

BAWMerkblatt

Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)

Ausgabe 2025

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0

info@baw.de
www.baw.de

Copyright: Creative Commons BY-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Geltungsbereich und Zweck	1
2	Formelzeichen und Abkürzungen	1
2.1	Formelzeichen	1
2.2	Abkürzungen	2
3	Dammarten und Bauweisen	3
3.1	Allgemeines	3
3.2	Dammgeometrie	5
3.3	Dammaufbau	6
3.3.1	Allgemeines	6
3.3.2	Dämme ohne Dichtungselemente	6
3.3.3	Dämme mit Dichtungselementen	6
3.3.4	Dämme mit Dränsystemen	7
4	Sicherheitskonzept	8
5	Einwirkungen	9
5.1	Allgemeines	9
5.2	Ständige Einwirkungen	9
5.3	Veränderliche Einwirkungen	9
5.3.1	Allgemeines	9
5.3.2	Verkehrslasten	9
5.3.3	Wasserstände	10
5.4	Außergewöhnliche Einwirkungen	11
5.4.1	Allgemeines	11
5.4.2	Ausfall von hydraulischen Sicherungselementen	11
5.4.3	Windwurf von Bäumen	12
5.4.4	Außergewöhnliche Hochwasserereignisse	12
5.4.5	Schiffsanprall	13
5.4.6	Ausfall Hochwassersperrtor	13
6	Widerstände	14
6.1	Allgemeines	14
6.2	Geotechnische Kenngrößen	14
6.3	Kapillarkohäsion	14
6.4	Durchwurzelungskohäsion	14
7	Bemessungssituationen	15
7.1	Allgemeines	15
7.2	Ständige Bemessungssituation (BS-P)	15
7.3	Vorübergehende Bemessungssituation (BS-T)	15
7.4	Außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A)	16
7.5	Bemessungssituation bei Erdbeben (BS-E)	16
8	Dammdurchströmung	18
8.1	Allgemeines	18
8.2	Ständige Bemessungssituation	18

8.3	Vorübergehende Bemessungssituation	19
8.4	Außergewöhnliche Bemessungssituation	20
8.5	Berechnung der Dammdurchströmung	20
9	Standsicherheitsnachweise	22
9.1	Allgemeines	22
9.2	Landseite	23
9.2.1	Gesamtstandsicherheit der Böschung	23
9.2.2	Lokale Standsicherheit der Böschung	25
9.2.3	Sicherheit gegen Aufschwimmen einer Bodenschicht	25
9.2.4	Sicherheit gegen Hydraulischen Grundbruch	26
9.2.5	Sicherheit gegen Gleiten am Dammfuß (Spreizen)	27
9.2.6	Sicherheit gegen Gleiten	28
9.3	Wasserseite	28
9.3.1	Gesamtstandsicherheit der Böschung	28
9.3.2	Lokale Standsicherheit der Böschung	31
9.4	Sicherheit gegen Materialtransport	31
10	Nachweis ausreichender Kronenhöhe	32
11	Dämme im Bereich von Bauwerken	32
11.1	Allgemeines	32
11.2	Nachweis gegen Fugenerosion	33
11.2.1	Nachweisführung	33
11.2.2	Berechnung der Dammdurchströmung im Bauwerksbereich	34
11.3	Berücksichtigung der Dammdurchströmung beim statischen Nachweis von Bauwerken in Dämmen	37
12	Damminspektion	37
13	Bewuchs auf Dämmen	38
13.1	Grundlagen	38
13.1.1	Bewuchstypen	38
13.1.2	Wirkung der Bewuchstypen	38
13.1.3	Durchwurzelung von Oberflächendichtungen	39
13.2	Bewuchs im Regelfall	40
13.3	Gehölzbewuchs im Ausnahmefall	41
13.3.1	Grundlagen	41
13.3.2	Vorgehensweise	42
13.4	Zoneneinteilung für zulässigen Dammbewuchs	45
14	Literatur/Regelwerke	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Regelquerschnitte für Binnenschifffahrtskanäle nach RiReBSK (2011)	5
Abbildung 2:	Dammquerschnitt mit Dammelementen	6
Abbildung 3:	Beispiele für einen Damm mit vollkommener (a und b) und unvollkommener Dichtung (c)	7
Abbildung 4:	Auswirkungen von außenliegenden (b) und innenliegenden (c) Dränsystemen auf die Sickerlinie im Vergleich zum homogenen Damm (a)	8
Abbildung 5:	Typische Situation für die Möglichkeit des Aufschwimmens einer Bodenschicht	26
Abbildung 6:	Typische Situation für die Möglichkeit eines hydraulischen Grundbruchs im Bereich des Seitengrabens	27
Abbildung 7:	Anzusetzende Wasserstände für den Fall Wasserspiegelabsink infolge Schiffspassage für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Böschung (oben: ohne Dichtung, unten: mit Innendichtung)	29
Abbildung 8:	Anzusetzende Wasserstände für den Fall Wasserspiegelabsink infolge ablaufenden Hochwassers für $\kappa < 100$ für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Böschung	30
Abbildung 9:	Wurzelbrut	41
Abbildung 10:	Ermittlung des Dammbereichs mit zulässigem Gehölzbewuchs auf der Landseite (strichpunktierte Linie) bei Dämmen ohne Dichtung (a), mit durchwurzelungssicherer Innendichtung (b) und mit überströmter Uferwand (c)	43
Abbildung 11:	Ermittlung des Dammbereichs mit zulässigem Gehölzbewuchs (strichpunktiert) bei Dämmen mit dichtem Gewässerbett und Oberflächendichtung auf dem Schrägufer (d) und nicht überströmter Uferwand (e)	44
Abbildung 12:	Reduzierter Berechnungsquerschnitt für die statische Bemessung einer innenliegenden, durchwurzelungssicheren Wand zur Berücksichtigung von Wurzelkratern durch Windwurf von Bäumen landseitig der Wand	44
Abbildung 13:	Zoneneinteilung für den zulässigen Dammbewuchs am Beispiel eines ungedichteten Dammes mit Schrägufer	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Hydraulische Beanspruchung von Dämmen an unterschiedlichen Arten von Bundeswasserstraßen (HW: Wasserstand bei Hochwasserabfluss)	4
Tabelle 2:	Kenngrößen für die Bestimmung charakteristischer Hochwasserstände für hochwasserbelastete Dämme	10
Tabelle 3:	Kenngrößen für die Bestimmung des außergewöhnlichen Hochwasserstands für hochwasserbelastete Dämme	13
Tabelle 4:	Einwirkungen und Zuordnung zu Bemessungssituationen für nicht hochwasserbelastete Kanalseitendämme (mögliches Anwendungsbeispiel)	23
Tabelle 5:	Einwirkungen und Bemessungssituationen für Stauhaltungsdämme und hochwasserbelastete Kanalseitendämme (mögliches Anwendungsbeispiel)	24
Tabelle 6:	Randbedingungen unter denen der Nachweis gegen Spreizen am Böschungsfuß nicht geführt werden muss	27
Tabelle 7:	Beispiele zur Beurteilung der Gefahr einer Hohlraumbildung bei Bauwerken in Dämmen	34
Tabelle 8:	Zoneneinteilung für zulässigen Bewuchs auf Dämmen	45

Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Hinweise zur Beurteilung von Dichtungselementen	50
Anlage 2:	Hinweise zum Ansatz einer Ersatzdurchlässigkeit von Spundwänden in Durchströmungsberechnungen	52
Anlage 3:	Hinweise zur Dimensionierung und Ausführung von Dränsystemen	54
Anlage 4:	Hinweise zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung	56
Anlage 5:	Berücksichtigung von offenen Fugen in der Strömungsberechnung	63
Anlage 6:	Ablauf des Nachweises für Dämme im Bereich von Unterführungsbauwerken	65
Anlage 7:	Beispiel zu Dämme im Bereich von Bauwerken	66
Anlage 8:	Gehölzliste	73
Anlage 9:	Glossar	76

1 Geltungsbereich und Zweck

Dieses Merkblatt gilt für ständig wasserbelastete Dämme an Bundeswasserstraßen (Kanalseitendämme und Flussseitendämme). Die Regelungen des Merkblattes dürfen auch auf Flussdeiche, die nur bei Hochwasser belastet werden und sich im Zuständigkeitsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes befinden, angewandt werden. Nachfolgend wird jedoch ausschließlich der Begriff Damm verwendet.

Das Merkblatt regelt das Vorgehen bei der Standsicherheitsuntersuchung von Dämmen, insbesondere unter Berücksichtigung der Dammdurchströmung. Behandelt werden dabei auch der Einfluss von Bauwerken in Dämmen und der zulässige Bewuchs. Es ergänzt die einschlägigen DIN-Normen und sonstigen allgemeinen technischen Regelwerke in der jeweils aktuell gültigen Fassung.

Das MSD regelt nicht die Standsicherheitsuntersuchung von Uferwänden.

2 Formelzeichen und Abkürzungen

2.1 Formelzeichen

Formelzeichen	Benennung	Einheit	Abschnitt
a_g	Bemessungsbodenbeschleunigung	m/s^2	7.5
a_{gR}	Spitzenbodenbeschleunigung	m/s^2	7.5
a_H	Horizontale Baugrundbeschleunigung	m/s^2	7.5
$c_{c,k}$	Charakteristischer Wert der Kapillarkohäsion	kN/m^2	6.3
$c_{w,k}$	Charakteristischer Wert der Wurzelkohäsion	kN/m^2	6.4
d_{50}	Korndurchmesser bei 50 % Siebdurchgang	mm	6.3
d_{85}	Korndurchmesser bei 85 % Siebdurchgang	mm	6.3
i_z	Vertikal nach oben gerichteter hydraulischer Gradient	-	9.2.4
k	Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	8, 9.3.1.2
n	Anzahl der verfügbaren Wehrfelder	-	5.3.3, 5.4.4
n_e	Effektive Porosität	-	9.3.1.2
v_{AB}	Absinkgeschwindigkeit des Wasserstands im Gewässer	m/s	9.3.1.2
β	Böschungswinkel	°	9.2.2
φ'_d	Bemessungswert des wirksamen Reibungswinkels des Bodens	°	9.2.2
φ'_k	Charakteristischer Wert des wirksamen Reibungswinkels des Bodens	°	9.2.2
γ_w	Wichte des Wassers	kN/m^3	9.2.4

Formelzeichen	Benennung	Einheit	Abschnitt
γ'_B	Wichte des Bodens unter Auftrieb	kN/m ³	9.2.4
γ_φ	Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungsbeiwert $\tan \varphi$	-	9.2.2
$\gamma_{G,dst}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige destabilisierende Einwirkung	-	9.2.3
$\gamma_{G,stab}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige stabilisierende Einwirkung	-	9.2.3, 9.2.4
γ_H	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung aus Strömungskraft	-	9.2.4
κ	Verhältniszahl	-	9.3.1.2
$G_{stab,k}$	Charakteristischer Wert der ständigen stabilisierenden vertikalen Einwirkungen		9.2.3
$G'_{stab,k}$	Charakteristischer Wert der ständigen stabilisierenden vertikalen Einwirkungen (mit der Wichte unter Auftrieb)		9.2.4
$G_{stab,d}$	Bemessungswert der ständigen stabilisierenden vertikalen Einwirkungen		9.2.3, 9.2.4
$G_{dst,d}$	Bemessungswert der ständigen destabilisierenden Einwirkungen		9.2.3
$S_{dst,d}$	Bemessungswert der destabilisierenden Strömungskraft im Boden		9.2.4
S	Bodenparameter zur Berücksichtigung der Untergrundkombination nach Tabelle NA.2 DIN EN 1998-1/NA		7.5
$S_{aP,R}$	Spektralbeschleunigung	m/s ²	7.5
Z_s	Stauziel nach DIN 19700-13	m+NHN	7.5

2.2 Abkürzungen

BHQ ₁	Bemessungshochwasserzufluss 1 nach DIN 19700-13
BHQ ₂	Bemessungshochwasserzufluss 2 nach DIN 19700-13
BS-P	Ständige (p ersistent) Bemessungssituation
BS-T	Vorübergehende (t ransient) Bemessungssituation
BS-A	Außergewöhnliche (a ccidental) Bemessungssituation
BS-E	Bemessungssituation bei Erdbeben (e arthquake)
BW ₀	Oberer Betriebswasserstand
GEO-2	Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund

GEO-3	Grenzzustand des Versagens oder sehr großer Verformungen des Baugrunds, bei dessen Nachweis die charakteristischen Werte der Scherparameter mit Teilsicherheitsbeiwerten reduziert und mit den Bemessungswerten der Scherparameter die Einwirkungen und Widerstände des Baugrunds ermittelt werden.
UPL	Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit des Bauwerks oder Baugrunds infolge Aufschwimmens (Auftrieb) oder anderer vertikaler Einwirkungen (uplift)
HYD	Grenzzustand des Versagens verursacht durch Strömungsgradienten im Boden, z. B. hydraulischer Grundbruch, innere Erosion und Piping (hydraulic failure)
H_k	Charakteristischer Wasserstand
HQ_x	Maßgebender Hochwasserzufluss bei einem teilregelnden Wehr
HW_k	Charakteristischer Hochwasserstand
HW_a	Außergewöhnlicher Hochwasserstand
$HW (BHQ_1)$	Hochwasserstand beim Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1

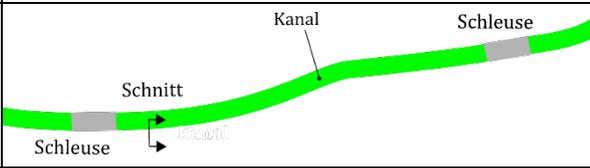
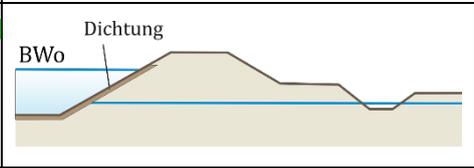
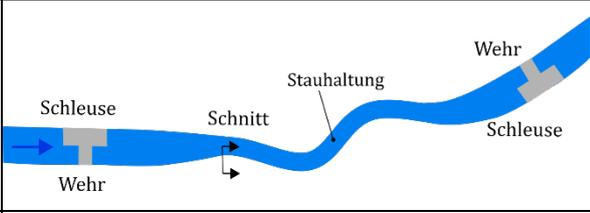
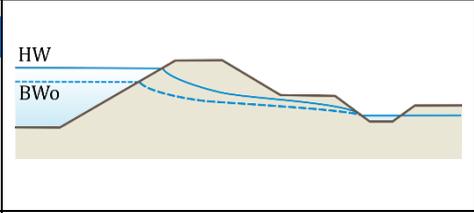
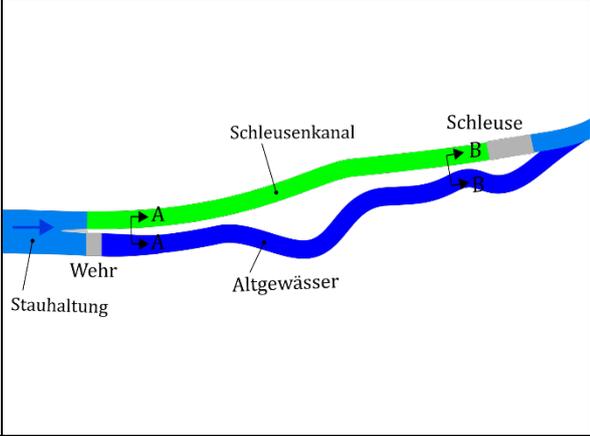
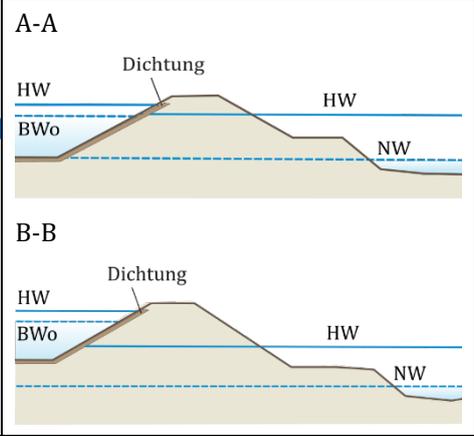
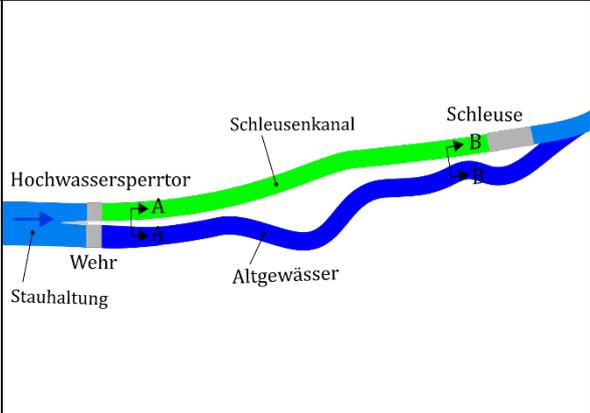
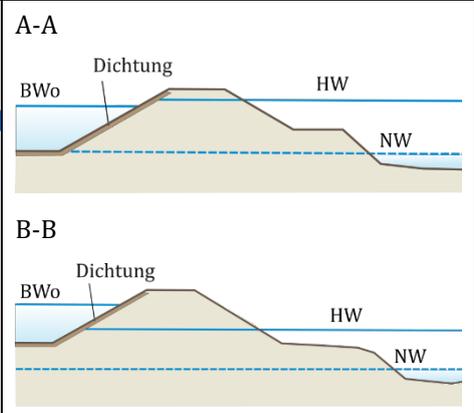
3 Dammarten und Bauweisen

3.1 Allgemeines

Ein Damm ist ein Bauwerk zur dauerhaften Stützung eines Wasserstands und ggf. zusätzlich zum Schutz gegen Hochwasser. Eine Dammsituation kann auch durch einen parallel zum Gewässer verlaufenden, in das Gelände einschneidenden Graben entstehen. Ein Flussdeich wird dagegen nur bei Hochwasser belastet und dient dem Schutz des Hinterlandes. Dämme werden bezüglich ihrer Lage an einem Fluss oder einem Kanal (Schiffahrtskanal oder Schleusenkanal) in Flusssseitendämme und Kanalseitendämme unterschieden. Flusssseitendämme, auch als Stauhaltungsdämme (DIN 19700-13) bezeichnet, sind hochwasserbelastet. Dämme an einmündenden Gewässern im Rückstaubereich eines freifließenden oder staugeregelten Gewässers können ebenfalls hochwasserbelastet sein. Kanalseitendämme sind in der Regel nicht hochwasserbelastet. Ausnahmen können z. B. Schleusenkanäle bilden, die als Zufahrt zur Schleuse von einem Fluss abzweigen und die durch die Verbindung zum Fluss durch Hochwasser belastet werden können. Daneben existieren auch Kanal- und Flusssseitendämme, welche durch Hochwasser eines landseitigen Gewässers belastet werden können.

In Tabelle 1 sind für unterschiedliche Arten von Wasserstraßen (Kanal ohne Hochwasserabfluss, staugeregelter Fluss, Schleusenkanal ohne Hochwassersperrtor und Schleusenkanal mit Hochwassersperrtor) die maßgebenden, wasserseitig und landseitig am Kanalseiten- bzw. Stauhaltungsdamm anstehenden Wasserstände sowie die dazu gehörigen Grundwasseroberflächen vereinfacht dargestellt. Für Dämme an Schleusenkanälen sind jeweils ein Querschnitt unmittelbar unterhalb des Wehres sowie oberhalb der Schleuse abgebildet. Daraus wird die unterschiedliche hydraulische Beanspruchung des Dammes bei Hochwasserabfluss im Altgewässer ersichtlich, da sich eine deutliche Wasserstandsdifferenz im Altgewässer zwischen Abzweig und Anschluss des Schleusenkanals einstellt, während der Wasserstand im Schleusenkanal oberhalb der Schleuse konstant bleibt. In diesem Fall kann auch ein überströmbarer Damm vorhanden sein. Nähere Informationen zu überströmbareren Dämmen und Dammscharten können z. B. LfU (2004) entnommen werden.

Tabelle 1: *Hydraulische Beanspruchung von Dämmen an unterschiedlichen Arten von Bundeswasserstraßen (HW: Wasserstand bei Hochwasserabfluss)*

Lage des Dammes	Lageplan	Schnitt
Kanal (kein HW)		
Stauhaltung (HW)		
Seiten-/ Schleusen- kanal (HW)		
Seiten-/ Schleusen- kanal (kein HW)		

3.2 Damngeometrie

Grundsätzlich wird bei Dämmen zwischen der Wasser- und der Landseite unterschieden.

Die wasserseitige Böschung stellt die Begrenzung des Dammes zur Wasserseite dar. Beim Standard-Trapezprofil (T-Profil) haben die wasserseitigen Böschungen i. d. R. eine Neigung von 1:3. Im Fall eines Rechteckprofils (R-Profil) bzw. eines Rechtecktrapezprofils (RT-Profil) existieren beid- oder einseitig keine Böschungen an der Wasserseite. In diesem Fall wird der Damm zur Wasserseite hin durch ein senkrecht Ufer (z. B. Spundwand) begrenzt. Beim Kombinierten Rechtecktrapezprofil (KRT-Profil) ist das Ufer unter Wasser überwiegend senkrecht und darüber geböscht ausgebildet (Abbildung 1).

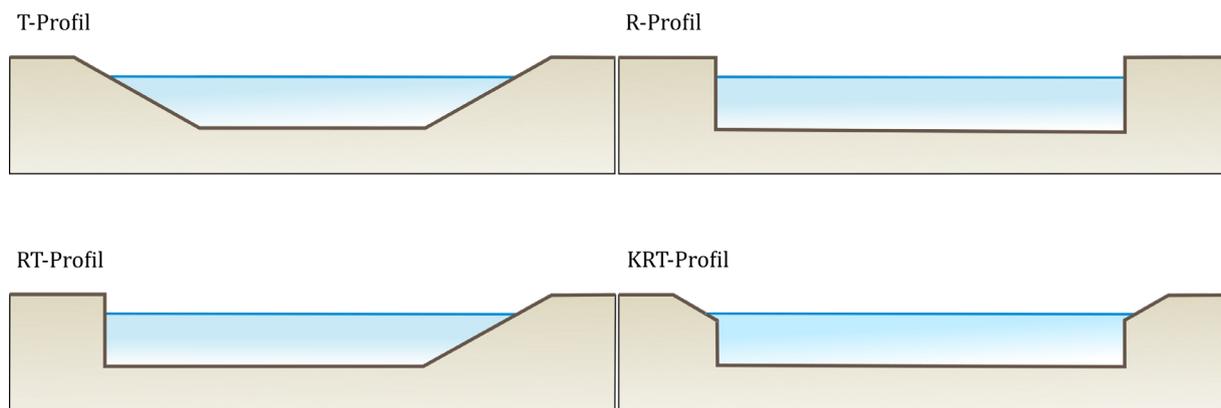


Abbildung 1: Regelquerschnitte für Binnenschiffahrtskanäle nach RiReBSK (2011)

Die landseitige Böschung stellt die Begrenzung des Dammes zur Landseite dar. Landseitige Böschungen können je nach örtlichen Randbedingungen und verwendeten Materialien unterschiedliche Böschungsneigungen aufweisen. Zudem ist die Böschungsneigung nicht in allen Fällen über die gesamte Böschungslänge gleich. Häufig ist der untere Böschungsbereich flacher ausgebildet als der obere.

Das untere Ende der landseitigen Böschung wird als Dammfuß bezeichnet. Parallel zum Dammfuß kann ein Seitengraben verlaufen, der zur Sammlung und Ableitung von Sickerwasser dient. Oft haben Seitengräben auch eine Vorflutfunktion für das Hinterland. Landseitig des Dammfußes bzw. des Seitengrabens schließt das Dammhinterland an.

Als Berme bezeichnet man einen fast horizontalen, meist schwach geneigten Absatz in der Dammböschung. Bermen können sowohl auf der wasser- als auch auf der landseitigen Böschung angelegt sein. Landseitig angelegte Bermen sind oft als Betriebsweg (Dammverteidigungsweg) ausgebaut.

Die obere Begrenzung des Dammes stellt die Dammkrone dar, die von der wasserseitigen und der landseitigen Böschungsschulter begrenzt wird. Meist ist ein Betriebsweg auf der Dammkrone angelegt, der auch zur Dammverteidigung genutzt werden kann.

Abbildung 2 zeigt einen Dammquerschnitt mit den verschiedenen Dammelementen.

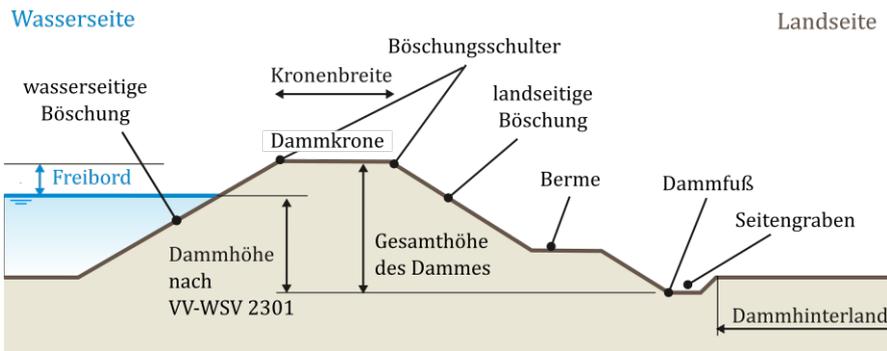


Abbildung 2: Dammschnitt mit Dammelementen

Die Dammhöhe nach VV-WSV 2301 ist der vertikale Abstand zwischen dem maßgebenden Wasserstand im Gewässer und dem Dammfuß. Nähere Angaben zur Ermittlung der Dammhöhe können der VV-WSV 2301 entnommen werden. Die Gesamthöhe des Dammes reicht vom Dammfuß bis zur Dammkrone.

Die Mindesthöhenlage der Dammkrone ergibt sich aus dem maßgebenden Wasserstand im Gewässer und dem zugehörigen Freibord (siehe Abschnitt 10).

3.3 Dammaufbau

3.3.1 Allgemeines

Bezüglich des Aufbaus ist in Dämme mit homogenem Aufbau (einheitliches Material im gesamten Dammschnitt) und in Dämme mit inhomogenem Aufbau (unterschiedliche Materialien) zu unterscheiden.

Ein Damm kann Dichtungen und Dränsysteme enthalten. Eine Dichtung dient zur Verringerung von Wasserverlusten sowie zur Minimierung einer Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse. Ein Dränsystem dient zur Fassung und Ableitung von Sickerwasser. Sowohl Dichtungen als auch Dränsysteme haben einen Einfluss auf die Durchströmung des Dammes und ggf. des Untergrundes und wirken bei sachgemäßer Anordnung standsicherheitserhöhend. Dichtungen und Dränsysteme werden daher als hydraulische Sicherungselemente bezeichnet.

Hinsichtlich der zu ermittelnden Dammstandsicherheit bilden Damm und Untergrund eine Einheit.

3.3.2 Dämme ohne Dichtungselemente

Dämme an Gewässern ohne Dichtungselemente werden planmäßig durchströmt. Liegt der Wasserspiegel im Gewässer über dem Grundwasserspiegel, können sich im Gewässerbett natürliche Dichtungen, sogenannte Kolmations- oder Sedimentationsschichten, ausbilden. Diese können den Abstrom aus dem Gewässer reduzieren. Bei Stauhaltungsdämmen reichen diese natürlichen Dichtschichten in der Regel bis ungefähr zum Mittelwasserstand (MW).

3.3.3 Dämme mit Dichtungselementen

Je nach Lage einer Dichtung im Dammschnitt wird sie als Oberflächen- (bzw. Außen-) dichtung oder als Innendichtung bezeichnet. Dabei wird in vollkommene und unvollkommene Dichtungen unterschieden (Abbildung 3). Durch Dichtungselemente wird die Strömungsbeanspruchung des Dammes verringert.

Bei einer vollkommenen Dichtung wird die Dammdurchströmung nahezu vollständig verhindert, z. B. durch eine Oberflächendichtung, die das Bett des Gewässers vollständig auskleidet, oder durch eine Innendichtung, die in eine geringdurchlässige Schicht einbindet.

Eine unvollkommene Dichtung bindet nicht in eine geringdurchlässige Schicht ein und verlängert dadurch nur den Sickerweg. Ein Abströmen von Wasser aus dem Gewässer sowie die Durchströmung des Dammkörpers und des Untergrunds werden nicht vollständig verhindert, sondern lediglich verringert.

