deichaufhöhung zu berücksichtigen (z. B. bei erforderlichen Sofortmaßnahmen oder Bergsenkungen).

Bei bestehenden Deichen sind Arbeiten zur Errichtung, zum Umbau oder zur Sanierung baulicher Anlagen in einer Jahreszeit durchzuführen, in der ein Hochwasser wenig wahrscheinlich ist. Zusätzlich sind Vorkehrungen zu treffen, um Deichlücken bei auftretendem Hochwasser rechtzeitig verschließen zu können (vgl. hierzu auch Abschnitt 11). Die Beeinträchtigung des Deichkörpers durch die Bauarbeiten an baulichen Anlagen ist zu minimieren.

Die Errichtung aller baulichen Anlagen im Deichbereich muss einer Qualitätssicherung unterzogen werden.

10.2 Bauwerke

10.2.1 Wasserwirtschaftliche Bauwerke im Deichkörper

Als wasserwirtschaftliche Bauwerke kommen u. a. Pump- und Schöpfwerke, Flutungs- und Entleerungsbauwerke sowie Deichsiele/Schleusen vor. Sofern derartige Bauwerke an Kreuzungsstellen eines Deiches mit einem Gewässer erstellt werden, sind zusätzliche Baugrunduntersuchungen erforderlich (vgl. hierzu DIN 4020).

Für die Bauwerke sind alle erforderlichen Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise zu führen; insbesondere sind die Bauwerke auch gegen Aufschwimmen, Umläufigkeit, Unterläufigkeit und Grundbruch zu sichern. Das Zeitsetzungsverhalten und die Endsetzungen sind zu ermitteln und entsprechend zu berücksichtigen. Zum Ausgleich von Setzungen muss die Deichkrone im Bereich des Bauwerkes und den unmittelbar angrenzenden Bereichen entsprechend überhöht werden.

Die Baukörper von **Pump- und Schöpfwerken** sollten nicht im Deichkörper, sondern landseitig außerhalb des Deichschutzstreifens errichtet werden. Für Ablaufleitungen der Pump- und Schöpfwerke gelten die Grundsätze gemäß Abschnitt 10.3.

Für die Entwässerung des Hinterlandes erforderliche Durchlassbauwerke (z. B. **Deichsiele oder Deichschleusen**) sollten über doppelte Verschlusseinrichtungen verfügen. Bei Deichen der Klasse I gemäß Tabelle 1 ist dies in jedem Fall zu prüfen.

Flutungs- und Entleerungsbauwerke von Flutungspoldern sind in der Deichachse anzulegen. Grundsätzlich sind sie wie Wehre zu behandeln. Es wird empfohlen – für Deiche der Klasse I auch grundsätzlich zu fordern –, auf der Landseite eines Flutungsbauwerkes eine Energieumwandlungsanlage oder sonstige geeignete Schutzmaßnahmen vorzusehen, um eine rückschreitende Erosion zu vermeiden.

10.2.2 Deichscharten, Deichtore und Deichüberfahrten

Deichscharten sind möglichst zu vermeiden. Gelingt dies nicht, so sind bei Deichen der Klassen I und II zwei voneinander unabhängig funktionierende Verschlusseinrichtungen vorzuhalten (z. B. doppelte Dammbalkenwand oder Deichtor und zusätzlich einfache Dammbalkenwand). Bei Deichscharten, die vollständig oberhalb BHW im Freibordbereich liegen, genügt ein einfacher Verschluss. Im Bereich von Deichüberfahrten darf die Kronenhöhe nicht reduziert werden. Auch in diesem Bereich ist die Dichtungswirkung bis zur Kronenhöhe sicherzustellen (vgl. hierzu Abschnitte 6.2.1 und 6.3.1).

10.2.3 Häuser, Wände, Brücken und Sonstiges

Häuser und sonstige Gebäude dürfen mit Rücksicht auf die Deichverteidigung und eine mögliche spätere Deichverstärkung und -erhöhung nur in angemessenem Abstand von der landseitigen Grenze des Deiches errichtet werden. In der Regel ergeben sich die Abstände aus den wasserrechtlichen Bestimmungen unter Beachtung der örtlichen Verhältnisse. Existierende Gebäude, die zu nahe am oder gar im Deichkörper stehen, sind nach Möglichkeit zurückzubauen und vollständig zu entfernen. Gelingt dies nicht, so sind besondere Sicherungsmaßnahmen (Stützmauern, Spundwände, Dräns u. a.) erforderlich, um die Deichsicherheit gewährleisten zu können.

Bei Stützwänden am landseitigen Deichfuß ist die Sickerwasserableitung sicherzustellen und eine Anhebung der Sickerlinie infolge Rückstaus zu verhindern. Sind Wänden beispielsweise zur Sicherstellung eines ausreichenden Freibords auf Deichen unvermeidlich, so sollten sie an der Wasserseite der Deichkrone angeordnet und frostfrei gegründet werden. Ihre Standsicherheit ist – zusätzlich zur Standsicherheit des Deiches – auch bei vollem Einstau (Wasserstand bis Oberkante Wand) nachzuweisen.

Brücken und ihre Widerlager sollten den Abflussquerschnitt, die Breite der Deichkrone und die Durchfahrts Höhe auf der Deichkrone nicht einengen. Unter Brückenbauwerken sind die Deichböschungen und die Deichkrone erosionsbeständig zu sichern, weil sich in diesen Bereichen kein ausreichend stabiler Grasbewuchs ausbilden kann und besondere hydraulische Belastungen auftreten können. Brückenentwässerungen dürfen nicht über dem Deich frei ausmünden.

Für sonstige Anlagen wie Treppen, Pegel, Schifffahrtszeichen, Steiger, Verladebrücken, Steine (Vermessung, Schifffahrt), Rettungstürme, Sport- und Campinganlagen und Ähnliches gilt insbesondere Abschnitt 10.1.

Für die Lage von Masten im Deichbereich gelten die Angaben in Abschnitt 10.3.1. Wasserseitig gelegene Gittermasten müssen gegen Treibgut und Eisgang und am Fuß ausreichend mit Pflaster gegen Ausspülen und Viehtritt gesichert sein. Entsprechendes gilt in Ausnahmefällen für Pfosten (z. B. von Schildern) und Bänke, sofern sie nicht vermieden werden können.

10.3 Leitungen (Rohre und Kabel)

10.3.1 Allgemeines

Durch das Verlegen von Leitungen dürfen die Durchlässigkeitsverhältnisse in Deich und Untergrund nicht nachteilig für die Standsicherheit des Deiches verändert werden. Auftriebs-, Erosions- und Drängewasserprobleme im Vor- und Hinterland sind zu vermeiden.

Grundsätzlich ist in jedem Fall Nachfolgendes zu beachten:

- Die Auftriebssicherheit muss auch bei leerem Produktrohr/Schutzrohr gegeben sein.
- Die Erosionssicherheit des Deichkörpers und des Untergrundes darf durch die Leitungsführungen nicht nachteilig beeinträchtigt werden.
- Die bindige Deckschicht darf nicht geschwächt werden.
- Die Leitung darf den Sickerlinienverlauf im Deich nicht nachteilig verändern, Nachweise sind auf jeden Fall vorzulegen.
- Vorhandene Dränungen dürfen in ihrer Funktion nicht beeinträchtigt werden.
- Die in DIN 19712 enthaltenen Hinweise zur Bemessung von Leitungen sind zu beachten. Sie gelten sowohl im Deichbereich als auch jeweils bis 20 m vom Deichfuß entfernt.
- Die Lage- und Funktionssicherheit aller Dichtungselemente muss sichergestellt und nachgewiesen werden.
- Die Grabenverfüllung muss die erdbaulichen Kriterien (Material und Verdichtung) des Einbettungsreiches erfüllen.
- Das Rohrsystem (Produktrohr/Schutzrohr) muss Verformungen des Deichkörpers folgen können, um Hohllagenbildung zu vermeiden.

Das gesamte Rohrsystem (einschließlich Schutz- und Leerrohre) im Deichbereich muss hinsichtlich Funktion und Dichtigkeit überprüfbar und kontrollierbar sein.

10.3.2 Linienführung im Grundriss

Den Deichkörper querende Leitungen (Kabel und Rohre)

Der Deichkörper sollte nach Möglichkeit nicht von Leitungen gequert werden. Ist ein Queren des Deiches unvermeidbar, sollten Rohrleitungen die Deichanlagen grundsätzlich rechtwinklig zur Deichachse queren. Nur in begründeten Ausnahmefällen kann eine schräge Quering mit einer Abweichung von bis maximal 15 Grad aus der Senkrechten zur Deichachse zugelassen werden. Einander querende Leitungen im Deichuntergrund sind

zu vermeiden. Querend mehrere Leitungen den Deich nahe beieinander, so kann deren Zusammenlegung gefordert werden (z. B. Sammelkanal).

Innerhalb zu querender Deiche sind bei getrennt verlegten Leitungen folgende lichte Mindestabstände untereinander einzuhalten:

- 0,2 m bei Kabeln bis 100 mm Durchmesser
- 1,0 m bei Rohren bis 300 mm Durchmesser
- 2,0 m bei Rohren über 300 mm Durchmesser

Diese Abstände gelten nicht für Leitungen in Sammelkanälen und für durchzupressende Schutzrohre (siehe Abschnitt 10.3.5).

Als Mindestabstand von Leitungen zu anderen Bauwerken im Deichbereich (Deichtore, Siele, Schöpfwerke und Ähnliches) sollten 15 m eingehalten werden. Die Untergrundverhältnisse, besonders die Setzungsempfindlichkeit einer Bodenschichtung, können zu einer Abweichung von der geplanten Trasse zwingen.

Querend im begründeten Einzelfall Leitungen den Deich, ist dabei grundsätzlich anzustreben, alle Druckleitungen und Erdkabel dem Deichprofil folgend über den Deich zu legen.

Bei der Entscheidung über die Leitungsführung (Bild 35) sind die Art des Fördergutes, der Deichaufbau und die Untergrundverhältnisse zu berücksichtigen.

Aus Gründen der Deichsicherheit sind bei allen Leitungen sowohl wasser- als auch landseitig Verschlussorgane und Schächte anzuordnen (Bild 36). Die Längen der Rohrschüsse bzw. die Kabellängen sind möglichst groß zu wählen, sodass im Querungsbereich nur wenige Verbindungsstellen erforderlich sind. Diese dürfen auch bei Setzungen und Verformungen (z. B. Spreizen) nicht zu einer Schwächung der Leitung führen. Leitungen sind korrosionsfest zu gestalten. Dichtungen müssen alterungsbeständig sein.

Bei Schardeichen und Deichen mit anliegendem Stromstrich sollten auch Leitungen über den Deich möglichst vermieden werden.

Im aktiven Bergsenkungsgebiet sind Leitungen generell über den Deich zu führen. Das Einbetten von Leitungen in Sand, das Abdecken der Leitungen mit Kabelschutzsteinen usw. ist – entgegen den Regelungen im Straßenbau – nicht zulässig.

Planmäßig vorgesehene Dichtungsschichten dürfen nicht geschwächt werden, sie sind erforderlichenfalls im Durchführungsbereich der Leitung zu verstärken.

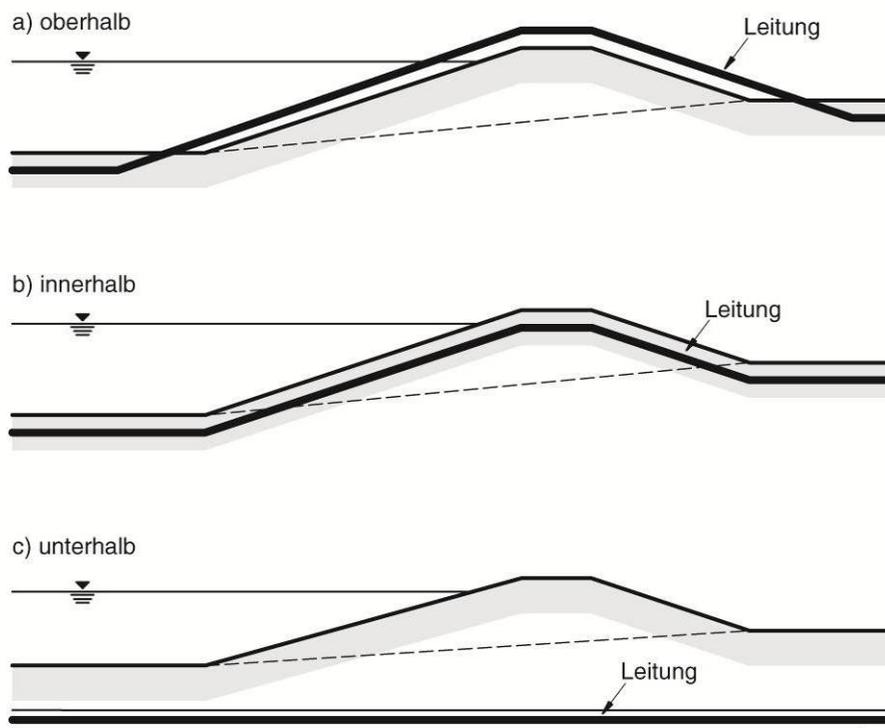


Bild 35: Lage von Leitungen zum Deich (schematisch)

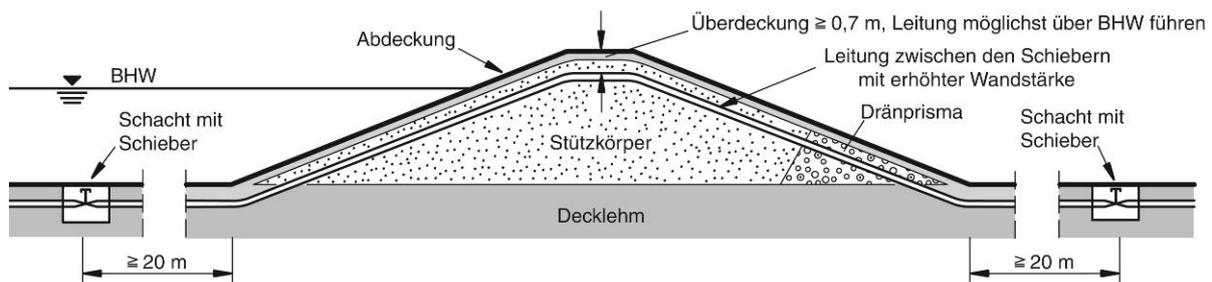


Bild 36: Beispiel für eine Druckrohrleitung innerhalb des Deiches

Parallel zum Deichkörper verlaufende Leitungen (Kabel und Rohre)

Leitungen dürfen in und unter Deichen **grundsätzlich nicht parallel** zur Deichtrasse verlegt werden.

Für Kabel geringen Durchmessers gilt: Diese dürfen außerhalb des hydraulisch beanspruchten Teils des Deiches (Lastfall „bordvoll“) unter der Voraussetzung, dass die verwendeten Einbettungsmaterialien den erdbaulichen und hydraulischen Kennwerten des Deichkörpers entsprechen, liegen.

Bei Deichen der Klassen I und II sollte die deichseitige Begrenzung des Leitungsgrabens von parallel laufenden Leitungen mindestens 5 m, wenigstens aber das Zweifache der Deichhöhe vom land- bzw. wasserseitigen Deichfuß bzw. Bermenfuß entfernt sein. Bei grabenlosen Verlegungen ist dies entsprechend auf die Lage des Rohres anzuwenden.

Nur im begründeten Einzelfall ist die Verlegung innerhalb und unter Deichen bzw. deichnah unter besonderer Beachtung von Standsicherheits- und Erosionsfragen möglich (vgl. Abschnitt 10.3.1):

- Im Deichkörper ist die Verlegung deichparalleler Leitungen im Bereich einer Auflastberme an der landseitigen Böschungskante denkbar, wenn die Sickerwasserführung nicht beeinträchtigt wird.
- Im Deichlager dürfen deichparallele Leitungen nur im begründeten außergewöhnlichen Einzelfall und unter besonderen Sicherheitsvorkehrungen (insbesondere in Bezug auf Langzeitverhalten, Bruch- und Untergrunderosionsfragen) liegen.

10.3.3 Sicherheitsanforderungen bei Leitungsquerungen

Wenn Rohrleitungen im **Deichuntergrund** nicht vor dem Deichbau verlegt werden können, sind sie im Deichbereich grundsätzlich in offener Bauweise zu verlegen. Nur in besonderen Ausnahmefällen kann zugelassen werden, Rohrleitungen auch unter dem Deich durchzupressen (vgl. hierzu Abschnitt 10.3.6). Auf der Wasserseite ist am Rohrleitungsende des gepressten Rohres eine Dichtungsschürze von mindestens 2 m Dicke aus steinfreiem, plastischem Material anzuordnen. Auf der Landseite ist am Rohrleitungsende grundsätzlich ein ausreichend dränfähiges, gegenüber den angrenzenden Böden filterstabiles Material (z. B. Sand oder Kies) anzuordnen, das eine Entspannung von Sickerwasser ermöglicht.

Die Leitungen sind grundsätzlich in Schutzrohren zu verlegen (Bild 37); dadurch wird im Allgemeinen ein Auswechseln der Transportrohre und Kabel ohne Beeinträchtigung der Deichsicherheit möglich. Schutzrohre bieten bei Undichtigkeiten des Transportrohres im Allgemeinen auch Sicherheit gegen Eindringen des Fördergutes in den Deichkörper.

Die Verlegung in einer bindigen Deckschicht von geringer Dicke ist zu vermeiden; im Allgemeinen sollte eine Leitung unter diese Schicht gelegt werden. Die gegen Erosionsgrundbruch schützende Wirkung einer bindigen Deckschicht (Auelehm) ist sowohl im Bereich des Deichkörpers als auch des Deichvor- und Deichhinterlandes zu erhalten oder nach Verlegung der Leitung wiederherzustellen. Während der Bauzeit ist ein ausreichender Hochwasserschutz zu gewährleisten.

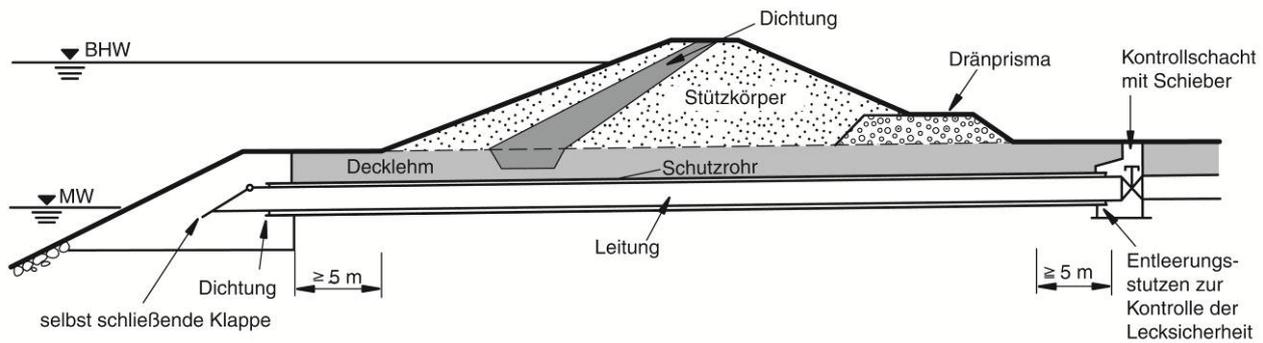


Bild 37: Beispiel für eine Freispiegelleitung im Deichuntergrund

Leitungsquerungen **oberhalb des Deichkörpers** sind zu dessen Schutz gegen Schäden durch Austreten von Fluiden (Gasen oder Flüssigkeiten) aus der Leitung auf einer Befestigung zu verlegen. Dafür geeignet sind z. B. Verbundpflaster mit plastischem Fugenverguss, Asphaltbetondecke o. Ä. Die Leitungen sind auf der Wasserseite und der Deichkrone mit Boden zu überdecken und an das Deichprofil anzugleichen. Die durchgängige Befahrbarkeit des Deichverteidigungsweges ist zu gewährleisten.

Leitungsquerungen **innerhalb des Deichkörpers** (Bild 36) sind parallel zur Deichquerschnittsoberfläche zu verlegen und sollten aus Gründen der Deichsicherheit nur bis zu einem Durchmesser von ca. 0,2 m zugelassen werden, mindestens 0,7 m Überdeckung aufweisen und bei Deichen mit Sandkern stets unterhalb der Abdeckung verlaufen. Noch tiefer dürfen sie jedoch nur verlegt werden, wenn es aus anderen Gründen (z. B. Frostsicherheit) zwingend notwendig ist. Sie sollten im Bereich des Deiches aus einem Stück bestehen. Wenn auf ein Schutzrohr verzichtet wird, ist für die Rohrleitung eine erhöhte Sicherheit nachzuweisen.

Leitungen dürfen im Deich nicht eingesandet werden. Zur Vermeidung von Erosionen entlang der Leitungen sind diese mit erosionssicheren, gering durchlässigen Baustoffen zu umhüllen (in der Regel bindiger Boden). Kabelschutzsteine und ähnliche Abdeckungen sind nicht zulässig.

Im Fall von Leitungsquerungen von Deichen mit massiven Innendichtungen (wie z. B. Schlitz- oder Spundwänden) ist der Leitungsgraben in offener Bauweise herzustellen. Die Innendichtung wird dabei punktuell aufgebrochen und ist wieder ordnungsgemäß und dauerhaft zu verschließen. Das Schutzrohr ist im Allgemeinen gelenkig an die starre Dichtwand anzuschließen, damit allfällige Setzungsdifferenzen nicht zu Rohrbrüchen oder Hohlräumbildungen führen können.

10.3.4 Bemessung

Leitungen im Bereich von Hochwasserschutzanlagen sind so auszubilden, dass sie Erd- und Wasserdruck, Verkehrslasten, Kräfte infolge von Bodenbewegungen und Auftrieb sowie einen um mindestens 25 % gegenüber den der angrenzenden Strecke erhöhten zulässigen Innendruck schadlos aufnehmen können.

Bei Freigefälleleitungen ist der Innendruck aus dem Bemessungshochwasserstand zu bemessen. Sicherheit gegen Auftrieb muss auch bei leerer Leitung gewährleistet sein.

Die Hinweise zur Erhöhung der Sicherheitsanforderungen in Abschnitt 10.3.1 sind zu beachten. Bei Flüssigkeitsleitungen muss die Sicherheit gegen Druckstoßbelastung nachgewiesen werden.

Die Dichtungen der Rohrverbindungen müssen allen auftretenden Belastungen widerstehen und alterungsbeständig sein. Eine Dimensionierung der Rohrdichtungen (Nachweis) muss gegebenenfalls gegen Innendruck, insbesondere aber auch gegen Außenwasserdruck erfolgen. Eine diesbezügliche Dimensionierung sollte auf zweifache Sicherheit gegenüber dem maximal bei Hochwasser zu erwartenden Außenwasserdruck erfolgen. Hierbei ist insbesondere auf die Lagesicherheit von Dichtringen bei wechselnden Innen- und Außendruckbelastungen zu achten.

10.3.5 Schutzrohre

Schutzrohre sind wie Transportrohre zu bemessen. Sie müssen auch bei Vorliegen von aggressiven Wässern dauerbeständig sein. Setzungen des Schutzrohres dürfen nicht zu einer zusätzlichen Belastung der innenliegenden Leitungen führen, es sei denn, diese sind dafür bemessen.

Die Dichtung gegen das Transportrohr oder Kabel sollte wasserseitig dauerelastisch so ausgebildet werden, dass:

- auch bei Wasserstand bis zur Deichkrone mit Sicherheit kein Wasser von außen in das Schutzrohr eindringt,
- in der Regel der größte Betriebsdruck des Transportrohres aufgenommen werden kann und
- Transportleitungen oder Kabel ausgewechselt werden können, ohne die Funktion des Schutzrohres zu beeinträchtigen.

Die Funktion und Eignung der gewählten Dichtung des Schutzrohres ist sorgfältig zu prüfen.

Schutzrohre sind an land- und wasserseitige Schächte dicht anzuschließen und zur Landseite hin mit einem Gefälle von mindestens 1 : 200 zu versehen.