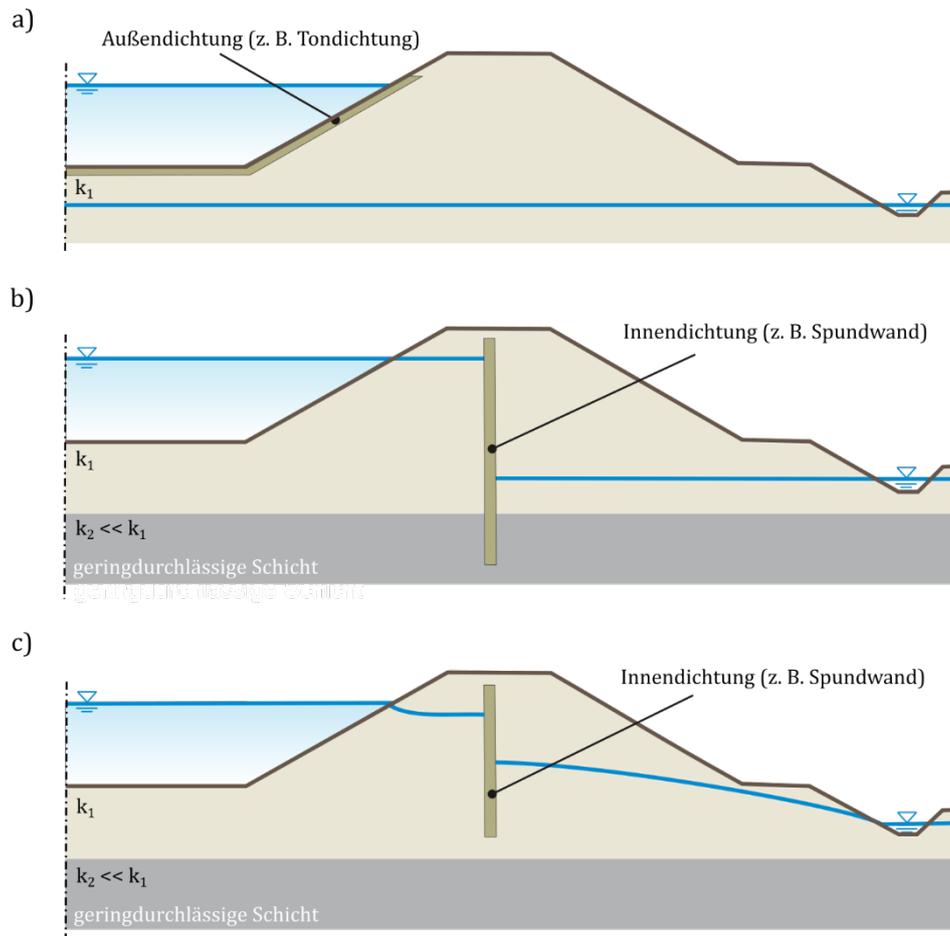


Abbildung 3: Beispiele für einen Damm mit vollkommener (a und b) und unvollkommener Dichtung (c)

Hinweise zur Bewertung unterschiedlicher Dichtungselemente sind in Anlage 1 aufgeführt.

Hinweise zum Ansatz unterschiedlicher Dichtungselemente bei Durchströmungsberechnungen sind in Abschnitt 8 und Anlage 2 enthalten.

3.3.4 Dämme mit Dränsystemen

Bezüglich der Lage wird in innenliegende und außenliegende Dränsysteme unterschieden. Diese unterscheiden sich grundsätzlich hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Dammdurchströmung und damit auf die Lage der Sickerlinie. Durch innenliegende Dränsysteme wird die Sickerlinie im Damm abgesenkt. Außenliegende Dränsysteme beeinflussen die Sickerlinie im Damm nicht maßgeblich, sondern sichern die Böschung durch ihre Auflast und gewährleisten ein schadloses Ableiten von Sickerwasser am landseitigen Dammfuß (siehe Abbildung 4).

Das Dränmaterial muss gegenüber dem angrenzenden Boden sowohl mechanisch filterwirksam (Verhinderung von Bodenmaterialtransport) als auch hydraulisch filterwirksam (ausreichende Durchlässigkeit) sein. Weitere Informationen sind im Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Bundeswasserstraßen (MAK) der BAW zu finden. Werden als Filter Geotextilien verwendet, so sind die Vorgaben des Merkblattes Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG) zu beachten.

Hinweise zur Dimensionierung und Ausführung von Dränsystemen sind in Anlage 3 aufgeführt.

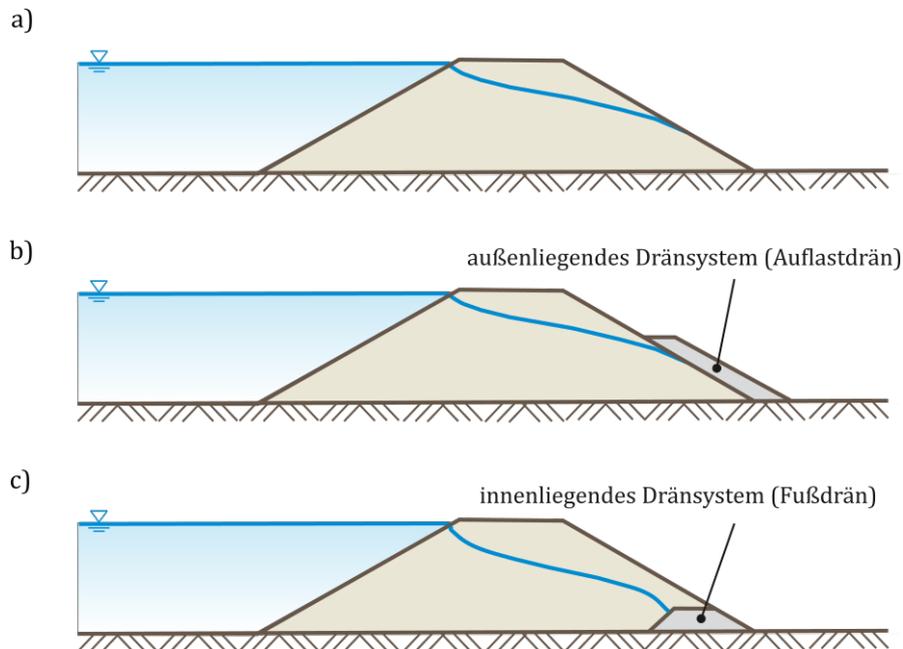


Abbildung 4: Auswirkungen von außenliegenden (b) und innenliegenden (c) Dränsystemen auf die Sickerlinie im Vergleich zum homogenen Damm (a)

4 Sicherheitskonzept

Die Dammstandsisicherheitsnachweise basieren auf dem Teilsicherheitskonzept nach DIN EN 1997-1 (EC 7-1), DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054.

Dämme sind nach DIN 1054 in die geotechnischen Kategorien 1 bis 3 einzustufen.

Bei hochwasserbelasteten Dämmen ist zusätzlich eine Klassifizierung der zugehörigen Staustufe nach DIN 19700-13 durchzuführen. Basierend darauf sind die Bemessungshochwasserzuflüsse BHQ_1 und BHQ_2 nach DIN 19700-13 zu ermitteln. Bei beweglichen Wehrverschlüssen ist eine Zuordnung in eine Staustufe mit voller Regelung des Oberwasserstands (vollregelndes Wehr) oder mit begrenzter Regelung des Oberwasserstands (teilregelndes Wehr) nach DIN 19700-13 vorzunehmen. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis des Hochwasserzuflusses HQ_x , ab dem alle Wehrverschlüsse vollständig geöffnet sind und keine Regelung des Oberwasserstands durch das Wehr mehr stattfindet. Die Einstufung, ob das Wehr vollregelnd oder teilregelnd ist, erfolgt durch den Vergleich von HQ_x mit BHQ_1 . Bei einem teilregelnden Wehr ist HQ_x kleiner als BHQ_1 .

5 Einwirkungen

5.1 Allgemeines

Für die Standsicherheitsnachweise sind Einwirkungen festzulegen, die in ständige, veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen unterschieden werden. Hierfür sind jeweils charakteristische Werte festzulegen. Diese werden nachstehend, basierend auf den Regelungen der DIN EN 1990 und des EC 7-1, für die Untersuchung der Dammstandsicherheit erläutert. Dabei werden die maßgebenden Wasserstände zur Bestimmung der daraus resultierenden, charakteristischen Einwirkungen (z. B. Wasserdrücke) als charakteristische Wasserstände bezeichnet.

Zur Ermittlung der Bemessungswerte der Einwirkungen aus den charakteristischen Werten sind die in DIN 1054 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte anzuwenden (Tabelle A 2.1 in DIN 1054:2021-04).

Erdbebeneinwirkungen sind gesondert zu berücksichtigen.

5.2 Ständige Einwirkungen

Ständige Einwirkungen wirken während der gesamten Nutzungsdauer des Bauwerks und die zeitliche Änderung ihrer Größe gegenüber dem Mittelwert ist vernachlässigbar. Zu den ständigen Einwirkungen gehören Eigenlasten des Dammes, ständige Auflasten und Erddruckkräfte.

5.3 Veränderliche Einwirkungen

5.3.1 Allgemeines

Einwirkungen, die einer zeitlichen Veränderung unterliegen, sind veränderliche Einwirkungen. Dazu gehören Verkehrslasten sowie Druck- und Strömungskräfte aus Wassereinwirkungen.

Sofern statistisch ermittelbar, sind charakteristische Werte von veränderlichen Einwirkungen für eine vorgegebene Überschreitungswahrscheinlichkeit in einem Bezugszeitraum zu bestimmen. Als Bezugszeitraum für die ständige Bemessungssituation wird im Allgemeinen die rechnerische Nutzungsdauer des Dammbauwerkes (ca. 80-100 Jahre) zugrunde gelegt. Dabei sind veränderliche Einwirkungen mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von i. d. R. einmal in der rechnerischen Nutzungsdauer als charakteristischer Wert zu berücksichtigen.

Maßgebend für die Wasserdruck- und Strömungskräfte sind die charakteristischen Wasserstände auf der Wasserseite des Dammes. Bei Einstau der landseitigen Dammböschung sind hier ebenfalls charakteristische Wasserstände zu berücksichtigen.

5.3.2 Verkehrslasten

Der charakteristische Wert der Verkehrslast auf Dammkronen und Bermen ist in Abhängigkeit der Bemessungssituation von der zuständigen Dienststelle festzulegen. Bei befahrbaren Dammkronen und Bermen ist über die gesamte befahrbare Breite in allen Bemessungssituationen eine Verkehrslast von mindestens 10 kN/m^2 anzusetzen. Ggf. können unterschiedliche charakteristische Werte für die Verkehrslast in der ständigen und in der vorübergehenden Bemessungssituation (z. B. Bauzustand am Damm) festgelegt werden.

5.3.3 Wasserstände

Der nachstehende Abschnitt enthält Angaben zu den charakteristischen Wasserständen für den Nachweis der landseitigen Dammstandsicherheit.

Angaben zu den charakteristischen Wasserständen für den Nachweis der wasserseitigen Dammstandsicherheit sind in Abschnitt 9.3 zu finden.

- **Nicht hochwasserbelastete Dämme**

Bei nicht hochwasserbelasteten Dämmen an Schifffahrtskanälen ist für den Nachweis der landseitigen Dammstandsicherheit in allen Bemessungssituationen als charakteristischer Wasserstand H_k der obere Betriebswasserstand BW_o (siehe RiReBSK 2011) anzusetzen. Dies gilt auch für Schleusenkanäle, in denen der Wasserstand durch ein Hochwassersperrtor begrenzt wird.

- **Hochwasserbelastete Dämme**

Bei Stauhaltungsdämmen oberhalb vollregelnder Wehre entsprechen die charakteristischen Hochwasserstände HW_k und $HW_{k,(n-a)}$ den Wasserspiegellagen innerhalb der Stauhaltung für die in Tabelle A2. 2 angegebenen Kenngrößen. Dafür ist eine Wasserspiegellagenberechnung für den Hochwasserzufluss BHQ_1 erforderlich.

Für die Ermittlung des charakteristischen Hochwasserstands $HW_{k,(n-a)}$ ist dabei nach DIN 19700-13 ein vollständiger oder teilweiser Ausfall des leistungsfähigsten Wehrfeldes mit beweglichem Verschluss ($n - a$) zu berücksichtigen. Hierbei benennt n die Anzahl der beweglichen Wehrfelder. Der Wert a repräsentiert bei einem Teilausfall eines Wehrfeldes den ausfallenden Anteil ($a < 1$) im Revisions- und Störfall. Im Regelfall ist der vollständige Ausfall eines Wehrfeldes ($a = 1$) anzusetzen.

Tabelle 2: Kenngrößen für die Bestimmung charakteristischer Hochwasserstände für hochwasserbelastete Dämme

Charakteristischer Hochwasserstand	Hochwasserzufluss	Verfügbare Wehrfelder
HW_k	BHQ_1	n
$HW_{k,(n-a)}$	BHQ_1	$(n-a)$

Für Stauhaltungsdämme an Schleusenkanälen, in denen der Wasserstand nicht durch ein Hochwassersperrtor begrenzt wird, sind die charakteristischen Hochwasserstände HW_k und $HW_{k,(n-a)}$ ebenfalls auf Grundlage der in Tabelle 2 aufgeführten Kenngrößen zu ermitteln. Dies gilt unabhängig von der Einstufung des Wehres als vollregelnd oder teilregelnd. Ggf. sind hier getroffene Regelungen zum Hochwasserschutz des Hinterlandes bei der Festlegung der charakteristischen Hochwasserstände zu beachten.

Für Stauhaltungsdämme oberhalb teilregelnder Wehre, die eine Hochwasserschutzfunktion haben, sollten die charakteristischen Hochwasserstände HW_k und $HW_{k,(n-a)}$ ebenfalls auf Grundlage der in Tabelle 2 aufgeführten Kenngrößen ermittelt werden. Ggf. sind hier jedoch für den Hochwasserschutz des Hinterlandes im Einzelfall festgelegte Regelungen zu beachten.

Für Stauhaltungsdämme oberhalb teilregelnder Wehre, die nur als Leitdämme fungieren und die bei einem Hochwasserzufluss über HQ_x keine Hochwasserschutzfunktion haben, ist der für die Standsicherheit des

Dammes maßgebende charakteristische Hochwasserstand HW_k im Einzelfall festzulegen. Mindestens ist jedoch der Wasserstand anzusetzen, der sich beim Hochwasserzufluss HQ_x einstellt. Bei diesem Hochwasserzufluss sind alle Wehrfelder vollständig geöffnet, das Stauziel am Wehr wird aber noch nicht überschritten (siehe Abschnitt 4).

Für Bauzustände an einem hochwasserbelasteten Damm (z. B. mit Aufnahme der Dichtung des Gewässerbetts) sollte der charakteristische Hochwasserstand HW_k nach Tabelle 2 angesetzt werden. Dies gilt für einen Damm

- oberhalb eines vollregelnden Wehres,
- oberhalb eines teilregelnden Wehres, wenn der Damm eine Hochwasserschutzfunktion hat, und
- an einem Schleusenkanal, in dem der Wasserstand nicht durch ein Hochwassersperrtor begrenzt wird.

5.4 Außergewöhnliche Einwirkungen

5.4.1 Allgemeines

Außergewöhnliche Einwirkungen sind bezogen auf die Nutzungsdauer des Dammes i. d. R. von kurzer Dauer, aber von bedeutender Größenordnung. Sie weisen jedoch nur eine äußerst geringe Eintrittswahrscheinlichkeit auf. Hierzu zählen Einwirkungen, die durch den Ausfall von hydraulischen Sicherungselementen, wie Dichtungen und Dränsystemen, durch Windwurf von Bäumen oder durch außergewöhnliche Hochwasserereignisse verursacht werden.

5.4.2 Ausfall von hydraulischen Sicherungselementen

Hydraulische Sicherungselemente (z. B. Dichtungen und Dränsysteme) sind Dammelemente zur Erhöhung der Dammstandsicherheit durch Reduzierung der Wasserdruck- und Strömungskräfte. Die aus dem Ausfall von hydraulischen Sicherungselementen resultierenden Wasserdruck- und Strömungskräfte stellen außergewöhnliche Einwirkungen dar.

Anmerkung: Der Ansatz des vollständigen Ausfalls eines hydraulischen Sicherungselementes entspricht einem Ereignis mit äußerst geringer Eintrittswahrscheinlichkeit im Sinne einer außergewöhnlichen Bemessungssituation nach DIN EN 1990.

• Dichtungen

Beim Nachweis der Standsicherheit des Dammes wird im Allgemeinen ein vollständiger hydraulischer Ausfall der Dichtung berücksichtigt. Hinweise zur Berücksichtigung eines Teilausfalls von Dichtungen gibt Abschnitt 11.

Der hydraulische Ausfall von Innendichtungen muss als außergewöhnliche Einwirkung nicht angesetzt werden, wenn sie eine ausreichende Systemsicherheit aufweisen und ihre Dichtwirkung durch die Dammbeobachtung belegt ist. Die Systemsicherheit ist gutachterlich zu bewerten. Mögliche Bewertungskriterien sind in Tabelle A1.1 in Anlage 1 angegeben.

Wenn bei einer massiven Uferwand eine Schiffsanfahrt zu keiner Undichtigkeit führt, ist die Berücksichtigung eines hydraulischen Ausfalls der Uferwand als außergewöhnliche Einwirkung nicht erforderlich. Bei parallel zur Wasserstraße verlaufenden Uferwänden, bei denen auf Grund der örtlichen Randbedingungen lediglich eine Schräganfahrt möglich ist, ist grundsätzlich kein hydraulischer Ausfall zu betrachten. In

Einengungsbereichen muss eine Einzelfallbetrachtung durchgeführt werden. Dabei sind vor allem die Dichtungsanschlüsse und Fugen der einzelnen Stahlbetonbauteile zu bewerten.

- **Dränsysteme**

Die Wirkung von Dränsystemen darf in der Durchströmungsberechnung für den Nachweis der Dammstand-sicherheit nur berücksichtigt werden, wenn:

- die geometrische Filterstabilität und die hydraulische Filterwirksamkeit des Dränmaterials gegen-über dem Baugrund nach MAK (2013) nachgewiesen wird und
- bei Dränsystemen mit einer Dränleitung (siehe Anlage 3) die Funktion der Dränleitung regelmäßig überprüft wird.

Ist dies nicht der Fall, ist von einer fehlenden Funktionsfähigkeit des Dränsystems auszugehen und die druckentlastende Wirkung der Dränung darf nicht berücksichtigt werden.

- **Mehrere hydraulische Sicherungselemente**

Werden bei Funktion des ersten Sicherungselementes weitere Sicherungselemente hydraulisch nicht be-aufschlägt (z. B. vollkommene Dichtung und Dränsystem), ist nur der hydraulische Ausfall des ersten Siche-rungselementes als außergewöhnliche Einwirkung zu berücksichtigen. Dies setzt voraus, dass ein Versagen des ersten Sicherungselementes erkannt werden kann (z. B. durch ein Beobachtungssystem). Dadurch wird vermieden, dass das Versagen des ersten Sicherungselementes als außergewöhnliche Einwirkung uner-kannt bleibt und damit einer ständigen Einwirkung entspricht.

Bei mehreren, zusammenwirkenden Sicherungselementen (z. B. unvollständige Dichtung, die nur eine Ver-längerung des Sickerwegs bewirkt, und Dränsystem) sind als außergewöhnliche Einwirkungen der hydrau-lische Ausfall jedes Sicherungselements separat zu untersuchen. Kann das hydraulische Versagen des ersten Sicherungselementes nicht erkannt werden (z. B. durch ein Beobachtungssystem), so ist der gleich-zeitige hydraulische Ausfall beider Sicherungselemente zu berücksichtigen.

5.4.3 Windwurf von Bäumen

Die Einwirkung durch Windwurf von Bäumen auf den Dammkörper wird als außergewöhnliche Einwirkung berücksichtigt.

Dabei wird lediglich die Schwächung des Dammquerschnittes durch das Auftreten eines Wurzelkraters in-folge eines Windwurfs von Bäumen betrachtet. Sowohl das auf den Dammkörper wirkende Gewicht der Bäume als auch das in den Dammkörper durch die Windbeanspruchung der Bäume eingeleitete Moment bleibt bei der Berechnung der Gesamtstandsicherheit der Dammböschungen unberücksichtigt.

Bei Gehölzbewuchs auf dem Damm wird der Einfluss der Querschnittsschwächung des Dammes infolge Windwurfs von Bäumen auf die Dammstandsicherheit entsprechend den Regelungen in Abschnitt 13 be-rücksichtigt.

5.4.4 Außergewöhnliche Hochwasserereignisse

Außergewöhnliche Hochwasserereignisse weisen eine wesentlich geringere Überschreitungswahrschein-lichkeit auf als die den charakteristischen Wasserständen HW_k nach Abschnitt 5.3.3 zugrunde gelegten Hochwasserzuflüsse. Der aus einem außergewöhnlichen Hochwasserzufluss resultierende Hochwasser-stand wird als außergewöhnlicher Hochwasserstand HW_a bezeichnet.

Bei Stauhaltungsdämmen oberhalb vollregelnder Wehre entspricht der außergewöhnliche Hochwasserstand HW_a der Wasserspiegellage innerhalb der Stauhaltung für die in Tabelle 3 angegebenen Kenngrößen nach DIN 19700-13. Dafür ist eine Wasserspiegellagenberechnung für den Hochwasserzufluss BHQ_2 erforderlich.

Tabelle 3: Kenngrößen für die Bestimmung des außergewöhnlichen Hochwasserstands für hochwasserbelastete Dämme

außergewöhnlicher Hochwasserstand	Hochwasserzufluss	verfügbare Wehrfelder
HW_a	BHQ_2	n

Für Dämme an Schleusenkanälen, in denen ein Hochwasserzufluss nicht durch ein Hochwassersperrtor verhindert wird, sowie für Stauhaltungsdämme oberhalb teilregelnder Wehre, die eine Hochwasserschutzfunktion haben, ist der außergewöhnliche Hochwasserstand HW_a ebenfalls auf Grundlage der in Tabelle 3 aufgeführten Voraussetzungen festzulegen. Ggf. sind hier getroffene Regelungen zum Hochwasserschutz des Hinterlandes bei der Festlegung des außergewöhnlichen Hochwasserstands zu beachten.

Für Bauzustände an einem hochwasserbelasteten Damm (z. B. mit Aufnahme der Dichtung des Gewässerbetts) sollte ebenfalls der außergewöhnliche Hochwasserstand HW_a nach Tabelle 3 berücksichtigt werden. Dies gilt für Dämme

- oberhalb eines vollregelnden Wehres,
- oberhalb eines teilregelnden Wehres, wenn der Damm eine Hochwasserschutzfunktion hat, und
- an einem Schleusenkanal, in dem ein Hochwasserzufluss nicht durch ein Hochwassersperrtor verhindert wird.

5.4.5 Schiffsanprall

Ein aus einem Schiffsanprall resultierender hydraulischer Ausfall einer Oberflächen- (bzw. Außen-) dichtung ist nach Abschnitt 5.4.2 zu berücksichtigen.

Die dynamische Beanspruchung des Dammes durch Schiffsanprall wird i. d. R. nicht betrachtet, wenn auf Grund örtlicher Randbedingungen lediglich eine Schräganfahrt des Dammes möglich ist. Besteht die Möglichkeit einer Senkrechtfahrt, sind die Auswirkungen aus der dynamischen Beanspruchung (z. B. Brechenbildung) auf die Dammstandsicherheit im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung unter Einbeziehung der BAW zu untersuchen und zu bewerten. Im Bedarfsfall kann die Einzelfallbetrachtung von der BAW durchgeführt werden.

5.4.6 Ausfall Hochwassersperrtor

Der Ausfall eines Hochwassersperrtores wird i. d. R. nicht betrachtet, wenn sichergestellt ist, dass es immer geschlossen werden kann. Hiervon ist auszugehen, wenn ein Verschluss im Notfall auch vor Ort manuell geschlossen werden kann und die Bauwerks- und Anlageninspektion, die planmäßige Unterhaltung sowie Probeläufe in den vorgegebenen Intervallen durchgeführt werden.

6 Widerstände

6.1 Allgemeines

Ein Widerstand ist die mechanische Eigenschaft eines Bauteils oder eines Bauteil-Querschnitts den auftretenden Einwirkungen zu widerstehen. Bei Dämmen wird dieser bestimmt durch die Materialeigenschaften des Dammmaterials und des Baugrundes (z. B. Reibungswinkel und Kohäsion) sowie eventuell vorhandener Einbauten.

6.2 Geotechnische Kenngrößen

Die charakteristischen Werte der geotechnischen Kenngrößen sind nach DIN EN 1997-2 (EC 7-2), DIN EN 1997-2/NA und DIN 4020 festzulegen.

Für die Bestimmung der Bemessungswerte der Widerstände aus den charakteristischen Werten der Widerstände sind die in DIN 1054 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte anzuwenden (Tabelle A 2.2 und A 2.3 in DIN 1054:2021-04).

6.3 Kapillarkohäsion

Bei bestehenden Dämmen darf eine Kapillarkohäsion (scheinbare Kohäsion) auf Grund von Oberflächenspannungen des Porenwinkelwassers oberhalb der höchstmöglichen Sickerlinie mit einem charakteristischen Wert von $c_{c,k} = 5 \text{ kN/m}^2$ unter folgenden Bedingungen berücksichtigt werden (Bilz und Vieweg 1993):

- es muss ein Verdunstungsschutz für den Boden, z. B. eine geschlossene Grasnarbe, vorhanden sein und
- das Dammmaterial muss eine Körnungslinie haben, bei der $d_{50} < 0,6 \text{ mm}$ und $d_{85} < 2 \text{ mm}$ ist und mindestens eine mitteldichte Lagerung aufweisen.

Beim Nachweis der Böschungsstandsicherheit neuer Dämme und Einschnitte darf die Kapillarkohäsion auf Grund des fehlenden Verdunstungsschutzes nicht berücksichtigt werden.

6.4 Durchwurzelungskohäsion

Beim Standsicherheitsnachweis bestehender Dämme mit dichtem, lückenlosem Grasbewuchs darf der Einfluss der Durchwurzelung durch den Ansatz einer Durchwurzelungskohäsion mit einem charakteristischen Wert von maximal $c_{w,k} = 7 \text{ kN/m}^2$ in einer oberflächennahen, 0,2 m dicken Schicht berücksichtigt werden (Hähne 1991). Die Durchwurzelungskohäsion darf nicht zusätzlich zur Kapillarkohäsion angesetzt werden. Der Einfluss aus Wurzeln anderer Pflanzen wird nicht berücksichtigt.

7 Bemessungssituationen

7.1 Allgemeines

Nach DIN EN 1990 und DIN EN 1997 wird in ständige Bemessungssituationen (BS-P), vorübergehende Bemessungssituationen (BS-T), außergewöhnliche Bemessungssituationen (BS-A) und Bemessungssituation bei Erdbeben (BS-E) unterschieden.

7.2 Ständige Bemessungssituation (BS-P)

Situationen, die innerhalb des Zeitraums der geplanten Nutzungsdauer des Dammes maßgebend sind und die den üblichen Nutzungsbedingungen entsprechen, werden der ständigen Bemessungssituation (BS-P) zugeordnet.

In der ständigen Bemessungssituation (BS-P) sind die charakteristischen Werte der ständigen Einwirkungen aus Eigenlasten, Auflasten und Erddruck (Abschnitt 5.2) sowie die charakteristischen Werte der veränderlichen Einwirkungen aus Verkehrslasten und Wasserständen (Abschnitt 5.3) zu berücksichtigen.

Bei Dämmen, die sowohl wasser- als auch landseitig durch Hochwasser belastet werden (bspw. Dämme an Schleusenkanälen ohne Hochwassersperrtor, Stauhaltungsdämme im Bereich von Hochwasserrückhalte-räumen), ist zu untersuchen, welche Wasserstandskombinationen zwischen dem wasser- und landseitigen Wasserstand für die Standsicherheit maßgebend sind. Hierbei sind Kombinationen bis zum charakteristischen Hochwasserstand HW_k nach Abschnitt 5.3.3 zu betrachten.

Ist die Dammstandsicherheit in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) bei rechnerischem Sickerlinien-austrittspunkt an der landseitigen Dammböschung nachgewiesen, so ist die Notwendigkeit konstruktiver Maßnahmen zur Fassung des Sickerwassers im potentiellen Wasseraustrittsbereich im Einzelfall zu prüfen.

Wird die Wirkung eines Dränsystems in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) berücksichtigt (Abschnitt 5.4.2), muss seine Wartung und Kontrolle sichergestellt sein und die Funktion ohne signifikante Einschränkung des Betriebes wiederhergestellt werden können. Dazu muss das Versagen der Dränung durch geeignete Kontrollen festgestellt werden können.

7.3 Vorübergehende Bemessungssituation (BS-T)

Situationen, die planmäßig herbeigeführt werden und die einen wesentlich kürzeren Zeitraum als die geplante Nutzungsdauer des Bauwerks umfassen (z. B. Bau- oder Revisionszustände), werden der vorübergehenden Bemessungssituation BS-T zugeordnet.