Landseitig ist bei Fluidleitungen eine Vorrichtung anzubringen, durch die etwa ins Schutzrohr eingedrungenes Fluid schadlos austreten kann. Für Prüfwerte muss auch das landseitige Ende des Schutzrohres abgedichtet werden können.

Diese Maßnahmen müssen bei Relativbewegungen (Temperaturunterschiede, Setzungen, Bergsenkungen) Bestand haben.

Bevorzugte Sickerwege entlang der Rohre sind durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Geeignet ist eine Einbettung gemäß Abschnitt 10.3.3.

10.3.6 Durchpressungen

Bei Durchpressungen ist große Umsicht geboten, weil Sickerwege entlang der Rohrwand entstehen können (vgl. hierzu Abschnitt 10.3.3). Jede Durchpressung setzt sorgfältige Erkundung des Baugrundes und der Grundwasserverhältnisse voraus.

Die Pressgrube ist grundsätzlich in einem Abstand von mindestens 20 m vom Deichfuß anzulegen und so zu verbauen, dass keine Risse im Erdreich zum Deich hin auftreten. Beim Ausräumen der Ortsbrust muss ein stets ausreichend langer Erdfropfen bis zur Schneide im Schutzrohr verbleiben, damit der Bodenkörper dort standfest bleibt.

Hohlraumbildungen sind bei Durchpressungen auch durch besondere Sorgfalt im Allgemeinen nicht zu vermeiden. Wenn beim Durchpressen des Schutzrohres trotz aller Sorgfalt Hohlräume, Auflockerungen oder erosionsgefährdete Bodenstrukturen um das Rohr entstehen, müssen diese nach Beendigung des Durchpressens durch geeignete Injektionsmaßnahmen verfüllt werden (z. B. durch Mitführen von Injektionsrohren entlang der Leitung, nachträgliche HDI-Fächerinjektionen u. a. m.; vgl. auch DIN 4093).

Nach Beendigung der Arbeiten sind die Pressgruben so zu verfüllen, dass der ursprüngliche Zustand hinsichtlich Festigkeit und Durchlässigkeit wiederhergestellt wird.

10.3.7 Verlegen in offener Baugrube

Auch diese Bauweise ist wegen Gefügeveränderungen im Deich nicht unproblematisch.

Für das Verlegen von Leitungen in offener Baugrube sind die Baugrubenwandungen abzuböschern. Die Böschungsbildung richtet sich nach DIN 4124; abweichend davon sind aber die Böschungen nicht steiler als 60° anzulegen.

Die Baugrubensohle sollte mindestens beiderseits um je 0,75 m breiter sein als der Außendurchmesser des querenden Rohres, um eine gute Verdichtung des Verfüllbodens sicherzustellen. Da unter Rohren eine ordnungsgemäße Verdichtung kaum möglich ist, sind die Rohraufleger im Allgemeinen in Beton (fließfähiger Magerbeton oder geeigneter Dämmen) herzustellen. Die Leitungen sind in steinfreiem, plastischem Material (Lehm) einzubetten. Die Rohrgräben können im Allgemeinen mit anstehendem Bodenaushubmaterial ordnungsgemäß verfüllt und verdichtet werden (vgl. hierzu z. B. ZTVE-StB 09).

Schleichringe (auch als Vouten oder Kragen bezeichnet) sind nur sehr schwer einzubetten, und die Einbettung ist im Auflagerbereich auch nur schwierig und ineffektiv zu verdichten. Daher muss davon ausgegangen werden, dass diese Elemente den Fließweg des Sickerwassers in der Praxis nur unwesentlich verlängern.

Ist ein Baugrubenverbau erforderlich, so ist sicherzustellen, dass durch den Ausbau des Verbaues keine Hohlräume verbleiben. Dies kann z. B. bei Spundwandverbauten durch Mitführen von Injektionsleitungen beim Einbau des Verbaues erfolgen, durch die beim Ziehen der Spundbohlen kontinuierlich die entstehenden Hohlräume verpresst werden können.

10.3.8 Absperrorgane und Schächte

In Fluidleitungen sind im Regelfall land- und wasserseitig Absperrorgane vorzusehen. Bei Druckleitungen sollten diese nach Bild 36 mindestens 20 m vom Deichfuß entfernt liegen. Freispiegelleitungen sind gegen das Rückfließen von Wasser mit einer selbstschließenden Klappe und außerdem landseitig innerhalb eines Schachtes mit einem Schieber zu versehen (analog zu Bild 37). Der Schacht sollte mindestens 5 m Abstand vom Deichfuß haben. Er muss gut zugänglich sein und leicht gewartet werden können. Wenn in Sonderfällen die Schächte innerhalb des Deichkörpers angeordnet werden müssen, ist besondere Sorgfalt geboten (siehe Abschnitt 10.1).

Alle Absperrorgane sind durch sorgfältige Wartung stets voll funktionstüchtig zu halten. Eine Bedienung von Hand sollte möglich sein. Funktionsprüfungen in regelmäßigen Abständen können von der Genehmigungsbehörde angeordnet werden. Die Lage der Absperrorgane ist oberirdisch kenntlich zu machen. Eine Bedienung durch Unbefugte muss unterbunden werden.

Bei Schächten ist sicherzustellen, dass evtl. eingedrungenes Fluid festgestellt wird. In Schächten von Leitungen für wassergefährdende Flüssigkeiten ist hierfür eine Alarmanlage erforderlich. Durchgedrungenes Fluid muss schadlos abgeleitet oder anderweitig entfernt werden.

10.3.9 Rohrwerkstoffe

Als Transport- und Schutzrohre können Stahlrohre, duktile Gussrohre, Stahlbetonrohre und Kunststoffrohre nach den einschlägigen Bestimmungen verwendet werden. Die Genehmigungsbehörde kann die Verwendung anderer geeigneter Materialien zulassen.

Kontroll- und Schutzmaßnahmen richten sich nach dem jeweiligen Stand der Technik.

10.3.10 Bauabnahme, Inbetriebnahme und laufende Kontrollen

Leitungsführungen im Deichbereich müssen zusätzlich zur regulären Bauabnahme auch durch die zuständige Stelle (z. B. den Träger der Bau- und Unterhaltungslast des Deiches) abgenommen werden, und zwar vor Inbetriebnahme und jeweils zu einem Zeitpunkt, der eine einwandfreie technische Beurteilung ermöglicht. Nach Möglichkeit ist dabei eine Begehung oder Kamerabefahrung durchzuführen.

Vor der Abnahme von Deichleitungsquerungen sind Druckprüfungen durchzuführen. Zu prüfen sind besonders:

- Die Umhüllung von Stahlrohren vor dem Einbau der Rohre auf einwandfreien Zustand (z. B. mit Hochspannungs-Isolations-Prüfgerät),
- die Wirksamkeit eines kathodischen Korrosionsschutzes durch einen Sachverständigen (z. B. TÜV),
- sämtliche bei der Verlegung von Stahlrohren anfallende Schweißnähte (Durchstrahlung, Durchschalung o. Ä.) und
- die Dichtigkeit und Festigkeit von Transport- und Schutzrohren mittels Druckproben.

Von jeder Abnahme ist eine Niederschrift zu fertigen und gegenzuzeichnen.

Leitungen sind in der Örtlichkeit durch dauerhaft sichtbare Markierungen außerhalb des Deiches zu kennzeichnen. Ihre Lage ist einzumessen und in Bestandsplänen beim Unterhaltungspflichtigen bzw. dem Betreiber sowie der Aufsichtsbehörde (Deichbuch, Anlagenbuch; vgl. Abschnitt 13.2) nachzuweisen.

Bei allen Leitungen ist dauerhaft Nachfolgendes sicherzustellen:

- Alle Leitungsführungen bedürfen einer regelmäßigen Kontrolle.
- Bei Rohrleitungen sind mindestens alle 10 Jahre Druckprüfungen durchzuführen.
- Befahrbare Leitungen sind regelmäßig – erforderlichenfalls nach vorheriger Spülung – mit einer Rohrkamera zu befahren und in einem Bericht mit Zustandsbewertung zu dokumentieren (vgl. z. B. Merkblätter DWA-M 149-2, DWA-M 149-3, DWA-M 149-4).
- Alle Leitungsdichtungen sind regelmäßig auf Dichtheit und einwandfreien Sitz zu überprüfen.
- Alle Verschlussorgane bedürfen einer jährlichen Überprüfung.
- Alle verdeckten Deichquerungen sind in der Örtlichkeit durch ein Hinweisschild kenntlich zu machen (bei längslaufenden Leitungen alle 50 m).
- Von allen Querungen, Längsleitungen usw. sind genaue Bestandspläne herzustellen, die dem Deichbuch beizufügen sind.
- Alle Querungsstellen sind bei Hochwasser im Rahmen der Deichkontrollgänge besonders zu überwachen. Hierüber sind entsprechende Berichte zu fertigen.

10.4 Bohrungen, Schürfe, Brunnen

Bohrungen, z. B. zur Baugrunderkundung in unmittelbarer Nähe von Deichen und durch den Deichkörper, sind in Abweichung von DIN 4021 immer verrohrt und im Allgemeinen mit nicht zu kleinem Durchmesser (z. B. 159 mm) auszuführen. Das Abteufen von Bohrungen und die Bodenförderung mit Hilfe von Spülverfahren sind nicht zulässig. Bohrlöcher sind in bindigen Untergrundbereichen mit quellfähigem Ton zu verfüllen.

Schürfe sind in entsprechender Weise so zu verfüllen, dass keine schädlichen Sickerwege entstehen.

Brunnen zur Wasserförderung in der Nähe von Deichen sind durch sorgfältige Filterausbildung so zu sichern, dass kein Bodenentzug in der Brunnenumgebung stattfindet. Im unmittelbaren Deichbereich und 10 m beiderseits der Deichfüße dürfen keine Brunnen angeordnet werden.

10.5 Bodenentnahmestellen

Nahe gelegene Bodenentnahmestellen können die Standsicherheit und die Sickerströmung unter dem Deich beeinflussen. Standsicherheitsuntersuchungen müssen auch mögliche Veränderungen im Laufe der Zeit berücksichtigen, wie z. B. eine Veränderung der Vorflut einer Kiesgrube oder die Aus- bzw. Eindeichung einer Bodenentnahmestelle.

Eine Abgrabung im **Deichvorland** kann nur zugelassen werden, wenn die Abflussverhältnisse bei Hochwasser nicht beeinträchtigt werden. Wird im Vorland die Lehmdecke entfernt, verkürzt sich die Sickerstrecke für die Sickerströmung unter dem Deich. Dies hat bei Hochwasser einen Anstieg des Grundwassers hinter dem Deich und eine größere Druckhöhe zur Folge. Beides kann die Standsicherheit des Deiches vermindern und den Drängewasseranfall vergrößern. Der Abstand einer Kiesgrube vom wasserseitigen Deichfuß muss daher durch eine Berechnung der zulässigen Deichunterströmung bezüglich Durchfluss und Potenzialhöhe bestimmt werden.

Abgrabungen **landseitig** müssen weit genug vom Deich entfernt sein, damit sie dessen statische Standsicherheit nicht gefährden, z. B. durch eine unsichere Grubenböschung. Sie können das Grundwasser absenken und damit auch die Sicker- oder Drucklinie im Deich- und Hinterlandbereich. Ähnlich wie Druckentlastungsgräben vermindern sie den Druck der Sickerströmung auf den Deich (vgl. Abschnitt 8.4.5 mit Bild 23) und gegebenenfalls die Qualmwasserbildung.

Für die Genehmigung aller Abgrabungen (z. B. Sand- und Kiesgruben sowie Lehmentnahmen) sind eingehende Untersuchungen mit Standsicherheitsnachweisen für Deich- und die Grubenböschungen erforderlich, die auch die Tiefe und den Abstand zum Deichfuß bestimmen, landseitig auch die Höhe von Grubenumwallungen.

Das Abstandsmaß ist mindestens so zu wählen, dass der für eine Deichverteidigung erforderliche Raum erhalten bleibt. Für den Standsicherheitsnachweis kann wesentlich sein, ob die Böschung einer landseitigen Kiesgrube längs der Deichseite mit Material abgedeckt werden soll, das filterwirksam gegen das Anstehende sein muss.

Um den festgelegten Abstand zwischen der Oberkante einer endgültigen standsicheren Baggerseeböschung und dem Deichfuß tatsächlich einzuhalten, ist zu berücksichtigen, dass man in der Regel senkrecht baggert und diese senkrechte Böschung einstürzen lässt. Je nach Untergrund stellen sich unterschiedliche Böschungsneigungen ein.

Näheres über Genehmigung, Gestaltung und Betrieb von Baggerseen findet sich in der DVWK-Regel 108/1992.

11 Maßnahmen zur Deichertüchtigung

11.1 Allgemeines

Bei Veränderungen der bei der Planung und Ausführung vorherrschenden Randbedingungen oder bei Anforderungen an Deiche als Bauwerke des technischen Hochwasserschutzes, die sich zum einen seit der Errichtung geändert haben können und zum anderen bei der Errichtung der Deiche in dieser Form noch nicht bekannt waren, kann eine Anpassung der Deiche an die aktuellen Vorschriften und Sicherheitsaspekte notwendig werden. Eine Ertüchtigung beinhaltet hierbei alle Maßnahmen, die eine Verbesserung des Ausgangszustandes bewirken: Deichertüchtigung im Sinne dieses Merkblattes 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 (vgl. Abschnitt 12).

Die Anforderungen an einen vollständig in Stand gesetzten oder ausgebauten Deich entsprechen hierbei denen eines nach den a. a. R. d. T. durchgeführten Neubaus. Auf die erforderliche Berücksichtigung von Leitungen und Bauwerken wird besonders hingewiesen (vgl. Abschnitt 10).

Besonders bei Deichertüchtigungen sollte man stets auch die Möglichkeit zur Anordnung von Überlaufstrecken prüfen, da diese wesentlich zur Erhöhung der Hochwassersicherheit eines Polders beitragen können. Überlaufstrecken sind in Abschnitt 6.5.4 näher behandelt.

Die Notwendigkeit einer Ertüchtigung resultiert in der Regel aus unzureichender Standsicherheit (Tragfähigkeit) und Gebrauchstauglichkeit, was in folgenden Punkten begründet sein kann:

- durch veränderte hydrologische und hydraulische Randbedingungen veränderter Schutzgrad (z. B. BHW),
- verändertes Schutzziel am Deich,
- bauliche Veränderungen am und auf dem Deich,
- Veränderung der Eigenschaften des Deichkörpermateriale,
- Veränderung der Eigenschaften des Untergrundes,
- Auftreten von unkontrollierbarem bzw. standsicherheitsgefährdendem Bewuchs an und auf Deichen,
- Schäden am Deich.

Die erforderlichen Standsicherheitsnachweise müssen mit Berücksichtigung der oben genannten möglichen Veränderungen, z. B. erhöhtem Bemessungshochwasserstand, längerem Einstaudauer, Abgrabung, Bewuchs bzw. Baumbestand u. a. m. mit den bekannten Berechnungsverfahren überprüft werden (vgl. Abschnitt 8). Das Ergebnis ist eine wesentliche Grundlage für die Bewertung der Deiche und die Festlegung des Ertüchtigungsbedarfes.

Die oben definierten Deichertüchtigungsmaßnahmen können unterschieden werden in:

- **Notsicherungsmaßnahmen**, die während des Hochwassers zur Abwehr einer unmittelbaren Gefährdung der Standsicherheit ergriffen werden,
- **Sofortmaßnahmen**, welche, ohne zwingend die Gesamtertüchtigung des Deiches im Auge zu haben, die Standsicherheit des Deiches auch in lokal begrenzten, standsicherheitsgefährdeten Bereichen erhöhen,
- **Teiltertüchtigungsmaßnahmen**, die einen Teil einer oben definierten Deichertüchtigungsmaßnahme darstellen, um die Tragfähigkeit zu erhöhen oder die Gebrauchstauglichkeit herzustellen. Aufgrund der Notwendigkeit können solche Einzelmaßnahmen als
- **Vorwegmaßnahmen** zeitnah, bereits zu einem früheren Zeitpunkt als abgeschlossene Baumaßnahme vorgezogen bzw. durchgeführt werden.

Die Trennung einer Gesamtbaumaßnahme in Vorweg- oder Teiltertüchtigungsmaßnahmen führen zwar in der Regel zu einer Erhöhung der Gesamtkosten, bieten allerdings die Möglichkeit, mit begrenzten Finanzmitteln einen maximierten Nutzen (sanierte Deichstrecke) zu erzielen. Sofortmaßnahmen werden u. a. in ZWACH & KUTZNER (2003) und DAHLKE et al. (1999c) behandelt.

Deichertüchtigungsmaßnahmen erfordern ein hohes Maß an interdisziplinärer Zusammenarbeit zwischen Behörden, Planern, Beratern und ausführenden Unternehmen sowie umfangreiche Kenntnisse in Erdbau und Spezialtiefbau sowie in Wasserwirtschaft und Umweltechnik. Auf die Qualitätssicherung (siehe Abschnitt 9.4) ist besonders Wert zu legen, da Deiche in der Regel keine Messinstrumentierung aufweisen und deshalb Unregelmäßigkeiten infolge unsachgemäßer Ausführung bei Hochwasser in der Regel nicht frühzeitig erkannt werden können.

Aufgrund der Komplexität und Vielfalt von Ertüchtigungsmöglichkeiten werden nachfolgend kurz die wesentlichen Grundzüge für deren Ausführung erläutert (vgl. BIEBERSTEIN & BRAUNS 2002, HERRMANN & JENSEN 2003 sowie SCHNEIDER et al. 1997). Die Zugrundelegung von Regelprofilen ist bei Deichertüchtigungsmaßnahmen grundsätzlich hilfreich (vgl. Abschnitt 6). Im Einzelfall wird eine den Anforderungen entsprechende Lösung umgesetzt werden (vgl. LING et al. 1997, LOBNIK & ROLFF 1994 sowie SONDERMANN & PANDERA 2003).

11.2 Rahmenbedingungen

11.2.1 Bestehender Deich (Altdeich)

Bestehende Deiche können in der Vergangenheit des Öfteren um- bzw. ausgebaut worden sein. Sie weisen in der Regel 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.

11.2.2 Platzverhältnisse

Bestehende Deiche grenzen in der Regel wasser- wie landseitig an Grundeigentum Dritter. Eine Vergrößerung des Deichlagers kann unter Umständen zu einem enormen Kosten- und Verwaltungsaufwand führen, da betroffene Rechtspersonen mit ihrem Einspruchsrecht erhebliche Verzögerungen und Umstände verursachen können.

Eine Vergrößerung des Deichquerschnittes oder von Teilen desselben zur Gewässerseite kann zum einen die Leistungsfähigkeit des Abflussquerschnittes beeinträchtigen. Zum anderen kann der Deich dadurch erhöhten Belastungen, beispielsweise durch Strömungsangriff, ausgesetzt sein.

11.2.3 Berücksichtigung des Naturhaushaltes

Bei einer Deichertüchtigung sind wie beim Neubau von Deichen landschaftliche, naturschutzfachliche und städtebauliche Belange zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 3). Werden naturhaushaltlich wertvolle Vegetationskomplexe bei Deichertüchtigungen berührt, so ist deren Erhaltung durch sorgfältiges Bergen, Zwischenlagern und Wiederaufbringen anzustreben.

Grundwasserverhältnisse sollten von Deichertüchtigungsmaßnahmen nicht negativ beeinflusst werden. Insbesondere beim Einbau von Dichtungen oder Tauchwänden zur Vermeidung von Erosionsvorgängen im Untergrund ist eine Behinderung der Strömung zwischen Vorfluter und Hinterland nicht auszuschließen. Eine Staffelung der Dichtungstiefen ermöglicht in der Regel einen weitestgehend ungehinderten Wasseraustausch.

Nur in besonderen Ausnahmefällen und unter Berücksichtigung der in Abschnitt 6.5.5 aufgestellten Forderungen ist es möglich, Bewuchs in Form von Gehölzen

auf dem Deich unter Gewährleistung der Bauwerksicherheit begrenzt zuzulassen. Die Sicherheitsbeeinträchtigungen durch Bewuchs müssen mittels konstruktiver Maßnahmen und intensiver Unterhaltungsmaßnahmen ausgeglichen werden, was unter Umständen einen erheblichen Aufwand bedeutet. Nähere Hinweise besonders zum Thema „Ökologie“ und „Bewuchs auf und an Deichen“ sind in Abschnitt 6.5.5 sowie in den Merkblättern DVWK-M 204/1984, DVWK-M 226/1993 und DVWK-M 244/1997 zu finden.

Unter den Tieren, die den Deich als Lebensraum nutzen, wie z. B. Maulwurf, Wanderratte, Kaninchen, Große Wühlmaus und Bisam, befinden sich auch besonders schützenswerte Tiere, wie z. B. der Biber. Die Lebensgewohnheiten dieser Tiere sind häufig nicht mit den Grundsätzen des Hochwasserschutzes vereinbar. 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 Sicherungsmaßnahmen verringert werden (vgl. Abschnitt 6.5.6 und Merkblatt DVWK-M 247/1997).

11.2.4 Landschafts- und Städtebild

In Bereichen, in denen Deichanlagen das Landschaftsbild oder Städtebild mitprägen, muss in der Planung der Deichertüchtigung die ästhetische Einbindung des Deiches berücksichtigt werden. Während an freien Gewässerstrecken der Deich in der Regel möglichst mit Gras begrünt ausgebildet wird, können in Städten auch technische Lösungen unter Einbeziehung von Stützkonstruktionen, Hochwasserschutzwänden oder mobilen Elementen zum Einsatz kommen.

11.2.5 Ausführungszeit

Während der Ausführung von Ertüchtigungsmaßnahmen muss der Schutz des Hinterlandes sichergestellt sein. Aus diesem Grund sind Baumaßnahmen in Jahreszeiten auszuführen, in denen große Hochwasserereignisse wenig wahrscheinlich sind. Des Weiteren ist der Bauablauf so zu planen und zu koordinieren, dass die Baustelle jederzeit durch Notsicherungsmaßnahmen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums die festgelegte Schutzfunktion erfüllt. Zur Absicherung dieser Forderung ist es in der Regel erforderlich, ein bauzeitliches Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit festzulegen. Je nach Gewässer und Jahreszeit ist es möglich, Deichertüchtigungsmaßnahmen in ausreichend kleine Lose aufzuteilen. Deichbaustellen sollten auch im Falle einer Unterbrechung oder eines Stillstandes bis zu einem festgelegten Hochwasser einer bestimmten Jährlichkeit Schutz bieten.

Bei der Planung der Ausführung sind neben den bautechnischen auch finanzierungs- und haushaltstechnische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

11.3 Vorgehen bei Deichertüchtigungsmaßnahmen

11.3.1 Übersicht

Der Informationsgehalt bei der Erkundung im Rahmen von Deichertüchtigungsmaßnahmen entspricht dem bei einem Deichneubau. Ein Mehraufwand kann möglicherweise durch die Erkundung des in der Regel sehr inhomogen aufgebauten Altdeiches entstehen (vgl. Abschnitt 7).

An erster Stelle steht die Datenerhebung der bestehenden Deichabschnitte. In diesem Rahmen sind die vorhandenen und zu ermittelnden Informationen zu den Deichstrecken zusammenzustellen, die die Basis für eine Bewertung darstellen (siehe auch SCHNEIDER et al. 1997). Eine Erhebung muss u. a. Aufschluss geben über:

- Lage des Deiches (Gewässer, Flusskilometer, Vorland, Hinterland),
- Bauwerke und Leitungen am und im Deich (Einbindung, Zustand von z. B. Querungsstellen, Sielen, Gräben, Düken, Leitungen, Durchlässen),
- Zuständigkeiten (Deich, Einbauten, Liegenschaftsverhältnisse usw.),
- Deichgeometrie (Kronenbreite, Neigungen, Böschungsneigungen),
- Deichaufbau (Deichbaustoffe, Schichtungen, Dichtungen, Dränvorrichtungen),
- Zustand des Deichkörpers (Lagerungsdichte, Wühltierbefall),
- Bewuchs (Vegetationsschichten mit Rasen, Gehölze, schutzwürdige und gefährdete Arten/Gesellschaften),
- Untergrund (Schichtungen, bindige Deckschicht, dichter Horizont, Homogenität, Altarme, Kolke), auch im Umfeld (z. B. Kiesgruben, historische Entnahmestellen für den Deichbau, (Kriegs-)Altlasten),
- Bemessungshochwasserstand, Kronenhöhe und Freibord,
- hydraulische Verhältnisse (Grundwasserstand, Messstellen für Oberflächen- und Grundwasser, Abflussquerschnitt, Krümmungen, Anströmung),
- Flächennutzung und geschützte Objekte im Hinterland (Bebauung, Infrastruktur, Landwirtschaft),
- verfügbare Einrichtungen zur Deichverteidigung (Verteidigungsweg, Zugänglichkeit, Infrastruktur),

- Erfahrungen und besondere Beobachtungen im Hochwasserfall (Sickerwasseraustritte, gefährdete Bereiche, frei ausspiegelndes Grundwasser im Deichhinterland u. a. m.).