Auch in der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) sind charakteristische Werte für die ständigen und die veränderlichen Einwirkungen zu berücksichtigen. Dabei sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen ggf. an die zugrunde gelegte Situation anzupassen. Beispielsweise sind:

- in einem Bauzustand, in dem die Kanaldichtung aufgenommen wird, die daraus resultierenden erhöhten Wassereinwirkungen auf den Dammkörper und
- in einem Revisionszustand, in dem eine Kanalhaltung trockengelegt wird, die aus dem Wasserspiegelabsenk resultierenden Einwirkungen auf die wasserseitige Dammböschung (Abschnitt 9.3.1.3)

zu berücksichtigen.

Bei hochwasserbelasteten Dämmen ist als vorübergehende Bemessungssituation (BS-T) die Einwirkung durch den charakteristischen Hochwasserstand $HW_{k,(n-a)}$ infolge Revision eines Wehrfeldes zu berücksichtigen (Abschnitt 5.3.3).

Für Bauzustände an einem hochwasserbelasteten Damm (z. B. mit Aufnahme der Dichtung des Gewässerbetts) sollte in der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) der charakteristische Hochwasserstand HW_k berücksichtigt werden (Abschnitt 5.3.3).

7.4 Außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A)

In der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) sind die Auswirkungen einer außergewöhnlichen Einwirkung nach Abschnitt 5.4 zu berücksichtigen. Sind mehrere außergewöhnliche Einwirkungen möglich, ist jede in einer außergewöhnlichen Bemessungssituation separat zu berücksichtigen. Kombinationen von mehreren außergewöhnlichen Einwirkungen sind nicht zu untersuchen. Außergewöhnliche Einwirkungen können im Betriebszustand und im Bau- oder Revisionszustand auftreten. Dabei sind die jeweiligen charakteristischen Werte der ständigen und veränderlichen Einwirkungen zu berücksichtigen, soweit sie nicht durch die außergewöhnliche Einwirkung verändert werden.

Bei Berücksichtigung:

- des hydraulischen Versagens von Dichtungen oder Dränsystemen (Abschnitt 5.4.2) sind die daraus resultierenden Wassereinwirkungen anzusetzen
- von außergewöhnlichen Hochwasserereignissen ist der zugehörige außergewöhnliche Hochwasserstand HW_a anzusetzen (Abschnitt 5.4.4),
- einer Schiffsanfahrt sind deren Auswirkungen auf die Verformungen des Dammes im Einzelfall zu betrachten, bspw. mit einer Spannungs- Verformungsberechnung (Abschnitt 5.4.5),
- des Ausfalls eines Hochwassersperrtores ist im Schleusenkanal der charakteristische Hochwasserstand HW_k im Oberwasser des Wehres beim Abzweig des Schleusenkanals anzusetzen (Abschnitt 5.4.6).

Ein Windwurf von Bäumen als außergewöhnliche Einwirkung wird durch die Regelungen in Abschnitt 13 berücksichtigt.

Während eines Bauzustandes sind bei hochwasserbelasteten Dämmen in einer außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A):

- bei Berücksichtigung eines Ausfalls von hydraulischen Sicherungselementen als außergewöhnliche Einwirkung der charakteristische Hochwasserstand HW_k nach Abschnitt 5.3.3 und
- bei Berücksichtigung eines außergewöhnlichen Hochwassers als außergewöhnliche Einwirkung der außergewöhnliche Hochwasserstand HW_a nach Abschnitt 5.4.4 anzusetzen.

Anstelle des außergewöhnlichen Hochwasserstands HW_a können ggf. geeignete Maßnahmen bei Überschreitung des charakteristischen Hochwasserstands HW_k im Einzelfall festgelegt werden.

7.5 Bemessungssituation bei Erdbeben (BS-E)

In der Bemessungssituation bei Erdbeben (BS-E) werden die Beanspruchungen des Dammes durch Erdbebenbelastung berücksichtigt.

Die zu führenden Nachweise der Sicherheit gegenüber Erdbeben sind für Stauhaltungsdämme an Staustufen mit vollregelnden Wehren in der DIN 19700-13 geregelt. Zusätzlich zu den Belastungen aus Erdbeben

sind keine außergewöhnlichen Einwirkungen zu berücksichtigen (z. B. Ausfall von hydraulischen Sicherungselementen).

Es wird empfohlen, diese Regelungen auch für die anderen Dämme an Bundeswasserstraßen anzuwenden. Dazu ist in Anlehnung an Tabelle 1 der DIN 19700-13 eine Klassifizierung der Dämme vorzunehmen. Hierfür ist als maßgebender Wasserstand das Stauziel Z_S nach DIN 19700-13 bei hochwasserbelasteten Dämmen bzw. der obere Betriebswasserstand BW_o bei nicht hochwasserbelasteten Dämmen anzusetzen. Dieser Wasserstand ist auch beim Nachweis der Dammstandsicherheit in der Bemessungssituation Erdbeben (BS-E) zu berücksichtigen.

Erdbebeneinwirkungen sind gekennzeichnet durch ihre Intensität, ihre Charakteristik und die Höhe der Bodenbeschleunigung. Entsprechend DIN 19700-13 ist die maßgebende Bodenbeschleunigung des Bemessungserdbebens a_g (Bemessungsbodenbeschleunigung) für eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10^{-3} ($T = 1.000$ a) anzusetzen. Die Bemessungsbodenbeschleunigung a_g ist nach DIN EN 1998-1 (EC8) zu ermitteln. Die Unterschiede in den Maximalwerten des elastischen Antwortspektrums sind bei einer Jährlichkeit von $T_{NCR} = 975$ a, wie sie im EC8 definiert ist, und der in DIN 19700-13 geforderten Jährlichkeit von $T = 1.000$ a marginal. Daher können für die Nachweise der Sicherheit gegenüber Erdbeben von Dämmen an Bundeswasserstraßen auch die $S_{aP,R}$ -Werte von DIN EN 1998-1/NA:2023-11 für eine Wiederkehrperiode von 975 Jahre verwendet werden.

Der maßgebliche Gefährdungsparameter zur Bestimmung der seismischen Lastannahmen ist gemäß EC8 die spektrale Antwortbeschleunigung $S_{aP,R}$ des Antwortspektrums bezogen auf die Untergrundkombination A-R. Die Untergrundkombination ist definiert durch Baugrundklassen A, B, C (Bodenschichten bis 30 m Tiefe) und Untergrundklassen R, T, S (Schichten unterhalb 30 m Tiefe). Für den Nachweis der Sicherheit gegenüber Erdbeben von Dämmen an Bundeswasserstraßen sind die seismischen Lastannahmen wie folgt zu ermitteln:

- **Ermittlung der Spektralbeschleunigung $S_{aP,R}$ [m/s^2]**
 - Karte in DIN EN 1998-1/NA:2023-11 (Anhang NA.J – digitale Darstellung weiterer Spektralbeschleunigungen) für $T = 975 \approx 1000$ Jahre (Datensatz „SapR_975a.csv“)
 - alternativ: Ermittlung von $S_{aP,R}$ anhand der web-basierten Karte des Deutschen Geoforschungszentrums Potsdam (gfz)
<https://www-app5.gfz-potsdam.de/d-eghaz16/index.html>
(Einstellungen der web-basierten Karte: Spektralperiode PGA, Mittelwert, Überschreitungswahrscheinlichkeit 5 % in 50a \cong 975a)
- **Ermittlung der Spitzenbodenbeschleunigung a_{gR} [m/s^2]**
 - $a_{gR} = S_{aP,R}/2,5$ (gilt für Felsuntergrund - Untergrundklasse „R“)
(Die Gleichung gilt nach EC8 für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Sie kann hier auch zur Umrechnung für eine Referenz-Wiederkehrperiode von 975 Jahren angewandt werden.)
- **Ermittlung der Bemessungsbodenbeschleunigung a_g [m/s^2]**
 - $a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$
 $\gamma_I = 1,0$ Bedeutungsbeiwert nach Tabelle NA.5 DIN EN 1998-1/NA:2023-11
- **Ermittlung der horizontalen Baugrundbeschleunigung a_H [m/s^2]**
 - $a_H = a_g \cdot S$
 S Bodenparameter zur Berücksichtigung der Untergrundkombination nach Tabelle NA.2 DIN EN 1998-1/NA

In Fällen sehr geringer Seismizität kann auf den Nachweis der Sicherheit in der Bemessungssituation BS-E verzichtet werden. Gemäß DIN EN 1998-1/NA gelten als Fälle sehr geringer Seismizität solche, in denen das Produkt $a_g \cdot S$ nicht größer ist als $0,5 \text{ m/s}^2$ (bzw. $0,05 g$).

In wassergesättigten Böden kann es durch die Erdbebeneinwirkung zu einem Porenwasserdruckanstieg kommen, was im Extremfall zu einem vollständigen Verlust der Scherfestigkeit bzw. zu einer Bodenverflüssigung führen kann. Verfahren zur Berücksichtigung eines erdbebeninduzierten Porenwasserdruckanstieges bzw. einer Bodenverflüssigung sind in LUBW (2016) beschrieben.

8 Dammdurchströmung

8.1 Allgemeines

Die im Folgenden beschriebenen Regelungen gelten für die Ermittlung der Dammdurchströmung als Grundlage für die Berechnung der Standsicherheit der landseitigen Dammböschung. Für die Berechnung der Standsicherheit der wasserseitigen Dammböschung sind in Abschnitt 9.3 vereinfachte Ansätze zur Berücksichtigung von schnell absinkenden Wasserständen im Gewässer angegeben.

Die Standsicherheit eines Dammes wird bei Durchströmung maßgeblich durch die daraus resultierenden Strömungskräfte beeinflusst. In diesem Fall ist die Ermittlung der Grundwasserpotentialverteilung im Dammkörper und im ggf. durchströmten Untergrund als Grundlage für die Standsicherheitsberechnung erforderlich. Dies beinhaltet auch die Bestimmung der freien Grundwasseroberfläche im Dammkörper (Sickerlinie) und ggf. des Bereiches mit Wasseraustritten an der landseitigen Dammböschung (Sickerstrecke) (siehe Anlage 4).

Als wasserseitige hydraulische Randbedingung ist in den Strömungsberechnungen für die Ermittlung der landseitigen Dammstandsicherheit:

- bei nicht hochwasserbelasteten Dämmen in allen Bemessungssituationen der obere Betriebswasserstand BW_0 und
- bei hochwasserbelasteten Dämmen der in den nachfolgenden Abschnitten angegebene Wasserstand in der zugehörigen Bemessungssituation anzusetzen.

8.2 Ständige Bemessungssituation

Bei Kanälen mit einer planmäßigen vollständigen Dichtung des Kanalbettes ist zur Ermittlung der Dammstandsicherheit in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) i. d. R. keine Strömungsberechnung erforderlich.

Eine Berechnung der Dammdurchströmung ist jedoch erforderlich bei:

- Dichtungen, die nicht oder nur teilweise wirksam sind,
- Dichtungen, die nur eine Verlängerung des Sickerwegs bewirken,
- hohen, nicht durch Zusickerung aus dem Gewässer verursachten Grundwasserständen, die eine Durchströmung des Dammes bewirken können (z. B. bei einseitigen Dammsituationen),
- Dämmen, die nur bei Hochwasser durchströmt werden oder
- Dämmen, die nicht planmäßig, sondern nur durch natürliche Kolmations- oder Sedimentationsschichten gedichtet sind.

Ist die Dichtung bedingt durch ihren Zustand nicht oder nur teilweise wirksam oder ist auf Grund der im Dammbereich gemessenen Grundwasserstände von einer erhöhten Zusickerung aus dem Kanal

auszugehen, ist auch für die Ermittlung der Dammstandsicherheit in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) eine Strömungsberechnung durchzuführen. Dabei ist die verminderte Wirksamkeit der Kanaldichtung durch eine auf der sicheren Seite abgeschätzte Erhöhung der Durchlässigkeit der Dichtung zu berücksichtigen. Dazu sollte möglichst eine Kalibrierung des Berechnungsmodells auf Grundlage gemessener Grundwasserstände erfolgen. Die Erhöhung der Durchlässigkeit kann auf Teilbereiche der Dichtung beschränkt werden (z. B. durchwurzelte Bereiche in der Wasserwechselzone).

Anmerkung 1: Für eine intakte, qualifizierte Dichtung entsprechend Regelbauweise kann die Durchlässigkeit mit $k = 10^{-8}$ m/s angesetzt werden.

Anmerkung 2: Für den durchwurzelten Bereich einer Oberflächendichtung kann eine erhöhte Durchlässigkeit von $k = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s angenommen werden (siehe auch Abschnitt 13.1.3).

Bei staugeregelten Flüssen oder Kanälen mit planmäßig ungedichtetem Gewässerbett darf ein erhöhter hydraulischer Widerstand infolge Kolmation in der Strömungsberechnung berücksichtigt werden, wenn dieser durch langfristige Grundwasserstandsmessungen belegt ist. Der erhöhte hydraulische Widerstand darf nur bis maximal auf Höhe des Mittelwasserstands angesetzt werden. Zur Bestimmung des hydraulischen Widerstands sollte eine Kalibrierung des Berechnungsmodells erfolgen. Bei der Festlegung des hydraulischen Widerstands ist eine Verringerung der Wirksamkeit auf Grund von Maßnahmen (z. B. Unterhaltungsbaggerungen) oder Einwirkungen (z. B. Erosion des Gewässerbetts durch Hochwasser) innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer des Damms zu berücksichtigen. Die Kalibrierung unter Berücksichtigung einer möglichen Verringerung der Wirksamkeit des hydraulischen Widerstands sollte auf Grundlage gemessener Grundwasserstände durchgeführt werden.

Bei hochwasserbelasteten Dämmen ist der in Abschnitt 5.3.3 angegebene charakteristische Hochwasserstand HW_k als wasserseitige hydraulische Randbedingung in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) anzusetzen. Dabei ist eine mögliche Überströmung der maximal bis auf Höhe des Mittelwasserstands anzusetzenden Kolmationsschicht in der Strömungsberechnung zu berücksichtigen.

8.3 Vorübergehende Bemessungssituation

Bei hochwasserbelasteten Dämmen ist die Auswirkung der Revision eines Wehrfeldes des zugehörigen Wehres durch Ansatz des in Abschnitt 5.3.3 angegebenen charakteristischen Hochwasserstands $HW_{k,(n-a)}$ als wasserseitige hydraulische Randbedingung in der zugehörigen, vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) zu berücksichtigen.

Wird in einem Bauzustand eine Kanaldichtung oder eine durch Kolmation gebildete Dichtungsschicht des Gewässerbetts aufgenommen, so sind für die Ermittlung der Dammstandsicherheit in der zugehörigen, vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) die ungünstigsten Bauzustände mit fehlender Dichtungsschicht in der Strömungsberechnung zu berücksichtigen. Dabei ist das Ausmaß der Bereiche ohne wirksame Dichtungsschicht auf der sicheren Seite liegend in den für die Bauzustände maßgebenden Gewässer- und Dammquerschnitten anzusetzen.

Bei Bauzuständen an hochwasserbelasteten Dämmen ist der in Abschnitt 5.3.3 angegebene charakteristische Hochwasserstand HW_k als wasserseitige hydraulische Randbedingung in der zugehörigen, vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) zu berücksichtigen.

8.4 Außergewöhnliche Bemessungssituation

Wird in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) das hydraulische Versagen einer Dichtung angenommen, ist diese, auf der sicheren Seite liegend, im Allgemeinen als hydraulisch vollständig unwirksam anzusetzen. In der Berechnung ist dabei die Durchlässigkeit der Dichtung der des Dammkörpers bzw. des Untergrunds gleichzusetzen. Dies gilt auch für ein kolmatiertes Gewässerbett.

Bei Ansatz des hydraulischen Versagens einer Dichtung als außergewöhnliche Einwirkung ist bei Stauhaltungsdämmen der in Abschnitt 5.3.3 angegebene charakteristische Hochwasserstand HW_k als wasserseitige hydraulische Randbedingung in der zugehörigen, außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) zu berücksichtigen.

Bei Ansatz eines außergewöhnlichen Hochwassers als außergewöhnliche Einwirkung ist bei hochwasserbelasteten Dämmen der in Abschnitt 5.4.4 angegebene außergewöhnliche Hochwasserstand HW_a als wasserseitige hydraulische Randbedingung in der zugehörigen, außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) zu berücksichtigen.

8.5 Berechnung der Dammdurchströmung

Die Berechnung der Dammdurchströmung ist mittels numerischer Verfahren (z. B. Methode der Finiten Elemente) anhand eines für einen Dammschnitt repräsentativen Querschnittes senkrecht zur Kanalachse (vertikal-ebenes Grundwassermodell) für alle zu untersuchenden Bemessungssituationen durchzuführen. Die berechneten Grundwasserpotentialverteilungen sind der Berechnung der Böschungsstandsicherheit zugrunde zu legen.

Das zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung verwendete (i. A. vertikal-ebene) Grundwassermodell muss:

- die Damngeometrie inkl. der hydraulisch wirksamen Einbauten,
- die Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit der maßgebenden Bodenschichtung des Dammes und des Untergrunds sowie
- die maßgebenden hydraulischen Randbedingungen für die jeweiligen Bemessungssituationen

hinreichend genau abbilden.

Die Bodenschichtung und die Durchlässigkeiten im Modell sind auf Grundlage einer ausreichenden Erkundung des Dammmaterials und des Untergrunds festzulegen. Dabei ist insbesondere darauf zu achten, dass ggf. vorhandene, wasserstauende Schichten im Modell ausreichend berücksichtigt werden. Ist auf Grund des Dammmaterials und des Einbauverfahrens oder auf Grund der Bodenerkundung mit einer deutlichen Anisotropie (Richtungsabhängigkeit) der Durchlässigkeit zu rechnen (im Allgemeinen höhere horizontale als vertikale Durchlässigkeit, z. B. bei lagenweise verdichtetem Waschbergematerial), so ist diese Anisotropie im Modell zu berücksichtigen.

Eine vollständige Dichtwirkung von Uferspundwänden oder Kernspundwänden kann nur bei Spundwänden mit gedichteten oder verschweißten Spundwandschlössern vorausgesetzt werden. Bei Spundwänden mit offenen Spundwandschlössern ohne Dichtung kann die Dammdurchströmung im Allgemeinen nicht vernachlässigt werden. Erläuterungen zum Ansatz der Durchlässigkeit von Spundwänden in der Dammdurchströmungsberechnung sind in Anlage 2 gegeben.

Die Modellabmessungen sind so zu wählen, dass die Grundwasserverhältnisse im Untergrund des Dammes und des seitlich anschließenden Geländes, die einen Einfluss auf die Dammdurchströmung haben,

ausreichend berücksichtigt werden. Insbesondere sind die hydraulischen Randbedingungen an den landseitigen Modellrändern (z. B. geschlossene Modellränder ohne Abstrom, vorgegebene Grundwasserpotentiale für Grundwasserabstrom) in den Strömungsberechnungen so zu wählen, dass eine realistische, jedoch auf der sicheren Seite liegende Strömungsbeanspruchung des Dammes und eventuell des Untergrunds für die Standsicherheitsberechnungen in den jeweiligen Bemessungssituationen ermittelt wird.

Die numerische Strömungsberechnung ist in der Regel für einen stationären (zeitunabhängigen) Zustand durchzuführen. Dies gilt auch für hochwasserbelastete Dämme, bei denen die Berechnung der Dammdurchströmung auf Grundlage der maßgebenden wasserseitigen, hydraulischen Randbedingungen (Hochwasserstände im Gewässer) zur Ermittlung der Dammstandsicherheit in den einzelnen Bemessungssituationen durchzuführen ist.

Anmerkung: Bei Hochwasser wird sich ein stationärer Zustand für die Dammdurchströmung auf Grund der zeitlich verzögerten Wassersättigung des Dammes i. A. nur bei langanhaltend konstanten Hochwasserständen einstellen. Bei Hochwasser mit kurz anhaltenden Hochwasserständen wird sich dagegen zumeist eine – gegenüber dem stationären Zustand – deutlich geringere Wassersättigung des Dammkörpers einstellen. Die stationären Berechnungen der Dammdurchströmung liegen dadurch hinsichtlich der hydraulischen Beanspruchung des Dammkörpers und der Standsicherheit der landseitigen Dammböschung auf der sicheren Seite.

Falls sich der Damm an einem Gewässer befindet, für das ein Hochwasser mit kurz anhaltenden Hochwasserständen charakteristisch ist, und der Nachweis der Dammstandsicherheit für den jeweiligen charakteristischen Hochwasserstand auf der Grundlage einer stationären Strömungsberechnung nicht möglich ist, darf die hydraulische Strömungsbeanspruchung des Dammes durch eine instationäre Berechnung ermittelt werden. Hierzu ist als wasserseitige Randbedingung die Festlegung einer für die Dammstandsicherheit maßgebenden und auf der sicheren Seite liegenden Hochwasserstandsganglinie erforderlich. Die instationäre Strömungsberechnung kann auch eine geeignete Grundlage für die Planung eventuell erforderlicher Maßnahmen zur Herstellung der Dammstandsicherheit sein.

Im Sonderfall des landseitigen Einstaus von Dämmen (z. B. bei landseitig angeordneten Retentionsräumen oder bei Schleusenkanälen parallel zum Altgewässer) ist zu prüfen, ob insbesondere beim Abstau (schnelle Entleerung des Retentionsraums) erhöhte hydraulische Belastungen des Dammkörpers auftreten können. In diesem Fall können die für die wasserseitige Dammböschung in Abschnitt 9.3 angegebenen, vereinfachten Ansätze zur Berücksichtigung von schnell absinkenden Wasserständen im Gewässer auf die landseitige Dammböschung übertragen und verwendet werden. Falls dieser Ansatz nicht zu einer ausreichenden Dammstandsicherheit führt, kann die hydraulische Strömungsbeanspruchung des Dammes auch in diesem Fall durch eine instationäre Berechnung ermittelt werden.

Weitere Hinweise zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung werden in Anlage 4 und z. B. auch von Odenwald et al. (2018) gegeben.

9 Standsicherheitsnachweise

9.1 Allgemeines

Die Dammstandsicherheitsnachweise sind auf Grundlage der Regelungen in DIN EN 1997-1 (EC 7-1), DIN EN 1997-1/NA und DIN 1054 zu führen. Diese beziehen sich ausschließlich auf die erforderlichen Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State, ULS nach DIN EN 1997-1). Hierbei wird hinsichtlich des Versagens auf der Landseite und auf der Wasserseite des Damms unterschieden. Zur Gewährleistung der Standsicherheit des Dammbauwerkes sind dabei für die maßgebenden Bemessungssituationen folgende geotechnische Nachweise zu führen:

- **Für die Landseite:**
 - Gesamtstandsicherheit und lokale Standsicherheit der Dammböschung gegen Böschungsbruch (GEO-3),
 - Sicherheit gegen Aufschwimmen (UPL),
 - Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch (HYD),
 - Sicherheit gegen Bodenmaterialtransport (HYD),
 - Sicherheit gegen Spreizen am Böschungsfuß (GEO-3) sowie
 - Sicherheit gegen Gleiten des Damms auf der Dammaufstandsfläche (GEO-3).
- **Für die Wasserseite:**
 - Gesamtstandsicherheit und lokale Standsicherheit der Dammböschung gegen Böschungsbruch (GEO-3).

Nachweise gegen ein Versagen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State, SLS nach DIN EN 1997-1) müssen beim Nachweis der Dammstandsicherheit nicht geführt werden.

Anmerkung: Die Nachweise gegen ein Versagen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit umfassen üblicherweise die Nachweise der hydraulischen Sicherheit (Wirksamkeit von Dichtungselementen), der Rissicherheit von im Dammkörper eingebrachten Dichtungselementen und der Zulässigkeit der auftretenden Dammverformungen. Der Nachweis der hydraulischen Sicherheit ist für die Dämme an den Bundeswasserstraßen nicht erforderlich, da beim Vorhandensein von Dichtelementen die Standsicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach MSD auch bei Ausfall des Dichtelementes gegeben sein muss. Auf den Nachweis der Rissicherheit von innenliegenden Dichtungselementen und der zulässigen Dammverformungen kann verzichtet werden, da bei Einhaltung der in den ZTV-W, LB 205, festgelegten Einbau- und Herstellungs-kriterien im Allgemeinen davon ausgegangen werden kann, dass bei neu errichteten Dämmen die auftretenden Verformungen gering und bauwerksverträglich sind. Für Bestandsdämme kann in der Regel vorausgesetzt werden, dass die Setzungen (Konsolidationssetzungen) während der Standzeit bereits abgeklungen sind und die Gebrauchstauglichkeit dadurch nicht beeinträchtigt wurde.

Bei Durchströmung des Damms und/oder des Untergrunds wird die Dammstandsicherheit maßgeblich durch Strömungs-, Wasserdruck- und Auftriebskräfte beeinflusst. In diesem Fall ist als Grundlage für die Standsicherheitsnachweise die jeweils maßgebende Grundwasserpotentialverteilung im Dammkörper und im Untergrund zu ermitteln (siehe Abschnitt 8).

9.2 Landseite

9.2.1 Gesamtstandsicherheit der Böschung

Der Nachweis der Gesamtstandsicherheit ist nach DIN 4084 zu führen.

Alternativ ist die Methode der Finiten Elemente (FEM) ein mögliches Verfahren zur Bewertung der Standsicherheit einer Böschung auch unter Berücksichtigung einer Dammdurchströmung. Dafür ist das Verfahren mit schrittweiser Reduzierung der Scherparameter (φ -c Reduktion) geeignet. Weitere Erläuterungen geben z. B. EANG (2019).

In Tabelle 4 sind für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit der landseitigen Dammböschung bei nicht hochwasserbelasteten Kanalseitendämmen beispielhaft die den Bemessungssituationen zugeordneten Einwirkungskombinationen zusammengestellt.

In Tabelle 5 sind für hochwasserbelastete Kanalseitendämme und Stauhaltungsdämme beispielhaft die den Bemessungssituationen zugeordneten Einwirkungskombinationen zusammengestellt. Weitere Kombination können möglich sein.

Grundlage bilden jeweils die Festlegungen in den Abschnitten 5 und 7.

Tabelle 4: Einwirkungen und Zuordnung zu Bemessungssituationen für nicht hochwasserbelastete Kanalseitendämme (mögliches Anwendungsbeispiel)

Einwirkungen		Bemessungssituationen				
		ständige	vorübergehende		außergewöhnliche	Erdbeben
		P	T 1 ³⁾	T 2 ⁴⁾	A ⁵⁾	E
ständige	Eigenlasten und Auflasten	X	X	X	X	X
veränderliche	Verkehrslasten ³⁾	X	erhöht	X	X	X
	Wasserstand im Gewässer ¹⁾	BW ₀	BW ₀	BW ₀	BW ₀	BW ₀
außergewöhnliche	Ausfall Sicherungselement ²⁾				X	
Erdbeben						X

1) Ist landseitig ein hochwasserbelastetes Gewässer vorhanden, sind die Auswirkungen der maßgeblichen Wasserstandsunterschiede sowie des fallenden landseitigen Wasserstands nach einem Hochwasser in weiteren Bemessungssituationen zu untersuchen.

2) Sind mehrere Sicherungselemente vorhanden, ist dies entsprechend Abschnitt 5.4.2 in weiteren Bemessungssituationen zu betrachten.

3) Die Höhe der Verkehrslasten ist in Abhängigkeit der jeweiligen Bemessungssituation festzulegen.