Hierzu sind alle vorhandenen Unterlagen zu beschaffen und auszuwerten (Karten, Pläne, Berechnungen u. a. m.) sowie das Wissen und die Erfahrung der zuständigen Behörden und Fachleute zu berücksichtigen. Das Deichbuch beinhaltet in der Regel einen wesentlichen Teil dieser Informationen (vgl. Abschnitt 13.2). Falls die Erhebung als Bewertungsgrundlage nicht ausreichen sollte, müssen eigene Erkundungsmaßnahmen sowie Nachweise und Berechnungen durchgeführt werden. Der Informationsbedarf entspricht dem eines Neudeiches.

Die Bewertung des Bestandes auf Basis der erhobenen Daten stellt einen Vergleich zwischen Schutzgrad (Ist) und Schutzziel (Soll) dar. Falls der Bestand dem Schutzziel nicht entspricht, besteht Handlungs- bzw. Ertüchtigungsbedarf. Je nachdem, in welchem Ausmaß ein Deich und sein Hinterland beim Bemessungshochwasser gefährdet sind, werden Ertüchtigungsprioritäten festgelegt, die von sofortiger bis langfristiger Dringlichkeit reichen können.

11.3.2 Bewertung und Definition des Ertüchtigungsbedarfes

Auf Basis der in den Erhebungsmaßnahmen (vgl. Abschnitt 7) gewonnenen Informationen wird der Deichbestand hinsichtlich der Anforderungen der a. a. R. d. T. und dem Ist-Zustand bewertet. Werden Defizite festgestellt, ist Ertüchtigungsbedarf vorhanden. Bei der Festlegung des Ertüchtigungsbedarfes muss die Standsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit berücksichtigt werden. Deiche sollten so ertüchtigt werden, dass unter der Annahme regelmäßiger Unterhaltungsmaßnahmen das Bauwerk für die nächsten Generationen Bestand hat (vgl. SCHNEIDER et al. 1997).

Entspricht der Deich den a. a. R. d. T. ist kein Ertüchtigungsbedarf gegeben. Diese Deichabschnitte können mittels üblicher Unterhaltungsmaßnahmen in ihrem Zustand erhalten werden. Kurzfristig muss keine weitere Betrachtung erfolgen. Bei begründeten Anzeichen (Schäden oder sonstigen augenscheinlichen Veränderungen) sollte eine neue Erhebung, Bewertung und Feststellung des Ertüchtigungsbedarfes durchgeführt werden.

11.3.3 Ertüchtigungsprioritäten

Aufgrund limitierter Mittel und meist erheblichem Ertüchtigungsbedarf von Altdeichstrecken sollte sich die zeitliche Abfolge zur Durchführung von Ertüchtigungsmaßnahmen nach zuvor festgelegten Kriterien richten, auf deren Grundlage die Handlungsdringlichkeit abgeleitet werden kann. Bei der Priorisierung von Maßnahmen sind insbesondere Gesichtspunkte und Kriterien, wie die vorhandenen Defizite der Deichstrecke und das Schadenspotenzial, zu berücksichtigen.

Eine Einteilung von Ertüchtigungsprioritäten in Kategorien deckt sich in der Regel mit der zeitlichen Notwendigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen (sofort, mittel- oder langfristig). Bei sofortigem Handlungsbedarf können Sofortsicherungsmaßnahmen, Vorwegmaßnahmen und Teilertüchtigungsmaßnahmen die Standsicherheit deutlich verbessern.

Eine projektbezogene und regionale Anpassung der Kriterien ist in der Regel notwendig, um mit den zur Verfügung stehenden Mitteln innerhalb des damit umrissenen zeitlichen Horizonts das Schadensrisiko zu minimieren.

Die Klassifizierung der Deiche, wie sie in Abschnitt 3.2 in Klasse I bis III vorgenommen wurde, sollte ebenfalls ein Kriterium für die Zuordnung zu Ertüchtigungsprioritäten sein.

11.4 Maßnahmenkatalog

11.4.1 Verlegung des Deiches

Die Deichverlegung entspricht aus technischer Sicht einem Neubau. Folgende Punkte können für eine Deichverlegung sprechen:

- Erhöhung der Retention,
- ungünstige Untergrundverhältnisse im Deichlager,
- ungünstige Strömungsverhältnisse bei Hochwasser,
- hohe Fließgeschwindigkeiten am Deich,
- Anschluss von Auen,
- sonstige naturhaushaltliche Gründe,
- Kostengesichtspunkte.

Falls bei der Feststellung des Sanierungsbedarfes festgestellt wurde, dass der Altdeich komplett abgetragen und wieder aufgebaut werden soll, bietet sich die Möglichkeit einer Deichverlegung an.

Die Eigentums- und Untergrundverhältnisse, die Lage im Strömungsfeld des Gewässers oder auch genehmigungsrechtliche Gesichtspunkte sowie Belange des Naturschutzes sind zu berücksichtigen.

Neutrassierung des Deiches

Eine Neutrassierung ist am besten geeignet, um eine optimale Lage der Deichstrecke unter Berücksichtigung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, den Eigentumsverhältnissen und vor allem den Strömungs- und Untergrundverhältnissen festzulegen. Eine besondere Art der Deichneutrassierung stellt die Deichrückverlegung dar.

Deichrückverlegung

Eine Deichrückverlegung kann unter bestimmten Randbedingungen den Wasserspiegel herabsetzen. Zudem wird im Abflussquerschnitt zusätzlich Retentionsraum geschaffen (Bild 38).

Deichrückverlegungen können neben den günstigen Auswirkungen für den Hochwasserschutz einen hohen ökologischen und ökonomischen Nutzen haben. 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. Flutpoldern, Hochwasserrückhaltebecken oder forstwirtschaftlichen Maßnahmen im Einzugsgebiet.

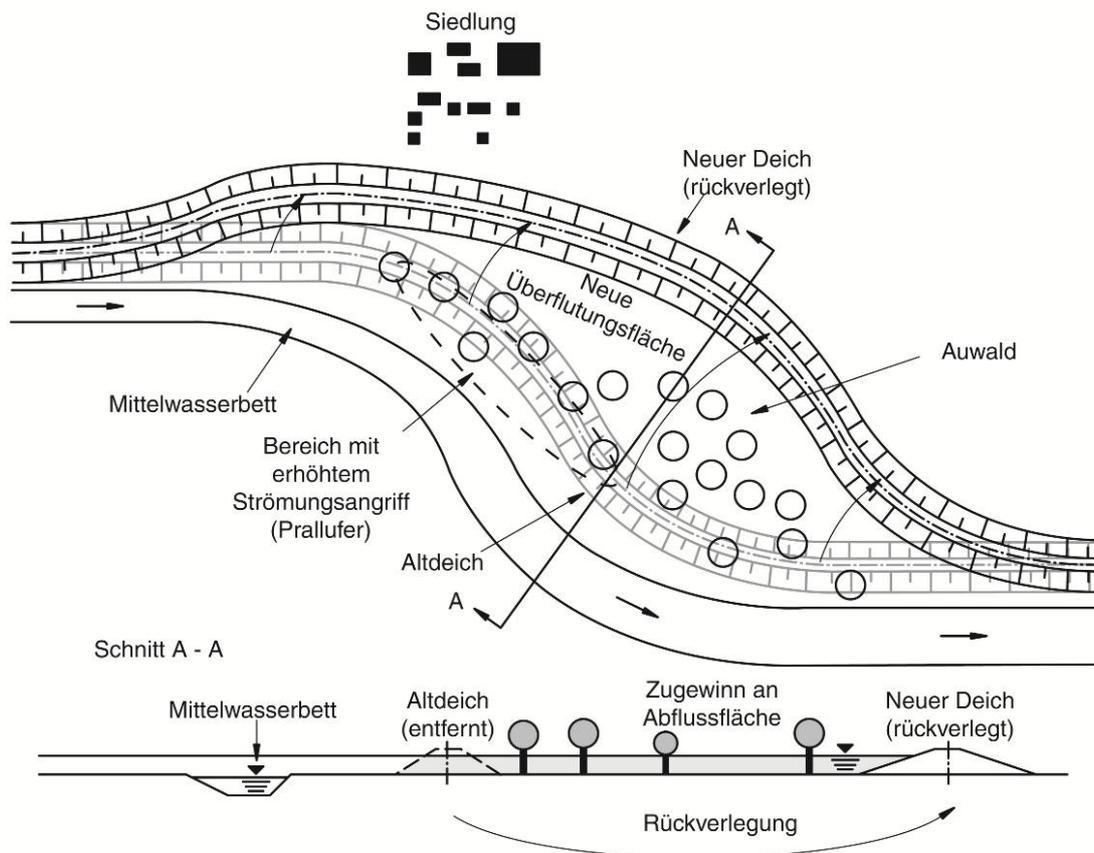


Bild 38: Schematische Skizze einer Deichrückverlegung

11.4.2 Verbesserung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Abtrag des Altdeiches und Neubau

Ist der Altdeich aufgrund seines Zustandes nicht in den ertüchtigten Deichquerschnitt integrierbar, können zusätzlich zu den Gründen, die für einen Abtrag im Zuge einer Deichverlegung sprechen, folgende Gesichtspunkte ausschlaggebend sein:

- inhomogener, ungünstiger Aufbau durch z. B. den historischen Teilausbau und -umbau,
- geringe Lagerungsdichte infolge unzureichender Verdichtung,
- ungeeignete Deichbaumaterialien, wie z. B. Böden mit hohem organischen Anteil,
- tiefreichende Beeinträchtigungen durch z. B. Erosion, Wühltiere und Wurzeln,
- baubetriebliche Gründe und Mehrkosten.

Der Deich wird komplett abgetragen, der Untergrund für den Wiederaufbau vorbereitet (Abschnitt 9.2.2). Vegetationsbestände (z. B. Rasensoden), wie auch Oberböden, insbesondere aus naturschutzfachlich wertvollen Rasenbeständen, sollten zwischengelagert und wieder aufgebracht werden. Das abgetragene Material kann nach Prüfung als Schüttmaterial verwendet werden, wenn es die Anforderungen nach Abschnitt 9 erfüllt. Unter Umständen müssen Findlinge, größere Steine, Mauerwerksreste und organische Bestandteile (Wurzeln) entfernt werden.

Teilneubau/Bodenaustausch

Unter Teilneubau wird sowohl die Wiedererrichtung eines abgetragenen Deichbestandteils als auch eine Erweiterung des bestehenden Deiches mit Integration des Altdeiches verstanden.

Wichtig ist, dass der verbleibende Bestand ordnungsgemäß in den neu geplanten Querschnitt integriert wird und dass hierbei die Ausbildung von potenziellen Gleitfugen bzw. -flächen vermieden wird. Die hierzu erforderliche Verzahnung kann durch eine Aufrauung oder Abtreppung des bestehenden Altdeichkörpers erreicht werden (vgl. FLOSS 2011). Zudem muss der Altdeich eine ausreichende Verdichtung aufweisen (vgl. Abschnitt 9.2.4).

Der Altdeich muss so integriert werden, dass die Durchlässigkeit des Querschnittes zur Landseite hin zunimmt (vgl. Abschnitt 6). Die Lage des Altdeiches im Querschnitt hängt deshalb von dessen Eigenschaften und dem geplanten Aufbau des neuen Querschnittes ab. Je nachdem, ob eine wasserseitige Dichtung aufgebracht wird, nachträglich eine Innendichtung eingebaut wird oder ein Drän mit Deichverteidigungsweg (DVW) landseitig angeordnet wird, kann der Altdeich im Querschnitt unterschiedlich eingegliedert werden (siehe Bild 39 und Bild 40).

Da Altdeiche meist keinen zonierten Aufbau besitzen, bietet es sich an, vergleichsweise durchlässige Altdeiche durch Anordnung eines Dichtungselementes zu ertüchtigen. Bei Anordnung einer Oberflächendichtung sowie

eines Dränkörpers an der Landseite (vgl. Bild 39) entspricht der Aufbau dem eines 3-Zonen-Deiches. Bei Anordnung einer Innendichtung im Altdeich wird die Standsicherheit der landseitigen Böschung verbessert (Bild 40). Die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung kann sich unter Umständen bei schnell fallendem Wasserspiegel verschlechtern (vgl. Abschnitt 8.4.1).

Bereiche des Deiches können abgetragen und durch geeigneten Boden ersetzt oder aufbereitet sowie durch ein geeignetes Verfahren wieder eingebaut werden. Nicht tragfähige, z. B. organische Böden, dürfen nicht innerhalb des statisch wirksamen Deichbereiches (im Deichkörper und im Untergrund) liegen. Sie müssen gegebenenfalls gegen geeignetes Material ausgetauscht werden.

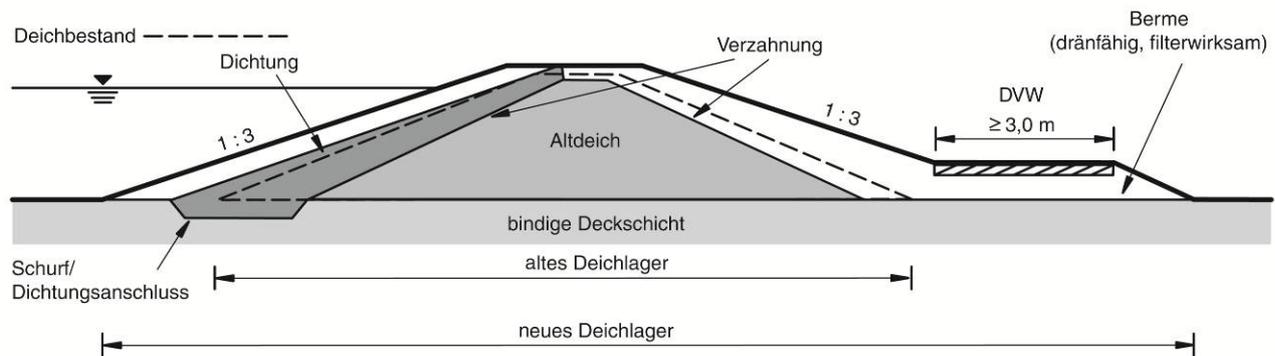


Bild 39: Ertüchtigung eines Altdeiches mittels Oberflächendichtung

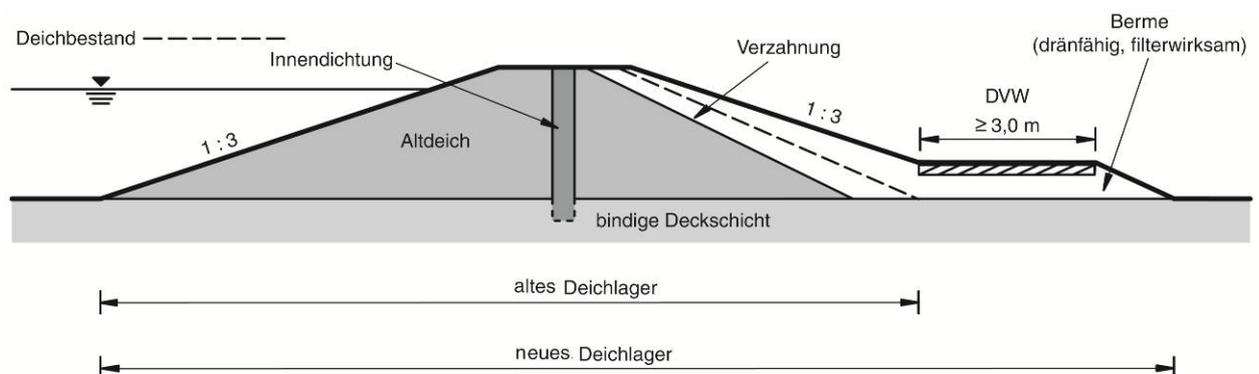


Bild 40: Ertüchtigung eines Altdeiches mittels Innendichtung

Abflachen der Böschungen

Die globale und lokale Standsicherheit des Deiches hängen maßgeblich vom Schüttmaterial, dessen Scherparametern und dem Böschungswinkel ab. Wie in Abschnitt 6 gefordert, sollten Böschungsneigungen möglichst flach ausgebildet werden; Böschungsneigungen von 1 : 3 und flacher sind aus Sicht der Standsicherheit, der Unterhaltung und der Deichverteidigung vorteilhaft (Bild 41). Zur Erhöhung der lokalen Standsicherheit an der wasserseitigen Böschung bei fallendem Wasserspiegel kann im unteren Böschungsbereich eine Abflachung bzw. Abrundung mit einer anfänglichen Neigung flacher 1 : 5 vorgesehen werden. Eine Abflachung im unteren Drittel des Deiches ist in der Regel ausreichend.

Neben der Erhöhung der Böschungsstandsicherheit gewährleistet diese Maßnahme eine landschaftsgerechte Einbindung.

Verbreiterung des Deiches sowie der Deichkrone

Zur Erreichung einer ausreichenden Deichkronenbreite von mindestens 3 m kann der Deich aus erdstatistischen Gründen und zur Verbesserung des geohydraulischen Verhaltens verbreitert werden.

Die Skizze in Bild 42 zeigt eine Verbreiterung der Deichkrone und des gesamten Deiches auf das erforderliche Maß. Wasser- wie landseitig wurde der Deich verbreitert. Die Anschüttung eines dränfähigen und filterwirksamen Materials auf der Landseite mit Berme ist für einen Deichverteidigungsweg geeignet.

Im Einzelfall kann es aus verschiedenen Gründen (Vermeidung einer Einengung des Abflussquerschnittes, naturschutzfachliche Eingriffsminimierung) sinnvoll sein, die Verbreiterung nur auf der Landseite vorzunehmen. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Trag- und Erosionssicherheit der wasserseitigen Böschung entsprechend Abschnitt 8.

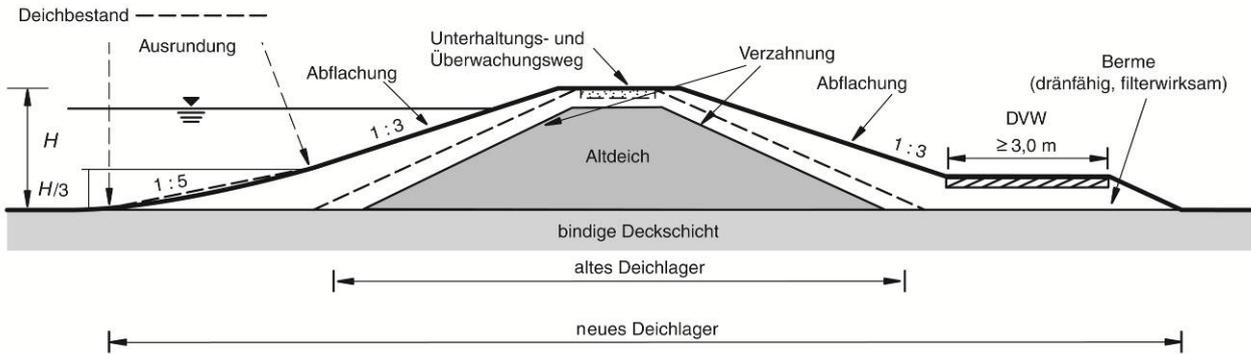


Bild 41: Abflachen der Böschungen

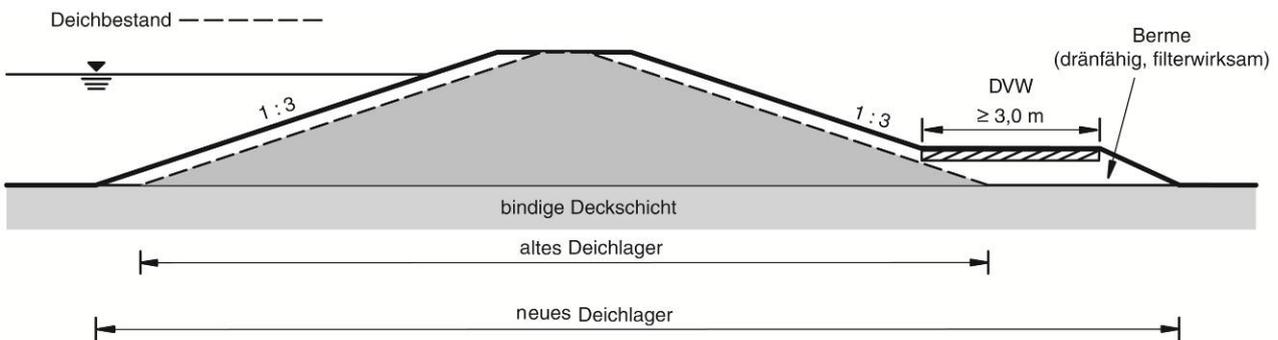


Bild 42: Verbreiterung des Deiches

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

Nachträglicher Einbau von Dichtungselementen

Falls nicht nur einzelne Hangquellen auftreten, sondern längere Deichstrecken sich als durchlässig erweisen und unter Umständen Erosionsprozesse beobachtet werden, ist der nachträgliche Einbau einer Dichtung zu empfehlen (siehe Abschnitt 6.3). Von Bedeutung sind unter Umständen die instationären Sickerströmungsverhältnisse im Deich, die abhängig sind von:

- Bodeneigenschaften (Durchlässigkeit),
- Deichgeometrie (Böschungsneigung, Kronenbreite),
- Deichaufbau (Dichtung, Stützkörper, Drän),
- Untergrundverhältnissen (Schichtungen, Grundwasserverhältnisse),
- Hochwasserwelle (Dauer, BHW-Stand, Steig- und Sinkgeschwindigkeit).

Bei schnell ablaufenden Hochwasserwellen und gering durchlässigen Deichen bewirkt der Einbau einer Dichtung keine wesentliche Verbesserung der Sickerströmungsverhältnisse.

Zu unterscheiden sind unvollkommene und vollkommene Dichtungen (siehe Abschnitt 6.3.1). Unvollkommene Dichtungen dienen der Verlängerung des Sickerweges zur Verhinderung von Erosionsprozessen im Untergrund (Suffosion, Erosion). Eine Abdichtung des Untergrundes und die Vermeidung der Durchsickerung sind bei unvollkommenen Dichtungen nicht angestrebt.

Wesentlichen Einfluss auf die Planung und Ausführung einer Dichtungsmaßnahme haben die Erreichbarkeit einer gering durchlässigen Schicht im Untergrund, der Aufbau des Deiches und des Untergrundes sowie die Grundwasserverhältnisse. Ist bereits eine Dichtung im Deich vorhanden, kann sie in den neuen Querschnitt integriert werden. Falls eine Beeinträchtigung der Standsicherheit durch vorhandene Dichtungen nicht auszuschließen ist, sollte die alte Dichtung entfernt oder z. B. durch ausreichend dimensionierte Sickerschlitze unwirksam gemacht werden.

Voraussetzung für eine solche Lösung ist die Standsicherheit der vorhandenen Böschungen in allen relevanten Lastfällen.

Innendichtung

Zentrale Innendichtungen werden in der Regel von der Deichkrone aus eingebaut. Innendichtungen können auch bis in den dichten Untergrundhorizont einbinden, falls dies für die Grundwasserverhältnisse unbedenklich ist (vgl. Bild 43). Neben der Verwendung von z. B. Schmal- und Spundwänden sowie Schlitzwänden haben sich in den letzten Jahren die Verfahren der Bodenvermörtelung als geeignet und kostengünstig erwiesen. Durch das Einstellen von Stahlträgern kann auch eine statische Tragwirkung der Wand erzeugt werden (vgl. Abschnitt 6.3.3 sowie TOPOLNICKI 2003).

Oberflächendichtung

Wie in Bild 39 gezeigt, ist es in der Regel möglich, wenn ausreichend geeignetes Schüttmaterial in der Nähe verfügbar ist, auf der wasserseitigen Böschung eines bestehenden Deiches eine mineralische Oberflächendichtung anzubringen. Dazu ist der Oberboden mit Vegetationsdecke abzutragen und der vorhandene Deichkörper gegebenenfalls nachzuverdichten (vgl. Abschnitt 9.2.4). Das bindige Dichtungsmaterial muss anschließend fachgerecht verdichtet werden. Die Verdichtung der Dichtungen parallel zur Böschung (in Fallrichtung) verhindert unerwünschte horizontale Arbeitsfugen, die gegebenenfalls Sickerwegigkeiten darstellen können. Ist eine bindige Deckschicht vorhanden, kann eine Anbindung der natürlichen Oberflächendichtung mittels eines Dichtungsspornes als Gesamtabdichtung ausreichend sein (vgl. Abschnitt 6.3 sowie DAHLKE et al. 1999a, 1999b). Der Aushubgraben für Dichtungssporne kann zudem als Schurf im Rahmen der Erkundung genutzt werden (vgl. Abschnitt 7).

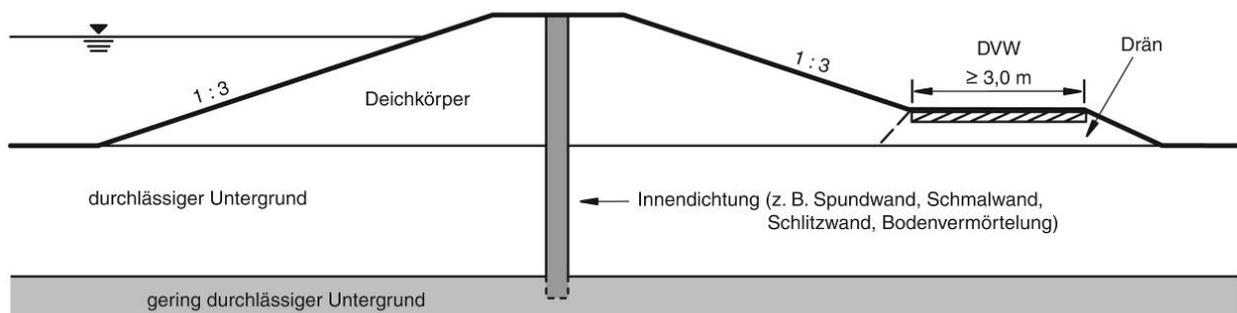


Bild 43: Beispiel einer nachträglich eingebauten vollkommenen Innendichtung

Mineralische Oberflächendichtungen können durch einen Dichtungsteppich ergänzt werden, wenn eine vertikale Abdichtung des Untergrundes keine wirkungsvollere oder preiswertere Methode darstellt. Bei ausreichend mächtigen und durchgehenden bindigen Deckschichten kann eine Abdichtung möglicher Fehlstellen in der Deckschicht eine Sickerwegsverlängerung sicherstellen.

Die Anbindung einer natürlichen Oberflächendichtung an eine Untergrundabdichtung, die im Regelfall aus Stahl, Dichtwandmaterial oder einem Bindemittel-Boden-Gemisch besteht, kann entweder durch eine direkte Führung der Untergrunddichtung in die Oberflächendichtung oder durch das Anbringen einer plastisch verformbaren Tonplombe sowie eines Sporns erfolgen (vgl. Bild 44).

Steht geeignetes bindiges Dichtungsmaterial nicht in ausreichender Menge zur Verfügung oder sprechen finanzielle, baubetriebliche oder andere Gründe dafür, können auch geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) zur Anwendung kommen (vgl. BAW EAO 2002 sowie EAG-GTD 2002). Die Anbindung an eine Untergrunddichtung kann über eine Tonplombe oder durch Überlappung erfolgen (vgl. HEERTEN et al. 2003 und TÖNNIS et al. 2002).

Weiterführende Hinweise zur Thematik der Deichertüchtigung mittels Einbau von Dichtungen finden sich im DWA-Themenband „Dichtungssysteme in Deichen“ (DWA-Themen 2005).

Anordnung von Bermen und Deichwegen

Bermen können nachträglich sowohl wasserseitig als auch landseitig angeordnet werden. Die Notwendigkeit und Ausbildung von Bermen und Deich(verteidigungs)wegen sind in Abschnitt 6.2.1 erläutert.

Eine wasserseitige Berme aus durchlässigem Material kann als Drän zur Erhöhung der Standsicherheit der wasserseitigen Böschung bei schnell fallendem Wasserspiegel konzipiert werden.

Landseitig bewirken die Verbreiterung der Deichauflstandsfläche und die Auflast der Berme eine Verringerung der Gefahr des hydraulischen Grundbruches, eine Erhöhung der Sicherheit gegen Auftrieb und eine Erhöhung der Gleitsicherheit (vgl. Bild 45 und Abschnitt 8.4.5).

Falls der Deich sehr hoch ist und der Unterhaltungsaufwand groß, kann ein zusätzlicher Weg am Deichfuß angeordnet werden.

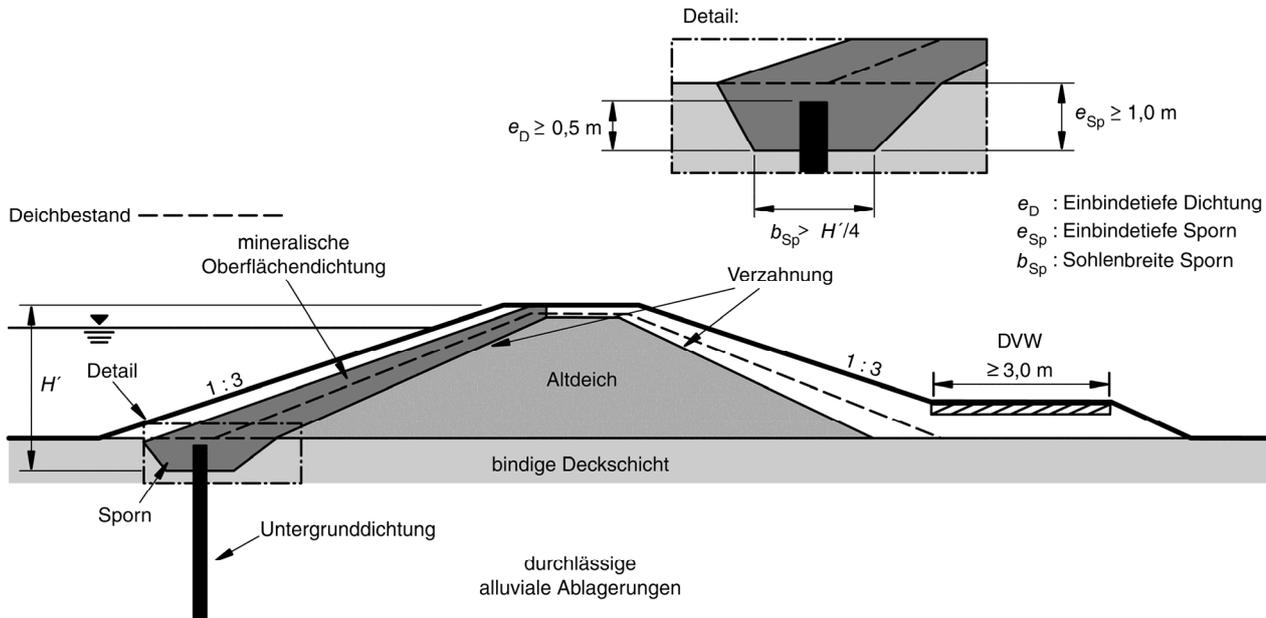


Bild 44: Beispiel einer mineralischen Oberflächendichtung mit Dichtungssporn und daran angeschlossener, unvollkommener Untergrundabdichtung (Tauchwand)

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

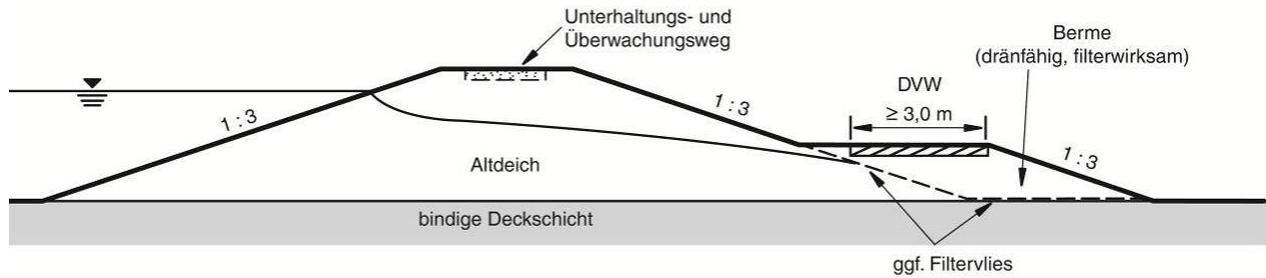


Bild 45: Anschüttung einer dränfähigen und filterwirksamen Berme mit Deichverteidigungsweg

Einbau eines Dräns und/oder Filters

Dräns oder Filter können in verschiedenen Ausführungen am landseitigen Deichfuß angeordnet werden (vgl. Abschnitte 6.4.1 und 8.2.5).

Falls der Altdeich zum Großteil bestehen bleiben kann, ist eine Anschüttung aus durchlässigem und filterwirksamem Material – gegebenenfalls in Kombination mit Filtervliesen – in der Regel kostengünstig und wirkungsvoll (Bild 48).

Bei teilweisem oder vollständigem Neuaufbau des Deiches können auch Kamin- oder Sohlendräns vorgesehen werden (Bild 46).

Der Nachweis der Filterwirksamkeit ist nach Abschnitt 8.2.4 bzw. 8.5 zu führen. Ein derartiger Drän kann z. B. mit Schotterrasen begrünt werden.

Beim Austritt von Sickerwasser aus dem unteren Teil der landseitigen Deichböschung können dort Aufweichungen entstehen, die den Bestand der Böschungen und damit des Deichkörpers gefährden. Eine Überschüttung der landseitigen Böschung mit einem Körper aus durch-

lässigem Material, gegebenenfalls über einem Geotextil oder die Abdeckung der Sickerstrecke mit einer filterwirksamen Kiesschicht können den landseitigen Deichfuß schützen.

Der nachträgliche Einbau von Dränrohren am landseitigen Böschungsfuß ist möglich. Um die Wasserdruckverhältnisse im Hinterland zu entspannen und zur Sicherstellung der Binnenentwässerung, können auch Deichseitengräben vorgesehen werden. Bei ihrer Ausbildung und Anordnung sind die Hinweise in Abschnitt 6.4.2 zu beachten.

Durch die Druckentlastung und gegebenenfalls die zusätzliche Auflast am landseitigen Böschungsfuß bei der Anordnung von Dräns und/oder Filtern werden die Sicherheit sowohl gegen hydraulischen Grundbruch ohne bindige Deckschicht als auch gegen Auftrieb bei bindiger Deckschicht erhöht. Es ist dabei zu beachten, dass Dräns die Durchströmung von Deich und Untergrund verstärken können (vgl. Abschnitt 8.4.5).

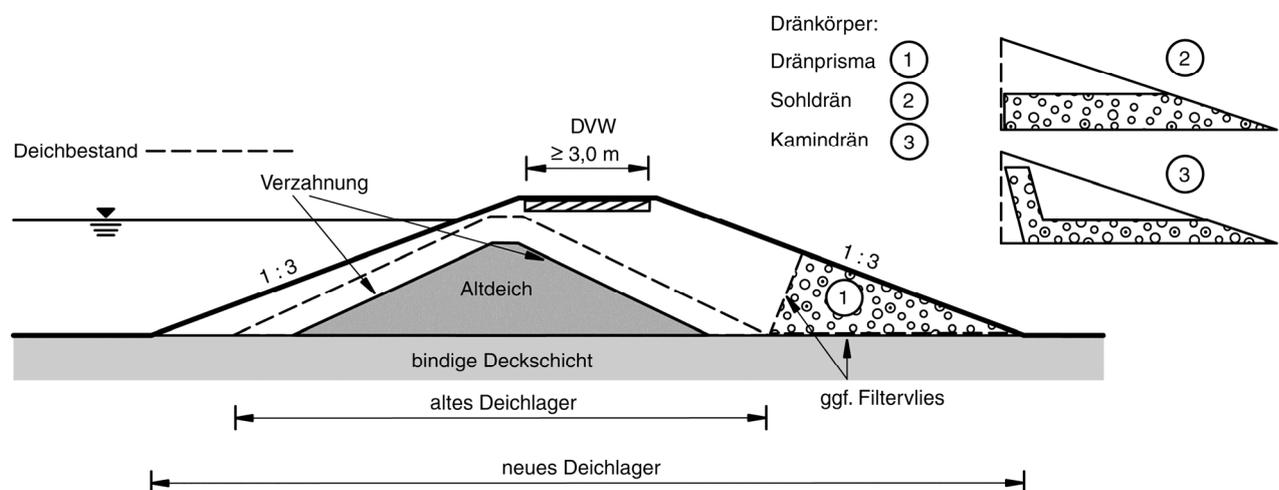


Bild 46: Anordnung eines Dräns bei Teilabtrag und/oder Teilneubau des Deiches

Überlaufstrecken

Die Anforderungen und Grundlagen zur Gestaltung von Überlaufstrecken sind in Abschnitt 6.5.4 behandelt. Gegebenenfalls muss die Möglichkeit der Einbindung eines Altdeiches in die Konstruktion überprüft werden. Im Kronenbereich kann je nach Höhenlage der Krone ein Abtrag des vorhandenen Deiches notwendig werden.

Überlaufstrecken benötigen in der Regel massive Schutzvorkehrungen sowohl an der Krone als auch an der Böschung sowie am Deichfuß. In der Literatur (LfU Baden-Württemberg 2004) sind Bemessungsansätze für Böschungsneigungen von 1 : 4 und flacher angegeben. Spezielle Lösungen, z. B. auch mit Geokunststoffen, erfordern in der Regel eine separate Betrachtung bzw. unter Umständen eine Überprüfung anhand eines physikalischen Modells (HASELSTEINER et al. 2007).

Anwendung von Geokunststoffen

Geokunststoffe finden bei der Deichertüchtigung gemäß ihrem gesamten Einsatzgebiet vor allem in Kombination mit anderen Baustoffen Verwendung (vgl. SAATHOFF & ZITSCHER 2001). Als Dichtungen kommen in erster Linie geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) (siehe Abschnitt 6.3.2), selten Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) zur Anwendung. Letztere werden auch als Wurzelsperren im Deichbau eingesetzt.

In Deichen und bei der Deichertüchtigung können Geotextilien 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 eingesetzt werden (vgl. HEERTEN & WERTH 2006, Merkblatt DVWK-M 221/1992, DIN EN ISO 10318, EBGeo 2010 und FGSV 549).

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit von weichen Untergrundschichten können z. B. im Bereich des Deichverteidigungsweges Bewehrungen, z. B. mittels Geogitter, vorgesehen werden. Die Erosions- und Suffosionsbeständigkeit sowie die Beibehaltung der Durchlässigkeit des unbewehrten Bodens muss bei Maßnahmen der Bodenbewehrung gewährleistet werden. Zur Sicherstellung der Erosionsbeständigkeit von unterschiedlichen Deichmaterialien, wie z. B. zwischen Altdeich und durchlässigen Anschüttungen, werden Filtervliesstoffe nach BAW MAG (1993) eingesetzt. Diese werden auch unterhalb von gegebenenfalls erforderlichen Deckwerken verwendet. Spezielle Erosionsschutzmatten werden in Böschungsbereichen zur Erhöhung des Oberflächenerosionsschutzes und als Vegetationshilfe an den Böschungen Anwendung finden.

Deckwerke enthalten in der Regel Geotextilien zum Trennen und Filtern (BAW MAG 1993, BAW MAK 1989 und BAW MAR 2008).

Direkte UV-Einstrahlung kann die Beständigkeit der Geokunststoffe entscheidend herabsetzen. Daher sind Geokunststoffe zügig zu überdecken.

Bodenverbesserung/Baugrundverbesserung

Im Rahmen der Deichertüchtigung können sowohl der bestehende Deichkörper selbst als auch der Untergrund nachträglich verdichtet, dräniert und stabilisiert werden (vgl. Abschnitt 9.3).

Die Durchlässigkeit, die Lagerungsdichte sowie die Scherparameter können durch Verdichtungsmaßnahmen verändert werden; dies kann vor allem bei locker gelagerten Altdeichen wirkungsvoll bzw. erforderlich sein.

Auf mögliche Auswirkungen auf erschütterungsempfindliche Deichbestandteile bzw. Bauwerke in Baustellenumgebung, wie z. B. sandige Schichten oder Betonbauten, ist besonders zu achten. Gegebenenfalls ist die Auswahl des Verdichtungsverfahrens anzupassen.

Zur Beschleunigung von Konsolidierungsvorgängen bei weichen Untergründen oder zur Entspannung des Grundwassers im Hinterland können Geotextil ummantelte Sandsäulen oder geotextile Vertikaldräns (Dränstreifen) eingesetzt werden.

Sonstige Maßnahmen/Sicherungsmaßnahmen

Bei hohen Fließgeschwindigkeiten am Deich, besonders bei Schardeichen, kann die Deichoberfläche nachträglich flächenhaft, z. B. durch ein loses Deckwerk nach BAW MAR (2008) oder ein verklammertes Deckwerk (hydraulisch gebunden) nach BAW MAV (2008) gesichert werden (siehe Abschnitte 6.5.2 und 6.5.3).

Bei Schädigung der Vegetation oder Deichoberflächen müssen die beschädigten Bereiche entfernt und ertüchtigt werden. Bei unzureichender Ausbildung der Vegetation ist in Betracht zu ziehen, auf andere, den Umgebungsbedingungen besser angepasste Saatgutmischungen zurückzugreifen.

Im Falle, dass Gehölze bereits auf dem Deich vorhanden sind und erhalten werden sollen, müssen die sicherheitsrelevanten Gesichtspunkte (Abschnitt 6.5.5) beachtet werden und in der Regel aufwendige, teure Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden, da besondere Lastfälle für Windwurf, Sackungen oder Böschungserosion berücksichtigt werden müssen.

Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass bei der Sicherung von mit Gehölzen bewachsenen Deichen statisch wirksame Innendichtungen notwendig werden können, wenn nicht die Durchwurzelung des erdstatisch notwendigen Deichquerschnittes verhindert und/oder darüber hinaus landseitig oder wasserseitig (Deichvorschüttung) ein ausreichendes Überprofil angeordnet wird.

Statisch wirksame Dichtungen können Stahlspundwände und bewehrte Dichtungen aus hydraulisch gebundenen Bindemitteln sein (Schlitzwand, Bohrpfahlwand, Bodenvermörtelung). Eine Schmalwand ist für diese Anwendungsfälle nicht zu empfehlen. Ein wesentlicher Sicherheitsaspekt für die statische Funktion der Dichtung ist u. a. die festzulegende Einbindetiefe, wobei gegebenenfalls der Wegfall des landseitigen Stützkörpers, z. B. infolge Windwurfes, zu berücksichtigen ist.

11.4.3 Maßnahmen zur Erhöhung des Deiches

Eine Deicherhöhung hat zur Folge, dass das Erdbauwerk höhere Lasten abtragen muss. Die hydrostatischen, hydraulischen und geohydraulischen Randbedingungen ändern sich und sind als Eingangsdaten bei der Planung zu berücksichtigen.

Bei Deicherhöhungen ist der Situation bei bordvollem Einstau besondere Beachtung zu schenken. Der Verbund von neuen mit bestehenden Deichbestandteilen ist sicherzustellen.

Deicherhöhungen werden in erster Linie notwendig, wenn Bemessungshochwasserstand und/oder Freibord angepasst werden müssen oder Setzungen/Senkungen eingetreten bzw. zu erwarten sind (vgl. Abschnitt 8.6.1).

Erdbauliche Varianten

Unter Beachtung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit kann eine Erhöhung ohne Verbreiterung (Bild 47) oder mit Verbreiterung des Deichlagers (Bild 48 und Bild 49) erfolgen.

Eine Aufhöhung kann bei Böden mit hohen Scherwiderständen unter Umständen unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse durch Versteilung der Böschungen ohne Verbreiterung des Deichlagers erfolgen. Diese Bauweise sollte aber nur angewendet werden, wenn eine ausreichende Kronenbreite gewährleistet ist.

Bei einer Deicherhöhung mit erdbautechnischen Maßnahmen muss der kraftschlüssige und dichte Anschluss an den bestehenden Erdkörper sichergestellt werden. Fugen in Querrichtung können bevorzugte Sickerwegigkeiten darstellen.

Auf die bautechnischen Aspekte des teilweisen Neuaufbaues oder des Bodenaustausches ist vorstehend hingewiesen worden.

Falls die Deichmaterialien oder die Konstruktion keine ausreichend steilen Böschungsneigungen zulassen, können Stützbauwerke an den Böschungsfüßen angebracht werden. Die zuverlässige und dauerhafte Entwässerung dieser Mauern oder Wände ist zu gewährleisten (Bild 47).

Steht Platz zur Verbreiterung des Deichlagers zur Verfügung, kann der Deich unter Beibehaltung oder Abflachung der Böschungsneigung erhöht werden (Bild 48).

Die verwendeten Bodenarten müssen hinsichtlich ihrer Scherfestigkeit und Durchlässigkeit den erdstatischen und hydraulischen Erfordernissen des aufgehöhten Deiches genügen. Sie sind auf den bestehenden Altdeich abzustimmen (Filterwirksamkeit, Verformungseigenschaften u. a. m.).