4) Bauzustand am Damm

5) sowohl für den Betriebs- als auch für Bauzustände berücksichtigen

Tabelle 5: Einwirkungen und Bemessungssituationen für Stauhaltungsdämme und hochwasserbelastete Kanalseitendämme (mögliches Anwendungsbeispiel)

Einwirkungen		Bemessungssituationen					
		ständige	vorübergehende		außergewöhnliche		Erdbeben
		P	T 1 ⁴⁾	T 2 ⁵⁾	A 1 ⁶⁾	A 2 ⁶⁾	E
ständige	Eigen- und Auflasten	X	X	X	X	X	X
veränderliche	Verkehrslasten ³⁾	X	X	X	X	X	X
	Wasserstand Gewässer ¹⁾	HW _k	HW _{k,(n-a)}	HW _k		HW _k	Z _S
außergewöhnliche	Wasserstand Gewässer ¹⁾				HW _a		
	Ausfall Sicherungselement ²⁾					X	
Erdbeben							X

- 1) Ist landseitig ein weiteres, hochwasserbelastetes Gewässer vorhanden, sind die Auswirkungen der maßgeblichen Wasserstands-differenzen sowie des fallenden landseitigen Wasserstands nach einem Hochwasser in weiteren Bemessungssituationen zu untersuchen.
- 2) Sind mehrere Sicherungselemente vorhanden, ist dies entsprechend Abschnitt 5.4.2 in weiteren Bemessungssituationen zu betrachten.
- 3) Die Höhe der Verkehrslasten ist in Abhängigkeit der jeweiligen Bemessungssituation festzulegen.
- 4) Revision eines Wehrfeldes
- 5) Bauzustand am Damm
- 6) Sowohl für den Betriebs- als auch für Bauzustände berücksichtigen

Dämme können auch auf der Landseite eingestaut werden (z. B. Flusseitendämme im Bereich von Hochwasserrückhalteräumen, Kanalseitendämme von Schleusenkanälen oder Kanalseitendämme im hochwasserbeeinflussten Bereich von Fließgewässern). In diesem Fall sind die entsprechenden Wasserstände auf der Landseite in den Berechnungen zu berücksichtigen. Hierbei ist zu untersuchen, welche Kombinationen zwischen dem wasser- und landseitigen Wasserstand für die Standsicherheit maßgebend sind und ob bei ablaufendem Hochwasser erhöhte hydraulische Belastungen des Dammkörpers auftreten können (siehe auch Abschnitt 7.2 und 8.5).

Ist entlang des Dammfußes ein Seitengraben vorhanden, so ist der Einfluss des Wasserstands im Seitengraben auf die Böschungsstandsicherheit des Dammes zu untersuchen. Kann im Vorfeld der maßgebende Wasserstand nicht abgeschätzt werden, so ist die Böschungsstandsicherheit für einen Wasserstand im Seitengraben auf Höhe der Grabensohle sowie für den vollständig gefüllten Seitengraben zu untersuchen.

9.2.2 Lokale Standsicherheit der Böschung

Unter lokaler Standsicherheit wird die Sicherheit gegen Abrutschen oberflächennaher Böschungsschichten verstanden.

Bei Dämmen aus kohäsionslosem Dammmaterial wird die lokale Standsicherheit mit böschungparallelen Gleitflächen nachgewiesen. Eine ausreichende Sicherheit ist eingehalten, wenn gilt:

- oberhalb der Sickerlinie
 $\tan \beta \leq \tan \varphi'_d$ bzw. $\mu = \tan \beta / \tan \varphi'_d \leq 1$
- unterhalb der Sickerlinie
 $\tan \beta \leq \frac{1}{2} \cdot \tan \varphi'_d$ bzw. $\mu = 2 \cdot \tan \beta / \tan \varphi'_d \leq 1$

Hierbei ist φ_d der Bemessungswert des Reibungswinkels $\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi$ und β der Böschungswinkel des Dammes.

Bei kohäsivem Dammmaterial sind flach einschneidende oberflächennahe Gleitfugen ($t < 1$ m) gemäß DIN 4084 zu untersuchen. Dies kann alternativ auch bei kohäsionslosem Dammmaterial durchgeführt werden.

Bei einer lückenlos mit Gras bewachsenen Böschung reicht unterhalb der potenziellen Sickerlinienaustrittsstelle für den Nachweis der lokalen Standsicherheit in der *außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A)* eine Böschungsneigung von $\beta \leq \varphi'_k/2$ aus, da die Durchwurzelungskohäsion den erforderlichen Sicherheitsabstand zum Grenzgleichgewicht gewährleistet. Dies gilt auch für neue, erstmalig eingestaute Dämme, bei denen sich während der ersten Vegetationsperiode erst noch eine geschlossene Grasnarbe bilden muss, wenn in dieser Zeit eine erhöhte Dammbewachung durchgeführt wird.

Eine Mutterbodenandekung der Dammböschung sollte vermieden werden, da eine gegenüber dem Dammmaterial dichtere Substratschicht zu einem Aufstau des Sickerwassers führen kann. Bei unmittelbarer Begrünung des anstehenden Materials kann davon ausgegangen werden, dass infolge der Durchwurzelung eine Auflockerung und damit eine Durchlässigkeitserhöhung erfolgt. Daher ist eine Einsaat unmittelbar in das Dammschüttmaterial einer Mutterbodenandekung vorzuziehen. Besteht das Dammmaterial aus für den Bewuchs ungeeignetem Material, so ist der Mutterboden nicht als Schicht anzudecken, sondern in den Boden einzuarbeiten. Eine Magerraseneinsaat kann dabei durchgeführt werden, wenn sichergestellt ist, dass die Durchwurzelung so dicht wird, dass keine Oberflächenerosion auftreten kann und die oben beschriebenen Kriterien der Durchlässigkeit erfüllt sind.

Anmerkung: Die Erosion der Böschungsoberfläche, insbesondere durch austretendes und über die Böschung abfließendes Sickerwasser, ist grundsätzlich zu verhindern. Dies kann z. B. durch einen lückenlosen Grasbewuchs erreicht werden. Dabei sind die oben genannten Hinweise zu beachten.

Für Bauzustände zur Herstellung der Böschungsstandsicherheit ist der Nachweis der lokalen Standsicherheit in der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) nicht erforderlich.

9.2.3 Sicherheit gegen Aufschwimmen einer Bodenschicht

Aufschwimmen tritt ein, wenn der Porenwasserdruck unter einer gering durchlässigen Bodenschicht größer ist als die Auflast. Die gering durchlässige Bodenschicht wird dabei durch die an ihrer Unterseite wirkende Auftriebskraft angehoben.

In Abhängigkeit von der Bemessungssituation ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der stabilisierenden Einwirkung $G_{\text{stb,d}}$ (Eigengewicht des wassergesättigten Bodens und des ggf. darüber ständig

anstehenden Wassers) größer ist als der Bemessungswert der destabilisierenden Einwirkung $G_{dst,d}$ (Auftriebskraft des Wassers).

$$G_{dst,d} = G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} = G_{stb,d}$$

$G_{dst,k}$ – charakteristischer Wert der destabilisierenden, ständigen Einwirkungen

$G_{stb,k}$ – charakteristischer Wert der stabilisierenden, ständigen Einwirkungen

$\gamma_{G,dst}$ – Teilsicherheitsbeiwerte für destabilisierende, ständige Einwirkungen

$\gamma_{G,stb}$ – Teilsicherheitsbeiwerte für stabilisierende, ständige Einwirkungen

Der Nachweis gegen Aufschwimmen ist bei Dämmen z. B. in Situationen zu führen, wie sie in Abbildung 5 dargestellt ist.

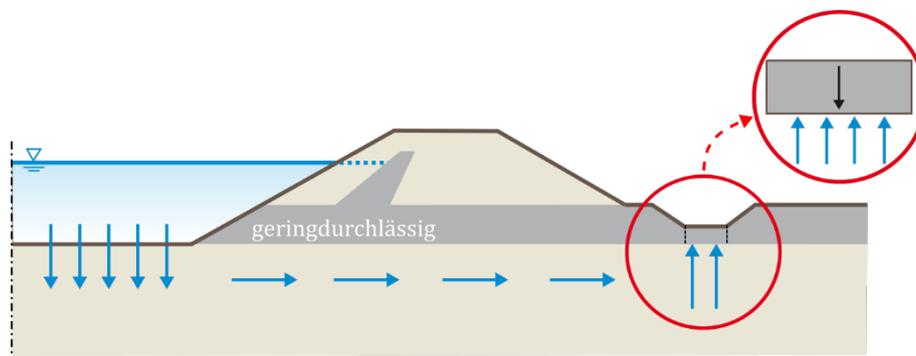


Abbildung 5: Typische Situation für die Möglichkeit des Aufschwimmens einer Bodenschicht

9.2.4 Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Beim Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch wird ein Bodenbereich betrachtet, in dem eine nach oben gerichtete Strömungskraft S_k wirkt. Hydraulischer Grundbruch tritt ein, wenn die aufwärtsgerichtete Strömungskraft S_k das Eigengewicht des Bodens unter Auftrieb G'_k überschreitet, so dass die vertikal wirksame Spannung zu null wird. Der Boden wird gewichtslos und verliert seine Festigkeit. Bodenteilchen können dann von der Vertikalströmung angehoben werden, so dass der Boden versagt.

Es ist nachzuweisen, dass der Bemessungswert der destabilisierenden Einwirkungen $S_{dst,d}$ (Strömungskraft) nicht größer ist als der Bemessungswert der stabilisierenden Einwirkungen $G'_{stb,d}$ (Eigengewicht des durchströmten Bodenkörpers unter Auftrieb).

$$S_{dst,d} = S_{dst,k} \cdot \gamma_H \leq G'_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb} = G'_{stb,d}$$

$S_{dst,k}$ charakteristischer Wert der destabilisierend wirkenden Strömungskraft

$G'_{stb,k}$ charakteristischer Wert der stabilisierend wirkenden Eigenlast des Bodens unter Auftrieb

γ_H Teilsicherheitsbeiwert für die destabilisierend wirkende Strömungskraft

$\gamma_{G,stb}$ Teilsicherheitsbeiwert für die stabilisierend wirkende Eigenlast des Bodens

Die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ist bei Dämmen z. B. in Situationen nachzuweisen, wie sie in Abbildung 6 dargestellt ist. Hier besteht die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs an der Seitengrabensohle. Sie wird durch eine Leckage in der Oberflächendichtung des Damms und der daraus resultierenden Zuströmung in die durchlässige Bodenschicht, in die der Seitengraben einschneidet, hervorgerufen.

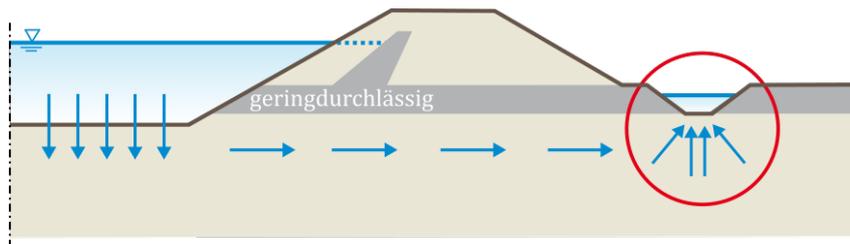


Abbildung 6: Typische Situation für die Möglichkeit eines hydraulischen Grundbruchs im Bereich des Seitengrabens

Bei einem Grundwasserzustrom zum Seitengraben ergibt sich der ungünstigste hydraulische Gradient i_z im Allg. unmittelbar an der Grabensohle (Abbildung 6). In diesem Fall ist der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch wie folgt zu führen:

$$i_z \cdot \gamma_w \cdot \gamma_H \leq \gamma'_B \cdot \gamma_{G, stb}$$

mit i_z vertikal nach oben gerichteter hydraulischer Gradient an der Seitengrabensohle

γ_w Wichte des Wassers

γ'_B Wichte des Bodens unter Auftrieb

9.2.5 Sicherheit gegen Gleiten am Dammfuß (Spreizen)

Der Nachweis gegen Spreizen dient zur Überprüfung der Standsicherheit des Dammfußes. Er wird erforderlich, wenn aufgrund großer Unterschiede in den Scherfestigkeiten zwischen Damm und Untergrund Bruchkörper entstehen können, die mittels Gleitkreisverfahren nicht zutreffend untersucht werden können. Der Nachweis der Spreizsicherheit kann z. B. durch einen Gleitnachweis unter Berücksichtigung der in Kast (1985) genannten Formeln zur Ermittlung der auf einen Bruchkörper am Dammfuß einwirkenden Kräfte erfolgen (siehe auch Kast 1985). Hierbei sind die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 für den Grenzzustand GEO-3 anzusetzen.

Bei Dämmen ohne Drän kann unter der Voraussetzung, dass der Nachweis der lokalen Standsicherheit der landseitigen Dammböschung im Bereich des Dammfußes gegeben ist, unter den in Tabelle 6 aufgeführten Randbedingungen - unabhängig von der Bemessungssituation - auf einen Nachweis gegen Spreizen am Dammfuß verzichtet werden.

Tabelle 6: Randbedingungen unter denen der Nachweis gegen Spreizen am Böschungsfuß nicht geführt werden muss

Damm	Neigung Aufstandsfläche	Neigung landseitige Dammböschung		Reibungswinkel φ_k' des Untergrundmaterials
		unteres Drittel	obere zwei Drittel	
nicht durchströmt	$\leq 1:10$	$\leq 1:2$	$\leq 1:2$	$\geq 20^\circ$
durchströmt	$\leq 1:10$	$\leq 1:3$	$\leq 1:2$	$\geq 33^\circ$
	$\leq 1:10$	$\leq 1:4$	$\leq 1:2$	$\geq 29^\circ$

Ist ein Auflastdrän vorhanden, darf sein Eigengewicht im Nachweis gegen Spreizen am Dammfuß zusätzlich berücksichtigt werden.

9.2.6 Sicherheit gegen Gleiten

Die Sicherheit gegen Gleiten des Dammes in der Dammaufstandsfläche ist nach DIN EN 1997-1 und DIN 1054 nachzuweisen.

Anmerkung: Der Nachweis gegen Gleiten kann insbesondere in Fällen mit geneigter Aufstandsfläche und geringer Scherfestigkeit in der Dammaufstandsfläche maßgebend für die Dammstandsicherheit sein.

9.3 Wasserseite

9.3.1 Gesamtstandsicherheit der Böschung

Die Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung ist nach DIN 4084 nachzuweisen.

Bei Kanalstrecken mit Oberflächendichtung, deren Querschnitt nach den Regelbauweisen des BAWMerkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherung an Wasserstraßen (MAR) hergestellt ist, ist der Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung nicht erforderlich. Ein hydraulischer Ausfall der Kanaldichtung ist für die Standsicherheit nicht maßgebend, da die daraus resultierende Dammdurchströmung die Standsicherheit der wasserseitigen Dammböschung nicht vermindert.

Bei Kanalstrecken mit Oberflächendichtung, deren Querschnitt nicht den Regelbauweisen nach MAR entspricht, ist der Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung in der ständigen Bemessungssituation zu führen.

Für wasserseitige Dammböschungen ohne Oberflächendichtung oder mit im Hochwasserfall überstauter Oberflächendichtung ist der Nachweis der Gesamtstandsicherheit unter Berücksichtigung des Absunks infolge Schiffspassage zu führen. Falls erforderlich, sind die Auswirkungen eines planmäßigen Entleerens einer Kanalhaltung sowie eines außerplanmäßigen Leerlaufens einer Kanal- oder Stauhaltung auf die Standsicherheit der wasserseitigen Dammböschung zu untersuchen.

9.3.1.1 Wasserspiegelabsunk infolge Schiffspassage

Für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) ist ein Wasserspiegelabsunk in Höhe von 0,8 m infolge Schiffspassage gegenüber dem maßgebenden äußeren Wasserstand zu berücksichtigen.

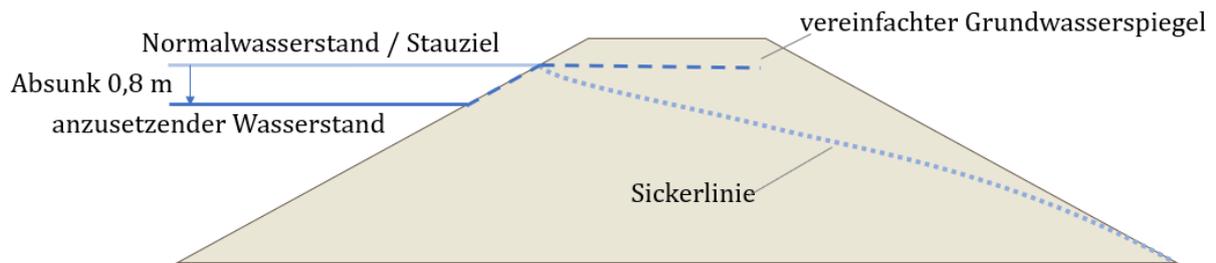
Dabei sind entsprechend der vorliegenden Dammsituation folgende äußere Wasserstände maßgebend:

- bei nicht hochwasserbelasteten Kanalseitendämmen
 - Normalwasserstand / Stauziel
- bei hochwasserbelasteten Kanalseitendämmen und Stauhaltungsdämmen
 - Normalstau am zugehörigen Wehr (hydrostatischer Stau)

Der Grundwasserstand innerhalb des Dammkörpers ist für den maßgebenden äußeren Wasserstand ohne Berücksichtigung des Absunks zu ermitteln. Bei Dämmen ohne Dichtung darf vereinfacht ein horizontaler Grundwasserspiegel innerhalb des gesamten Dammkörpers und bei Dämmen mit Innendichtung ein horizontaler Grundwasserspiegel von der wasserseitigen Böschung bis zur Innendichtung jeweils mit hydrostatischer Wasserdruckverteilung angesetzt werden (Abbildung 7).

Bei Stauhaltungsdämmen an Fließgewässern wird durch den Ansatz eines Wasserspiegelabsunks in Höhe von 0,8 m infolge Schiffspassage der tatsächliche Absunk bei breiten Gewässerquerschnitten gegenüber denen von Kanalquerschnitten mit Regelprofilen nach MAR überschätzt. Kann für Stauhaltungsdämme bei Ansatz dieses Absunks die Standsicherheit nicht nachgewiesen werden, sollte eine Ermittlung des konkreten Absunkmaßes nach BAWMerkblatt Grundlagen zur Bemessung der Böschungs- und Sohlsicherung (GBB) durchgeführt werden.

a)



b)

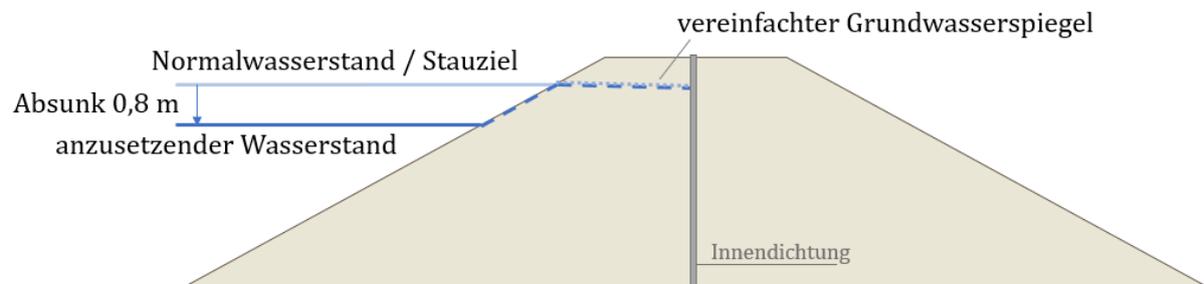


Abbildung 7: Anzusetzende Wasserstände für den Fall Wasserspiegelabsunk infolge Schiffspassage für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Böschung bei Dämmen ohne Dichtung (a), mit Innendichtung (b)

Auch bei Ansatz eines hydraulischen Ausfalls der Kanaldichtung in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) ist ein Absunk infolge Schiffspassage beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung zu berücksichtigen.

Im Einzelfall ist auch in der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) (z. B. Aufnahme der Kanaldichtung) ein Absunk infolge Schiffspassage beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung unter Beachtung der jeweiligen Randbedingungen durch den Schiffsverkehr (z. B. zulässige Geschwindigkeit, Abstand) zu berücksichtigen. Eine Ermittlung des konkreten Absunkmaßes kann nach GBB durchgeführt werden.

9.3.1.2 Wasserspiegelabsunk infolge ablaufenden Hochwassers

Bei hochwasserbelasteten Dämmen ist als weitere Einwirkung in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) die Beanspruchung der wasserseitigen Dammböschung durch eine ablaufende Hochwasserwelle zu berücksichtigen.

Bei Dämmen ohne Dichtung kann aus dem Verhältnis der Absinkgeschwindigkeit des Wasserstands im Gewässer v_{AB} zur Durchlässigkeit des Dammmaterials k auf die verbleibende Aufsättigung des Dammkörpers bei absinkendem Wasserstand geschlossen werden. Die maßgebende Verhältniszahl κ ergibt sich zu:

$$\kappa = \frac{k}{n_e \cdot v_{AB}}$$

mit k Durchlässigkeitsbeiwert des wassergesättigten Dammmaterials in m/s

n_e effektive Porosität des Dammmaterials

v_{AB} Absinkgeschwindigkeit des Wasserstands im Gewässer in m/s

Nach Haselsteiner (2007) und Uhlig (1962) kann bei Werten von $\kappa \geq 100$ mit einer nur unwesentlich nachhängenden Sickerlinie, d. h. mit einer bei absinkendem Wasserstand gleichzeitig bis nahezu auf gleiches Niveau auftretenden Entwässerung des Dammkörpers gerechnet werden. In diesem Fall ist kein Nachweis der Böschungsstandsicherheit bei ablaufendem Hochwasser erforderlich.

Bei $\kappa < 100$ ist dagegen mit einer verbleibenden Aufsättigung des Dammkörpers zu rechnen. Vereinfacht kann eine Aufsättigung des Dammkörpers bis auf Höhe des maßgebenden Hochwasserstandes im Gewässer mit einem horizontalen Grundwasserspiegel im Dammkörper und hydrostatischer Wasserdruckverteilung angenommen werden (Abbildung 8). Der maßgebende Hochwasserstand entspricht dem für die ständige Bemessungssituation (BS-P) zugrunde gelegten charakteristischen Hochwasserstand (siehe Abschnitt 5.3.3). Auf der sicheren Seite liegend kann ein Absink des Wasserstands auf ein Drittel der Einstauhöhe angenommen werden (Abbildung 8). Die Einstauhöhe ergibt sich dabei aus der Differenz zwischen dem Hochwasserstand und dem Mittelwasserstand im Gewässer.

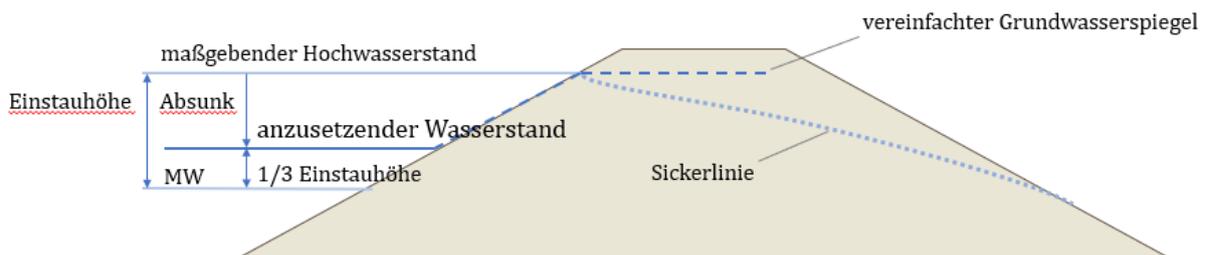


Abbildung 8: Anzusetzende Wasserstände für den Fall Wasserspiegelabsink infolge ablaufenden Hochwassers für $\kappa < 100$ für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Böschung

Kann die Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Dammböschung unter Berücksichtigung dieser vereinfachten Annahmen nicht nachgewiesen werden, sollte die maßgebende Porenwasserdruckverteilung im Dammkörper mittels numerischer instationärer, gesättigt-ungesättigter Grundwasserströmungsberechnung ermittelt werden. Hierfür ist eine maßgebende Hochwasserganglinie für die in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) zugrunde gelegte Hochwasserüberschreitungswahrscheinlichkeit festzulegen.

9.3.1.3 Wasserspiegelabsink infolge planmäßigen Entleerens einer Kanalhaltung

Das planmäßige Entleeren einer Kanalhaltung ist der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) zuzuordnen. Bei Kanälen mit Oberflächendichtung des Gewässerbetts ist nachzuweisen, dass die Kanaldichtung bei Ansatz oberer charakteristischer Grundwasserpotentiale sicher gegen Aufschwimmen ist. Falls erforderlich, sind geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Grundwassersdrucks (z. B. Grundwasserabsenkung) vorzusehen.

Bei Dämmen ohne Oberflächendichtung oder Dämmen mit Innendichtung ist die Standsicherheit der wasserseitigen Dammböschung nachzuweisen. Diese gilt bei Absenkgeschwindigkeiten für $\kappa \geq 100$ ohne Nachweis als erbracht. Falls eine Absenkgeschwindigkeit des Kanalwasserstands erforderlich ist, bei der sich

$\kappa < 100$ ergibt, muss die maßgebende Porenwasserdruckverteilung im Dammkörper mittels numerischer instationärer, gesättigt-ungesättigter Grundwasserströmungsberechnung ermittelt werden.

9.3.1.4 Wasserspiegelabsink infolge außerplanmäßigen Leerlaufens einer Kanal- oder Stauhaltung

Ein außerplanmäßiges Leerlaufen einer Kanal- oder Stauhaltung in Folge eines Schadens ist der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) zuzuordnen. Durch den schnellen Leerlaufvorgang kann es im Bereich der wasserseitigen Böschung zu lokalen Rutschungen und oberflächennahen Brüchen kommen, wodurch die Gebrauchstauglichkeit der Haltung eingeschränkt wird. Die Gesamtstandsicherheit des Dammes wird dadurch im Allgemeinen nicht verringert, da der Damm beim Leerlaufen der Haltung einer abnehmenden Wasserdruckbelastung von der Wasserseite ausgesetzt ist. Deshalb ist die Untersuchung der Auswirkungen eines außerplanmäßigen Leerlaufens einer Kanal- oder Stauhaltung auf die wasserseitige Dammböschung in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) nicht erforderlich.

9.3.2 Lokale Standsicherheit der Böschung

Die lokale Standsicherheit der wasserseitigen Dammböschung wird durch eine ausreichend dimensionierte Böschungs- und Sohlsicherung nach GBB oder eine nach MAR hergestellte Böschungssicherung gewährleistet und wird hier nicht betrachtet. Die Auswirkungen von Abweichungen gegenüber o. g. Bauweisen auf die lokale Standsicherheit sind im Einzelfall zu bewerten.

9.4 Sicherheit gegen Materialtransport

Wird ein Boden durchströmt, kann die Strömungskraft des Wassers Bodenverlagerungen (Materialtransport) bewirken. Diese Bodenverlagerungen können die Standsicherheit eines Dammes und von Bauwerken im Damm gefährden. Daher ist die ausreichende Sicherheit gegen Materialtransport im Boden eine Voraussetzung für die Standsicherheit von durchströmten Dämmen sowie von unter- und umströmten Bauwerken in Dämmen.

Die Nachweise gegen Materialtransport (Suffosion, Kontakterosion und Fugenerosion an Schichtgrenzen) sind nach BAWMerkblatt Materialtransport im Boden (MMB) für die Bemessungssituationen zu führen, in denen eine Dammdurchströmung zugrunde gelegt wird. Der Nachweis gegen Fugenerosion bei Bauwerken in Dämmen ist nach Abschnitt 11.2 zu führen.

Beim Nachweis ausreichender Sicherheit gegen Materialtransport wird grundsätzlich zuerst untersucht, ob ein Transport von Feinbestandteilen des Bodens bei der vorhandenen Poren- und Korngeometrie überhaupt möglich ist (geometrisches Kriterium). Sind die geometrischen Kriterien nicht eingehalten, dann sollte bei Bestandsbauwerken eine Bewertung auf Grundlage der Strömungsbeanspruchungen im Einzelfall erfolgen. Beim Neubau wird grundsätzlich die Einhaltung der geometrischen Kriterien nach MMB gefordert.

Neben diesen Arten des Materialtransports im Inneren des Bodens gibt es Transportvorgänge an der freien Oberfläche eines Bodenkörpers, z. B. an der Böschungsoberfläche des Dammes oder Seitengrabens. Diese äußere Erosion wird im Allgemeinen durch eine Strömungsbelastung (z. B. Starkregen oder Strömung im Seitengraben) verursacht. Hier können eine dichte Grasnarbe oder ein Deckwerk einen ausreichenden Schutz bieten.

10 Nachweis ausreichender Kronenhöhe

Die Mindesthöhenlage der Dammkrone ergibt sich aus dem maßgebenden Wasserstand im Gewässer und dem zugehörigen Freibord.

Bei nicht durch Hochwasser belasteten Dämmen ist für die Ermittlung der Kronenhöhe der obere Betriebswasserstand (BWo) maßgebend. Nach RiReBSK (2011) ist ein Mindestfreibord von 0,7 m zu berücksichtigen.

Bei durch Hochwasser belasteten Dämmen ist der Wasserstand entsprechend Abschnitt 5.3.3 anzusetzen. Zur genaueren Bestimmung des Freibordes für hochwasserbelastete Dämme siehe DIN 19700-13 sowie DVWK 246.

11 Dämme im Bereich von Bauwerken

11.1 Allgemeines

Bauwerke in Dämmen, z. B. Düker, Durchlässe, Unterführungen, Widerlager von Kanalbrücken und Entnahmehauwerke, stellen immer einen Fremdkörper mit erhöhtem Schadensrisiko für den Damm dar. Infolge unterschiedlicher Steifigkeit von Damm und Bauwerk können Setzungsdifferenzen auftreten, die sich bei Dammdurchströmung noch verstärken können. Die Setzungsdifferenzen können insbesondere unterhalb des Massivbauwerks zu einer Hohlraumbildung führen, die bei Dammdurchströmung einen bevorzugten Sickerweg darstellt. Dadurch besteht an den Grenzflächen zwischen Bauwerk und Dammschüttung oder Untergrund bei Dammdurchströmung die Gefahr einer Fugenerosion bzw. rückschreitenden Erosion, die zu einem Einsturz des Dammes im Anschluss an das Massivbauwerk führen kann.

Für den Nachweis der Standsicherheit von Dämmen im Bereich von Bauwerken ist deshalb zusätzlich eine ausreichende Sicherheit gegen Fugenerosion nachzuweisen. Um eine Fugenerosion entlang der Grenzflächen zwischen Bauwerk und Damm bzw. Baugrund zu vermeiden, darf bei Durchströmung des Dammes (z. B. infolge einer Leckage in der Kanaldichtung) kein Austrag von Boden stattfinden. Dazu muss nachgewiesen werden, dass unter Annahme ungünstiger geohydraulischer Randbedingungen:

- in den möglichen Wasseraustrittsbereichen eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch bzw. Aufschwimmen und gegen Böschungsbruch gegeben ist und
- der durchströmte Boden eine ausreichende Sicherheit gegen Suffosion und Kontakterosion besitzt.

Beim Entwurf von Bauwerken in Dämmen muss wegen dieser Risiken sorgfältig geprüft werden, wo sich bevorzugte Sickerwege bei Durchströmung des Dammes, insbesondere bei hydraulischem Ausfall von Dichtungen einstellen können. Ein Austrag von Bodenmaterial in den Bereichen um das Bauwerk, in denen bei Durchströmung des Dammes ein Wasseraustritt aus dem Damm oder dem Untergrund und eine dadurch verursachte rückschreitende Erosion auftreten kann, ist durch konstruktive Maßnahmen (z. B. durch Auflastdräns im potenziellen Sickerwasseraustrittsbereich oder durch Sickerwegverlängerungen) zu verhindern.

11.2 Nachweis gegen Fugenerosion

11.2.1 Nachweisführung

Der im Folgenden beschriebene Nachweis der Sicherheit gegen Fugenerosion basiert auf numerischen Berechnungen der Dammdurchströmung im Bauwerksbereich. In den Strömungsberechnungen werden mögliche Hohlräume an den Grenzflächen zwischen Bauwerk und Dammschüttung berücksichtigt. Dabei ist eine offene Fuge und damit kein (bzw. nur ein geringer) Potentialabbau anzusetzen, wo eine Hohlräumbildung wegen Besonderheiten des Baugrunds, der Bauwerksgeometrie oder des Bauverfahrens nicht ausgeschlossen werden kann. Tabelle 7 zeigt eine Übersicht über die Beurteilung der Gefahr einer Hohlräumbildung bei Bauwerken in Dämmen. Anlage 5 enthält Angaben zur Berücksichtigung hydraulisch wirksamer Fugen in der numerischen Strömungsberechnung.

Ein Ausfall der hydraulischen Wirksamkeit von Teilen der Bauwerke (z. B. Flügelwand, Gleitsicherheitspundwand) wird in der Regel nicht betrachtet. Bestehen jedoch Zweifel an ihrer hydraulischen Wirksamkeit, ist die sickerwegverlängernde Wirkung dieser Bauteile in keiner Bemessungssituation anzusetzen. Für den Ansatz von Dränsystemen gelten die Kriterien aus Abschnitt 5.4.2.

Zum Nachweis der Sicherheit gegen Fugenerosion ist die Standsicherheit des Dammes unter Berücksichtigung der aus der Strömungsberechnung resultierenden Wasserdruck- und Strömungskräfte zu untersuchen. Um auf der sicheren Seite liegende Wasserdrücke und Strömungskräfte zu ermitteln, sind Strömungsberechnungen sowohl unter Annahme möglicher Fugen zwischen Bauwerk und Damm als auch ohne Ansatz von Fugen durchzuführen. In den Standsicherheitsnachweisen ist die Potentialverteilung mit den jeweils ungünstigeren Wasserdrücken und Strömungskräften anzusetzen.

Zusätzlich ist für den durchströmten Boden eine ausreichende Sicherheit gegen Suffosion und Kontakterosion gemäß MMB (2013) nachzuweisen.

Die Standsicherheit von Grabenböschungen am Übergang zu Ein- und Auslaufbauwerken von Durchlässen und Dükern ist nach DIN 4084 in allen maßgebenden Bemessungssituationen, ggf. unter Berücksichtigung einer Durchströmung der Böschungen, nachzuweisen. Grundsätzlich sollte eine Befestigung der Grabensohle und der Böschungen beim Anschluss an die Ein- bzw. Auslaufbauwerke durchlässig gestaltet werden, um einen Wasserüberdruck unter der Befestigung und damit ein Aufschwimmen zu vermeiden.

Tabelle 7: Beispiele zur Beurteilung der Gefahr einer Hohlräumbildung bei Bauwerken in Dämmen

Durchströmter Bereich	Potentialabbau kann angesetzt werden	kein Potentialabbau, Hohlraum (Fuge) nicht auszuschließen
Entlang einer gerammten Spundwand	X	
Entlang vertikaler, glatter und ebener Wände mit Hinterfüllung aus nichtbindigem Boden	X	
Unter einem aus Ortbeton hergestellten Bauwerk/Bauteil auf gewachsenem Boden	X	
Unter einem aus Ortbeton hergestellten Bauwerk/Bauteil auf aufgeschüttetem, noch nicht wassergesättigten Boden		X
Unter einem aus Fertigteilen hergestellten Bauwerk/Bauteil		X
Unter einem eingeschwommenen Bauteil, dessen Sohlfuge verpresst wurde	X	
Unter einem eingeschwommenen Bauteil, dessen Sohlfuge nicht verpresst wurde		X
Entlang eines vorgepressten Bauteils, dessen Kontaktfläche zum Boden verpresst wurde	X	
Entlang eines vorgepressten Bauteils, dessen Kontaktfläche zum Boden nicht verpresst wurde		X
Unter pfahlgegründeten Bauteilen		X

11.2.2 Berechnung der Dammdurchströmung im Bauwerksbereich

Bei Durchströmung von Dämmen im Bauwerksbereich stellt sich infolge der Um- und Unterströmung sowie der räumlich begrenzten Ausdehnung möglicher hydraulisch wirksamer Fugen immer ein dreidimensionales Strömungsfeld ein. Die aus der Dammdurchströmung resultierende Grundwasserpotentialverteilung kann deshalb im Allgemeinen durch zweidimensionale (vertikal-ebene) Grundwasserströmungsmodelle nur unzureichend ermittelt werden.

Auf Grund des hohen erforderlichen Aufwandes bei der Erstellung dreidimensionaler Grundwasserströmungsmodelle wird jedoch unter bestimmten Randbedingungen empfohlen, die Strömungsberechnung vereinfacht mittels vertikal-ebener (zweidimensionaler) Modelle durchzuführen. Dies gilt für den Fall, dass eine Um- und Unterströmung - auch unter Berücksichtigung möglicher hydraulischer Fugen - als überwiegend vertikal-eben angenommen werden kann (z. B. bei Damfstrecken mit Düchern und Durchlässen).

Vertikal-ebene Modelle zur Ermittlung der Grundwasserströmung im Bauwerksbereich dürfen jedoch nicht verwendet werden, wenn die hydraulischen Randbedingungen zu einer konzentrierten Strömung in Richtung eines lokal begrenzten Bereiches (z. B. Zuströmung zu einer Baugrube oder zu einem tieferliegenden Geländebereich) führen.

Können vertikal-ebene Modelle angesetzt werden, sind die vereinfachenden Annahmen dabei so zu wählen, dass mittels der Modellrechnungen jeweils auf der sicheren Seite liegende Potentialverteilungen für die Standsicherheitsberechnungen ermittelt werden. Ergibt sich auf Grundlage der Berechnungen mit den vertikal-ebenen Modellen keine ausreichende Dammstandsicherheit, so ist eine dreidimensionale Grundwasserströmungsmodellierung als verbesserte Grundlage für die Standsicherheitsberechnungen zu empfehlen. Diese Modellierung ist darüber hinaus auch geeignet Instandsetzungsmaßnahmen zu planen.

Für die Berechnung der Dammdurchströmung unter Berücksichtigung des hydraulischen Ausfalls der Dichtung und möglicher Fugen zwischen Bauwerk und Boden kann der zu berücksichtigende Dichtungsausfall auf einen Teilbereich beschränkt werden. Dies ist begründet durch die Ermittlung einer unrealistisch hohen Dammdurchströmung bei Überlagerung von vollständigem Dichtungsausfall und hydraulisch wirksamen Fugen. Für den Bereich des Dichtungsausfalls sollte in der vertikal-ebenen Berechnung ein mindestens 2 m breiter (unendlich langer) Streifen und in der dreidimensionalen Berechnung eine Grundfläche von mindestens 50 m² (z. B. 2 m x 25 m) berücksichtigt werden. Dieser Bereich des Dichtungsausfalls ist so anzunehmen, dass sich ein möglichst kurzer Sickerweg zu den hydraulisch wirksamen Fugen ergibt. Ggf. sind in Abhängigkeit der Geometrie des Bauwerkes verschiedene Anordnungen des Dichtungsausfalls zu untersuchen. Für die Berechnung der Dammdurchströmung ohne Berücksichtigung von Fugen zwischen Bauwerk und Dammschüttung sollte dagegen in der Regel ein vollständiger Dichtungsausfall angenommen werden.

In begründeten Einzelfällen kann der Dichtungsausfall auch bei der Berechnung ohne Berücksichtigung von Fugen auf einen Teilbereich begrenzt werden. Ebenso kann der anzusetzende Bereich des Dichtungsausfalls bei der Berechnung mit Berücksichtigung von Fugen gegenüber den o. g. Größen verringert werden. Dies setzt jedoch voraus, dass durch ein geeignetes Beobachtungssystem ein größerer Dichtungsausfall erkannt wird und geeignete Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden können (siehe auch Abschnitt 8).

Nachstehend sowie im Ablaufdiagramm in Anlage 6 ist die empfohlene Vorgehensweise bei der Grundwasserströmungsmodellierung für Dammbereiche mit Unterführungsbauwerken dargestellt. Dabei wird angenommen, dass sich das Bauwerk im Bereich eines gedichteten Kanals befindet. Die Berechnungen für den durchströmten Damm sind hier für den Ausfall der Dichtung (BS-A) durchzuführen. Eine entsprechende Beispielrechnung für einen Dammbereich mit einem Durchlassbauwerk befindet sich in Anlage 7. Bei unge dichtetem Kanal oder Flussbett bzw. bei Dichtungen, die nur eine Sickerwegsverlängerung darstellen, ist die Dammdurchströmung für die ständige Bemessungssituation (BS-P) zu ermitteln. Bei hochwasserbelasteten Damfstrecken sind die maßgebenden Wasserstände in den einzelnen Bemessungssituationen entsprechend Abschnitt 5.3.3 und Abschnitt 5.4.4 anzusetzen. Die nachstehend für Durchlass- oder Dükerbauwerke in gedichteten Kanalstrecken beschriebene Vorgehensweise kann auf andere Bauwerke sinngemäß übertragen werden.

Zweidimensionale (vertikal-ebene) Berechnungen

Die Berechnungen erfolgen auf Grundlage der nachfolgend beschriebenen drei vertikal-ebenen Ersatzmodelle, mit denen die dreidimensionalen Strömungsverhältnisse vereinfacht abgebildet werden.

- Im *ersten vertikal-ebenen Ersatzmodell* wird die Dammdurchströmung unter Berücksichtigung eines in der Regel vollständigen Ausfalls der Dichtung für *den Schnitt durch den Damm neben dem Bauwerk* ermittelt. Dies ist begründet durch die bei Berücksichtigung eines vollständigen Dichtungsausfalls zumeist nur geringe Beeinflussung der Dammaufsättigung durch ein vergleichsweise kleinräumiges Bauwerk. Zur Ermittlung der Standsicherheit der Dammböschung im Bereich des Bauwerks und der Wasserdruckbelastung auf die Bauwerksteile sind die ermittelten Grundwasserpotentiale auf den Dammquerschnitt mit dem Bauwerk zu übertragen.
- Im *zweiten vertikal-ebenen Ersatzmodell* wird die Dammdurchströmung ebenfalls unter Berücksichtigung eines in der Regel vollständigen Ausfalls der Dichtung für *den Schnitt durch den Damm mit*

dem Bauwerk jedoch ohne Berücksichtigung möglicher Fugen zwischen Bauwerk und Boden ermittelt. Im Modell sind die Bauwerksteile, die im Wesentlichen senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet sind und die einen Aufstau des Grundwassers bewirken (Flügelwände, Spundwände, Ein- / Auslaufbauwerk), als undurchlässige Bereiche abzubilden. Nicht berücksichtigt wird das Durchlass- oder Dükerrohr, für dessen Bereich im Modell eine dem umgebenden Baugrund entsprechende Durchlässigkeit angesetzt wird. Dies ist begründet durch die vergleichsweise geringe Querausdehnung des Rohres und die durch die Umströmung nur geringfügig beeinflussten Grundwasserpotentiale. Falls unterhalb, neben oder oberhalb des Rohres ein Bodenmaterial mit deutlich erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit eingebaut wurde, ist dies im Modell entsprechend zu berücksichtigen. In diesem vertikal-ebenen Ersatzmodell werden die Auswirkungen der in Querrichtung als unendlich ausgedehnt angesetzten grundwasserstauenden Bauteile und durchlässigen Schichten auf die Dammdurchströmung überschätzt.

- Im *dritten vertikal-ebenen Ersatzmodell* wird die Dammdurchströmung ebenfalls für den *Schnitt durch den Damm mit dem Bauwerk jedoch mit Berücksichtigung möglicher Fugen* zwischen Bauwerk und Boden ermittelt. Diese hydraulisch wirksamen Fugen sind überall entlang des Bauwerks anzusetzen, wo auf Grund der Herstellung und der Anordnung der Bauwerksteile eine Hohlräumung nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Diese Fugen sind zusätzlich zu den ggf. zu berücksichtigenden Verfüllungsbereichen mit erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit anzusetzen. In diesem Ersatzmodell kann der zu berücksichtigende Dichtungsausfall auf einen (senkrecht zur Strömungsrichtung unendlich ausgedehnten) Teilbereich des Berechnungsquerschnitts beschränkt werden (siehe oben).

Für die Grundwasserströmungsberechnung sind die Randbedingungen für die Grundwasserpotentiale im landseitigen Grundwasseraustrittsbereich bzw. Grundwasserabstrombereich auf der sicheren Seite festzulegen. Ggf. sind die Randbedingungen für die Grundwasserströmungsberechnungen innerhalb ihrer möglichen Spannweite zu variieren (z. B. Wasserstände im Ein- / Auslaufgraben). Hinweise hierzu finden sich auch in Abschnitt 9.2.1.

Bei in das Gelände einschneidenden Ein- und Auslaufbereichen ergibt die Durchströmungsberechnung für den Schnitt durch den Damm neben dem Bauwerk (erstes vertikales Ersatzmodell) unrealistisch hohe Grundwasserpotentiale in den Ein- und Auslaufbereichen. In diesem Fall ist die Grundwasserpotentialverteilung aus dem ersten vertikalen Ersatzmodell nicht maßgebend für den Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch bzw. Aufschwimmen.

Falls die Berechnungen keine ausreichenden Standsicherheiten ergeben, wird eine dreidimensionale Grundwasserströmungsmodellierung als Grundlage für die Standsicherheitsermittlung und die Planung ggf. erforderlicher Instandsetzungsmaßnahmen empfohlen.

Dreidimensionale Berechnungen

Im dreidimensionalen Grundwasserströmungsmodell sind alle die Dammdurchströmung beeinflussenden Bauwerksteile, Bodenschichten, hydraulischen Randbedingungen etc. hinreichend genau zu erfassen. Dabei sind wiederum Berechnungen sowohl mit Berücksichtigung hydraulisch wirksamer (hier räumlich begrenzter) Fugen zwischen Bauwerk und Boden als auch ohne Berücksichtigung von Fugen durchzuführen. Zusätzlich sind ggf. die hydraulischen Randbedingungen innerhalb ihrer möglichen Spannweite zu variieren.

- Im *ersten dreidimensionalen Strömungsmodell* werden *keine hydraulisch wirksamen Fugen* zwischen Bauwerk und Dammschüttung berücksichtigt. Die Berechnungen sind unter Annahme eines in der Regel *vollständigen Dichtungsausfalls* durchzuführen.
- Im *zweiten dreidimensionalen Strömungsmodell* sind *mögliche Fugen* zwischen Bauwerk und Dammschüttung zu berücksichtigen. Der in der Strömungsberechnung zu berücksichtigende *Dichtungsausfall* kann hier auf einen *realistischen Bereich* reduziert werden (siehe oben).

Für die Ermittlung der Wasserdruckbelastung auf die Bauwerksteile, der Sicherheit gegen Böschungsbruch im Bauwerksbereich und der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch bzw. Aufschwimmen im Grundwasseraustrittsbereich (Bereich der Ein-/ Auslaufbauwerke) ist die jeweils ungünstigere Grundwasserpotentialverteilung aus den beiden dreidimensionalen Modellrechnungen zu Grunde zu legen.

Die dreidimensionale Modellierung der Grundwasserströmung stellt im Unterschied zu den vereinfachten vertikal-ebenen Berechnungen auch ein geeignetes Hilfsmittel dar, um ggf. erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer standsicherheitserhöhenden Wirkung zu untersuchen.

11.3 Berücksichtigung der Dammdurchströmung beim statischen Nachweis von Bauwerken in Dämmen

Die aus der Berechnung der Dammdurchströmung resultierenden, auf das Bauwerk wirkenden Wasserdruck- und Strömungskräfte sind bei der Erstellung bzw. Überprüfung der Nachweise der geotechnischen Standsicherheit (Grundbruch, Gleiten, Kippen, Aufschwimmen etc.) und der Tragfähigkeit des Bauwerks im Dammkörper anzusetzen. Hierbei sind die aus der Berechnung der Dammdurchströmung im Bauwerksbereich ermittelten Grundwasserpotentialverteilungen, insbesondere für die außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A) unter Berücksichtigung des hydraulischen Ausfalls der Dichtung und möglicher Fugen zwischen Bauwerk und Boden zugrunde zu legen (siehe Abschnitt 11.2.2). Die Wasserdruckbelastungen auf die Bauwerksteile sind auf Grundlage der mit dem dreidimensionalen Modell bzw. mit den drei vertikal-ebenen Ersatzmodellen berechneten Grundwasserpotentialverteilungen anzusetzen. Im letztgenannten Fall ist die ungünstigste Grundwasserpotentialverteilung aus den drei Ersatzmodellen zu berücksichtigen.

Die statischen Nachweise der Bauwerke sind in einschlägigen Normen geregelt und sind nicht Inhalt des vorliegenden Merkblatts.

12 Damminspektion

Im Rahmen der Damminspektion werden alle Dämme durch Beobachtungen und ggf. durch ergänzende Messungen in ihrem Zustand überwacht. Ziel ist dabei Schäden möglichst frühzeitig zu erkennen und den Soll-Zustand des Dammes wiederherzustellen. Die Durchführung der Damminspektion ist in der VV-WSV 2301 (2019) geregelt. Ergänzend dient das BAWMerkblatt Damminspektion (MDI) zur Unterstützung bei der Durchführung der Damminspektion, insbesondere bei der Beurteilung von Auffälligkeiten, die im Rahmen der Dammebeobachtung erkannt werden.

Beobachtungssysteme in Dämmen dienen vor allem zur Ermittlung der Grundwasserströmungsverhältnisse und damit insbesondere zur Feststellung von Dammdurchströmungen, die sich z. B. infolge einer Dichtungsleckage einstellen können. Als Beobachtungssysteme eignen sich beispielsweise Grundwassermessstellen oder Dränsysteme mit Dränrohren und Kontrollschächten.

Hinsichtlich der Beobachtungssysteme ist in Dammstrecken ohne Bauwerke und Dammbereiche mit Bauwerken zu unterscheiden.

Bei Dammstrecken ohne Bauwerke, deren Standsicherheit nach MSD nachgewiesen ist, ist die visuelle Dammebeobachtung nach VV-WSV 2301 (2019) ausreichend zur Überwachung des Dammes.

Anmerkung: Grundwasserbeobachtungssysteme sind in diesem Fall nur erforderlich, wenn sie für eine Grundwasserbeweissicherung benötigt werden.

Für Dämme im Bereich von Bauwerken, deren Standsicherheit nach MSD nachgewiesen ist, ist die Notwendigkeit eines Beobachtungssystems zu prüfen. Ein Beobachtungssystem ist grundsätzlich erforderlich,

- wenn in den Standsicherheitsnachweisen als außergewöhnliche Einwirkung nur ein Teilausfall eines hydraulischen Sicherungselementes berücksichtigt wird oder
- wenn aufgrund möglicher bevorzugter Sickerwege an den Grenzflächen zwischen Bauwerk und Dammschüttung eine erhöhte Gefährdung der Dammstandsicherheit besteht.

Bei Dämmen mit Bauwerken, von denen keine erhöhte Gefährdung der Dammstandsicherheit ausgeht, ist - wie bei Dammstrecken ohne Bauwerke - eine visuelle Beobachtung nach VV-WSV 2301 (2019) ausreichend. Dies betrifft im Wesentlichen Bauwerke, die auf Grund ihrer baulichen Ausbildung keine relevante Verkürzung des Sickerweges durch hydraulisch wirksame Fugen bewirken. Das kann z. B. bei einem tief unterhalb der Kanalsohle verlegten Rohrleitungsdüker, der keine oder weit vom Damm entfernt liegende Ein- und Auslaufbauwerke besitzt, der Fall sein.

Dränsysteme mit Dränleitungen, die hinter Bauwerksteilen zur Wasserdruckentlastung angeordnet sind, können als Beobachtungssystem dienen, wenn sie eine Kontrolle der Grundwasserverhältnisse hinter dem Bauwerk ermöglichen (siehe auch Anlage 3).

Geophysikalische Methoden (z. B. Bodentemperaturmessungen) sind im Allgemeinen keine Messmethoden, die im Rahmen der Dammbewachung eingesetzt werden. Sie können jedoch zur Ursachenerkundung eingesetzt werden, wenn sich aus der Dammbewachung Hinweise auf eine unplanmäßige Dammdurchströmung ergeben.

13 Bewuchs auf Dämmen

13.1 Grundlagen

13.1.1 Bewuchstypen

Der Bewuchs auf Dämmen wird unterschieden in:

- Grasnarbe (Gräser und Kräuter),
- Röhricht, feuchte Hochstauden und Wasserpflanzen sowie
- Gehölze (Sträucher und Bäume).

Nähere Informationen zu den verschiedenen Bewuchstypen und ihrer Wechselwirkung mit der Dammstandsicherheit können dem MDI (2017) entnommen werden.

13.1.2 Wirkung der Bewuchstypen

Eine geschlossene und gut durchwurzelte **Grasnarbe** gewährleistet den Schutz der Dammböschung vor Erosion. Beim Nachweis der Standsicherheit der Dammböschung darf bei einer geschlossenen Grasnarbe eine die Standsicherheit erhöhende Wirkung der Wurzeln (Durchwurzelungskohäsion) unter bestimmten Voraussetzungen in Ansatz gebracht werden (siehe Abschnitt 6.4).

Wuchskräftige Neophyten (z. B. Japanischer Flügelknöterich oder Riesen-Bärenklau) hingegen erschweren die Zugänglichkeit und Einsehbarkeit des Dammes, schädigen die Grasnarbe und fördern durch ihr Absterben im Winter die Oberflächenerosion. Sie sind auf Dämmen nicht zulässig und bei Aufkommen unmittelbar zu entfernen. Hinweise gibt das Arbeitsblatt: „Invasive gebietsfremde Arten an Bundeswasserstraßen“ (BfG 2018.).

Bei Dämmen mit Oberflächendichtung können **Hochstauden und Schilf** die Dichtung durchdringen, was deren Funktion beeinträchtigt.

Wasserpflanzen im Seitengraben können bei intensivem Wuchs die Vorflut behindern.

Der Einfluss von **Gehölzen** auf die Dammstandsicherheit ist abhängig von Art, Größe, Wurzelsystem und Alter der Gehölze sowie von deren örtlicher Verteilung auf dem Damm. Auch die Abmessungen des Dammquerschnitts und das Vorhandensein von Dichtungen und Dränsystemen sind grundlegend für die Beurteilung der Auswirkungen von Gehölzen auf die Dammstandsicherheit. Bäume zweiter und dritter Ordnung (siehe Abschnitt 13.4, Tabelle 8) sowie Sträucher stellen ein geringeres Standsicherheitsrisiko dar als Bäume erster Ordnung.

Gehölzwurzeln können eine Erhöhung der Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens bewirken, was sich zunächst positiv auf die Dammstandsicherheit auswirken kann. Weitere standsicherheitserhöhende Wirkungen von Gehölzen können z. B. eine Bodenentwässerung bzw. Dränwirkung oder auch der Schutz vor Oberflächenerosion durch die armierende Wirkung von Wurzeln sein. Die standsicherheitserhöhende Wirkung von Gehölzwurzeln kann jedoch nicht dauerhaft garantiert werden. Gehölze altern und sterben ab. Daher dürfen die oben genannten, positiv wirkenden Eigenschaften von Gehölzwurzeln beim Nachweis der Standsicherheit des Dammes nicht berücksichtigt werden.

Ein Gehölzbewuchs auf Dämmen kann allerdings zahlreiche negative Auswirkungen auf die Dammstandsicherheit haben, beispielsweise:

- Erosion um Einzelgehölze bei Hochwasser,
- Verklausung von Treibgut,
- Beschattung und somit Unterdrückung einer dichten Grasnarbe
- Erschwernis der Dammebeobachtung und -verteidigung durch schlechte Zugänglichkeit, Befahrbarkeit oder Einsehbarkeit der Böschung (Erkennen von austretendem Sickerwasser, Böschungsrutschungen),
- Bildung bevorzugter Sickerwege durch abgestorbene Wurzeln,
- Begünstigung der Ansiedlung von Wühltieren, deren Gänge ebenso wie Wurzeln abgestorbener Gehölze bevorzugte Sickerwege sind,
- Schwächung des Dammquerschnitts durch Windwurf (besonders kritisch im durchströmten Bereich),
- Verstopfen von Dränsystemen durch Wurzeln,
- Durchdringung von Oberflächendichtungen oder nicht durchwurzelungssicheren Innendichtungen.

13.1.3 Durchwurzelung von Oberflächendichtungen

Erfahrungen haben gezeigt, dass Wurzeln Oberflächendichtungen aus Asphalt durchdringen können und dadurch die Dichtungsfunktion beeinträchtigen. Bei Oberflächendichtungen aus Ton, insbesondere wenn sie nur mit einer geotextilen Trennlage und Schüttsteinen abgedeckt sind, und bei geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) muss ebenfalls von einer Durchwurzelung durch Röhrichte und Gehölze ausgegangen werden. Die Durchwurzelungsgefahr wird erhöht, wenn im Ton bereits Risse vorhanden sind.

Nach Absterben der durchdringenden Wurzeln kann eine langfristig erhöhte Durchlässigkeit von Asphalt- oder Tondichtungen nicht ausgeschlossen werden. Bei Dämmen mit Oberflächendichtungen ist deshalb auf der wasserseitigen Böschung oberhalb des Deckwerks ausschließlich ein Grasbewuchs zulässig. Spontanbewuchs von Gehölzen ist frühzeitig zu entfernen. Vorhandener Röhrichtbewuchs ist, sofern er nicht gänzlich entfernt werden kann, dauerhaft durch regelmäßiges Mähen klein zu halten. Um die planmäßige Dichtwirkung wiederherzustellen, sind Röhricht und große Wurzelstöcke von Gehölzen jedoch zu entfernen und die defekte Dichtung ist anschließend instand zu setzen.

Wenn bei Dämmen mit durchwurzelter Oberflächendichtung keine Instandsetzung der Dichtung vorgesehen ist, muss für den Nachweis der Standsicherheit in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) eine Durchströmung auf Grund der verminderten Wirksamkeit der Dichtung im durchwurzelten Bereich berücksichtigt werden (siehe Abschnitt 8.2). Für eine durchwurzelte Oberflächendichtung kann ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s bis in 1 m Tiefe unterhalb des Normalwasserstandes bzw. des Normalstaus (Abbildung 13) angesetzt werden. Ggf. kann eine mögliche Dammdurchströmung bei durchwurzelter Dichtung auch auf der Grundlage von Grundwasserstandsmessungen beurteilt werden (Beobachtungsmethode).