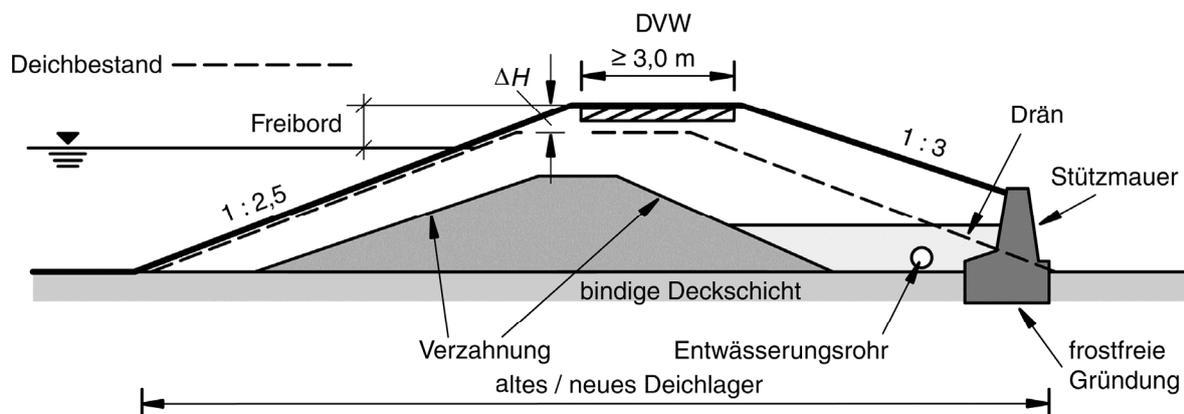


Bild 47: Aufhöhung eines Deiches (um ΔH) durch Einbau einer landseitigen Stützmauer ohne Verbreiterung des Deichlagers

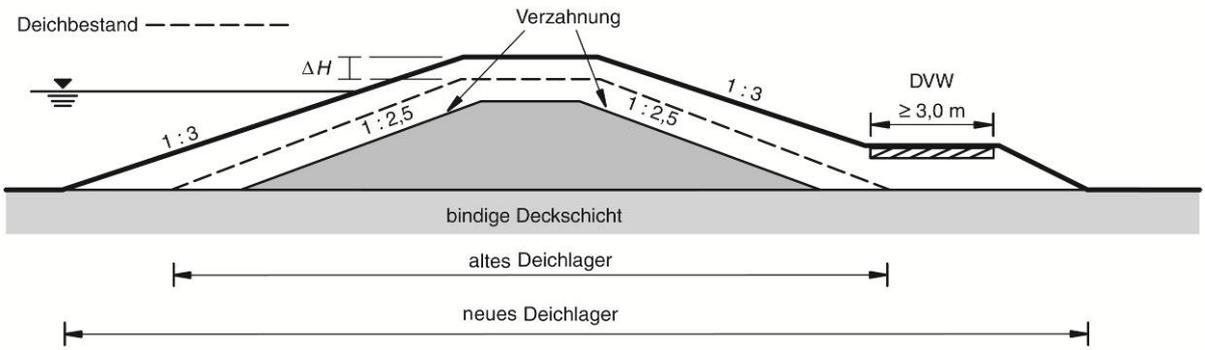


Bild 48: Aufhöhung des Deiches (um ΔH) mit Verbreiterung des Deichlagers, Abflachen der Böschungen und Einbau einer landseitigen Berme

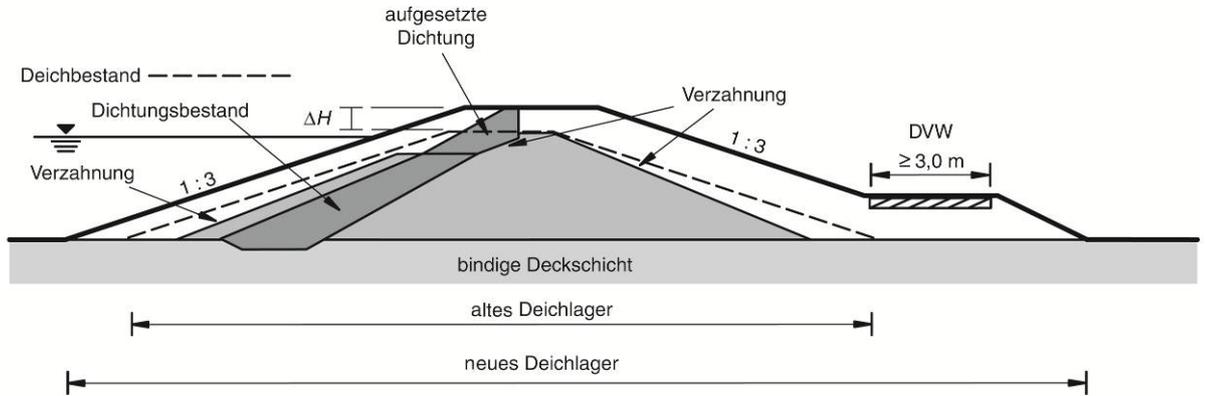


Bild 49: Aufhöhung eines Deiches (um ΔH) mit Integration einer Oberflächendichtung

Vorhandene Oberflächendichtungen können unter Verwendung von mineralischen Baustoffen durch erdbauliche Maßnahmen verlängert werden. Gleiches gilt für hydraulisch gebundene Innendichtungen; diese können mittels bindiger Materialien im Kronenbereich erhöht werden, wobei die Tragfähigkeit des Kronenweges sicherzustellen ist.

Aufgesetzte Mauern/Kombinationsbauwerke

In Bereichen mit beengten Platzverhältnissen können auch Mauern oder Wände und mit Mauern kombinierte Bauwerke zur Deichaufhöhung verwendet werden, wenn die Aspekte der Landschaftsästhetik und des Naturschutzes es zulassen.

Die Gründung einer Wand kann auf einem statisch wirksamen Dichtungselement, wie z. B. einer Spundwand, erfolgen. Die Wand ist wie das Dichtungselement möglichst auf der Wasserseite anzuordnen. Die konstruktive Anbindung an statisch wirksame Dichtungen muss sorgfältig ausgeführt werden, um Kraftschluss und Dichtheit dauerhaft gewährleisten zu können. Ein Beispiel einer aufgesetzten Mauer ist in Bild 50 dargestellt.

Als Kombinationsbauwerke können mobile Elemente oder fest stehende Bauwerke, wie z. B. Glaswände, zur Anwendung kommen.

Überstehende Spundwände

Werden Spundwände als Innendichtung verwendet, können diese über die Deichkrone hinausragen und so eine Aufhöhung darstellen. Derartige Lösungen werden in der Regel besonders gestaltet und verkleidet mit z. B. einer Klinkervorsatzschale, um eine Einbindung in die Landschaft bzw. Natur zu erreichen.

Mobile Elemente

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 in der Regel spezielle Gründungsbauwerke nötig. Die zusätzlichen Lasten muss das Deichbauwerk bei Vollstau aufnehmen können (BWK-M6 2005).

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

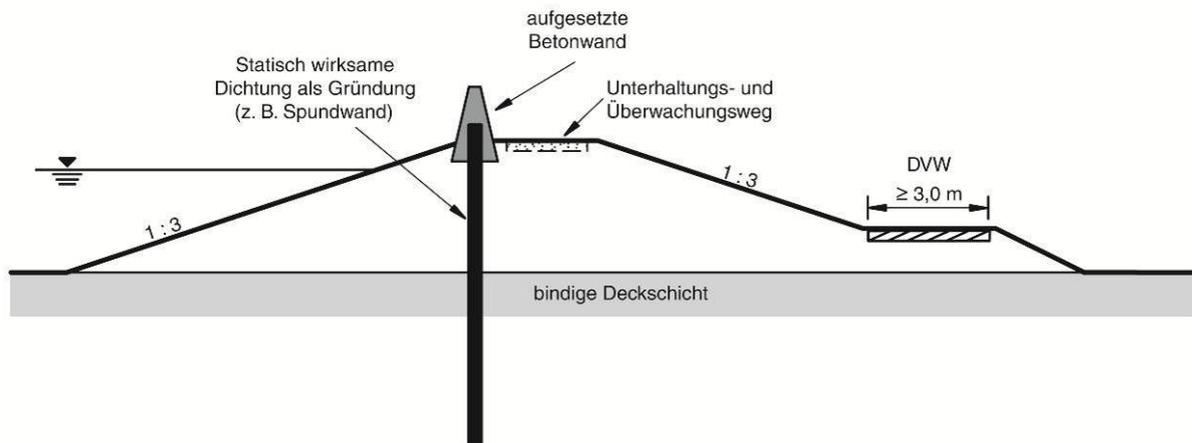


Bild 50: Aufhöhung eines Deiches durch Spundwand (wasserseitig) und darauf aufgesetzter Wand

12 Deichunterhaltung

12.1 Pflege der Grasnarbe, der Böschungen und der Bepflanzung

Um die Grasnarbe dauerhaft und dicht zu erhalten, muss diese sorgsam gepflegt und möglichst vor Beschädigung geschützt werden. Fehlstellen sind durch Andeckung guter Rasensoden oder Einsäen mit geeigneten Saatmischungen auszubessern, nötigenfalls nach Aufbringen und Anstampfen von Oberboden.

Stark beanspruchte Flächen, wie z. B. die wasserseitigen Böschungen, sind – sofern nicht beweidet wird (vgl. Abschnitt 12.4) – je nach Bedarf ein- bis mehrmals jährlich zu mähen; das Mähgut ist aus dem Hochwasserabflussbereich zu entfernen.

Überall dort, wo die Grasnarbe nicht oder nur unwesentlich beansprucht wird, sollte aus Gründen des Artenschutzes die Mahd gelegentlich ausgesetzt werden. Halbtrocken- und Wildrasen auf solchen Flächen sollten nur im Abstand von einem bis mehreren Jahren gemäht werden. Maßgebend hierfür ist, dass ein Überwachsen mit Gehölzen oder Neophyten unterbleibt und somit die Artenfülle gewährleistet ist. Der Zeitpunkt der Mahd sollte für Halbtrocken- und Wildrasen in der Regel erst Ende September liegen, damit die Mehrzahl der Gräser und Kräuter zur Blüte und Samenreife kommt.

Bis auf eine Startdüngung bei Neueinsaaten sind in der Regel keine weiteren Düngergaben erforderlich. Nur bei sehr lichter Grasnarbe und auf hochwasserbeanspruchten Standorten sind fallweise Düngergaben zu empfehlen. Es ist nicht Ziel der in der Regel einmaligen Düngung, ein schnelles Massenwachstum zu fördern, sondern diese soll lediglich eine Grund- oder Selektivdüngung darstellen. Die Düngergaben sollten deshalb

deutlich niedriger dosiert werden als in der Landwirtschaft für Grünland üblich. Wild- und Halbtrockenrasen bedürfen keiner Düngung. Für Grundsatzfragen zu zweckmäßiger Düngung sollte man landwirtschaftliche Fachstellen zur Beratung beiziehen.

Zur Pflege der Grasnarbe gehört auch das Entfernen von überständigem Gras, Geilstellen, schädlichen Wildkräutern, Großstauden und wild anwachsenden Gehölzen. Soweit diese zu starken Schatten bilden und in starker Nahrungskonkurrenz stehen, lösen sie den erforderlichen dichten Bewuchs auf, wodurch die Widerstandsfähigkeit der Grasnarbe gegen Wasserangriffe erheblich herabgesetzt wird.

Bei Hochwasser angeschwemmtes Treibsel ist schnellstmöglich zu beseitigen, da das unterstehende Gras sonst verrottet, lückig wird und beim nächsten Hochwasser Schadstellen auf großer Länge entstehen. Angeschwemmte Bäume, Wurzelstöcke und sonstige Holzteile sind – auch auf den Vorländern – umgehend zu entfernen, da die Grasnarbe infolge Wind und Wellenschlag bei einem Antreiben an die Deiche angegriffen und zerstört wird.

Maulwurfshaufen und sonstige Unebenheiten müssen eingeebnet werden. Maulwurfsgänge sind unter Kontrolle zu halten und so zu verfüllen, dass keine Hohlräume bleiben. Die Baue von Bisam, Nutria, Füchsen, Dachsen und Kaninchen sind sorgfältig aufzugraben, zu verfüllen und einzustampfen. In etwa 10 cm Tiefe sollte vor dem Wiederaufbringen des Rasens ein ausreichend großes und enges Drahtgeflecht verlegt werden. Auf das Merkblatt DVWK-M 247/1994 und auf DVWK 26 (1976) wird hingewiesen.

Die nach Abschnitt 6.5 mögliche Bepflanzung – auch mit Gehölzen – ist nach Maßgabe von Pflegeplänen zu schützen, zu pflegen und zu erhalten (vgl. z. B. Merk-

blatt DVWK-M 204/1984, LfW Bayern 1979, LWA NRW 1980). Die Maßnahmen zur Gehölzpflege richten sich dabei nach der Standfestigkeit der Deiche. Um die Pflegemaßnahmen auf ein Mindestmaß einschränken zu können, sind bevorzugt standorttypische Sträucher und niedrig wachsende Baumarten zu pflanzen. Falls doch hoch wachsende Bäume aufkommen, z. B. durch Anflug, sind sie zu roden oder auf den Stock zu setzen, bevor sie zu einer Gefahr werden.

Beim Roden von Wurzelstöcken sind die Rodungslöcher mit gegenüber dem anstehenden Boden filterstabilem bzw. dem anstehenden Material aufzufüllen.

Strauchartige Gehölze sind in regelmäßigen Abständen auf den Stock zu setzen oder so auszuasten, dass sie die Ansiedlung von Wühltieren nicht begünstigen. Zu beachten ist hierbei, dass ein „auf den Stock setzen“ in der Regel durch die Vermehrung der Austriebe zu einer Verdichtung der Bestände führt und deshalb vermieden werden sollte (vgl. BAW MSD 2005). Ein Auslichten des Bewuchses ist deshalb vorzuziehen. Für anderweitige Pflegearbeiten an Gehölzen, wie z. B. die Verjüngung überalterter Strauchbestände, sind rechtzeitig Fachleute der Landschaftspflege heranzuziehen.

12.2 Maschinelle Deichunterhaltung

Für das Mähen, das Beseitigen von Mähgut, Treibsel und Unebenheiten können bis zur Neigung von 1 : 3 zahlreiche Maschinen ohne Schwierigkeiten und mit Erfolg eingesetzt werden. Mit Spezialgeräten können auch steilere Böschungen noch maschinell bearbeitet werden.

Der Einsatz von Mähmaschinen ermöglicht ein häufigeres Mähen, womit man eine dichtere Grasnarbe mit guter Verwurzelung und vorherrschenden Untergräsern erreicht. Die Häufigkeit des Mähens kann so gesteigert werden, dass das aufwendige Abräumen des Mähgutes entfallen kann. Dies gilt in solchen Fällen insbesondere für den Einsatz von Schlegelmähwerken, die das Mähgut so klein häckseln, dass es ohne schädigende Nebenwirkungen auf den Deichen liegen gelassen werden kann.

12.3 Verwendung von Chemikalien

Wachstumshemmende Chemikalien sollten an Deichen wegen möglicher Gewässerverunreinigungen nicht verwendet werden.

12.4 Beweiden

Sowohl das Kurzhalten der Grasnarbe als auch eine gute Verdichtung des Bodens können vorteilhaft durch ständiges Beweiden der Deiche mit Schafherden erreicht werden. Die Beweidung sollte dabei als Hütetrieb erfolgen. Der Boden wird dadurch nicht nur verfestigt, sondern es werden auch die von kleineren Wühltieren herrührenden Schlupflöcher und Gänge an der Deichoberfläche verfüllt und zugetreten. Der tiefe und scharfe Verbiss der Schafe fördert die Entwicklung der Untergräser. Allerdings wird selbst bei regelmäßigem Weidetrieb wegen der selektiven Fressgewohnheiten der Schafe eine Nachmahd zur Beseitigung der stehen gebliebenen Wildkräuter unumgänglich sein.

Bei steilen Böschungen und ungeeignetem Untergrund – z. B. nur dünner Oberbodenschicht über sandigem Deichmaterial – kann aber auch Schafbeweidung zu Schäden führen. Ihre Zulassung ist daher grundsätzlich von den örtlichen Gegebenheiten abhängig zu machen. Bei feuchtem Boden und steileren Böschungen als 1 : 3 sollte sie nicht zugelassen werden. Ebenso ist jede übermäßige Beweidung wegen der damit verbundenen Schädigung der Grasnarbe zu vermeiden. Ausgesprochene Trockenrasenstandorte sollten nicht regelmäßig beweidet werden.

Eine Beweidung mit Großvieh (Rindern) ist unzulässig, da die Grasnarbe durchgetreten werden kann und damit Ansatzpunkte für Deichzerstörungen geschaffen werden.

12.5 Unterhaltung der Bauwerke

Die Unterhaltung erstreckt sich nicht nur auf den Deichkörper selbst, sondern auch auf Deichtore, Deichscharten und Siele, Bauwerke zur Polderflutung sowie Schöpfwerke, soweit sie den Deich berühren. Die beweglichen Teile solcher Bauwerke müssen regelmäßig, mindestens aber einmal jährlich im Zusammenhang mit der Deichschau auf ihre Funktionsfähigkeit und leichte Bedienbarkeit hin überprüft werden (vgl. Abschnitt 10).

12.6 Sonstige Unterhaltungsarbeiten

Soweit die Deichwege nicht dem öffentlichen Verkehr dienen, sind sie zwar an das öffentliche Straßennetz anzubinden, jedoch für Kraftverkehr zu sperren. Entsprechende Regelungen der Verkehrssicherungspflicht durch Widmung sind anzustreben.

Wege, Fußpfade, Treppen, Rampen, Viehtriften und Leitungsquerungen sind in ordnungsgemäßem Zustand zu erhalten. Deichpflasterungen und sonstige Befestigungen sind besonders bei Schardeichen zu beobachten.

Fehlende Steine im Deckwerk sind zu ersetzen. Uferabbrisse vor dem Deich sind auszubessern. Auf dem Deich entstandene Trampelpfade, die durch Sperren nicht verhindert werden können und durch die Bevölkerung bevorzugt angenommen werden, sind so auszubauen, dass ihr Bestehen keinen schädlichen Einfluss auf den Deich hat.

Ein regelmäßiges, einmaliges Befahren der unbefestigten Deichkrone mit einer leichten Rüttelwalze im Frühjahr und im Herbst ist dazu geeignet, durch Frost entstandene Lockerungen wieder zu verdichten.

12.7 Bekämpfung von Wühltieren

Das schädliche Verhalten von Wühltieren ist in Abschnitt 6.5.6 erläutert, auch unter dem Gesichtspunkt, wie dem schon beim Entwurf eines Deichquerschnittes begegnen werden kann. Sind Deiche doch einmal von Wühltieren befallen, so müssen diese bekämpft werden.

Jagdbare Tiere

Die entsprechenden Arten regelt das Bundesjagdgesetz, nach dem diese Tiere dem Jagdschutz unterliegen und Schonzeiten einzuhalten sind. Aus Gründen der Landeskultur (Hochwasserschutz) können aber nach dem Bundesjagdgesetz jagdbaren Tieren Schonzeiten ganz versagt werden. Im Deichbereich kann deshalb für diese Wühler bei der zuständigen Jagdbehörde die Aufhebung der Schonzeit erwirkt und verstärkter Abschuss oder der Einsatz eines Schadwildjägers beantragt werden.

Nichtjagdbare Tiere

Dazu zählen u. a. Bisam, Wanderratte, Große Wühlmaus, Maulwurf, Feldmaus und andere Wühlmäuse. Sie genießen keinen Jagdschutz und haben keine Schonzeit.

Gegen den Bisam wirkt nur das Fangen mit Fallen. Es empfiehlt sich, zu diesem Zweck geeignete Arbeitskräfte ausbilden zu lassen. Die Baue müssen wegen der Sicherheit der Deiche fachgerecht beseitigt werden.

Biber, Spitzmäuse und Maulwürfe gehören zu den besonders geschützten Tierarten.

Bei der zuständigen Naturschutzbehörde ist eine Befreiung von den Verboten des § 42 BNatSchG zu beantragen.

Für die Bekämpfung verschiedener kleiner Wühltiere hat es sich bewährt, 2 m bis 4 m hohe Sitzstangen mit Querholz für Greifvögel aufzustellen, vor allem wenn Gehölze im Nahbereich des Deiches fehlen.

13 Deichüberwachung

13.1 Allgemeines

Deiche und dazugehörige Hochwasserschutzanlagen sind im Hinblick auf ihre Funktions- und Betriebssicherheit in der Regel durch den Träger der Bau- und Unterhaltungslast zu überwachen. Im Allgemeinen werden Deiche nicht durchgehend messtechnisch überwacht.

Bei Deichen der Klasse I oder bei besonderen Problemstellungen (z. B. in Bergsenkungsgebieten) kann jedoch ein Monitoring-Programm mit einer entsprechenden messtechnischen Ausrüstung vorgesehen werden.

Insbesondere die Höhe der Deichkrone ist zu überprüfen. Eine messtechnische Aufnahme der Kronenhöhe in angemessenen Zeitabständen, z. B. 10 Jahre, ist zu empfehlen. In setzungsgefährdeten Bereichen ist das Setzungsverhalten mittels geeigneter Messungen besonders zu kontrollieren

Als wichtige Arbeitsgrundlage für die Überwachung ist ein Deichbuch zu führen. Aktuelle Überwachungsvorgänge sowie deren Ergebnisse und Bewertungen sind in einem Statusbericht zu dokumentieren. Vorteilhaft dazu ist eine eindeutige Deichbenennung und -einteilung, denen jeweils Deichbuch und Statusbericht zugeordnet werden.

13.2 Deichbuch

Das Deichbuch (am besten in digitaler Form, z. B. unterstützt durch ein Geoinformationssystem) muss über alle Einzelheiten des Hochwasserschutzbauwerkes Aufschluss geben (vgl. Abschnitt 11.3.1). Insbesondere sind diejenigen Daten zu dokumentieren, die für eine Beurteilung der Standsicherheit sowie zur allgemeinen Gefährdungseinschätzung des Bauwerkes notwendig sind. Das Deichbuch sollte folgende Unterlagen enthalten:

a) Allgemeine Beschreibung:

- Lage (Kilometrierung, links- oder rechtsseitig, Prall- oder Gleithang, Breite des Vorlandes u. a.),
- Kubatur (Deichhöhe, Böschungsneigung, Erreichbarkeit, Bewuchs, Bauwerke u. a.),
- geschütztes Gebiet (Größe, wichtige geschützte Anlagen, Objekte usw.),
- Verhältnis zu benachbarten Gebieten, z. B. Einfluss auf Poldermöglichkeiten,
- historische Entwicklung;

b) Dokumentationen:

- Übersichtskarten (Maßstab etwa 1 : 25.000),
- Lagepläne (Maßstab 1 : 5.000),
- Längs- und Querschnitte des Deiches,
- geotechnische Kennwerte,
- Standsicherheitsnachweise,
- Bestandszeichnungen aller Bauwerke im und am Deich (z. B. Schöpfwerke, Siele, Leitungen),
- Fotodokumentationen,
- Verzeichnis der vorhandenen Höhenfestpunkte,
- Verzeichnis der für den Deichabschnitt maßgeblichen Pegel,
- wasserstandsbezogene Einsatz- und Betriebspläne für Schöpfwerke, Ein- und Auslassbauwerke u. a.,
- Unterlagen für die Deichüberwachung im Hochwasserfall und die Deichverteidigung (z. B. Einsatz-, Alarmierungs- und Katastrophenpläne, Anschriften- und Telefonverzeichnisse, Verzeichnisse von Geräten, Material, Transportmöglichkeiten, Fluchtwege),
- Rechtsbestimmungen (Verzeichnis der Fundstellen von z. B. Satzung, Genehmigungen, Verträgen).

13.3 Statusbericht

Aufgabe des Trägers der Bau- und Unterhaltungslast ist es, die Funktions- und Betriebssicherheit seiner Hochwasserschutzanlagen zu überwachen und sicherzustellen.

Hierzu sind die Deiche regelmäßig, jedoch mindestens einmal jährlich zu begehen. Bei einer lediglich einmaligen jährlichen Begehung ist als Zeitpunkt aufgrund der guten Beobachtungsbedingungen das Frühjahr zu empfehlen. Nach größeren Hochwasserereignissen sollte auf jeden Fall eine Begehung zur Schadensermittlung und Festlegung gegebenenfalls notwendiger Ertüchtigungs- und Sanierungsarbeiten stattfinden. Die Ergebnisse der Begehung sind in geeigneter Weise zu dokumentieren. Dabei festgestellte Schäden sind schnellstmöglich zu beheben.

Für jeden Deich ist ein Statusbericht zu erstellen, der sich in zwei Teile gliedert und im Falle von Deichen gemäß Klasse I (nach Abschnitt 3.2) Folgendes enthalten sollte:

Teil A – Allgemeine Beschreibung

In diesem Teil sollten die zur Beurteilung der Deiche notwendigen grundlegenden Informationen aus dem Deichbuch kurz zusammengefasst werden. Dieser Teil wird einmal erstellt und nur bei Änderungen fortgeschrieben.

Teil B – Dokumentation

Für den Berichtszeitraum sollte unter Berücksichtigung der Vorjahre mindestens Folgendes dokumentiert und bewertet werden:

- Umfang, Art und Häufigkeit der Überwachung,
- Ergebnis der Überwachungen (z. B. festgestellte Mängel bzw. Schäden, Wühltriebfall, Zustand der Vegetation auf dem Deich und in der Deichschutzzone, Zustand der Bauwerke im Deich, Beschaffenheit der Deichwege),
- Beobachtungen bei Hochwasserbelastung (z. B. Qualmwasseraustritte),
- Veranlasste Maßnahmen (z. B. Messungen, Untersuchungen von Deichkörper und Untergrund, Standsicherheitsnachweise, Unterhaltungsarbeiten),
- Ergebnis der durchgeführten Maßnahmen,
- Beurteilung der Funktions- und Betriebssicherheit (z. B. Notwendigkeit weitergehender Untersuchungen).

Der Statusbericht dokumentiert die Überwachungstätigkeit des Trägers der Bau- und Unterhaltungslast sowie den sich daraus ergebenden Handlungsbedarf. Für Deiche der Klassen I und II ist ein jährlicher Statusbericht erforderlich. Für Deiche der Klasse III kann z. B. ein fünfjähriger Turnus angemessen sein.

13.4 Verfügbarkeit der Überwachungsunterlagen

Die Überwachungsunterlagen (Deichbuch und Statusbericht) sind durch den Träger der Bau- und Unterhaltungslast zu führen und fortzuschreiben. Je eine aktuelle Ausfertigung muss beim Träger der Bau- und Unterhaltungslast und bei der zuständigen Behörde vorliegen.

13.5 Aufsichtsschau

Die zuständige Überwachungsbehörde hat die Deiche mindestens einmal pro Jahr gemeinsam mit dem Träger der Bau- und Unterhaltungslast zu schauen und sich über die ordnungsgemäße Aufgabenerfüllung des Trägers der Bau- und Unterhaltungslast zu informieren.

Das Ergebnis der Aufsichtsschau ist schriftlich festzuhalten.

14 Deichverteidigung

14.1 Vorbereitung

Unbeschadet sonstiger rechtlicher Regelungen für die Abwehr von Hochwassergefahren hat sich der für die Deichverteidigung Zuständige organisatorisch und materiell auf den Hochwasserfall einschließlich einer gegebenenfalls erforderlichen Deichverteidigung vorzubereiten.

Es ist sicherzustellen, dass die operative Deichverteidigung von entsprechenden Fachleuten geleitet wird. Besonders wichtig ist auch das Vorhandensein wasserbaulicher bzw. geotechnischer Fachkompetenz in den Katastrophenschutzstäben. Falsch angewandte Deichverteidigungsmaßnahmen können eine Deichbruchgefahr zusätzlich erhöhen. Beispielsweise ist zu beachten, dass bei zyklischer oder dynamischer Einwirkung (Überfahrt von Fahrzeugen oder Überflug mit Hubschraubern) durch den Anstieg des Porenwasserüberdruckes eine Entfestigung des Bodens verursacht werden kann. Basierend auf den Erfahrungen aus Hochwasserereignissen muss festgestellt werden, dass zur organisatorischen Vorbereitung der Deichverteidigung auch die Abstimmung mit den Katastrophenschutzbehörden gehört, um bei einer Übernahme der Entscheidungsbefugnis eine entsprechende Fachberatung in den Katastrophenschutzstäben zu gewährleisten.

Darüber hinaus sind entsprechende Unterlagen für den Einsatz im Hochwasserfall und die Deichverteidigung – einschließlich Erfahrungsberichte aus früheren Hochwasserereignissen – aufzustellen (vgl. Abschnitt 13.2) und ständig aktuell zu halten (Hochwassereinsatzplan). Wichtig sind vor allem Informationen zu Ausrüstung und Ausbildung der Einsatzkräfte und die Erstellung eines Einsatzplanes, der u. a. die maßgebenden Hochwasserstände festlegt, bei denen die laufende Deichüberwachung beginnt bzw. stufenweise intensiviert wird. Für mögliche Deichverteidigungsmaßnahmen müssen Geräte und Materialien vorgehalten werden. Transportmöglichkeiten für Gerät und Material von und zu den Einsatzstellen bzw. Lagerplätzen sind festzulegen und die erforderlichen Wege so auszubauen, dass sie auch im Hochwasserfall im erforderlichen Umfang nutzbar sind (vgl. Abschnitt 6.2.1). Die vorgesehenen Einsatzkräfte müssen über ihre Aufgabe und Sammelpunkte, über die Lagerorte, die Transportwege und die Handhabung der Geräte unterrichtet und in regelmäßigen Übungen geschult sein.

14.2 Deichüberwachung bei Hochwasser

Im Hochwasserfall sind Deiche visuell zu kontrollieren. Die Kontrolle erstreckt sich insbesondere

- auf der Wasserseite auf den Hochwasserfreibord und Erosionsschäden oder Rutschungen der Böschung,
- auf der Landseite auf Durchsickerung und Rutschungen der Böschung sowie auf Quelltrichterbildungen und Anzeichen für Geländeaufbrüche hinter dem Deich,
- Entstehung von Eisversatz (Eisstau).

Dazu ist es in der Regel erforderlich, den Deich sowohl auf der Krone als auch entlang der landseitigen Böschung zu begehen.

Festgestellte Wasseraustritte sind zu kennzeichnen, ständig zu beobachten und zu melden.

Die Organisation der Überwachung sowie die Kommunikation müssen im Hochwassereinsatzplan geregelt sein.

14.3 Deichverteidigungsarbeiten

Deichverteidigungsarbeiten müssen unverzüglich, schnell und gegebenenfalls länger andauernd durchgeführt werden. Ein frühzeitiges Reagieren auf kleine Schäden und Mängel ist unbedingt notwendig. Dabei ist der Einsatz von mit dem Deichbau vertrautem, qualifiziertem Fachpersonal, aber auch die Mitwirkung zahlreicher Helfer unverzichtbar. Fehler in der Deichverteidigung können schwerwiegende Folgen haben und zu Deichbrüchen führen. Deichverteidigungsarbeiten sind in ein gegebenfalls notwendiges Katastrophenmanagement einzubinden. Der Einsatz zur Erhaltung des Deiches ist erst einzustellen, wenn die Gefahr nicht mehr besteht, das Leben der eingesetzten Kräfte bedroht ist oder der Deich aufgrund der Beurteilung von technischen, hydraulischen oder hydrologischen Faktoren nicht mehr zu halten ist.

Deichverteidigungsarbeiten können bei folgenden Beobachtungen notwendig werden:

- **Wasserseitige Böschung:**
 - lokal begrenzte Beschädigung der Oberfläche,
 - Risse und/oder Rutschungen;
- **Landseitige Böschung:**
 - punktuelle und flächige Wasseraustritte mit Materialaustrag,
 - Risse und/oder Rutschungen;

- **Deichkrone:**

- Absackungen,
- Setzungen,
- Gefahr des Überströmens.

Einzelheiten zu den technischen Möglichkeiten der Deichverteidigung sind z. B. folgenden Schriften zu entnehmen:

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) Bayern (2003): „Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung“.
- Der Senator für Bau und Umwelt (Sen BU) Freie Hansestadt Bremen (2003): „Hochwasserschutz im Land Bremen“.
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg (2005): „Flussdeiche – Überwachung und Verteidigung“.
- Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) (2005): „Anleitung für den operativen Hochwasserschutz – Verteidigung von Flussdeichen“.
- Landestalsperrenverwaltung (LTV) des Freistaates Sachsen (1998): „Handbuch zur Wasserwirtschaft 1/1998, Leitfaden für die Hochwasserabwehr“.
- Landesumweltamt (LUA) Brandenburg (2003): „Hochwasserschutz in Brandenburg“.
- Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU) Thüringen (2003): „Anleitung für die Verteidigung von Flussdeichen, Stauhaltungs-dämmen und kleinen Staudämmen“.
- Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (2005): „Hochwasservorsorge – Hinweise für die Wasserwehren“.
- Regierungspräsidium (RP) Darmstadt (2006): „Instruktionen zur Deichverteidigung“.
- Staatliches Amt für Wasser und Abfall (StAWA) Lüneburg (1989): „Praktische Anleitung für die Deichverteidigung“.
- Umweltministerium (UM) Mecklenburg-Vorpommern (1999): „Hochwasserschutz Elbe in Mecklenburg-Vorpommern“.

14.4 Deichverteidigungsmittel

Jeder Hochwasserschutzpflichtige sollte für die Deichverteidigung eine Grundausstattung der erforderlichen, geeigneten Mittel und Materialien vorhalten. Diese sind in einem oder bei großen Deichstrecken in mehreren zentral gelegenen Lagern oder Bauhöfen zu lagern.

Weiter empfiehlt sich, mit geeigneten Firmen entsprechende Vereinbarungen zur Vorhaltung, Bereitstellung und Lieferung dieser Mittel und Materialien bei Bedarf zu treffen. Der Umfang der vorzuhaltenden Mittel und Materialien richtet sich nach dem zugehörigen Deichabschnitt und den örtlichen Besonderheiten (vgl. auch Abschnitt 13.2).

Die Mittel und Materialien sollten in regelmäßigen Abständen kontrolliert und bei Bedarf ausgetauscht oder ergänzt werden.

Besonders geeignet sind wegen ihres Reibungswiderstandes Sandsäcke aus Jute. Sie sind zwar unterhaltungsaufwendiger als Sandsäcke aus Kunststoff, bieten im praktischen Einsatz Vorteile. Sandsäcke werden leer gelagert. Das Füllmaterial muss trocken und frostfrei sein.

Sofern die Deiche für schwere Lkw über entsprechend ausgebaute Wege erreichbar sind, ist die Anschüttung von Kiesmaterial für viele landseitig auftretende Probleme die effektivste Lösung. Insbesondere hierfür ist das Anlegen von Deponien aus geeignetem Material empfehlenswert.

Neben diesen bewährten Verfahren und Materialien werden in zunehmendem Maße auch alternative Konstruktionen, Hilfsmittel und Baustoffe zur Deichverteidigung entwickelt und angeboten (vgl. z. B. HERRMANN & JENSEN 2003). Die Möglichkeiten und Grenzen derartiger Verfahren sind vor einem Einsatz im Hochwasserfall zu überprüfen bzw. nachzuweisen.

14.5 Maßnahmen zur Eisabwehr

Die Maßnahmen zur Eisabwehr umfassen das Beseitigen von Eisversatz sowie die Vermeidung von Schäden (Schälungen) an den wasserseitigen Böschungen infolge Eisgangs.

Bei Eisversatz besteht die Gefahr eines Wasserspiegelanstieges mit nachfolgender Deichüberströmung. In Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten sollten die Eismassen mittels technischer Geräte aus dem Abflussprofil entfernt werden.

Eisschälungen können infolge treibender Eisschollen entstehen. Im Einzelfall können diese durch geschultes und gesichertes Personal mittels Stangen von der Böschung ferngehalten werden. Der linienhafte Schutz der Böschung im Wasserwechselbereich kann wirksam nur vor Erreichen des Scheitelwasserstandes durch Auflegen und Verankern reißfester Geotextilien, Bauzäune, Sandsäcke oder ähnliches erfolgen.

Anhang A Begriffe

Begriff	Englisch	Erklärung
Abflussquerschnitt (Durchflussquerschnitt)	discharge section, flow section	Vom Wasserspiegel und dem benetzten Umfang begrenzter, vom Wasser durchströmter Querschnitt durch ein Fließgewässer senkrecht zur Hauptfließrichtung.
Aufkadung		→ Kade
Auflastdrän (früher Auflastfilter)	loaded filter, load drain	Häufig aus grobkörnigem Bodenmaterial bestehender Drän, der auf (potenzielle) Wasseraustrittsbereiche aufgebracht werden kann und eine Böschung durch seine Entwässerungswirkung, seine Auflast und die Querschnittsverbreiterung stabilisiert. Im Übergangsbereich zum feineren Material ist ein Filter erforderlich.
Außenböschung	outside slope, outer slope	Wasserseitige Deichböschung (aber: z. B. in der Schweiz und in Italien wasserabgewandte Seite).
Außendichtung (Böschungsdichtung, Oberflächendichtung)	(outer) facing membrane	Auf der wasserseitigen Böschung flächig eingebaute Dichtung aus natürlichen oder künstlichen Baustoffen.
Banndeich		→ Hauptdeich
Bemessungshochwasser (Scheiteldurchfluss), BHQ	design flood	Hochwasserereignis, für das der Hochwasserschutz entsprechend bestimmter Schutzziele ausgelegt wird.
Bemessungshochwasser- stand, BHW	design flood level	Wasserstand, für den der Hochwasserschutz entsprechend bestimmter lokaler Schutzziele ausgelegt wird.
Bergematerial	colliery waste	Taubes Gestein aus dem Bergbau, Abraum, z. B. gebrochener Schieferton.
Binnenböschung	inner slope	Landseitige Böschung des Deiches.
Binnendeich (Polderdeich)	inner dike, cross dike	Deich, der das eingedeichte Gebiet unterteilt, um Schäden bei Überflutung oder Deichbruch zu begrenzen.
Binnenseite (Landseite, Landseite)	inner face	Dem Fluss abgewandte Seite (Landseite) des Deiches (aber: z. B. in der Schweiz und in Italien Wasserseite).
Böschungsdichtung		→ Außendichtung
Deich	dike, levee, flood embankment	Damm (künstliche Bodenaufschüttung bzw. Erdbauwerk) längs eines Gewässers zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser, der im Wesentlichen aus Erdbaustoffen besteht. Im Gegensatz zu Stauhaltungsdämmen nur zeitweilig eingestaut.
Deichbegehung	dike inspection	Regelmäßige Prüfung des ordnungsgemäßen Zustandes eines Deiches mit seinen Bauwerken und Anlagen sowie der Schutzwerke durch den Träger der Bau- und Unterhaltungslast in situ.
Deichberme	berm of a dike (levee), dike berm	Fast horizontaler, meist schwach zum Böschungsfuß geneigter Absatz in der Deichböschung oder am Deichfuß, bisweilen als Fahrweg ausgebaut (Außenberme, Binnenberme).
Deichbestick	normal cross section of a dike (levee), normal dike cross section	Behördlich festgelegte Sollmaße des Deiches.
Deichböschung	dike slope	Geneigte Seitenfläche eines Deiches.
Deichbresche	dike breach	Die nach einem Deichbruch oder planmäßiger Deichschlitzung zurückbleibende Deichlücke.
Deichbruch	dike failure	Teilweise oder vollständige Zerstörung des Deiches durch hydrodynamische oder hydrostatische Belastungen, z. B. infolge Überströmung, Erosion, Kronenbruch, Böschungsrundbruch.

Begriff	Englisch	Erklärung
Deichfuß	dike toe	Unterer Bereich der Deichböschung am Übergang zum Gelände (außen- und binnenseitiger Deichfuß).
Deichgraben (Deichseitengraben)	dike drainage ditch	Parallel zum binnenseitigen Deichfuß verlaufender Entwässerungsgraben, der das Sickerwasser sammelt und es abführt.
Deichhinterland	Polder, hinterland	Dem Deich landseitig vorgelagerte Fläche.
Deichhöhe	dike height	Vertikaler Abstand zwischen der binnenseitigen Geländehöhe am Deichfuß (im Bereich des Deichlagers) und dem höheren (wasser- oder luftseitigen) Punkt der Deichkrone.
Deichkrone	crest of a dike, dike crest	Oberer Abschluss eines Deiches zwischen Außen- und Binnenböschung entlang der Deichlinie.
Deichlager	(dike) base	Vom wasserseitigen bis zum landseitigen Deichfuß reichende Aufstandsfläche des Deichkörpers.
Deichlinie	dike line	Verlauf des Deiches mit allen Bauwerken und Anlagen. Es können mehrere Deichlinien hintereinander liegen.
Deichrampe	dike ramp	Parallel zur Deichlinie verlaufende seitliche Anschüttung an den Deich zur Überführung eines Verkehrsweges.
Deichscharte (Deichtor)	dike opening, gated dike opening, dike opening with gate	Öffnung im Deich (z. B. zur Durchführung eines Verkehrsweges oder zum Ein- oder Auslassen von Hochwasser), die im Hochwasserfall durch Tore oder Dammbalken/-tafeln dicht verschlossen wird.
Deichschau	inspection of dike, dike inspection	Regelmäßige (z. B. jährliche) Prüfung des ordnungsgemäßen Zustandes eines Deiches mit seinen Bauwerken und Anlagen sowie der Schutzwerke durch die zuständige Deichbehörde.
Deichschleuse	dike lock	→ Siel
Deichschulter		Übergangsbereich von der Deichkrone zur Böschung.
Deichschutzstreifen	dike protection zone	Streifen an den land- und wasserseitigen Böschungsfüßen, die der Deichüberwachung und -verteidigung dienen. Sie unterliegen Beschränkungen hinsichtlich der Nutzung.
Deichseitengraben		→ Deichgraben
Deichtor		→ Deichscharte
Deichverband	association for dike maintenance, dike maintenance association	Zusammenschluss der zur Deichunterhaltung verpflichteten Grundstückseigentümer eines geschützten Gebietes.
Deichverteidigung	dike defence, dike protection	Gesamtheit der Sofortmaßnahmen im Hochwasserfall zur Aufrechterhaltung der Funktion eines Deiches bei drohendem Versagen (z. B. Aufkadung, landseitiger Auflastdrän, Quellkade usw.).
Deichverteidigungsweg	dike road	Befestigter Weg entlang der Binnenseite des Deiches, der auch bei höheren Binnenwasserständen nicht überflutet wird. Er dient der Deichunterhaltung und der Deichverteidigung.
Deichvorland	flood plain	Dem Deich wasserseitig vorgelagerte Fläche bis zum Fließgewässer.
Deichzuweg	dike access way, way to the dike	Befestigter Zuweg zum Deichverteidigungsweg, der auch bei höheren Binnenwasserständen nicht überflutet wird und benutzbar ist.
Dränage	drainage	→ Drän → Dränung
Drahtschotterkasten (Gabione)	gabion	Kastenförmiges, versteiftes Drahtgeflecht welches mit Steinen, Schotter oder Grobkies gefüllt wird und als Böschungs- und Sohlenbefestigung dient.

Begriff	Englisch	Erklärung
Drainageprisma		→ Dränprisma
Drän (Drainage)	drain	Entwässerung(seinrichtung), Bauelement zur drucklosen Abführung von Sickerwasser. Es muss filterwirksam gegenüber dem umgebenden Erdstoff sein.
Drängewasser	seep water,	Unterhalb der Sickerlinie den Deich und den Untergrund unter Druck durchströmendes Wasser (vgl. Sickerwasser, Kuverwasser, Qualmwasser).
Dränprisma (Drainageprisma, Sickerprisma)	filter layer, drain prism	Sickerkörper aus durchlässigem Material am landseitigen Deichfuß. Er muss filterwirksam gegenüber dem umgebenden Erdstoff sein.
Dränung (Drainage)	drainage	Entwässerung.
Drei-Zonen-Deich	zoned dike	Deich, dessen Querschnitt aus drei verschiedenen Erdmaterialien besteht.
Durchflussquerschnitt	discharge section	→ Abflussquerschnitt
Einstaudauer	flood period, flood duration	Zeit, in der der Außenwasserstand während des Hochwassers höher als der wasserseitige Deichfuß liegt.
Entlastungspolder	storage polder	→ Speicherpolder
Erosion	erosion	Abtrag und Abtransport von Bodenmaterial durch Kräfte des Wassers und des Windes (innere, äußere, Kontakt(flächen)erosion).
Filter	filter (zone)	Schicht oder Zone mit definierter Kornverteilung oder Geotextil, die/das bei Wasserdurchtritt Materialtransport verhindert (Filterregeln, Kontakterosion). Sie dient zur Entwässerung einer benachbarten Zone geringerer Durchlässigkeit.
Fließpolder	floodway, flow polder	Von Teilabflüssen bei Hochwasser durchflossener Polder mit ober- und unterwasserseitiger Verbindung zum parallel verlaufenden Fluss.
Fluchtweg	(emergency) escape way, escape route	Befestigter, zum hochwasserfreien Gelände hin ansteigender Weg, der es den Bewohnern des Polders im Falle der Gefahr der Polderflutung ermöglicht, sich selbst und bewegliches Eigentum in Sicherheit zu bringen.
Flügeldeich	wing dike	→ Leitdeich
Flussdeich (Stromdeich)	dike, levee, embankment	Deich an Fließgewässern zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser (aus Niederschlag, Schneeschmelze, Eisstau, Tiderückstau, Brückenstau), der im Wesentlichen aus Erdbaustoffen besteht. Im Gegensatz zu Stauhaltungsdämmen nur zeitweilig eingestaut.
Flutmulde		→ Flutrinne
Flutpolder		→ Speicherpolder
Flutrinne (Hochwasserentlastungs- gerinne, Flutmulde)	floodway, flood bypass, flood diversion channel	Gerinne, das der Ab- und Umleitung von Hochwasser dient und normalerweise kein Wasser führt (z. B. Elbeflutrinnen in Dresden und Magdeburg).
Flutungspolder		→ Speicherpolder
Freibord	freeboard	Senkrecht gemessener Abstand zwischen dem (Bemessungs-)Wasserstand und der Deichkrone auf der Wasserseite, der Oberkante des Ufers, der Krone des Absperrbauwerkes einer Stauanlage (auf der Wasserseite), der Unterkante einer Brücke oder der Oberkante der Bordwand eines Schwimmkörpers.
Gabione	gabion	→ Drahtschotterkorb

Begriff	Englisch	Erklärung
geschlossener Deich	closed dike	Deich, der an das hochliegende, hochwasserfreie Gelände (Hochufer) ober- und unterstrom angeschlossen ist.
Hauptdeich (Volldeich, Winterdeich, Banndeich, Hochwasserdeich, Landesschutzdeich)	main dike, main levee	Deich der ersten Deichlinie, der entsprechend des jeweiligen Schutzzieles im Hinterland bemessen ist.
Hochwasserdeich		→ Hauptdeich
Hochwasserschutzwand (Hochwasserschutzmauer)	flood (protection) wall	Wand oder mauerartige Hochwasserschutzkonstruktion (z. B. Stahlspundbohlen oder Beton) anstelle eines Deiches in Verlängerung der Deichlinie, dort erstellt, wo wegen vorhandener Bebauung kein Platz für einen Deich oder seine Erhöhung beschafft werden kann.
homogener Deich	homogeneous dike	Deich aus einheitlichem Erdstoff ohne besondere Dichtung.
hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	hydraulically stabilized bearing layer [~ bound base layer]	Tragschicht, bei der das Mineralstoffgemisch durch hydraulische Bindemittel gebunden ist.
hydraulischer Gradient	hydraulic gradient	Neigung der Energielinie in Fließrichtung, Quotient aus Energiehöhendifferenz und zugehörigem Fließweg.
hydraulisches Gefälle		→ hydraulischer Gradient
hydrodynamisches Netz (Sickernetz)	[hydraulic] flow net	Strom- und Potenzielliniennetz (bei Potenzialströmung).
Kade (Aufkadung)	temporary dike crest heightening	Temporäre, behelfsmäßige Deicherhöhung, meist im Zusammenhang mit der Deichverteidigung.
Kerndichtung	(watertight) core	Im inneren Bereich des Deichquerschnitts eingebaute Dichtung aus natürlichen oder künstlichen Baustoffen, vertikal oder schrägliegend angeordnet.
Kontakterosion	seepage erosion at boundary [contact] of two layers, [internal layer] contact erosion	An der Kontaktfläche vom feineren zum gröberen Erdstoff stattfindende Erosion feiner Teilchen, die durch die Poren des gröberen Erdstoffes unter Wirkung des strömenden Wassers abtransportiert werden.
Kuverdeich	seep water dike	Deich, der örtlich begrenzt austretendes Kuverwasser eindeicht.
Kuverwasser	seepage water	Auf der Binnenböschung des Deiches austretendes Drängewasser.
Landesschutzdeich		→ Hauptdeich
Landseite		→ Binnenseite
Leitdeich (Flügeldeich)	wing dike	Deich, der die Hochwasserströmung in eine bestimmte Richtung lenkt und auch bei Hochwasser (BHW) nicht überströmt wird. An Sielen und Sielhäfen auch zum Schutz gegen Seegang und Eistreiben.
Landseite		→ Binnenseite
Mischfilter	[well] graded filter	Filter aus einer Schicht abgestufter Körnung wie beispielsweise einem Kies der Sieblinie B 32. Mischfilter übernehmen die Rolle der Dränschicht und der Filterschicht.
Mitteldeich	secondary dike	Deich der 2. Deichlinie. Er begrenzt die Überschwemmung bei Bruch des Deiches der 1. Deichlinie.
Notdeich	emergency dike	Temporärer Deich als akute Hochwasserverteidigungsmaßnahme, der mit einfachen Mitteln (z. B. Sandsäcken) errichtet wird.
Oberflächendichtung	impervious surface cover, surface sealing	→ Außendichtung

Begriff	Englisch	Erklärung
oberflächennahe Dichtung	surface-near waterstop [blanket], sealing layer close to the upstream face, upstream sealing layer	Auf der Wasserseite befindliche Dichtung mit einer Überdeckungsschicht (z. B. geneigte Lehminnendichtung mit Schutzschicht).
offener Deich	open dike	Deich, der nur oberstrom einen hochwasserfreien Geländeanschluss hat und von unterstrom landseitig bis zum Flusswasserstand am unteren Deichende eingestaut werden kann. Die natürliche Vorflut bleibt erhalten.
Polder	Polder	Zum Schutz gegen Überflutung eingedeichte Niederung.
Polderdeich		→ Binnendeich
Qualmdeich (Quelldeich)	return seepage dike	Landseitig eines Deiches angeordneter, meist kleinerer Deich, der zu Durchsickerung mit Wasseraustritten neigende Strecken umschließt.
Qualmwasser	return seepage	Auf der Binnenseite des Deiches (im Polder) austretendes Drängewasser.
Qualmpolder	return seepage polder	Vom Qualmdeich eingeschlossenes Gelände.
Quelldeich		→ Qualmdeich
Quellkade	temporary ring dike	Ringförmige behelfsmäßige (z. B. mit Sandsäcken) Eindeichung einer Wasseraustrittsstelle zur Verminderung des hydraulischen Gradienten.
Restrisiko	residual risk, remaining risk	Risiko, dass nach der Realisierung von Schutzmaßnahmen verbleibt.
Ringdeich	ring dike	Deich, der das zu schützende Gelände allseitig umgibt.
rückschreitende Erosion	retrogressive erosion, backward erosion, headward erosion, rear face erosion	Auf der Binnenseite beginnende und nach der Wasserseite fortschreitende Erosion.
Rückstaudeich	backwater dike	Deich im Mündungsbereich eines (Neben-)Flusses, der an den Deich des Hauptflusses (oder den Seedeich) anschließt und sich am (Neben-)Fluss soweit flussaufwärts erstreckt, dass Überschwemmungen durch Rückstau verhindert werden.
Rückwärtserosion		→ rückschreitende Erosion
Schaden(s)potenzial	damage potential, vulnerability	Möglicher bei einer Überflutung auftretender Wertverlust an Gebäuden, Infrastruktureinrichtungen und Flächen (abhängig von Siedlungsdichte, Nutzung und Einstautiefe) im betrachteten Gefahrengebiet.
Schardeich	dike direct along a waterway, direct levee	Deich, der unmittelbar am Flussufer liegt, der also kein Vorland hat. Der Deich liegt „schar“.
Schaudeich	inspected dike	Durch Rechtsvorschrift der staatlichen Aufsicht unterstellter Deich.
Schlafdeich	retired dike	Deich, der durch Vorverlegen der Hauptdeichlinie seine bisherige Aufgabe verloren hat, der aber als zweite Deichverteidigungslinie noch Bedeutung haben kann.
Schöpfwerk	pumping station	Hebeanlage zur Poldererntwässerung, die notwendig sein kann, wenn dem Polder ständig oder zeitweise (z. B. bei Hochwasser) Wasser zufließt und keine ausreichende Vorflut vorhanden ist.