Kann die Standsicherheit eines Dammschnittes mit durchwurzelter Oberflächendichtung in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) nachgewiesen werden, kann trotzdem eine grundlegende Instandsetzung mit vollständiger Beseitigung des Bewuchses und Wiederherstellung der Dichtung erforderlich sein, wenn:

- Bauwerke innerhalb des Dammschnittes vorhanden sind, unter oder an denen sich bevorzugte Sickerwege einstellen können, oder
- ein Anstieg der Grundwasseroberfläche, z. B. wegen angrenzender Bebauung, nicht zulässig ist oder
- Wasserverluste aus dem Gewässer nicht hinnehmbar sind.

13.2 Bewuchs im Regelfall

Im Regelfall ist ein Gehölzbewuchs auf Dämmen nicht zulässig. Der Bewuchs auf Dämmen soll aus einer geschlossenen Grasnarbe bestehen, durch die der erforderliche Schutz der Dammböschung vor Erosion gewährleistet wird (siehe auch DIN 19712).

Auf mageren, trockenen und sonnigen Dammbereichen kann eine etwas lückenhafte Grasnarbe toleriert werden (Mager- oder Trockenrasen). Am Dammfuß ist der Grasbewuchs kurz zu halten, um austretendes Sickerwasser sicher erkennen zu können.

Bei Dämmen ohne Dichtung oder mit durchwurzelungssicherer Innendichtung kann auf der Wasserseite des Damms ein gewässertypischer Bewuchs aus Röhricht und feuchten Hochstauden erhalten oder gefördert werden. Weiterhin sind in diesem Bereich einzelne Strauchgruppen nach Anlage 8, Tabelle A8.2 mit einer maximalen Höhe von ca. 4 m zugelassen. Durch die Strauchgruppen darf die Einsehbarkeit und Zugänglichkeit der wasserseitigen Böschung nicht beeinträchtigt werden.

Bei der Unterhaltung des Bewuchses auf Dammböschungen sind der Leitfaden Umweltbelange (BMVI 2015) und das MDI (2017) zu berücksichtigen.

13.3 Gehölzbewuchs im Ausnahmefall

13.3.1 Grundlagen

In Ausnahmefällen können Gehölze auf Dämmen aus Gründen des Natur- und Artenschutzes, der Naherholung, des Landschaftsbildes oder als Ausgleichsmaßnahmen bei Einhaltung der nachfolgend aufgeführten Vorgaben zugelassen werden. Dabei haben die Aspekte der Dammstandsicherheit jedoch immer Vorrang.

Für den im Ausnahmefall zulässigen Gehölzbewuchs auf Dämmen gelten folgende Regelungen:

- Die Standsicherheit des Dammes muss für alle maßgebenden Bemessungssituationen ohne Berücksichtigung der möglichen Auswirkungen eines Gehölzbewuchses nachgewiesen sein.
- Im Bereich von Bauwerken z. B. über Dükern, Durchlässen und in der Nähe von Auslassbauwerken oder Kanalbrücken sind in einem Abstand von 8 m von den Außenkanten der Massivbauwerke keine Gehölze zulässig.
- Auf Dämmen mit nicht durchwurzelungssicherer Innendichtung ist nur Strauchbewuchs zulässig, wenn dessen Wurzeln die Dichtwirkung nicht gefährden können.
- Im unmittelbaren Bereich von Auflast- oder Fußdräns ist kein Gehölzbewuchs, sondern nur Grasbewuchs zulässig. Der Abstand von Gehölzen muss mindestens 1,5 m betragen.
- Damit Wurzeln von Gehölzen nicht in Dränleitungen hineinwachsen können, ist in einem Abstand von 8 m zu Dränleitungen kein Gehölzbewuchs zulässig. Weiden und Erlen sind in der Nähe von Dränleitungen nicht zulässig.
- Die Dammeobachtung muss gewährleistet bleiben (siehe Abschnitt 13.4).
- Der untere Böschungsbereich, mindestens das untere Böschungsdrittel der landseitigen Dammböschung (siehe Abschnitt 13.3.2), ist zur Gewährleistung der Dammeobachtung in jedem Fall frei von Gehölzen zu halten.
- Wurzelbrutbildende Gehölze, z. B. Pappeln und Robinien, sind auf Dämmen nicht zulässig, da sie sich unerwünscht über das Wurzelwerk (Abbildung 9) ausbreiten können (siehe auch MDI 2017).

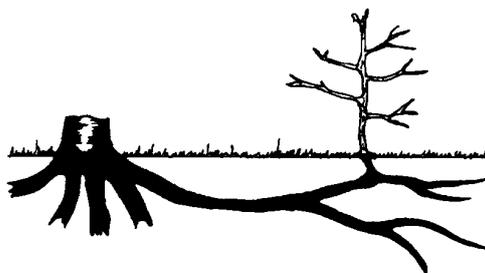


Abbildung 9: Wurzelbrut

- Wurzeln von Pappeln können nicht nur extrem weit reichen, sondern auch völlig unregelmäßig wachsen. Verrottete Pappelwurzeln stellen daher mit der durch sie hervorgerufenen Wasserwegigkeit eine besonders schwer abzuschätzende Gefährdung der Dammstandsicherheit dar. Deshalb sind Pappeln als Bewuchs auf Dämmen unbedingt zu vermeiden (siehe Anlage 8, Tabelle A8.1). Für Pappeln ist ein Mindestabstand von 30 m vom Dammfuß einzuhalten (siehe DIN 19712).
- Sich durch Samenanflug selbst entwickelnde Gehölze sind zur Vermeidung daraus erforderlicher größerer Eingriffe in den Dammkörper frühzeitig zu entfernen.
- Abgestorbene bzw. zu entfernende Gehölze sind einschließlich des Wurzelstockes und der großen Wurzeln zu entfernen (fräsen oder ausgraben). Als Anhaltspunkt kann hier von einem halbkugelförmigen Bereich ausgegangen werden, dessen Durchmesser dem dreifachen Stammdurchmesser

entspricht. Die Rodungslöcher sind mit einem gegenüber dem anstehenden Boden filterstabilen Material bzw. mit dem anstehenden Bodenmaterial aufzufüllen.

Anmerkung: Bei den Rodungsarbeiten muss nicht jede einzelne Wurzel beseitigt werden. Entscheidend ist, dass die Rodungslöcher groß genug angelegt und mit einem gegenüber dem anstehenden Boden durchlässigeren und filterstabilen Bodenmaterial gefüllt werden, so dass ein Austrag von Bodenmaterial bei einer konzentrierten Durchströmung im Bereich verbliebener, verrotteter Altwurzeln sicher durch den Filter verhindert wird.

- Eine Gefährdung der Dammstandsicherheit bei Hochwasser infolge Kolkbildung und Verklausung an Gehölzen muss ausgeschlossen werden.

13.3.2 Vorgehensweise

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 13.3.1 beschriebenen Grundlagen wird nachstehend die Vorgehensweise zur Bestimmung der Dammbereiche beschrieben, in denen ein Gehölzbewuchs auf der Landseite des Dammes dauerhaft zugelassen werden kann. Regelungen zum Gehölzbewuchs auf der Wasserseite sind in Abschnitt 13.4 enthalten.

Dabei wird vorausgesetzt, dass der Wurzelkrater eines durch Windwurf umstürzenden Baumes nicht in den durchströmten Dammbereich reichen darf. Dadurch wird ein Austrag von Bodenmaterial in den Wurzelkrater infolge der Dammdurchströmung verhindert, der die Standsicherheit des Dammes verringert. Für die auf den Dämmen maximal zulässigen Bäume 2. Ordnung (siehe Abschnitt 13.4) wird auf Grundlage der Untersuchungen in LfW BY (1990) von einem Wurzelkrater infolge Windwurfs mit einem Radius von bis zu 1,5 m ausgegangen. Für die Dammdurchströmung sind die in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) anzusetzenden hydraulischen Randbedingungen maßgebend (siehe Abschnitt 7.2).

Im Einzelnen ergeben sich folgende Schritte:

- Zunächst wird die für die Wasserbeanspruchung relevante Dammhöhe H bestimmt. Diese ergibt sich aus der vertikalen Differenz zwischen der Höhe des in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) maßgebenden Wasserstands im Gewässer und der Sohlhöhe des Seitengrabens. Ist kein Seitengraben vorhanden oder liegt dieser soweit vom Dammfuß entfernt, dass eine ggf. mögliche Dammdurchströmung nicht durch einen Wasserstand im Seitengraben beeinflusst wird (siehe VV-WSV 2301, Anlage 2, Abschnitt 3.1.1), stellt die an die Dammböschung anschließende Geländeoberfläche die untere Begrenzung der Höhe H dar.
- Danach erfolgt die Bestimmung der Höhe H_S des unteren Bereichs der landseitigen Dammböschung, in dem ein Gehölzbewuchs nicht zulässig ist. Dazu wird in dem zu untersuchenden Dammquerschnitt oberhalb der maßgebenden Sickerlinie bzw. Grundwasseroberfläche eine 1,5 m dicke Schutzzone eingetragen. Der Schnittpunkt der oberen Begrenzungslinie der Schutzzone mit der Dammböschung ergibt die obere Begrenzung der Höhe H_S . Ergeben sich zwei Schnittpunkte der Sickerlinie mit der Dammböschung (z. B. oberhalb und unterhalb einer Berme), so ist der obere Schnittpunkt maßgebend. Zusätzlich ist zu überprüfen, ob die Höhe H_S mindestens einem Drittel der Höhe H ($H_S \geq \frac{1}{3} H$) entspricht. Ist die aus dem Schnittpunkt der Schutzschicht mit der Dammböschung ermittelte Höhe geringer als $\frac{1}{3} H$, so wird $H_S = \frac{1}{3} H$ festgelegt.
- Weiterhin ist zu überprüfen, ob ein möglicher Gehölzbewuchs oberhalb von H_S einen ausreichenden Mindestabstand zu Auflast- oder Fußdräns aufweist (siehe Abschnitt 13.3.1). Ggf. ist die Höhe H_S des unteren Bereichs der Dammböschung, in dem kein Gehölzbewuchs zulässig ist, entsprechend zu erweitern, um den Mindestabstand zu gewährleisten.
- Die obere Begrenzung des zulässigen Gehölzbewuchses auf der Landseite des Dammes ergibt sich aus dem geforderten Mindestabstand b von Bäumen zum Gewässer auf Höhe des in der ständigen

Bemessungssituation (BS-P) maßgebenden Wasserstands. Dieser darf bei einem Schrägufer 8 m nicht unterschreiten. Dabei ist der Abstand zur Unterkante des Deckwerks bzw. zur Oberfläche des Dammkörpers maßgebend (siehe auch Abbildung 11). Bei einem Senkrechtfufer (z. B. Spundwand), dessen Oberkante über dem in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) maßgebenden Wasserstand liegt, muss der horizontale Abstand von Gehölzen zur Uferwand mindestens 6 m betragen.

Die sich hieraus ergebenden zulässigen Dammbereiche sind in Abbildung 10 für durchströmte Dammquerschnitte und in Abbildung 11 für nicht durchströmte Dammquerschnitte beispielhaft dargestellt.

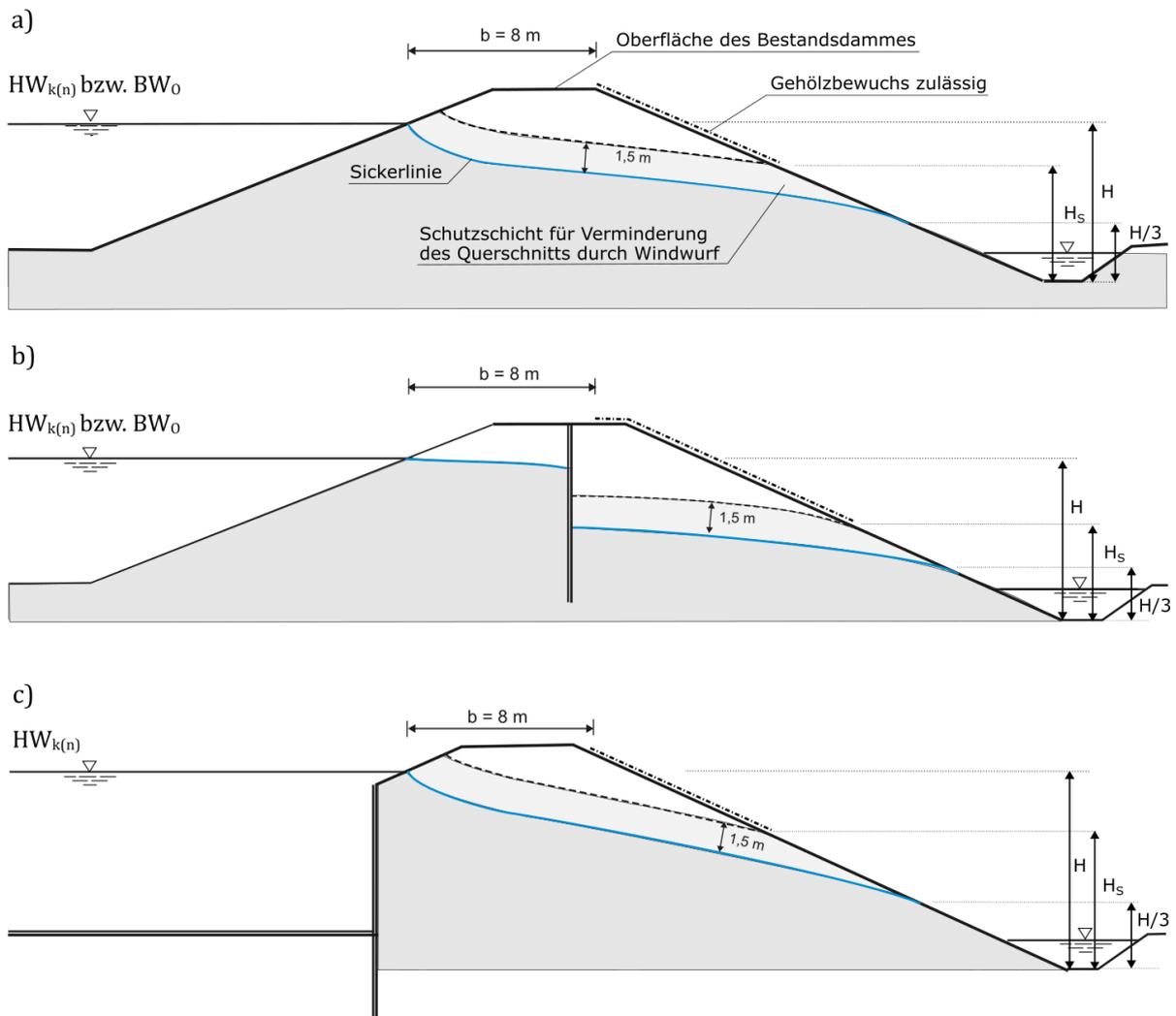


Abbildung 10: Ermittlung des Dammbereichs mit zulässigem Gehölzbewuchs auf der Landseite (strichpunktigte Linie) bei Dämmen ohne Dichtung (a), mit durchwurzelungssicherer Innendichtung (b) und mit überströmter Uferwand (c)

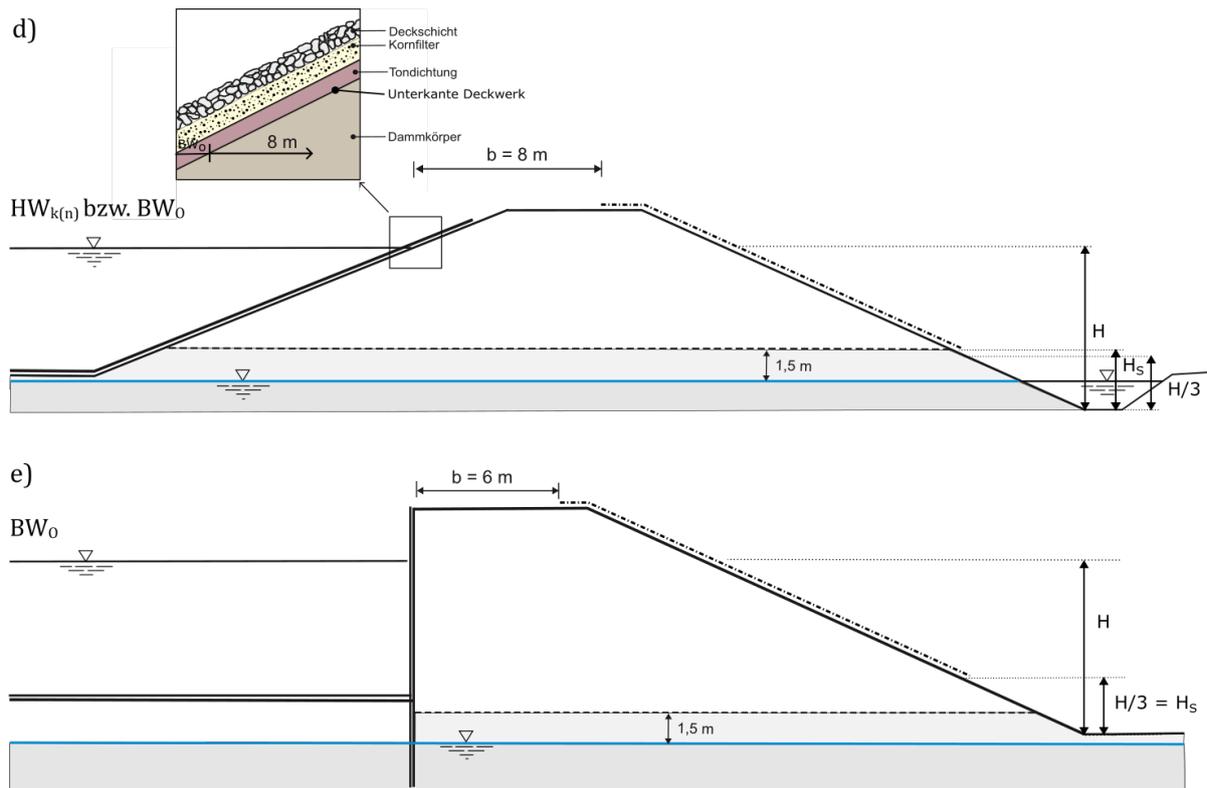


Abbildung 11: Ermittlung des Dammbereichs mit zulässigem Gehölzbewuchs (strichpunktiert) bei Dämmen mit dichtem Gewässerbett und Oberflächenichtung auf dem Schrägufer (d) und nicht überströmter Uferwand (e)

Auf einem Damm mit einer innenliegenden, durchwurzelungssicheren Wand (z. B. Spundwand) können Gehölze nach Anlage 8, Tabelle A8.3 ab einem Abstand von 1,5 m landseitig der Wand zugelassen werden. Dies erfordert eine Bemessung der Wand auf den aus einem Windwurf von Bäumen resultierenden Geländesprung (Abbildung 12). Für die Bemessung ist die Dammdurchströmung in der ständigen Bemessungssituation (BS-P) anzusetzen. Zusätzlich ist für den Gehölzbewuchs auf der landseitigen Böschung der oben beschriebene Mindestabstand b einzuhalten.

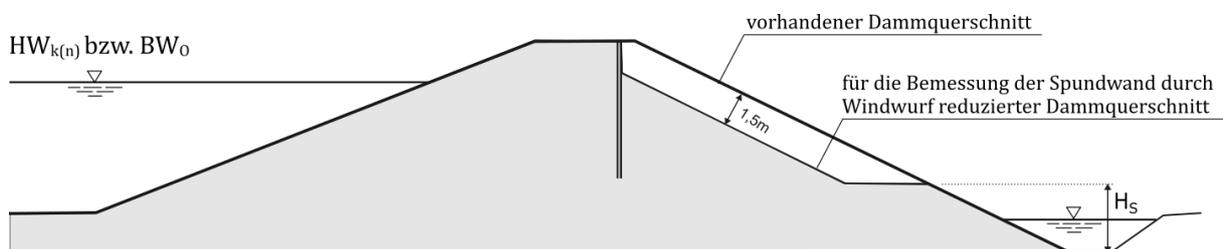


Abbildung 12: Reduzierter Berechnungsquerschnitt für die statische Bemessung einer innenliegenden, durchwurzelungssicheren Wand zur Berücksichtigung von Wurzelkratern durch Windwurf von Bäumen landseitig der Wand

13.4 Zoneneinteilung für zulässigen Dammbewuchs

Zur Festlegung von zulässigem Bewuchs auf Dämmen, der über den in Abschnitt 13.2 für den Regelfall beschriebenen Bewuchs hinausgeht, erfolgt eine Einteilung des Dammes und des angrenzenden Hinterlandes in 4 Zonen (siehe Abbildung 13). Einzelheiten über den zulässigen Bewuchs von Dämmen und des angrenzenden Hinterlandes enthalten Tabelle 8 und die nachfolgende Auflistung.

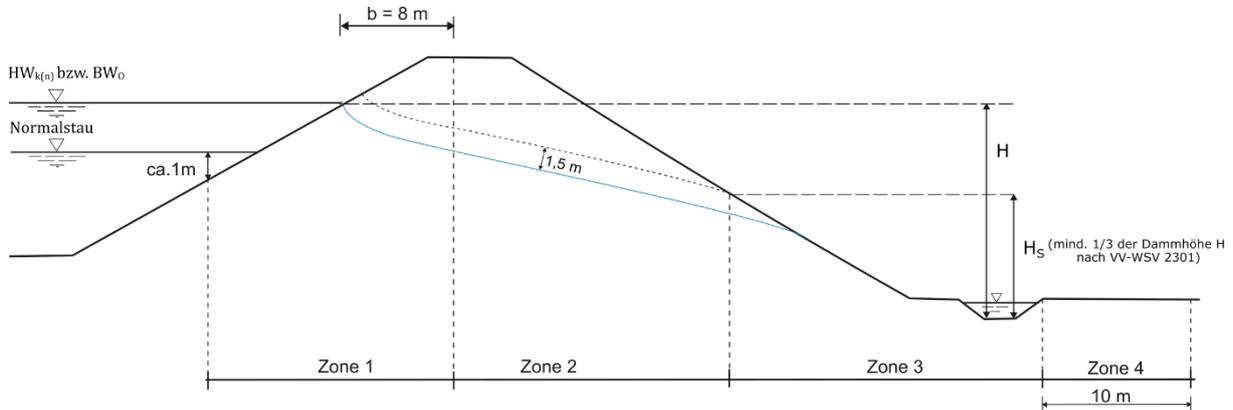


Abbildung 13: Zoneneinteilung für den zulässigen Dammbewuchs am Beispiel eines ungedichteten Dammes mit Schrägufer

Tabelle 8: Zoneneinteilung für zulässigen Bewuchs auf Dämmen

Zone	Bereich	Zulässiger Bewuchs	Bemerkungen
1	von der wasserseitigen Dammböschung ca. 1 m unterhalb der Wasserlinie bei Normalstau bis zum Mindestabstand b	bei Dämmen mit Oberflächendichtung: kein Gehölz, Röhrlicht oder feuchte Hochstauden	siehe Regelungen in Abschnitt 13.1.3
		bei Dämmen mit durchwurzelungssicherer Innendichtung oder Uferwand und Dämmen ohne Dichtung: Röhrlicht, feuchte Hochstauden und einzelne Strauchgruppen möglich	siehe Regelungen in Abschnitt 13.2
2	landseitig des Mindestabstands b bis zur landseitigen Dammböschung oberhalb von H_s	Einzelgehölze und Gehölzgruppen aus Bäumen 2. und 3. Ordnung ^{1, 2)} und Sträucher (Anlage 8, Tabelle A8.3)	siehe Regelungen in Abschnitt 13.3.2 Dammebeobachtung muss sichergestellt sein
3	untere landseitige Dammböschung unterhalb von H_s und Böschungen des Seitengrabens	Keine Gehölze	Bereich potenzieller Sickerwasseraustritte
4	bis 10 m landseitig des Seitengrabens	Bäume 2. und 3. Ordnung ^{1, 2)} und Sträucher (Anlage 8, Tabelle A8.4)	Dammverteidigungsweg bzw. Betriebsstreifen beachten

1) Bäume 2. Ordnung: zu erwartende Wuchshöhe bis 25 m

2) Bäume 3. Ordnung: zu erwartende Wuchshöhe bis 10 m

Zone 1 (wasserseitige Dammböschung)

Der für die Definition der Zone 1 erforderliche Mindestabstand b ist in Abschnitt 13.3.2 geregelt.

Bei Dämmen mit Oberflächendichtung gelten die Regelungen aus Abschnitt 13.1.3.

Bei Dämmen ohne Dichtung des Gewässerbetts, mit durchwurzelungssicherer Innendichtung oder mit Uferwand können Röhrich, feuchte Hochstauden und einzelne Strauchgruppen nach Anlage 8, Tabelle A8.2 mit einer maximalen Höhe von ca. 4 m zugelassen werden. Größere Gehölze sind wegen ihrer Windwurfgefährdung nicht zulässig und deshalb zu entfernen.

Zone 2 (landseitige Dammböschung oberhalb von HS):

Hier sind Gehölze nach Anlage 8, Tabelle A8.3 unter Beachtung der in Abschnitt 13.3.2 genannten Regelungen zugelassen.

Die Unterhaltung der Bäume und Sträucher ist so vorzunehmen, dass die erforderliche Dambeobachtung gewährleistet ist. Wachsen die Bäume und Sträucher zusammen bzw. ineinander müssen einzelne Gehölze entfernt werden. Eine zu starke Beschattung verhindert die Ausbildung einer geschlossenen Grasnarbe, die dem Schutz der Dammböschung vor Erosion dient. Deshalb ist ein dichter Gehölzbewuchs, der zudem einem Befall mit Wühltieren Vorschub leistet und eine ordnungsgemäße Dambeobachtung verhindert, nicht zulässig. Oberhalb des in der ständigen Bemessungssituation maßgebenden Wasserstandes im Gewässer kann ein dichter Gehölzbewuchs toleriert werden.

Zone 3 (untere landseitige Dammböschung und Seitengraben):

Der untere Böschungsbereich (unterhalb von H_S) einschließlich der Seitengrabenböschungen darf nicht mit Gehölzen bepflanzt werden. Vorhandene Gehölze sind zu entfernen, um eine ordnungsgemäße Dambeobachtung zu gewährleisten. Der vorhandene Gras- und Krautbewuchs ist so häufig zu mähen, dass ein eventueller Sickerwasseraustritt und ein Befall durch Wühltiere frühzeitig erkannt werden können.

Zone 4 (landseitig des Seitengrabens):

Bis zu einem Abstand von 10 m landseitig des Dammseitengrabens bzw. des Dammfußes bei Fehlen eines Seitengrabens sind Bäume 2. und 3. Ordnung und Sträucher nach Anlage 8, Tabelle A8.4 zugelassen.

Im Abstand von mehr als 10 m landseitig des Seitengrabens gibt es keine Beschränkung für Gehölze mit Ausnahme der für Pappeln (siehe Abschnitt 13.3.1).

Maßnahmen bis zur erforderlichen Beseitigung von Gehölzen:

Bestehende Gehölze oder Gehölzgruppen, die nach oben genannten Festlegungen nicht zulässig sind, sind zu entfernen. Bis zur Beseitigung der Gehölze und einer erforderlichen Instandsetzung ist in diesen Bereichen eine verstärkte Dambeobachtung durchzuführen.

Weitere Hinweise zum Vorgehen können dem MDI (2017) entnommen werden.

14 Literatur/Regelwerke

Literatur

BfG (2018): Arbeitsblatt: Invasive gebietsfremde Arten an Bundeswasserstraßen. Manuskript, 6. S. Online verfügbar unter https://www.bafg.de/SharedDocs/Downloads/DE/arbeitshilfen/formblaetter_arbeitsblaetter/arbeitsblatt_neobiota.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

BMVI (2015): Leitfaden Umweltbelange bei der Unterhaltung von Bundeswasserstraßen. Online verfügbar unter <https://izw.baw.de/wsv/umwelt/handbuch>, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

Bilz, P. und Vieweg, J. (1993): Zur Größe der Kapillarkohäsion von Sanden. In: Geotechnik, Jg. 16, S. 65-71.

Hähne, K. (1991): Der Einfluss von Gräser- und Gehölzwurzeln auf die Scherfestigkeit von Böden und damit auf die Standsicherheit von Hängen und Böschungen, Dissertation am Fachbereich 14, Landschaftsentwicklung der Technischen Universität Berlin.

Haselsteiner (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München. Strobl, Th. (Hg.) Nr.111.

Kast (1985): Spreizsicherheit von Böschungen bei geneigtem Gelände und Durchströmung. In: Bauingenieur 60, S. 519-522.