Begriff	Englisch	Erklärung
Schotterrasen	rip-rap (rockfill) covered with grass, gravel lawn	Erosionsschutzschicht mit Schotterbefestigung und Rasenansaat.
Schutzgrad (Sicherheitsmaß)	degree of protection	Maß der bestehenden Sicherheit bezogen auf ein Ereignis mit einem bestimmten Wiederkehrintervall.
Schutzziel	protection objective	Maß der Sicherheit bezogen auf ein Ereignis mit einem bestimmten Wiederkehrintervall, die mit Schutzmaßnahmen erreicht werden soll.
Senkwalze	sinking fascine	Mit Draht oder Weidengeflecht rollenartig verbundene Steine, die z. B. zur Böschungsfußsicherung dienen können.
Setzpack	placed rockfill, stone packing	Erosionsschutzschicht aus (z. B. von Hand) gesetzten Steinen.
Sicherheitsmaß		→ Schutzgrad
Sickerlinie	phreatic line, line of saturation	(Grund-)Wasserspiegellinie des in den Deich eindringenden und diesen durchströmenden Außenwassers.
Sickernetz		→ hydrodynamisches Netz
Sickerprisma		→ Dränprisma
Sickerröhrenbildung	seepage	Durch Drängewasser verursachte Bildung von Fließwegen in einem Erdkörper, die zu innerer und später rückschreitender Erosion führen kann. Wurzeln, Leitungsquerungen, Gänge grabender Tiere und Bauwerksanschlüsse können als Initial wirken.
Sickerwasser	seep water	Im weiteren Sinne: das gesamte den Deich durchströmende Wasser (vgl. Drängewasser, Kuverwasser, Qualmwasser) im engeren Sinne: oberhalb der Sickerlinie den Deich druckfrei durchströmendes oder aus Niederschlag eindringendes Wasser.
Siel (Deichschleuse)	dike lock	Bauwerk in der Deichlinie zum Durchleiten eines oberirdischen Gewässers zum Vorfluter mit Verschlussvorrichtung für den Hochwasserfall.
Sommerdeich	summer dike	→ Teilschutzdeich
Sommerpolder (Überlaufpolder)	overflow polder	Durch einen Teilschutzdeich gebildeter Polder mit einem geringeren Schutzziel, der durch einen Überlaufdeich nur gegen kleinere und mittlere, aber entsprechend häufigen Hochwasser geschützt ist.
Speicherpolder (Flut(ungs)polder, Entlastungspolder, Taschenpolder)	storage polder	Polder, der bei extremem Hochwasser als Retentionsraum genutzt werden kann und dessen maximaler Wasserstand im Gegensatz zu Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss nur wenig über den Wasserstand im Hauptgewässer ansteigt. Die Füllung erfolgt entweder ungesteuert an Überlaufstrecken oder gesteuert durch Deichtore, seitliche Wehre mit Verschlüssen o. Ä. Die Entleerung erfolgt entweder ungesteuert (gedrosselt/ungedrosselt) oder gesteuert mit Verschlüssen.
Stauhaltungsdamm	dam	Die Stauhaltung einer Staustufe begrenzender Damm, der in der Regel ständig eingestaut ist.
Steinmatte	mattress	Mit Draht oder Weidengeflecht mattenartig verbundene Steine, die z. B. zur Sohlenbefestigung dienen können.
Steinschüttung	rockfill	Geschüttete und verdichtete natürliche oder gebrochene Steine zur Herstellung des Stützkörpers eines Deiches, Dammes, oder eines Planums usw.
Stromdeich		→ Flussdeich

Von der DWA lizenziert für ID: <e9027f32-77c9-11eb-8f0d-000c29c74a16>, IP 84.129.250.191, 26.10.2024 11:28

Begriff	Englisch	Erklärung
Strömungsdruck (hydrodynamischer Druck)	hydrodynamic pressure, flow pressure	Durch die Fließbewegung des Wassers auf angeströmte Körper ausgeübter Druck.
Strömungskraft (hydrodynamische Kraft)	hydrodynamic force, flow force	Durch die Fließbewegung des Wassers auf angeströmte Körper ausgeübte Kraft.
Stufenfilter	layered filter, graded filter	Filter mit schichtweisem Aufbau bei großem Körnungsunterschied zwischen feinem oberwasserseitigem und grobem unterwasserseitigem Material.
Stützkörper	(downstream) fill, supporting mass	Teil eines Dammes zur Einleitung der auf den Damm wirkenden Kräfte in den Untergrund.
Suffosion ¹⁾	internal erosion	Umlagerung und Transport der feinen Fraktionen eines ungleichförmigen Bodens im Porenraum des Korngerüsts der größeren Fraktionen durch die Strömung des Wassers. Die Folge ist eine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit und die Gefahr der inneren Erosion. ¹⁾ Schreibweise hier in Anlehnung an Erosion. Andere übliche Schreibweisen: Suffosion (von lat. suffodere = untergraben, unterwühlen, suffossus = unterwühlt, fossa = Graben) oder Suffusion (von lat. suffundere = hingießen, hinfließen)
Taschenpolder		→ Speicherpolder
Teilschutzdeich (Sommerdeich, Überlaufdeich)	overflow dike	Deich für geringere Schutzziele (z. B. für landwirtschaftlich genutzte Flächen), der nur kleinere und mittlere, aber entsprechend häufige Hochwasser kehrt.
Überlaufdeich		→ Überlaufstrecke → Teilschutzdeich
Überlaufpolder	overflow polder	→ Sommerpolder.
Überlaufstrecke (Überlaufdeich)	overflow section	Deichabschnitt mit abgesenkter Krone, der so ausgebildet ist, dass er ohne nachhaltige Schäden überströmt werden kann. Die landseitige Böschung und der Wechselsprungbereich müssen ebenfalls befestigt werden.
Überprofilierung	extra width, extra cross section, additional thickness	Wahl eines größeren als des statisch notwendigen Deichquerprofils (z. B. um Bepflanzung im statisch nicht wirksamen Querschnitt zu ermöglichen).
Viehtrift	cattle crossing	Für den Viehauftrieb quer zur Deichachse befestigter Bereich.
Volldeich		→ Hauptdeich
Vorland	flood plain, foreshore	Über dem Mittelwasserstand liegendes Gelände zwischen Gewässerbett und Deich oder Hochufer.
Wasserspiegel- sinkgeschwindigkeit	(water level) lowering rate, drawdown rate	Vertikal gemessene Geschwindigkeit des Wasserspiegels bei Absenkung.
Winterdeich		→ Hauptdeich
wirksamer Porenanteil	effective porosity	Entwässerbares Porenvolumen in porösen Medien.
Zone	zone	Bereich im Deichquerschnitt, der aus einheitlichem Erdstoff besteht.
Zonendamm (gegliederter Damm)	zoned dam, zoned embankment, compo- site earth dam	Deich, der im Querschnitt aus zwei oder mehreren großflächigen Bereichen unterschiedlicher Erdstoffe aufgebaut ist.

Anhang B Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
a. a. R. d. T.	Allgemein anerkannte Regeln der Technik
BauHW	Bauzeitlicher Bemessungshochwasserstand
BHW	Bemessungshochwasserstand
BS	Bemessungssituation
BS-A	außergewöhnliche Bemessungssituation
BS-E	Bemessungssituation aus Erdbebenbelastung
BS-P	Ständige Bemessungssituation
BS-T	Vorübergehende Bemessungssituation
Di	Dichtung
Dr	Dränkörper
DVW	Deichverteidigungsweg
FDVK	Flächendeckende Verdichtungskontrolle
GTD	Geosynthetische Tondichtungsbahn
GWM	Grundwassermessstelle
HGT	Hydraulisch gebundene Tragschicht
HOZ	Hochofenzement
HP	Hauptanschlussprofil
KDB	Kunststoffdichtungsbahn
MW	Mittelwasser
PMF	probable maximum flood
QSP	Qualitätssicherungsplan
St	Stützkörper
U	Untergrund
U'	Tieflyingender Untergrund
W	Untergrundabdichtung

Bundesrecht

BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege vom 29. Juli 2009, BGBl. I S. 2542. Stand: zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 6. Oktober 2011, BGBl. I S. 1986

Technische Regeln

DIN-Normen

DIN 1054 (Dezember 2010): Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

DIN EN 1997-1 (September 2009): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009

DIN EN 1997-1/NA: Dezember 2011): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln

DIN 4020 (Dezember 2010): Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2

DIN EN 1997-2 (Oktober 2010): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010

DIN EN 1997-2/NA (Dezember 2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds

DIN 1072 (Dezember 1985): Straßen- und Wegebrücken – Lastannahmen

DIN 1164-10 (August 2004): Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Normalzement mit besonderen Eigenschaften

DIN 1164-11 (November 2003): Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 11: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit verkürztem Erstarren

DIN 1164-12 (Juni 2005): Zement mit besonderen Eigenschaften – Teil 12: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen

DIN V 4019-100 (Vornorm April 1996): Baugrund – Setzungsberechnungen – Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten

DIN 4023 (Februar 2006): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen

DIN V 4034-1 (August 2004): Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle – Typ 1 und Typ 2 – Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität

DIN 4034-2 (Oktober 1990): Schächte aus Beton- und Stahlbetonfertigteilen; Schächte für Brunnen und Sickeranlagen; Maße, Technische Lieferbedingungen

DIN 4047-2 (November 1988): Landwirtschaftlicher Wasserbau; Begriffe; Hochwasserschutz, Küstenschutz, Schöpfwerke

DIN 4048-1 (Januar 1987): Wasserbau; Begriffe; Stauanlagen

DIN 4084 (Januar 2009): Baugrund; Geländebruchberechnungen

DIN 4093 (September 1987): Baugrund; Einpressen in den Untergrund; Planung, Ausführung, Prüfung

DIN 4094-1 (Juni 2002): Baugrund – Felduntersuchungen – Teil 1: Drucksondierungen

DIN 4094-2 (Mai 2003): Baugrund – Teil 2: Felduntersuchungen, Bohrlochrammsondierung

DIN 4094-4 (Januar 2002): Baugrund – Teil 4: Felduntersuchungen, Flügelscherversuche

DIN 4094-5 (Juni 2001): Baugrund – Teil 5: Felduntersuchungen, Bohrlochaufweitungsversuche

DIN 4095 (Juni 1990): Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung

DIN 4124 (Oktober 2002): Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten

DIN 8075 (August 1999): Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen

DIN 8075 (Norm-Entwurf Juni 2010): Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 80, PE 100 – Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen

DIN 18121-1 (April 1998): Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt – Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung

DIN 18121-2 (August 2001): Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte, Wassergehalt – Teil 2: Bestimmung durch Schnellverfahren

DIN 18121-2 (Norm-Entwurf August 2010): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt – Teil 2: Bestimmung durch Schnellverfahren

DIN 18122-1 (Juli 1997): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben, Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze

DIN 18122-2 (September 2000): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben, Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Teil 2: Bestimmung der Schrumpfgrenze

- DIN 18123 (April 2011): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korngrößenverteilung
- DIN 18124 (April 2011): Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Korndichte, Kapillarpyknometer, Weithalspyknometer, Gaspyknometer
- DIN 18125-1 (Juli 2010): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 1: Labor
- DIN 18125-2 (März 2011): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 2: Feldversuche
- DIN 18126 (November 1996): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung
- DIN 18127 (November 1997): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch
- DIN 18128 (Dezember 2002): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes
- DIN 18129 (November 1996): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung
- DIN 18129 (Norm-Entwurf Oktober 2010): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung
- DIN 18130-1 (Mai 1998): Baugrund; Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche
- DIN 18130-2 (Norm- Entwurf Oktober 2003): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes – Teil 2: Feldversuche
- DIN 18132 (Dezember 1995): Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte – Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens
- DIN 18134 (September 2001): Baugrund; Versuche und Versuchsgeräte, Plattendruckversuch
- DIN 18134 (Norm-Entwurf April 2010): Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch
- DIN 18135 (April 2011): Baugrund; Untersuchung von Bodenproben, Eindimensionaler Kompressionsversuch
- DIN 18135 (Norm-Entwurf April 2011): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Eindimensionaler Kompressionsversuch
- DIN 18136 (November 2003): Baugrund – Untersuchung von Bodenproben, Einaxialer Druckversuch
- DIN 18137-1 (Juli 2010): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit – Teil 1: Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen
- DIN 18137-2 (April 2011): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit – Teil 2: Triaxialversuch
- DIN 18137-3 (September 2002): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Scherfestigkeit – Teil 3: Direkter Scherversuch
- DIN 18196 (Mai 2011): Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- DIN 18300 (April 2010): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten
- DIN 18915 (August 2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten
- DIN 18916 (August 2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Pflanzen und Pflanzarbeiten
- DIN 18917 (August 2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Rasen und Saatarbeiten
- DIN 18918 (August 2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen – Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen, Bauweisen mit lebenden und nicht lebenden Stoffen und Bauteilen, kombinierte Bauweisen
- DIN 18919 (August 2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen
- DIN 18920 (August 2002): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen
- DIN 19657 (September 1973): Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen; Richtlinien
- DIN 19661-1 (Juli 1998): Wasserbauwerke – Teil 1: Kreuzungsbauwerke; Durchleitungs- und Mündungsbauwerke
- DIN 19661-2 (September 2000): Richtlinien für Wasserbauwerke – Sohlenbauwerke – Teil 2: Abstürze, Absturztrepfen, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Stützwälle, Grundschwelle, Sohlenschwelle
- DIN 19700-10 (Juli 2004): Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen
- DIN 19700-11 (Juli 2004): Stauanlagen Teil 11: Talsperren
- DIN 19700-12 (Juli 2004): Stauanlagen Teil 12: Hochwasserrückhaltbecken
- DIN 19700-13 (Juli 2004): Stauanlagen Teil 13: Staustufen
- DIN 19702 (Juni 2010): Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit
- DIN 19712 (November 1997): Flussschleusen
- DIN 19712 (Norm-Entwurf Februar 2011): Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern
- DIN EN 1610 (Oktober 1997): Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Deutsche Fassung EN 1610:1997
- DIN EN 1990/NA (Dezember 2010): Nationaler Anhang – festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- DIN EN 1990 (Dezember 2010): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002+A1:2005+A1:2005/AC:2010

- DIN EN 12715 (Oktober 2000): Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Injektionen; Deutsche Fassung EN 12715:2000
- DIN EN ISO 10318 (April 2006): Geokunststoffe – Begriffe (ISO 10318:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 10318:2006
- DIN EN ISO 14688-1 (Juni 2011): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2002); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2002
- DIN EN ISO 14689-1 (Juni 2011): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels – Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14689-1:2003); Deutsche Fassung EN ISO 14689-1:2003
- DIN EN ISO 22475-1 (Januar 2007): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung (ISO 22475-1:2006); Deutsche Fassung EN ISO 22475-1:2006
- DIN EN ISO 22476-2 (April 2005): Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 2: Rammsondierungen (ISO 22476-2:2005); Deutsche Fassung EN ISO 22476-2:2005
- DVWK-M 246 (1997): Freibordbemessung an Stauanlagen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 247 (1997): Bisam, Biber, Nutria – Erkennungsmerkmale und Lebensweisen – Gestaltung und Sicherung gefährdeter Ufer, Deiche und Dämme. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DWA-A 139 (Dezember 2009): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen
- DWA-A 400 (Januar 2008): Grundsätze für die Erarbeitung des DWA-Regelwerkes
- DWA-A 904 (Oktober 2005): Richtlinien für den ländlichen Wegebau
- DWA-M 149-2 (November 2006): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion
- DWA-M 149-3 (November 2007): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Zustandsklassifizierung und -bewertung
- DWA-M 149-4 (Juli 2008): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen mittels geophysikalischer Verfahren
- DWA-M 158 (März 2006): Bauwerke der Kanalisation – Beispiele

DWA-Regelwerk

- ATV-DVWK-A 127 (August 2000): Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. (Korrigierter Nachdruck: Stand August 2008)
- ATV-DVWK-A 157 (November 2000): Bauwerke der Kanalisation
- DVWK-R 108 (1992): Gestaltung und Nutzung von Baggerseen: Baggerseen durch Abgrabung im Grundwasserbereich. Regeln zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 202 (1991): Hochwasserrückhaltebecken. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 204 (1984): Ökologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern. Merkblätter zur Wasserwirtschaft (unveränderter Nachdruck 1991)
- DVWK-M 209 (1989): Wahl des Bemessungshochwassers – Entscheidungswege zur Festlegung des Schutz- und Sicherheitsgrades. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 215 (1990): Dichtungselemente im Wasserbau. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 220 (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK 221 (1992): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 226 (1993): Landschaftsökologische Gesichtspunkte bei Flussdeichen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft
- DVWK-M 244 (1997): Uferstreifen an Fließgewässern – Funktion, Gestaltung und Pflege. Merkblätter zur Wasserwirtschaft

Sonstige technische Regeln und Empfehlungen

- BAW MAK (1989): Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK). Merkblatt
- BAW EAO (Dezember 2002): Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen (EAO). Mitteilungsblatt 85
- BAW GBB (Mai 2004): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Mitteilungsblatt 87. Stand: September 2005
- BAW MAG (1993): Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG). Merkblatt
- BAW MAR (2008): Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherung an Wasserstraßen (MAR). Merkblatt
- BAW MAV (2008): Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen. Merkblatt
- BAW MSD (2005): Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). Merkblatt
- BWK-M1 (2009): Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern – Teil 1: Stationäre Berechnung der Wasserspiegellinie unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen. Merkblatt

- BWK-M6 (Dezember 2005): Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz. Merkblatt
- BWW et al. (1997): BWW, BRP, BUWAL: Empfehlungen: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft (CH), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (CH), Bundesamt für Raumplanung (CH). EDMZ, Bern
- EAG-Drän (in Vorbereitung.): Empfehlungen zur Anwendung von geosynthetischen Dränschichten. AK 5.1, DGGT e. V.
- EAG-GTD (2002): Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen (EAG-GTD). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- EAK (2002): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Küstenschutzbauwerke“ (EAK). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). Heft 65. Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- EAU (2004): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen, (EAU 2004). Hafentechnische Gesellschaft und Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT). 10. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- EBGEO (2010): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT). Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- EGLV (2008): Leitfaden zur Ermittlung der Scherfestigkeit von Waschbergen in Deichen im Zuständigkeitsbereich von Emschergenossenschaft und Lippeverband. Emschergenossenschaft, Essen (unveröffentlicht)
- FGSV 549 (2005): Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaues. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln (vgl. auch TLG (2003))
- FGSV 551 (2004): Merkblatt für Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln
- FGSV 516 (2003): Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln
- FGSV 591/B 11.5 (1991): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB), Teil B 11.5: Eignungsprüfung bei Bodenverbesserung und Bodenverfestigung mit Feinkalk und Kalkhydrat. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln
- FGSV 591/E 2 (1994): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB) – Teil E 2: Flächendeckende dynamische Prüfung der Verdichtung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln
- FGSV 591/E 3 (1994): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB) – Teil E 3: Prüfung der Verdichtung durch Probeverdichtung und Arbeitsanweisung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln
- GDA (1997): Geotechnik der Deponien und Altlasten. GDA-Empfehlungen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), Verlag Ernst und Sohn, Berlin.
Online unter: <www.ddgt.de>
- LAWA (1979): Leitlinien zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Stuttgart
- LAWA (1981): Grundzüge der Nutzen-Kosten-Untersuchungen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Bremen
- LAWA (2003): Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Auftrag der Umweltministerkonferenz
- LfU Baden-Württemberg (2004): Überströmbare Dämme und Dammscharten. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 90. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- LfU Baden-Württemberg (2005): Flussdeiche – Überwachung und Verteidigung. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 98. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- LfW Bayern (1979): Grundzüge der Gewässerpflege. Veröffentlichungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 10, München
- LfW Bayern (1990): Gehölze auf Deichen. Informationsbericht 5/89, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- LfW Bayern (2003): Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- LHW Sachsen-Anhalt (2005): Anleitung für den operativen Hochwasserschutz – Verteidigung von Flussdeichen. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)
- LTV Sachsen (1998): Handbuch zur Wasserwirtschaft 1/1998 – Leitfaden für die Hochwasserabwehr. Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
- LTV Sachsen (2003): Erstellung von Hochwasser-Schutzkonzepten. Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
- LUA Brandenburg (2003): Handbuch für die Hochwasserabwehr an Gewässern und Deichen im Land Brandenburg. Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.), Erstauflage Oktober 1995, Nachdruck 1998, aktualisierte Neuauflage
- LWA Nordrhein-Westfalen (1980): Fließgewässer – Richtlinie für naturnahen Ausbau und Unterhaltung. Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (2005): Hochwasservorsorge – Hinweise für die Wasserwehren
- RP Darmstadt (2006): Instruktion zur Deichverteidigung
- Sen BU Bremen (2003): Hochwasserschutz im Land Bremen. Der Senator für Bau und Umwelt, Freie Hansestadt Bremen
- StAWA Lüneburg (1989): Praktische Anleitung für die Deichverteidigung. 3., überarbeitete Auflage. Staatliches Amt für Wasser und Abfall Lüneburg, Lüneburg

- TAW (1999): Technical Report on Sand Boils (Piping). Technical Advisory Committee on Flood Defence, The Netherlands
- TLG (2003): Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen. EG-Notifizierung NR. 2003/059/D vom 19. Mai 2003 (vgl. auch FGSV 549)
- TMLNU Thüringen (2003): Anleitung für die Verteidigung von Flussdeichen, Stauhaltungsdämmen und kleinen Staudämmen. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
- UM Mecklenburg-Vorpommern (1999): Hochwasserschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Umweltministerium Mecklenburg-Vorpommern
- ZTV E-StB 09 (2009): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB 09). FGSV-Nr. 599. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (Hrsg.), Köln
- ZTV-W LB 205 (1992): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Erdarbeiten (Leistungsbereich 205). Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Binnenschifffahrt und Wasserstraßen (Hrsg.), Berlin
- BRAUNS, J. (1985): Erosionsverhalten geschichteten Bodens bei horizontaler Durchströmung. In: Wasserwirtschaft 75, Heft 10, S. 448–453
- BRAUNS, J.; SCHULZE, B. (1988): Wirkung von vertikalen Drainagebohrungen in durchströmten Hängen. Bautechnik 65, H. 11
- BRAUNS, J.; GOTTHEIL, K.-M. (1989): Wirkung eines Streifendröns bei Dämmen und Deichen. In: Wasserwirtschaft 79, Heft 7/8, S. 398–401
- BRAUNS, J.; RAJU, V. (1993): Bemessung von Sohldröns unter Staudämmen. In: Wasserwirtschaft 83, Heft 5, S. 286–290
- BRIECHLE, S. R. (2006): Die flächenhafte Ausbreitung der Flutwelle nach Versagen von Hochwasserschutzeinrichtungen an Fließgewässern. Dissertation, Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH), Aachen
- BUJA, H. O. (2001): Handbuch des Spezialtiefbaus, Geräte und Verfahren. 2. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf
- BUSCH, F.-K.; LUCKNER, L.; TIEMER, K. (1993): Geohydraulik. Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 3. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart
- CARSTENSEN, D. (2010): Eis im Wasserbau – Theorie, Erscheinungen, Bemessungsgrößen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 37
- CASAGRANDE, L. (1934): Näherungsverfahren zur Ermittlung der Sickerung in geschütteten Dämmen auf undurchlässiger Sohle. In: Bautechnik 12, Heft 15, S. 205–208
- COURIVAUD, J.-R.; FRY, J.-J. (2007): Dam Breaching – Case Studies. Assessment of the Risk of Internal Erosion of Water Retaining Structures: Dams, Dykes and Levees, Intermediate Report of the European Working Group of ICOLD, Contributions to the Symposium on 17-19 September 2007 in Freising (Germany). In: Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Talsperrenkomitee, Berichtsheft Nr. 114, S. 245–254

Literatur

- ANNEN, G.; STALMANN, V. (1968): Eignung von Nebengestein des Kohlebergbaus (Waschberge) zum Bau von Deichen und Dämmen. Vulkan-Verlag Dr. Claassen, Essen
- BAM (2008): DEISTRUKT – Geophysikalische Verfahren zur Strukturerkundung und Schwachstellenanalyse von Flussdeichen – ein Handbuch. Forschungsbericht 281. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
- BEZUIJEN, A.; KLEIN-BRETTELER, M.; BAKKER, K. J. (1987): Design Criteria for Placed Block Revetments and Granular Filters. 2nd Int. Conf. Coastal & Port Eng. In: Dev. Countries, Beijing
- BIEBERSTEIN, A.; BRAUNS, J. (2002): Technischer Hochwasserschutz – Erfordernisse aus geotechnischer Sicht. In: Geotechnik 25, Nr. 4, S. 239–248
- BIELITZ, E. (2000): Deichsicherung mit Rasen. In: Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 18, Technische Universität Dresden, S. 231–245
- BLOEMER, S.; EGELING, S.; SCHMITZ, U. (2007): Drei Deichbegrüpfungsmethoden im Vergleich: Sodenverpflanzung, Heudrusch®-Verfahren und Handelssaatgut im Hinblick auf Biodiversität, Natur- und Erosionsschutz. In: Mitteilungen 29 der Gesellschaft für Ingenieurbioogie e. V., Aachen, ISSN 1430–6506
- BOLLRICH, G. (2000): Technische Hydromechanik, Bd.1, Grundlagen. Verlag Bauwesen, Berlin
- BRAUNS, J. (1980): Spreizsicherheit von Böschungen auf geneigtem Gelände. In: Bauingenieur 55, S. 433–436
- DAHLER, R. (1936): Grundwasserströmung. Springer-Verlag, Wien
- DAHLKE, M.; KRÜGER, F.; PAPKE, R.; SCHWENTKE, S. (1999a): Sanierung und Ausbau der Oderdeiche. In: Wasser und Abfall, Heft 11, S. 22–26
- DAHLKE, M.; KRÜGER, F.; PAPKE, R.; SCHWENTKE, S. (1999b): Bautechnische Gestaltung und Ausführung der Oderdeiche. In: Wasser und Abfall, Heft 11, S. 27–32
- DAHLKE, M.; KRÜGER, F.; PAPKE, R.; SCHWENTKE, S. (1999c): Sofortmaßnahmen an Deichen. In: wwt, Heft 2, S. 54–57
- DAVIDENKOFF, R. (1964): Deiche und Erddämme; Sickerströmung – Standsicherheit. Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf
- DAVIDENKOFF, R. (1970): Unterläufigkeit von Stauwerken. Werner-Verlag, Düsseldorf
- DORNACK, S. (2001): Überströmbare Dämme – Beitrag zur Bemessung von Deckwerken aus Bruchsteinen. Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik, Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 20, Technische Universität Dresden, Dresden

- DÖSCHER, H.-D.; ARMBRUSTER, H. (1999): Die Standsicherheit von Flussdeichen und -dämmen unter Berücksichtigung der Vegetationsdecke. Flussdeiche und Flussdämme. Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e. V., S. 73–83, Pflug und Hacker (Hrsg.), Aachen
- DVWK 10 (1985): Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzwirkungen – Arbeitsmaterialien zum methodischen Vorgehen. DVWK-Mitteilungen, Heft 10. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hrsg.). Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- DVWK 26 (1976): Der Bisam und andere Wühltiere am Wasser. DVWK-Schriften, Heft 26. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hrsg.). Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- DVWK 76 (1986): Anwendung und Prüfung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau. DVWK-Schriften, Heft 76. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hrsg.). Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- DVWK 118 (1997): Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung. DVWK-Schriften, Heft 118. Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DWA-Themen (2005): Dichtungssysteme in Deichen. DWA-Themen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef
- ERB, C. (1965): Die Sickerströmungen in Erdstaudämmen geringer Höhe. Dissertation, Fakultät für Bauwesen, Technische Hochschule Hannover
- FELL, R.; FRY, J.-J. (2007): The state of the art of assessing the likelihood of internal erosion of embankment dams, water retaining structures and the foundations. In: Internal Erosion of Dams and their Foundations, Fell & Fry (editors), Taylor & Francis Group, London, p. 1–23
- FELL, R.; FOSTER, M. A.; WAN, C. F. (2007a): A framework for assessing the likelihood of internal erosion and piping of embankment dams and their foundations. In: Internal Erosion of Dams and their Foundations, Fell & Fry (editors), Taylor & Francis Group, London, p. 65–70
- FELL, R.; WAN, C. F.; FOSTER, M. A. (2007b): Assessment of the likelihood of initiation of erosion in embankment dams. In: Internal Erosion of Dams and their Foundations, Fell & Fry (editors), Taylor & Francis Group, London, p. 71–102
- FLOSS, R. (2011): Handbuch ZTV E-StB 09, Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau. Kirschbaum Verlag, Bonn
- FOSTER, M. A. (1999): The Probability of Failure of Embankment Dams by Internal Erosion and Piping. PhD Thesis, School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Australia
- FOSTER, M. A.; FELL, R. (1999): A Framework for Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams by Internal Erosion and Piping Using Event Tree Methods. UNICIV Report No. R-377, The University of New South Wales, Sydney
- FOSTER, M. A. (2007): Application of no, excessive and continuing erosion criteria to existing dams. In: Internal Erosion of Dams and their Foundations, Fell & Fry (editors), Taylor & Francis Group, London, p. 103–114
- FRY, J. J. (2009): Internal Erosion: the main ageing phenomena of hydraulic structures. Long Term Behaviour of Dams (LTBD09), Technical University Graz, Austria, 12th–13th October 2009, p. 51–56
- HAIMERL, G.; KETTLER-HARDI, S. (2006): Leitfaden für nachhaltige Vorlandbewirtschaftung. Bericht zum Projekt SUMAD (Sustainable Use and Management of Alluvial Plains in Diked River Areas)
- HANSES, U. (1985): Zur Mechanik der Entwicklung von Erosionskanälen in geschichtetem Untergrund unter Stauanlagen. Grundbauinstitut der Technischen Universität München, Berlin
- HASELSTEINER, R. (2006): Deichertüchtigung in Bayern – Eine Übersicht. In: 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
- HASELSTEINER, R. (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung. Dissertation. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Mitteilungsheft Nr. 111, Technische Universität München
- HASELSTEINER, R.; METT, M.; STROBL, Th. (2007a): Verwendung von Geokunststoffen zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Deichen und der Einfluss von Innendichtungen bei Überströmung. Forschungsbericht des Lehrstuhls für Wasserbau, Technische Universität München (unveröffentlicht)
- HASELSTEINER, R.; METT, M.; STROBL, Th. (2007b): Überströmungssicherung von Deichen mit Geokunststoffen. 5. Naue-Geokunststoffkolloquium, 25./26.01.2007, Bad Lauterberg
- HEERTEN, G. (2007): Geokunststoffe im Deichbau. DWA-Fachtagung: Flussdeiche – Bemessung, Dichtungssysteme und Unterhaltung, 23./24. Mai 2007, Fulda
- HEERTEN, G.; SAATHOFF, F. (2005): Sanierung und Ertüchtigung von Deichen unter Einsatz von Geokunststoffen, 5. Österreichische Geotechniktagung, 21. bis 22. Februar 2005, Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein (ÖIAV), Österreichisches Nationalkomitee (im ÖIAV) der International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), Wien
- HEERTEN, G.; SAATHOFF, F.; WERTH, K. (2003): Neue Erkenntnisse zu Dichtungszonen in Deichen. Tagungsbeitrag. Kongress der Hafentechnischen Vereinigung HTG e. V., Stuttgart
- HEERTEN, G.; WERTH, K. (2006): Anwendung von Geokunststoffen bei der Deichertüchtigung. Tagungsband zur Fachtagung „Deichertüchtigung und Deichverteidigung in Bayern“, Berichte des Lehrstuhls der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Band Nr. 107, 13./14. Juli 2006, Wallgau
- HERRMANN, R. A.; JENSEN, J. (2003): Sicherung von Dämmen und Deichen: Handbuch für Theorie und Praxis, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi, Siegen

- HEYER, D. (2007): Einführung in das DWA-Thema „Dichtungssysteme in Deichen“ – Einwirkungen auf und Anforderungen an Dichtungen in Deichen. DWA-Fachtagung: Flusssdeiche – Bemessung, Dichtungssysteme und Unterhaltung, 23./24. Mai 2007, Fulda
- HUBER, N. P. (2008): Probabilistische Modellierung von Versagensprozessen bei Staudämmen. Dissertation, Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH), Aachen
- IWD (2000): Belastung, Stabilisierung und Befestigung von Sohlen und Böschungen wasserbaulicher Anlagen. Wasserbaukolloquium 2000, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik, Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 18, Technische Universität Dresden, Dresden
- KÄRCHER, K.; GOTTHEIL, K.-M.; KLAIBER, D.; SANTO, J. (1997): Zur Standsicherheit, Auftriebsicherheit und Erosionsstabilität von Flusssdeichen. In: Geotechnik 20, Heft 4, S. 276–28
- KÄRCHER, K.; SANTO, J.; GOTTHEIL, K.-M.; WEINACHT, U.; NEHER, M.; EBLE, I. (2001) : Parameterstudie zur Größe der Wasserdrücke unter Deichen bei Hochwässern. In: Geotechnik 24, S. 201–205
- KAST, K. (1985): Spreizsicherheit von Böschungen bei geneigtem Gelände und Durchströmung. In: Bauingenieur 60, S. 519–522
- KAST, K.; BRAUNS, J. (2003): Auswirkungen des Bergbaus auf die Hochwasserschutzanlagen am Niederrhein. In: Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement, Ernst & Sohn Special 02/03, S. 34–40
- KENNEY, T. C.; LAU, D. (1985): Internal stability of granular filters. In: Canadian Geotechnical Journal, 22, p. 215–225
- KENNEY, T. C.; LAU, D. (1986): Internal stability of granular filters: Reply. In: Canadian Geotechnical Journal, 23, p. 420–423
- KERTSCHER, H. (1988): Wasserdurchlässigkeit bindiger Böden bei Kalkstabilisierung. Mitteilungen des Leichtweiss-Instituts für Wasserbau, TU Braunschweig, Heft 101
- KUTZNER, C. (1991): Injektionen im Baugrund. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- LING, U.; ZIOR, F.; ZWACH, W. (1997): Hochwasserschutz in Hessen – Sanierung der Winterdeiche an Rhein und Main. In: Wasserwirtschaft 87, Heft 4, S.184–188
- LOBNIK, F.; ROLFF, B. (1994): Sanierung des hessischen Rhein-Winterdeiches. In: Wasserwirtschaft 84, Heft 2, S. 68–71
- MIESEL, D. (1978): Untersuchungen zum Problem von Erosionskanälen in geschichtetem Untergrund unter Stauanlagen. Veröffentlichungen des Grundbauinstituts der Technischen Universität Berlin
- MOSONYI, E.; BUCK, W. (1976): Die Auswahl des Bemessungshochwassers. In: Wasserwirtschaft 66, S. 75–77
- MÜLLER-KIRCHENBAUER, H. (1978): Zum zeitlichen Verlauf der rückschreitenden Erosion als Ursache des hydraulischen Grundbruchs in Böden mit inhomogener Schichtfolge. Veröffentlichungen des Grundbauinstituts der Technischen Universität Berlin, Berlin
- MÜLLER-KIRCHENBAUER, H.; RANKL, M.; SCHLÖTZER, C. (1993): Mechanism for regressive erosion beneath dams and barrages. In: Brauns, J.; Heibaum, M.; Schuler, U. (eds.): Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering. p. 369–376, Balkema, Rotterdam
- MÜLLER-KIRCHENBAUER, H.; MÜLLER, M.; SCHLÖTZER, C. (2000): Neuere Erkenntnisse zur Mechanik der rückschreitenden Erosion. Bauen in Boden und Fels. Technische Akademie Esslingen
- NAUDAUSCHER, E. (1992): Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke. Springer Verlag, Wien
- NIEMEYER, M. (2007): Einfluss der Breschenbildung auf die Flutwellenausbreitung bei Damm- und Deichbrüchen. Dissertation, Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH), Aachen
- OHDE, J. (1956): Grundbaumechanik. Hütte Bd. III, Bautechnik, 28. Auflage, S. 927 ff., Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- PATT, H. (2001): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Springer-Verlag, Heidelberg
- PERZLMAIER, S.; HASELSTEINER, R. (2006): Die prozessorientierte Beurteilung der hydrodynamischen Bodendeformation. In: Geotechnik 29, Heft 4, S. 335–348
- POHL, R. (2000): Aspekte der Standsicherheit von Deichen mit inhomogenem Aufbau. In: Wasser und Abfall, Heft 11, S. 52–57
- POHL, R. (2001): Neue Aspekte der Freibordbemessung an Stauanlagen. In: Wasser und Abfall, Heft 9, S. 50–56
- POWELEIT, A. (1985): Bemessung des Freibords im Erddamm-bau. In: Wasserwirtschaft 75, Heft 10, S. 434–439
- POWELEIT, A. (1988): Verfahren zur Berechnung der dreidimensionalen Zuströmung zu Filterrohren in Dränschichten. Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe, Band 113
- QUEIßER, J. (2006): Entwicklung landschaftsverträglicher Bauweisen für überströmbare Dämme. Mitteilungen des Institutes für Wasser und Gewässerentwicklung, Heft 233 – Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik – Universität Karlsruhe (TH)
- RATHGEB, A. (2001): Hydrodynamische Bemessungsgrundlagen für Lockerdeckwerke an überströmbaren Erddämmen. Dissertation, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart
- REHFELD, E. (1967): Die Erosionsbeständigkeit bindiger Lockergesteine. In: Wiss. Zeitschrift der TU Dresden, 5/67, S. 1431–1437
- SAATHOFF, F.; WERTH, K. (2003): Geokunststoffe in Dämmen und Deichen. In: Sicherung von Dämmen und Deichen, Handbuch für Theorie und Praxis, S. 221–237. Hermann und Jensen (Hrsg.), Universitätsverlag Siegen, Siegen
- SAATHOFF, F.; ZITSCHER, F.-F. (2001): Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau. In: Baugrundtaschenbuch – Teil 2. Smolczyk (Hrsg.), 6. Aufl., Ernst & Sohn Verlag, Berlin
- SAUCKE, U. (2004): Bewertung der Erosionsanfälligkeit strukturierter körniger Sedimente. Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana Karlsruhe, Band 162

- SAUCKE, U. (2006): Nachweis der Sicherheit gegen innere Erosion für körnige Erdstoffe. *Geotechnik* 29, Nr. 1
- SCHAEF, H.-J. (1995): Örtliche Standsicherheit (Suffosion und Erosion) bei Sickerwasserströmungen; Erläuterungen zum Bodenmechanischen Arbeitsblatt 4.4 der ehemaligen Obersten Bergbehörde Leipzig. Institut für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg
- SCHUEERMANN, A. (2005): Instationäre Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche. *Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana Karlsruhe*, Band 164
- 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
- SCHULER, U.; BRAUNS, J. (1993): Behaviour of Coarse and Well-Graded Filters. In: Brauns, J., Heibaum, M., Schuler, U. (eds.): *Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering*. Balkema, Rotterdam, p. 3–17
- SCHULER, U. (1995): How to deal with the Problem of Suffosion. *Bull. SNCLD, Crans-Montana*
- SHERARD, J. L.; DUNNIGAN, L. P.; TALBOT, J. R. (1984a): Basic Properties of Sand and Gravel Filters. In: *ASCE Journal of Geotechnical Eng.*, 110, 6, p. 684–700
- SHERARD, J. L.; DUNNIGAN, L. P.; TALBOT, J. R. (1984b): Filters for silts and clays. In: *ASCE Journal of Geotechnical Eng.*, 110, 6, p. 701–718
- SONDERMANN, W.; PANDERA, P. (2003): Ertüchtigung von Deichbauwerken zum Schutz wassernaher Flächen. In: *Bauen im Grundwasser – Beiträge zum 2. Geotechnik-Tag in München*, Schriftenreihe Zentrum Geotechnik, Heft 35, S. 43–63, Technische Universität München
- TERZAGHI, K.; PECK, R. (1948): *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley and Sons Inc., New York
- TOPOLNICKI, M. (2003): Herstellung von Dichtwänden in alten Deichen in Polen mit dem Verfahren der tiefen Bodenvermörtelung (DMM). *Bemessungsanalysen und Ausführungsbeispiele*. Fachaufsatz S. 32–51 D, Keller Grundbau GmbH
- TÖNNIS, B.; GIROD, K.; PAPKE, R. (2002): Sanierung der Oderdeiche im Bereich Bad Freienwalde. In: *Wasserwirtschaft* 92, Heft 10, S. 38–43
- WAN, C. F.; FELL, R. (2004): *Experimental Investigation of Internal Instability of Soils in Embankment Dams and their Foundation*. UNICIV Report No. R-429, October 2004. ISBN 85841 196 5, The University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia
- WAN, C. F. (2007): Investigation of internal erosion by the process of suffusion in embankment dams and their foundations. In: *Internal Erosion of Dams and their Foundations*, Fell & Fry (eds.), Taylor & Francis Group, London, p. 219–234
- WEIJERS, J. B. A.; SELMEIJER, J. B. (1993): A new model to deal with the piping mechanism. In: Brauns, J.; Heibaum, M.; Schuler, U. (eds.): *Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering*. p. 349–355, Balkema, Rotterdam
- WINSKI, A. (2006): Untersuchungen zur Durchwurzelung von Deichen an Rhein-Hochwasserdämmen. *Untersuchungsbericht im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg*, (unveröffentlicht)
- WITT, K. J. (1986): Filtrationsverhalten und Bemessung von Erdstoff-Filtern. *Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana Karlsruhe*, Band 104
- WITTMANN, L. (1980): Filtrations- und Transportphänomene in porösen Medien. *Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana Karlsruhe*, Band 86
- ZIEMS, J. (1967): Neue Erkenntnisse hinsichtlich der Verformbeständigkeit der Lockergesteine gegenüber Wirkungen des Sickerwassers. In: *Wasserwirtschaft – Wassertechnik* 17, Heft 2, S. 50–55
- ZIEMS, J. (1969): Beitrag zur Kontakterosion nichtbindiger Erdstoffe. Technische Universität Dresden, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen, Dissertation, Dresden
- ZWACH, W.; KUTZNER, A. (2003): *Hochwasserschutz in Hessen – Sofortprogramm Deichsicherheit (SDS). Sicherung von Dämmen und Deichen: Handbuch für Theorie und Praxis*, S. 423–441, Hermann und Jensen (Hrsg.), Universitätsverlag Siegen – universi, Siegen

Bezugsquellen

DWA-Publikationen:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
<www.dwa.de>

DIN-Normen:

Beuth Verlag GmbH, Berlin
<www.beuth.de>

BAW-Merkblätter

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe
<www.baw.de>

BWK-Merkblätter

Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. (Hrsg.), Sindelfingen
www.bwk-bund.de
Vertrieb: <www.baufachinformation.de>

Im Rahmen der Hochwasserschutz-Strategien der Bundesländer sind Hochwasserschutzdeiche ein wesentliches Element des sogenannten Technischen Hochwasserschutzes. Die Erfahrungen bei Hochwasserereignissen der vergangenen Jahre in Deutschland, nachgeschaltete Untersuchungskampagnen bzw. Bestandsbewertungen von Deichstrecken sowie der hieraus abgeleitete Aufwand haben verdeutlicht, dass umfangreiche Maßnahmen zur Ertüchtigung und zum Neubau von Deichen an Fließgewässern erforderlich sind.

Vor diesem Hintergrund wurde das Merkblatt DVWK-M 210 „Flussdeiche“ aus dem Jahre 1986 überarbeitet und ergänzt, um den zwischenzeitlich erreichten Stand der Technik zu dokumentieren und zusammenzufassen. Der Anwendungsbereich des Merkblattes wurde von „Flussdeiche“ auf „Deiche an Fließgewässern“ erweitert, weshalb eine Klassifizierung von Deichen nach Höhe und Schadenspotenzial eingeführt wurde, die bei verschiedenen Aspekten der ingenieurtechnischen Bemessung dieser Erdbauwerke von Bedeutung ist. Dargelegt werden die erforderlichen hydraulischen Bemessungsgrundlagen und Nachweise sowie das geotechnische Bemessungskonzept. Ebenfalls in das Nachweiskapitel integriert wurde das Konzept zur Bewertung der Erosionssicherheit von Deich und Untergrund. Ein weiterer Schwerpunkt wurde auf bauliche Anlagen im Deichbereich gelegt. In diesem Zusammenhang werden Hinweise zu Leitungsführungen und Lastannahmen gegeben. Da zukünftig große Anstrengungen zur Ertüchtigung bestehender Deichstrecken erforderlich sein werden, wurde diesem Aspekt ein eigener Abschnitt gewidmet. Ferner werden Hinweise zur Deichunterhaltung, Deichüberwachung sowie zur Deichverteidigung gegeben.

Das Merkblatt soll Fachleuten in Behörden, in Ingenieurbüros und Baufirmen, die mit Planung, Bau und Unterhaltung von Hochwasserschutzdeichen befasst sind, konkrete Hinweise sowie Nachweiskonzepte bzw. Bemessungsansätze liefern, um die Anforderungen, die an diese Erdbauwerke zu stellen sind, erfüllen zu können.

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe WW-4.3 „Deiche an Fließgewässern“ des DWA-Fachausschusses WW-4 „Talsperren und Flusssperren“, einem gemeinsamen Fachausschuss mit der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) sowie dem Deutschen TalsperrenKomitee (DTK), erarbeitet.



ISBN 978-3-941897-76-2

Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de