Odenwald, B., Hekel, U., Thormann, H (2018): Kap. 2.9: Grundwasserströmung - Grundwasserhaltung. In: Witt, K.J. (Hr.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 2: Geotechnische Verfahren. 8. Auflage. Berlin: Ernst & Sohn, S. 635-814.

Uhlig, D. (1962): Die Sickerlinie im wasserseitigen Stützkörper von Staudämmen bei Stauspiegelsenkung. In: wwt 12 (5), S. 216-222.

Regelwerke

DIN 1054:2021-04: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4020:2010-12: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2; Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4048-1:1987-01: Wasserbau, Begriffe; Stauanlagen, Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4084:2021-11: Baugrund, Geländebruchberechnung; Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4095:1990-06: Baugrund, Dränung zum Schutz von baulichen Anlagen - Planung und Ausführung; Beuth Verlag, Berlin.

DIN 19700-13:2019-06: Stauanlagen – Teil 13: Staustufen.

DIN 19712:2013-01: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern; Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 1990:2010-12: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990, Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1: 2005 + A1:2005/AC:2010; Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1, Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 1997-2:2010-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007 + AC:2010, Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 1998-1:2010-12: Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009; Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 1998-1/NA:2023-11: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Beuth Verlag, Berlin.

DWA-M 507-1 (2011): Deiche an Fließgewässern, Teil 1: Planung, Bau, Betrieb, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. -DWA- (Hg.), Hennef.

DVWK 246 (1997): Freibordbemessung an Stauanlagen, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. -DVWK-(Hg.), Bonn; Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. -GFA-, Hennef.

EANG (2019): Informationen und Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 "Numerik in der Geotechnik", Berechnung der Standsicherheit mit der FEM durch Reduzierung der Festigkeitsparameter, Geotechnik 42, Heft 2, S. 88–97.

LfU (2004): Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hg.) (2004): Überströmbare Dämme und Dammscharten. Online verfügbar unter <https://pd.lubw.de/40187>, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

LfW BY (1990): Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hg.) (1990): Gehölze auf Deichen. Dokumentation von Bauwurzelaufgrabungen und Windwurf von Gehölzen. 5/89. Informationsberichte. München: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.

LUBW (2016): Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hg.) (2016): Nachweis der Erdbebensicherheit von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg, Arbeitshilfe für die praktische Durchführung. Online verfügbar unter <https://pd.lubw.de/20276>, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

MAG (2021): Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2021): BAWMerkblatt für die Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108632>.

MAK (2013): Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Anwendung von Kornfiltern an Bundeswasserstraßen (MAK). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102458>.

- MAR (2008): Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2008): BAWMerkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen (MAR), Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102460>.
- MDI (2017): Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2017): BAWMerkblatt Damminspektion (MDI), Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102482>.
- MMB (2013): Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Materialtransport im Boden (MMB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102471>.
- GBB (2010): Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102451>.
- RiReBSK (2011): Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen. Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/tr-w/0/rirebsk_2011.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2024.
- VV-WSV 1102 (2005): Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2005): Verwaltungsvorschrift der WSV des Bundes VV-WSV 1102 "Objektkatalog (ObKat)".
- VV-WSV 2301 (2019): Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (Hg.) (2019): Verwaltungsvorschrift der WSV des Bundes VV-WSV 2301 "Damminspektion".
- ZTV-W LB 205 (2015): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Erdarbeiten (Leistungsbereich 205), EU-Notifizierung Nr. 2015/0522/D. Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/stlk-w_ztv-w/0/ztv-w_lb205_ausgabe2015.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2024.

Anlage 1: Hinweise zur Beurteilung von Dichtungselementen

Die Systemsicherheit von Dichtungselementen wird nach folgenden Kriterien beurteilt (Tabelle A1.1):

- Kontrollierbarkeit der Ausführung (Maßhaltigkeit, Rissefreiheit etc.),
- Beständigkeit gegenüber mechanischem Angriff (Schiffsstoß, Setzungsdifferenzen etc.),
- Widerstand gegen Durchwurzelung,
- Erosionsbeständigkeit gegenüber Strömungskräften im Gewässer oder im Baugrund,
- Instandsetzbarkeit,
- Korrosions- und Frostbeständigkeit.

Weitere Kriterien sind ggf. aufgrund örtlicher Gegebenheiten zu berücksichtigen. Zusätzlich sind ggf. die Anschlüsse an benachbarte Dichtungselemente zu beurteilen.

Tabelle A1.1: Beurteilung von Dichtungselementen

Dichtungselement		Kriterien						
		Kontrollierbarkeit der Ausführung	Beständigkeit gegenüber mechanischem Angriff	Widerstand gegen Durchwurzelung	Erosionsbeständigkeit	Instandsetzbarkeit	Korrosions- / Frostbeständigkeit	
Oberflächen-dichtung	Spundwand *)	0	0	+	+	+	-	
	Beton / Vollverguss	Einbau im Nassen	0	-	0	+	0	0
		Einbau im Trockenen	+					
	Asphalt	Einbau im Trockenen	+	-	-	+	-	0
	Naturton (RPW, 2015)	Einbau im Nassen	0	0	-	0	0	0
		Einbau im Trockenen	+					
Innen-dichtung	Schmalwand	-	0	-	-	-	+	
	Spundwand	0	+	+	+	-	0	
	Schlitzwand/Bohrpfahlwand	0	+	+	+	-	+	
	Mixed-In-Place-Wand	0	+	0	0	-	+	
	Düsenstrahlwand	-	+	0	0	-	+	
	geschüttete Kerndichtung	+	+	0	0	-	+	

*) eingebundener Teil wird wie Spundwand als Innendichtung beurteilt

„+“: gut, „-“: schlecht, „0“: neutral

Weitere Informationen zu Dichtungen sind in folgenden Regelwerken zu finden:

- Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen (MAR 2008),
- Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Bundeswasserstrassen (BAW 2002),
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W), Leistungsbereich 210 (ZTV-W LB 210 2015),
- Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau“ (EAAW, 2008),
- Prüfung von mineralischen Weichdichtungen und deren Einbauverfahren im Verkehrswasserbau (RPW 2015).

Bei der Beurteilung der Systemsicherheit von Dichtungselementen ist in Bergsenkungsgebieten die erhöhte mechanische Beanspruchung zu berücksichtigen.

Weiterhin ist beim Einbringen zementgebundener Dichtungen in einen von Grundwasser durchströmten Baugrund die erhöhte Erosionsgefährdung des noch nicht abgebundenen Dichtungstoffes (z. B. Suspension) zu berücksichtigen.

Literatur

BAW (2002): Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Bundeswasserstraßen, In: Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau 85, Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 11-40. Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102647>.

EAAW (2008): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau“ (EAAW), Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT).

RPW (2015) Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2015): BAWRichtlinie Prüfung von mineralischen Weichdichtungen und deren Einbauverfahren im Verkehrswasserbau (RPW). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103250>.

ZTV-W LB 210 (2015): Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210), EU-Notifizierung Nr. 2015/28/D. Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/stlk-w_ztv-w/0/STLK_LB210-2015-04.pdf, zuletzt geprüft am 17.07.2024

Anlage 2: Hinweise zum Ansatz einer Ersatzdurchlässigkeit von Spundwänden in Durchströmungsberechnungen

In den Dammstrecken der Bundeswasserstraßen werden Stahlspundwände sowohl als Uferspundwände als auch als Dichtungsspundwände innerhalb des Dammschnitts eingesetzt. Während die Spundwandbohlen selbst als wasserundurchlässig betrachtet werden können, weisen die Spundwandschlösser eine hydraulische Durchlässigkeit in Abhängigkeit ihrer Ausführung auf. Die hieraus resultierende Systemdurchlässigkeit von Spundwänden kann eine relevante Durchströmung des Damms bewirken und damit einen Einfluss auf die Dammstandsicherheit haben. Deshalb muss die Durchlässigkeit von Spundwänden in den für die Standsicherheitsuntersuchungen grundlegenden Dammdurchströmungsberechnungen in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Nachfolgend werden Empfehlungen für den Ansatz der Wasserdurchlässigkeit von Spundwänden unter Berücksichtigung der an den Bundeswasserstraßen vorliegenden hydraulischen Randbedingungen, als Grundlage für Dammdurchströmungsberechnungen gegeben. Dabei wird unterschieden nach Uferspundwänden und Spundwänden innerhalb des Dammschnitts (Kernspundwand) sowie nach Spundwänden mit Schlossdichtungen und Spundwänden mit ungedichteten Schlössern.

Die numerische Berechnung der Dammdurchströmung als Grundlage für Dammstandsicherheitsuntersuchungen erfolgt im Allgemeinen mithilfe eines vertikal-ebenen Modells. Dabei werden Spundwände meistens wie Dichtwände mit einer konstanten Dicke d_w und einer konstanten Durchlässigkeit k_w abgebildet.

Die hydraulische Durchlässigkeit einer Spundwand wird durch den Kehrwert des Schlosssickerwiderstands ρ , die Spundwanddicke d und die Bohlenbreite b_s beeinflusst. Die Durchlässigkeit k_w der Ersatzwand für eine gewählte Dicke d_w der Ersatzwand wird aus dem oberen charakteristischen ρ -Wert der Spundwandschlösser (ρ_k) und dem Abstand b_s zwischen zwei benachbarten Fädelschlössern der Spundwand berechnet:

$$k_w = \rho_k \cdot \frac{d_w}{b_s}$$

Die Dicke d_w der Ersatzwand in der Modellierung sollte dabei nicht zu groß gewählt werden (z. B. $d_w = 0,2$ m), um die geometrischen Verhältnisse nicht zu stark zu verfälschen.

Von Sellmeijer et al. (1995) wird der Schlosssickerwiderstand als eine Kombination aus dem Strömungswiderstand innerhalb des Schlosses und dem Strömungswiderstand im Boden bei der Zuströmung zum Schloss und der Abströmung aus dem Schloss beschrieben. Der Kehrwert des Schlosssickerwiderstandes ρ entspricht prinzipiell einem Durchlässigkeitsbeiwert k aus der Darcy-Gleichung für die Grundwasserströmung. Er stellt jedoch keinen konstanten Widerstandsbeiwert innerhalb des Querschnitts des durchflossenen Spundwandschlusses dar, sondern einen Gesamtwiderstandsbeiwert für das Schloss und kann auch z. B. in Abhängigkeit des Betrags oder der Einwirkungsdauer der Wasserdruckdifferenz variieren.

Für die Berechnung der Dammdurchströmung an den Bundeswasserstraßen sind in Tabelle A2.1 obere charakteristische Werte ρ_k des Kehrwerts des Schlosssickerwiderstands angegeben.

Die Empfehlungen für Uferspundwände mit Schlossdichtungen basieren auf einer Auswertung der von Sellmeijer et al. (1995) veröffentlichten Ergebnisse umfangreicher Feldversuche und den in den Broschüren der Spundwandhersteller (Arcelor 2018, ArcelorMittal 2024) angegebenen Werten. Die Versuchsergebnisse wurden unter Berücksichtigung der für Uferspundwände an Bundeswasserstraßen bestehenden Randbedingungen (relevante Wasserdruckdifferenz von 50 kPa) ausgewertet (BAW, 2025).

Für Uferspundwände ohne Schlossdichtungen wurde der empfohlene Ansatz der Wasserdurchlässigkeit der Spundwandschlösser mit Hilfe eines stark vereinfachten Berechnungsansatzes ermittelt. Dieser basiert auf den im Rahmen eines Schadensfalles bei einer Baumaßnahme an einer Bundeswasserstraße von der

BAW durchgeführten Untersuchung. Weitere Erläuterungen können der BAWempfehlung „Empfehlungen für die Berücksichtigung der hydraulischen Durchlässigkeit von Spundwandschlössern bei der Berechnung der Dammdurchströmung“ (BAW, 2025) entnommen werden.

Die für Uferspundwände für den Ansatz der Wasserdurchlässigkeit der Spundwandschlösser erstellten Empfehlungen wurden auf Spundwände, die innerhalb des Dammquerschnitts angeordnet sind, übertragen.

Tabelle A2.1: Obere charakteristische ρ -Werte (ρ_k)

	charakteristischer Kehrwert des Schlosssickerwiderstand ρ_k	
	gedichtete Spundwandschlösser	ungedichtete Spundwandschlösser
Uferspundwand	$6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	$0,1 \cdot k_{\text{Boden}}$
Kernspundwand	$6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	$0,05 \cdot k_{\text{Boden}}$

k_{Boden} = oberer charakteristischer Wert der Durchlässigkeit des hinter dem Spundwandschloss anstehenden Bodens

Nachstehend werden Beispiele für die Ermittlung der Durchlässigkeit k_w , der in der numerischen Berechnung der Dammdurchströmung zu berücksichtigenden Ersatzwand angegeben:

- Eine Uferspundwand mit einem Abstand der Fädelschlösser von $b_s = 1,2 \text{ m}$ wird durch eine Ersatzwand mit einer Dicke von $d_w = 0,2 \text{ m}$ abgebildet. Für die gedichteten Fädelschlösser der Spundwand wird ein ρ_k -Wert von $\rho_k = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ angesetzt. Damit ergibt sich die Durchlässigkeit k_w der Ersatzwand für die **Uferspundwand mit gedichteten Schlössern** zu:
 $k_w = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s} \cdot 0,2 \text{ m} / 1,2 \text{ m} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$.
- Die Spundwandschlösser der oben betrachteten Uferspundwand sind ungedichtet und die Durchlässigkeit des Bodens beträgt $k_{\text{Boden}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Der ρ_k -Wert der Spundwandschlösser wird mit $\rho_k = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ angesetzt. Damit ergibt sich die Durchlässigkeit k_w der Ersatzwand für die **Uferspundwand mit ungedichteten Schlössern** zu:
 $k_w = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \cdot 0,2 \text{ m} / 1,2 \text{ m} = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.
- Eine innerhalb des Dammquerschnitts liegende Spundwand (Kernspundwand) mit ungedichteten Schlössern, einer Durchlässigkeit des Bodens von $k_{\text{Boden}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ und einem Abstand der Fädelschlösser von $b_s = 1,2 \text{ m}$ wird ebenfalls durch eine Ersatzwand mit einer Dicke von $d_w = 0,2 \text{ m}$ abgebildet. Der ρ_k -Wert der Spundwandschlösser beträgt $\rho_k = 0,05 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Damit ergibt sich die Durchlässigkeit k_w der Ersatzwand für die **Kernspundwand mit ungedichteten Schlössern** zu:
 $k_w = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \cdot 0,2 \text{ m} / 1,2 \text{ m} = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$.

Literatur

Arcelor (2018): Stahlspundwand - die Dichtheit von Spundwandbauwerken, Teil 1: Bemessung; Firmenprospekt Profilarbed S. A., Arcelor Gruppe.

ArcelorMittal (2024): Stahlspundwände Gesamtkatalog 2024, Abschnitt „Wasserdichtigkeit“, Firmenprospekt ArcelorMittal.

Sellmeijer, J.B.; Cools, J.P.; Decker, J.; Post, W.P. (1995): Hydraulic Resistance of Steel Sheet Pile Joints, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 121, No. 2, February, 1995.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2025): BAWempfehlung „Empfehlungen für die Berücksichtigung der hydraulischen Durchlässigkeit von Spundwandschlössern bei der Berechnung der Dammdurchströmung“. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Anlage 3: Hinweise zur Dimensionierung und Ausführung von Dränsystemen

Beim Entwurf von innenliegenden Dränsystemen ist sicherzustellen, dass ein möglichst großer Abstand zwischen dem Gewässerbett und dem Drän vorhanden ist. Ein geringer Abstand kann einen hohen hydraulischen Gradienten verursachen, der zu Materialtransport und rückschreitender Erosion und damit zu einem hydraulischen Kurzschluss zwischen Gewässer und Drän führen kann. Innenliegende Dräns am landseitigen Böschungsfuß sollten mindestens 1 m in den Damm einbinden und eine Mindesthöhe von 0,5 m aufweisen (Abbildung A3.1). Weitere Hinweise für die Dimensionierung von innenliegenden Dränsystemen am landseitigen Böschungsfuß sind z. B. in Kunz und Poweleit (1987) zu finden.

Bei Auflastdräns ist die Oberkante mindestens 0,5 m über den rechnerischen Austrittspunkt der Sickerlinie an der Dammböschung zu legen, wie er sich nach der Berechnung (vgl. Kapitel 8) ohne Berücksichtigung des Dräns ergibt. Die Schichtdicke von Dräns sollte die im MAK geforderte Mindestdicke D_{\min} von Kornfiltern nicht unterschreiten. Hinweise für die Berücksichtigung von Dränelementen in der numerischen Berechnung der Dammdurchströmung enthält Anlage 4.

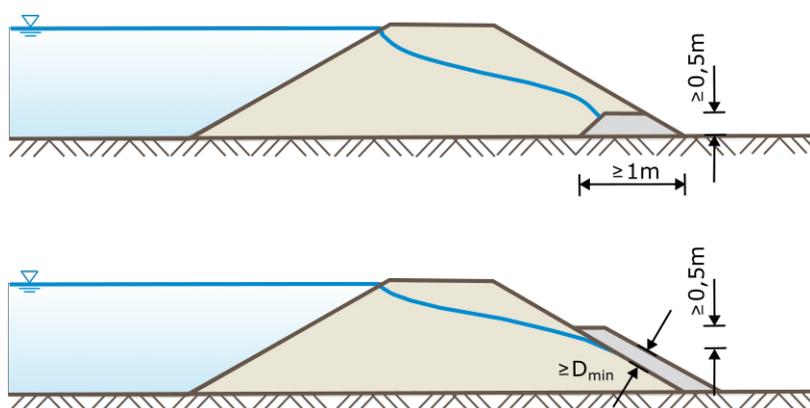


Abbildung A3.1: Mindestabmessungen von innenliegenden und außenliegenden Dränsystemen

Dränsysteme können mit oder ohne Dränleitung zur Abführung des zuströmenden Wassers in einen Vorfluter ausgeführt werden. Bei Dränsystemen, die über ihre gesamte Länge direkt in einen Seitengraben entwässern, ist im Allg. keine Dränleitung erforderlich. Dränleitungen sind kontrollier- und reinigbar auszuführen. Um dafür erforderliche Kamerabefahrungen sowie evtl. Regenerationsmaßnahmen über die Gesamtlänge der Dränleitungen zu ermöglichen, sind die Dränleitungen mit einem Mindestdurchmesser von 150 mm auszuführen und Kontrollschächte mit einem maximalen Abstand von 100 m anzuordnen. Um Materialtransport feststellen zu können, sollten mindestens die Kontrollschächte mit einem Sandfang ausgestattet werden. Die im MAK geforderte Mindestdicke D_{\min} von Kornfiltern muss allseitig um die Dränleitung eingehalten werden. Die Schlitz- oder Lochweite der Dränleitungen ist auf das Dränmaterial abzustimmen. Der Drän muss ggf. als Zweistufenfilter ausgebildet werden.

Durch Verockerung und Versinterung kann die hydraulische Leistungsfähigkeit von Dräns und Dränleitungen erheblich eingeschränkt werden. Besteht aufgrund der vorliegenden Wasserbeschaffenheit ein erhöhtes Verockerungs- und Versinterungspotential, sind regelmäßige Kontrollen (z. B. durch Kamerabefahrungen) sowie evtl. Regenerationsmaßnahmen durchzuführen. Zudem sollten keine geotextilen Filter eingesetzt werden, da diese die Regenerationsfähigkeit der Dränsysteme stark einschränken. Um eine Verockerung und Versinterung von Dränleitungen zu minimieren, sollte ein Lufteintrag in Dränleitungen möglichst vermieden werden. Dies kann durch einen dauerhaften Einstau der Dränleitung bewirkt

werden. Hierfür sind die Kontrollschächte als Mönchsbauwerke auszuführen, bei denen z. B. über Damm-
balken ein Wasserstand innerhalb der Dräns eingestellt werden kann.

*Anmerkung: Verockerung und Versinterung können bei Verwendung eines geotextilen oder eines minerali-
schen Filters zur Verringerung der Durchlässigkeit und damit zum Wasseraufstau hinter dem Drän führen.
Ein mineralischer Drän ohne oder mit nur geringer Auflast kann in einem solchen Fall örtlich aufbrechen,
was durch die Zugfestigkeit von Geotextilfiltern verhindert wird (siehe auch MAG, 2021).*

Literatur

Kunz, C. und Poweleit, A. (1987): Dimensionierung von Sohldränschichten in Erddämmen. In: Bauingeni-
eur 62, S. 493–497.

Anlage 4: Hinweise zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung

Die folgenden Hinweise zur numerischen Berechnung der Dammdurchströmung werden für eine vertikal-ebene Modellierung und stationäre Strömungsverhältnisse sowie für die vereinfachten Modellannahmen eines homogenen Dammes mit isotroper Durchlässigkeit auf undurchlässigem Untergrund gegeben. In Abbildung A4.1 ist der für die numerischen Beispielrechnungen verwendete Modellquerschnitt dargestellt.

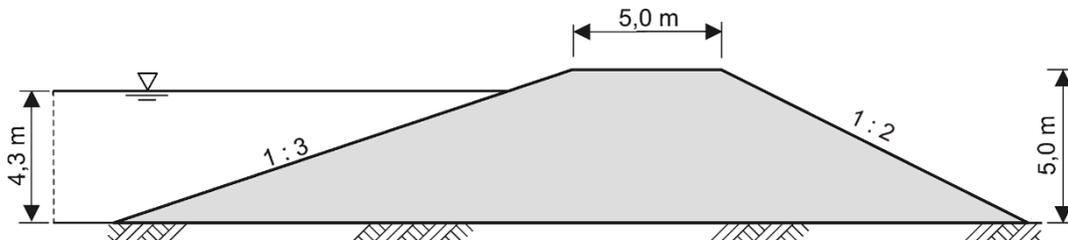


Abbildung A4.1: Vertikal-ebenes Berechnungsmodell eines Dammes

Grundlagen der numerischen Berechnung im wassergesättigten Boden

Über die numerische Berechnung von Grundwasserströmungen existiert eine umfangreiche Fachliteratur (z. B. Pinder & Gray 1977, Anderson & Woessner 2002 oder Kinzelbach & Rausch 1995). Nachfolgend werden lediglich die Grundlagen für die Anwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM) zur stationären, vertikal-ebenen Berechnung der Dammdurchströmung kurz dargestellt. Weitergehende Erläuterung dazu sind detailliert in Odenwald (2011) dargestellt.

Die Strömung in einem porösen Medium wird über die sog. Strömungsgleichung beschrieben, die sich aus dem Darcy-Gesetz und der Kontinuitätsgleichung (Massenerhaltungsgesetz) herleiten lässt. Die Strömungsgleichung stellt eine partielle Differenzialgleichung 2. Ordnung dar, deren analytische Lösung nur bei einfachen Strömungsverhältnissen möglich ist. Bei komplexeren Verhältnissen sind numerische Verfahren (z. B. die FEM) zur Gleichungslösung erforderlich. Dabei handelt es sich um Näherungsverfahren, die bei stationären Strömungsverhältnissen (zeitunabhängig) auf einer räumlichen Diskretisierung des Strömungsfeldes beruhen.

Bei der FEM erfolgt die räumliche Diskretisierung (Unterteilung des Berechnungsmodells in Finite Elemente) zumeist mittels Dreieckselementen unterschiedlicher Größe. Dadurch wird eine flexible Anpassung der Diskretisierung an die Modellgeometrie und an Modellstrukturen (z. B. Bodenschichten, Einbauten oder hydraulische Randbedingungen) ermöglicht. Da bei der Diskretisierung mittels Dreieckselementen das Grundwasserpotential innerhalb der Elemente i. A. durch lineare Ansatzfunktionen abgebildet wird, müssen Bereiche mit großen Änderungen des hydraulischen Gradienten entsprechend fein diskretisiert werden. Bei der vertikal-ebenen Modellierung der Dammdurchströmung ist insbesondere eine relativ feine Diskretisierung für den Wasseraustrittsbereich an der landseitigen Dammböschung (Sickerstrecke) erforderlich.

Festlegung hydraulischer Randbedingungen

Bei der Beschreibung einer stationären, vertikal-ebenen Grundwasserströmung müssen zur Lösung der partiellen Differenzialgleichung entlang des gesamten Modellrandes Randbedingungen definiert werden. Dabei können im Allg. entweder das Grundwasserpotential h (Randbedingung 1. Art) oder die Filtergeschwindigkeit (spezifischer Zufluss bzw. Abfluss pro Fläche) senkrecht zum Modellrand v_n (Randbedingung 2. Art) entlang einzelner Teilabschnitte des gesamten Modellrandes vorgegeben werden. Aus der Strömungsberechnung ergeben sich in den Randbereichen, für die Grundwasserpotentiale vorgegeben werden, Randzuflüsse bzw. -abflüsse. In den Randbereichen, für die Zu- bzw. Abflüsse vorgegeben werden, ergibt sich aus der Strömungsberechnung die Verteilung der Randpotentiale. Eine Sonderform der Randbedingung 2. Art stellt die Vorgabe einer Randstromlinie (Filtergeschwindigkeit senkrecht zum Modellrand $v_n = 0$) entlang eines Teilabschnittes des Modellrandes dar. Zur Beschreibung von halbdurchlässigen Rändern (z. B. Kolmationsschicht) wird die Randbedingung der 3. Art verwendet, die eine Kombination aus erster und zweiter Art darstellt. Dabei wird in Abhängigkeit der Differenz zwischen dem Grundwasserpotential und einem konstanten äußeren Potential (z. B. Wasserstand im Gewässer) ein Zu- bzw. Abfluss senkrecht zum Modellrand vorgegeben. Damit wird ein Strömungswiderstand am Modellrand abgebildet.

Hinweis: In den auf der Methode der Finiten Elemente basierenden Programmsystemen zur numerischen Berechnung von Grundwasserströmungen ist die Randstromlinie im Allg. als Randbedingung voreingestellt. D. h. ohne Vorgabe einer sonstigen Randbedingung wird am Modellrand eine Randstromlinie angesetzt.

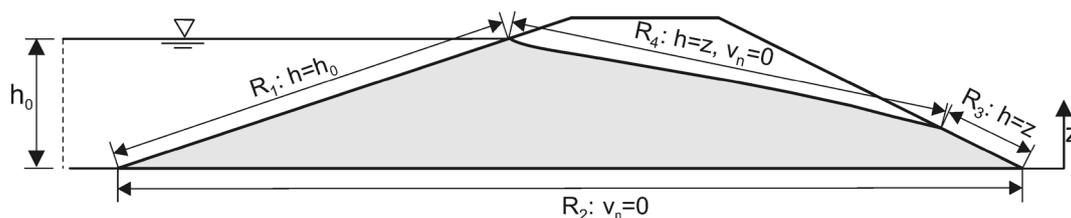


Abbildung A4.2: Randbedingungen für die Modellierung der wassergesättigten Dammdurchströmung

In Abbildung A4.2 sind die einzelnen Modellränder mit den jeweiligen Randbedingungen für die Dammdurchströmung dargestellt. In dem hier dargestellten Fall wird als Berechnungsmodell nur der wassergesättigte Bereich des Dammes berücksichtigt. D. h. es wird angenommen, dass die Begrenzung des wassergesättigten Teils des Dammes bekannt ist und dass eine Durchströmung nur im wassergesättigten Bereich des Dammkörpers stattfindet.

Am linken Modellrand im Bereich des Wassereinstaus (R_1) wird ein Grundwasserpotential h entsprechend dem Wasserstand h_0 über Bezugsniveau ($h = h_0$) vorgegeben. Aus der Annahme einer undurchlässigen Aufstandsfläche folgt der Ansatz einer Randstromlinie ($v_n = 0$) für den unteren Modellrand (R_2).

Am rechten Modellrand ergibt sich ein Wasseraustritt (Sickerstrecke). Unter der (für die Dammdurchströmung gerechtfertigten) Annahme, dass kein Wasseraufstau infolge der Dammdurchströmung auf der Landseite des Dammes erfolgt und das Wasser frei ausströmen kann, entspricht der Porenwasserdruck an der Dammoberfläche dem atmosphärischen Luftdruck. Da weiterhin im Allg. angenommen werden kann, dass der äußere Luftdruck im gesamten Dammbereich konstant ist, kann dieser und somit auch der Porenwasserdruck an diesem Modellrand (R_3) definitionsgemäß zu Null gesetzt werden ($u = 0$). Das Grundwasserpotential an diesem Modellrand im Bereich des Wasseraustritts entspricht (wegen $h = u/\gamma_w + z$) der geodätischen Höhe des Modellrandes über dem Bezugsniveau ($h = z$). Demzufolge ist an diesem Modellrand

(R_3) ein Grundwasserpotential entsprechend der jeweiligen geodätischen Höhe über Bezugsniveau ($h = z$) vorzugeben.

Durch den oberen Modellrand (R_4) wird der wassergesättigte Bereich innerhalb des durchströmten Dammkörpers begrenzt (Sickerlinie), an dem der Porenwasserdruck dem atmosphärischen Luftdruck entspricht (definitionsgemäß $u = 0$). Aufgrund der Annahme, dass eine Durchströmung nur im wassergesättigten Bereich des Dammkörpers stattfindet, stellt die Sickerlinie, die den wassergesättigten Bereich nach oben begrenzt, ebenfalls eine Randstromlinie ($v_n = 0$) dar.

Ermittlung der Sickerlinie unter Berücksichtigung der Strömung im wasserungesättigten Boden

Der wassergesättigte Bereich bei der Durchströmung eines Dammes und damit die Lage der Sickerlinie innerhalb des Dammkörpers und die Ausdehnung der Sickerstrecke an der Böschungsoberfläche sind jedoch a priori nicht bekannt, sondern müssen im Zuge der Durchströmungsberechnung ermittelt werden.

Eine Lösungsmöglichkeit besteht darin, die Ausdehnung des Berechnungsmodells solange iterativ anzupassen, bis entlang dem als Randstromlinie ($v_n = 0$) definierten oberen Modellrand (R_4) der Porenwasserdruck zu Null wird ($u = 0$), bzw. bis das Grundwasserpotential entlang dieses Modellrands der geodätischen Höhe des Modellrands entspricht ($h = z$). Eine derartige iterative, automatisierte Anpassung des Modells ist bei der numerischen Strömungsberechnung unter Verwendung einer vertikal-ebenen Modellierung, zumindest bei komplexeren Strukturen (Bodenschichtungen, Einbauten, etc.) und komplexeren geometrischen Verhältnissen (unterschiedliche Böschungsneigungen, Bermen, etc.) zumeist nicht möglich.

Deshalb wird die numerische Berechnung der Dammdurchströmung im Allg. für ein festgelegtes, vertikal-ebenes Modell, das den gesamten Dammkörper beinhaltet, durchgeführt. Dies erfordert die Berechnung der Dammdurchströmung sowohl im wassergesättigten Bereich unterhalb der Sickerlinie als auch im wasserungesättigten Bereich oberhalb der Sickerlinie.

Für den wassergesättigten Bereich werden die hydraulischen Durchlässigkeiten innerhalb der einzelnen Elemente (bzw. Elementbereiche) als konstant angesetzt. Die hydraulische Durchlässigkeit k_u im wasserungesättigten Bereich ist oberhalb der Sickerlinie deutlich geringer als die hydraulische Durchlässigkeit k im wassergesättigten Bereich. Die ungesättigte Durchlässigkeit ist abhängig vom Wassergehalt innerhalb der Poren, der wiederum als Funktion des Porenwasserunterdrucks (unter atmosphärischem Luftdruck) beschrieben werden kann. Dadurch lässt sich die relative Durchlässigkeit k_r im ungesättigten Bereich (bezogen auf die gesättigte Durchlässigkeit k) als Funktion des Porenwasserunterdrucks ($-u$), der in der Literatur als Saugspannung bezeichnet wird, darstellen. Für stationäre Berechnungen gesättigt-ungesättigter Strömungen muss daher die funktionale Beziehung zwischen relativer Durchlässigkeit k_r und Saugspannung ($-u$) bodenabhängig vorgegeben werden.

Für die Ermittlung der Dammdurchströmung ist eine allzu genaue Vorgabe dieser bodenabhängigen Funktionen jedoch nicht erforderlich. Der Abfluss in der ungesättigten Bodenzone ist hier vernachlässigbar und allein der wassergesättigte Bodenbereich ist maßgebend für die Durchströmung.

Grundsätzlich sind die Funktionen für die verschiedenen Böden jedoch so zu wählen, dass der Fluss in der ungesättigten Bodenzone qualitativ korrekt abgebildet wird. Als Grundlage für die numerische Berechnung der Dammdurchströmung wurden von der BAW vier vereinfachte Typkurven für Kies, Sand, Schluff und Ton festgelegt, die in Abbildung A4.3 dargestellt sind. Die Saugspannung ist dabei in Meter Wassersäule (m WS) angegeben.

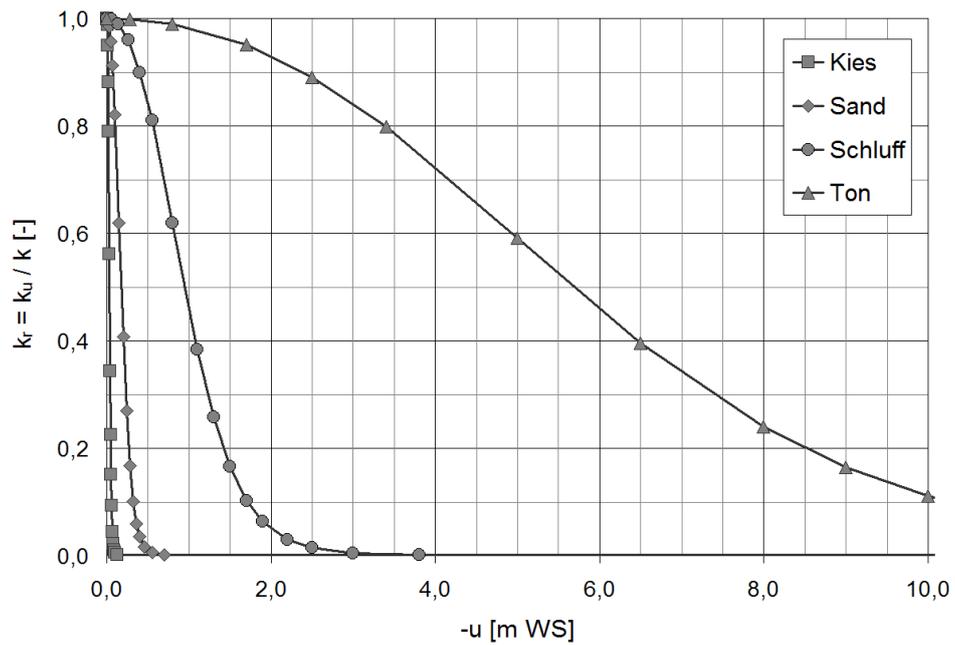


Abbildung A4.3: Typkurven für den funktionalen Zusammenhang zwischen relativer Durchlässigkeit (k_r) und Saugspannung ($-u$)

In Tabelle A4.1 sind für die Typkurven die Stützstellen der Polygonzüge aufgeführt. Für die numerische Berechnung wurden die relativen Durchlässigkeiten bis zu einer Saugspannung von 10 m WS angegeben. Physikalisch haben die Werte für diese maximale Saugspannung keine Bedeutung. Die Auswahl der Typkurve bei der numerischen Berechnung der Dammdurchströmung für unterschiedliche Bodenmaterialien sollte in Abhängigkeit von der die Durchlässigkeit des jeweiligen Bodenmaterials bestimmenden Kornfraktion erfolgen.

Tabelle A4.1: Typkurven für den funktionalen Zusammenhang zwischen relativer Durchlässigkeit (k_r) und Saugspannung ($-u$)

Kies		Sand		Schluff		Ton	
$-u$ in m WS	$k_r = k_u/k$ [-]						
0,0	1,000	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0
0,002	0,998	0,01	0,999	0,06	0,998	0,28	0,999
0,005	0,988	0,03	0,985	0,14	0,989	0,80	0,990
0,010	0,949	0,05	0,957	0,26	0,960	1,70	0,951
0,015	0,881	0,07	0,913	0,40	0,900	2,50	0,891
0,02	0,789	0,10	0,821	0,55	0,810	3,40	0,798
0,03	0,562	0,15	0,619	0,80	0,619	5,00	0,591
0,04	0,343	0,20	0,408	1,10	0,384	6,50	0,396
0,047	0,225	0,24	0,269	1,30	0,258	8,00	0,240
0,053	0,151	0,28	0,167	1,50	0,166	9,00	0,165
0,06	0,093	0,32	0,101	1,70	0,102	10,00	0,111
0,07	0,045	0,36	0,060	1,90	0,063	11,00	0,074
0,08	0,022	0,40	0,035	2,20	0,030	12,00	0,049
0,09	0,011	0,46	0,016	2,50	0,015	14,00	0,022
0,10	0,006	0,55	0,006	3,00	0,005	18,00	0,005
0,13	0,001	0,70	0,001	3,80	0,001	25,00	0,001
100,0	0,000	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0

Zur numerischen Berechnung gesättigt-ungesättigter Grundwasserströmungen ist eine iterative Lösung erforderlich, bei der innerhalb der einzelnen Iterationsschritte ein linearisiertes Gleichungssystem gelöst wird. Als Startwert für die iterative Lösung wird eine geschätzte Grundwasserpotentialverteilung vorgegeben. In einer ersten Iteration wird die hydraulische Durchlässigkeit der Elemente, in denen sich wasserungesättigte Strömungsverhältnisse ergeben, auf Grundlage der für die einzelnen Bodenschichten vorgegebenen $k_u(-u)$ -Funktionen angepasst. Dies erfolgt durch elementweise Ermittlung der ungesättigten Durchlässigkeit basierend auf dem Grundwasserpotential aus dem jeweilig vorangehenden Iterationsschritt und anschließender erneuter Lösung des linearisierten Gleichungssystems für die Grundwasserpotentiale. Diese erste Iteration wird beendet, wenn die Abweichung zwischen den berechneten Grundwasserpotentialen zweier aufeinanderfolgender Iterationsschritte einen vorgegebenen Wert ε (Iterationsschranke) unterschreitet.

Ermittlung der Sickerstrecke

Da die Ausdehnung der Sickerstrecke mit dem Austrittspunkt der Sickerlinie an deren oberem Ende zu Beginn der Berechnung ebenfalls nicht bekannt ist, ist ein weiterer iterativer Prozess zur Ermittlung der Sickerstrecke notwendig. Hierbei erfolgt an den Diskretisierungsknoten, deren Elementkanten die landseitige Dammböschung repräsentieren, eine Anpassung der Randbedingungen an die berechneten Potentiale. Diese Iteration muss solange erfolgen, bis die Berechnung für alle Randdiskretisierungsknoten mit vorgegebenem Potential ($h = z$) einen Abfluss ($v_n < 0$) und für die sich daran anschließenden, eine Randstromlinie darstellenden Randdiskretisierungsknoten ($v_n = 0$) eine Saugspannung (Porenwasserunterdruck: $u < 0$ bzw. $h < z$) ergibt.

Bei dem in der nachstehenden Beispielberechnung verwendeten Programm 2D-SSFLOW der Firma GGU (2008) wird die Iteration zur Ermittlung der Sickerstrecke manuell durchgeführt. Hierbei wird die Lage des Sickerlinienaustrittspunktes in einem ersten Schritt geschätzt. Anhand des Berechnungsergebnisses wird überprüft, ob entlang der geschätzten Sickerstrecke die oben genannten Randbedingungen erfüllt werden. Falls diese Bedingungen nicht eingehalten werden, ist die Berechnung mit entsprechend korrigierten Randbedingungen erneut durchzuführen.

Die Ergebnisse der numerischen Strömungsberechnung für das Berechnungsbeispiel sind in Abbildung A4.4 dargestellt. Dabei wurde die oben aufgeführte Typkurve für Sand zur Beschreibung der funktionalen Abhängigkeit der relativen Durchlässigkeit im ungesättigten Boden von der Saugspannung $k_r(-u)$ verwendet.

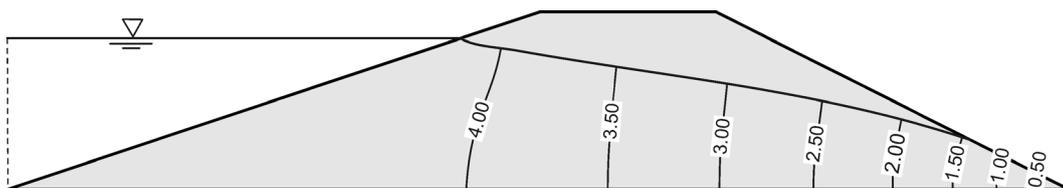


Abbildung A4.4: Berechnete Grundwasserpotentiale und Sickerlinie für einen homogenen Damm

Modellierung von Dränelementen

Bei der Berechnung der Durchströmung von Dämmen mit Dränelementen können bei großen Durchlässigkeitsunterschieden zwischen Dammmaterial und Drän Fehler bei der Ermittlung der Dammdurchströmung auftreten. Dies ist oft auf die Vorgabe ungenügender Funktionen zur Beschreibung der Abhängigkeit der ungesättigten Durchlässigkeit von der Saugspannung, durch die unterschiedlichen bodenphysikalischen Eigenschaften der einzelnen Mineralkorngemische nicht ausreichend berücksichtigt werden, zurückzuführen. Weiterhin können Fehler in der Durchströmungsberechnung auch durch eine zu grobe Diskretisierung, die keine ausreichende Abbildung der gesättigt-ungesättigten Strömung an der Grenzfläche zwischen Damm und Drän ermöglicht, verursacht werden. Um diese Fehler zu vermeiden, wird folgende Vorgehensweise bei der numerischen Berechnung der Durchströmung von Dämmen mit Dränelementen als Grundlage für eine hinsichtlich der Strömungsbelastung auf der sicheren Seite liegende Standsicherheitsermittlung empfohlen:

- Die numerische Berechnung der Dammdurchströmung wird ohne Berücksichtigung des Dränelementes durchgeführt. D. h., der Modellquerschnitt beinhaltet nur den Dammkörper, die den Drän darstellende Querschnittsfläche wird „ausgeschnitten“. Die Randbedingungen für den Grundwasserantritt in den Drän werden an der Dammoberfläche ohne Berücksichtigung des Dränelementes vorgegeben (meist R_3 , siehe auch Abbildung A4.2).

- Die in der Strömungsberechnung ermittelten Grundwasserpotentiale werden in die Standsicherheitsberechnung übertragen. Die Standsicherheitsberechnung erfolgt unter Berücksichtigung des Dränelementes mit seinen zugehörigen Parametern (Feuchtwichte, Reibungswinkel). Innerhalb des Dräns werden keine Porenwasserdrücke bzw. keine Strömungskräfte berücksichtigt. (Aufgrund der geringen Wassersättigung des Dräns sind Strömungskräfte vernachlässigbar.) Porenwasserunterdrücke im Dammkörper oberhalb der Sickerlinie werden in der Strömungsberechnung ebenfalls nicht berücksichtigt. (Die standsicherheitserhöhende Wirkung von Porenwasserunterdrücken wird, auf der sicheren Seite liegend, nicht berücksichtigt, da diese bei Aufsättigung und Austrocknung reduziert bzw. aufgehoben werden kann.)

Diese Vorgehensweise wird nicht nur bei der Durchströmungs- und Standsicherheitsberechnung von Dämmen mit Dränelementen (Auflast- und Fußdrän) sondern auch bei der Modellierung von dränierenden Hinterfüllungen im Bereich von Querbauwerken empfohlen. Voraussetzung ist, dass das (gegenüber dem Dammmaterial filterstabile) Dränmaterial eine wesentlich (i. d. R. mindestens 50-fach) höhere wassergesättigte Durchlässigkeit als das Dammmaterial aufweist und der Wassereinstau innerhalb des Dräns vernachlässigt werden kann.

Literatur

Anderson, M.P und Woessner, W.W. (2002): Applied Groundwater Modeling, Academic Press; San Diego, 2002.

Kinzelbach, W. und Rausch, R. (1995): Grundwassermodellierung – Eine Einführung mit Übungen; Gebrüder Bornträger, Berlin Stuttgart, 1995.

Odenwald, B. (2011): Numerische Berechnung der Dammdurchströmung in BAWMitteilungen Nr.94 Geohydraulische Aspekte bei Bauwerken der WSV.

Pinder; G. F. und Gray, W. G. (1977): Finite Element Simulation in Surface and Subsurface Flow; Academic Press, New York, 1977.

GGU 2D-SSFLOW (2022): Software zur Berechnung von Grundwasserströmungen mit Finiten Elementen in zweidimensionalen Systemen, Version 11.16; August 2022, GGU Braunschweig.

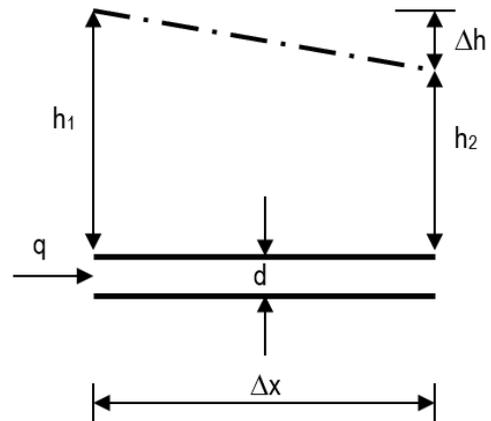
Anlage 5: Berücksichtigung von offenen Fugen in der Strömungsberechnung

Für die Strömungsberechnung müssen offene Fugen durch eine entsprechende Bodenschicht im Grundwasserströmungsmodell abgebildet werden. Dabei sollte der hydraulische Gradient in der (Ersatz-)Bodenschicht bei gleichem Durchfluss dem in der offenen Fuge entsprechen. Da die Fuge im Vergleich zur Längenausdehnung nur eine geringe Dicke aufweist, kann der Wasserfluss durch diese wassergefüllte Fuge als Fluss zwischen zwei unendlich ausgedehnten Platten angesehen werden. Dafür ergibt sich unter Annahme einer laminaren Strömung ein konstanter hydraulischer Gradient – unabhängig von der Rauigkeit der Oberflächen – von (siehe z. B. Press und Schröder 1966):

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{12\nu q}{gd^3}$$

mit:

- i: hydraulischer Gradient [-]
- Δh : Potentialdifferenz [m]
- Δx : Fließstrecke [m]
- q: Durchfluss pro m Breite [m^2/s]
- d: Dicke der Fuge (Abstand der Platten) [m]
- ν : kinematische Zähigkeit des Wassers [m^2/s]
- g: Erdbeschleunigung [m/s^2]

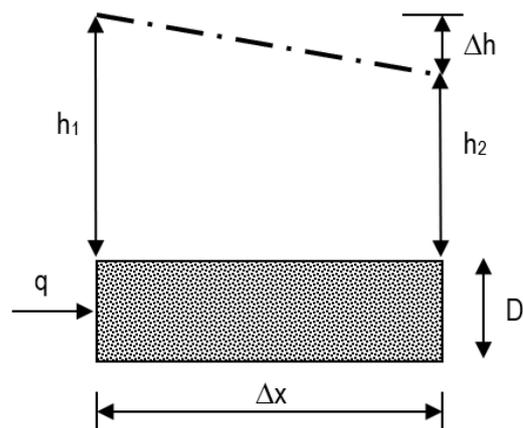


Für den Grundwasserfluss durch eine wassergesättigte Schicht mit konstanter Dicke ergibt sich nach dem DARCY'schen Fließgesetz ebenfalls ein konstanter hydraulischer Gradient von:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{q}{Dk}$$

mit:

- i: hydraulischer Gradient [-]
- Δh : Potentialdifferenz [m]
- Δx : Fließstrecke [m]
- q: Durchfluss pro m Breite [m^2/s]
- D: Dicke der Bodenschicht [m]
- k: Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens [m/s]



Unter der Voraussetzung, dass der hydraulische Gradient i bei gleichem Durchfluss q identisch sein soll, ergibt sich:

$$\frac{i}{q} = \frac{12\nu}{gd^3} = \frac{1}{Dk}$$

Für eine angenommene Dicke d der offenen Fuge und eine gewählte Dicke D der im Grundwassermodell verwendeten (Ersatz-)Bodenschicht ergibt sich der anzusetzende Durchlässigkeitsbeiwert k (für gleichen Quotienten aus hydraulischem Gradient i und Durchfluss q) zu:

$$k = \frac{gd^3}{12\nu D}$$

Beispiel:

Dicke der Fuge: $d = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$

Dicke der (Ersatz-)Bodenschicht: $D = 0,5 \text{ m}$

kinematische Zähigkeit des Wassers (bei $\vartheta = 10^\circ\text{C}$): $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

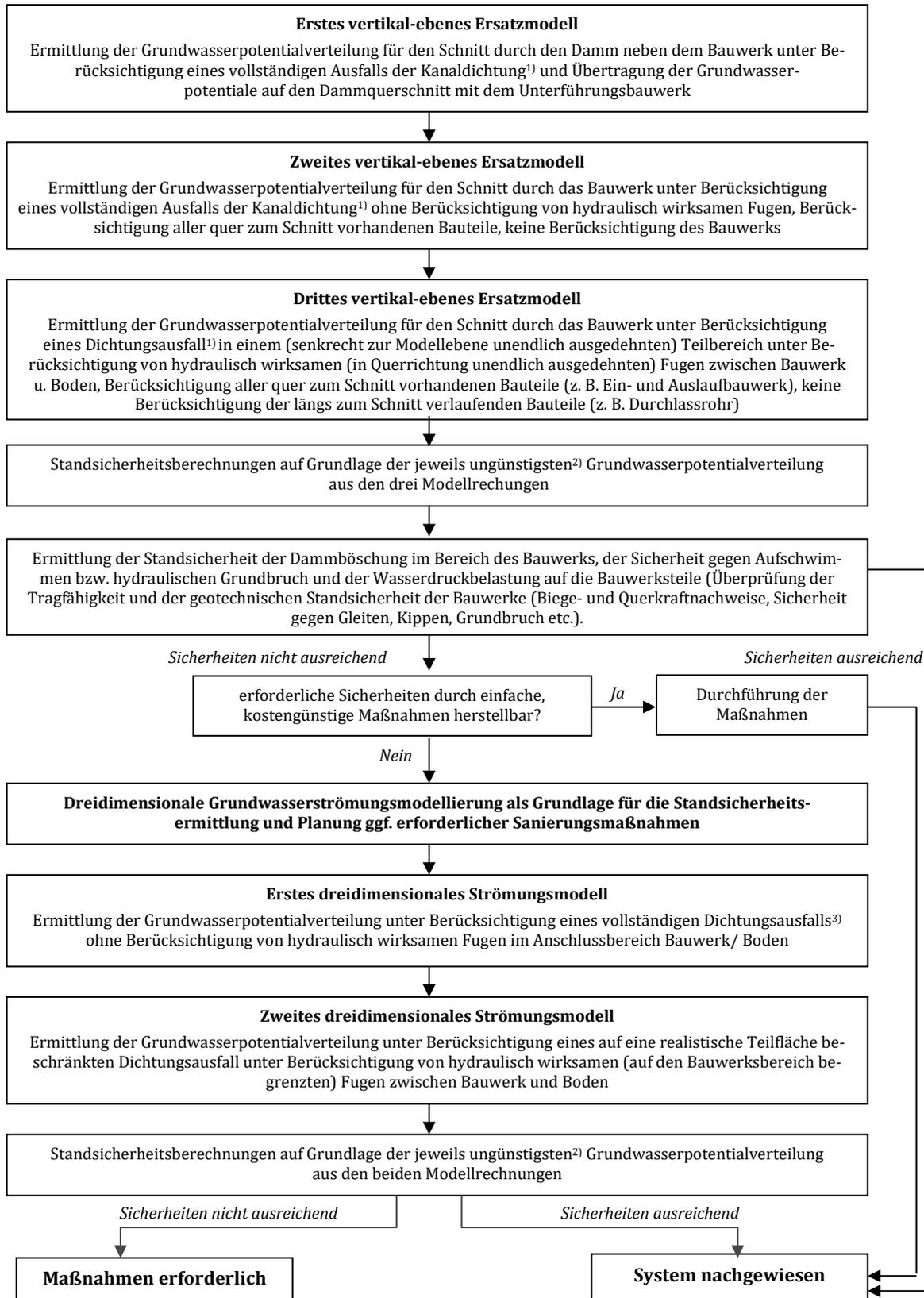
Erdbeschleunigung: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$\Rightarrow k \cong 1,26 \text{ m/s}$

Literatur

Press, H. und Schröder, R. (1966): Hydromechanik im Wasserbau; Wilhelm Ernst & Sohn; Berlin, München; 1966.

Anlage 6: Ablauf des Nachweises für Dämme im Bereich von Bauwerken



¹⁾ Berechnung bei nicht gedichteten Strecken generell unter Berücksichtigung der Durchströmung

²⁾ ungünstigste Potentialverteilung kann für verschiedene Nachweise aus unterschiedlichen Ersatzsystemen resultieren

³⁾ bei ausreichender Beobachtung kann der Dichtungsausfall in der Größe begrenzt werden; Leckgröße muss im Einzelfall festgelegt werden

Anlage 7: Beispiel zu Dämme im Bereich von Bauwerken

1 Bauwerk und Baugrund

Zur Veranschaulichung der Nachweisführung bei Dämmen im Bereich von Bauwerken wird nachfolgend ein vereinfachtes Beispiel für einen Durchlass unter einem gedichteten Kanal mit Auslaufbauwerk, Auslaufgraben und Anschluss an einen parallel zum Dammbauwerk verlaufenden Bach betrachtet. Der Durchlass ist in seinen Abmessungen im Längsschnitt und Grundriss in Abbildung A7.1 (nicht maßstäblich) dargestellt.

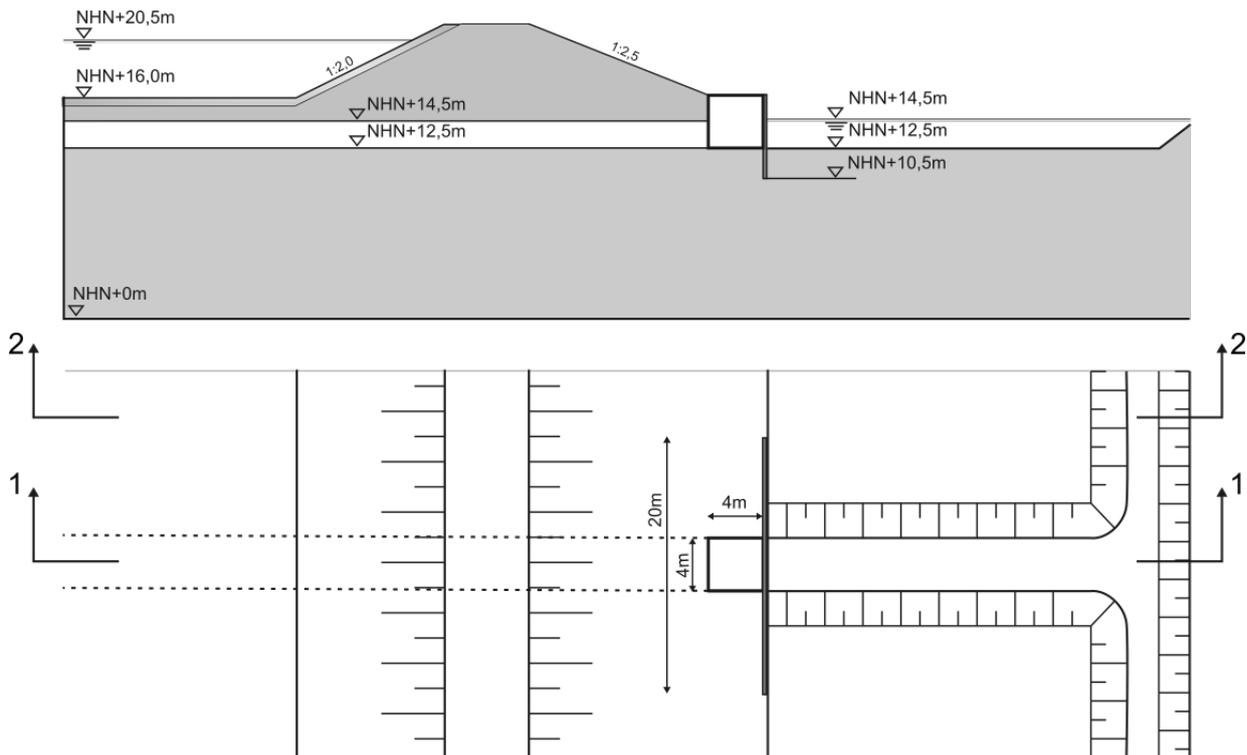


Abbildung A7.1: Längsschnitt 1-1 (oben) und Draufsicht des Durchlassbauwerks (unten)

Das Dammmaterial und der Untergrund bestehen aus Sand mit einer Durchlässigkeit von $k = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Unter NHN+0 m folgen wasserstauende Schichten. Die Wichte des Dammmaterials und des Untergrunds unter Auftrieb beträgt $\gamma' = 9,5 \text{ kN/m}^3$. Der Reibungswinkel beträgt $\varphi_{k'} = 35^\circ$. Die Sicherungsspundwand am Ende des Durchlasses erstreckt sich auf eine Länge von 20 m und reicht bis NHN+10,5 m. Der Durchlass hat einen Rechteckquerschnitt mit einer Breite von 4 m und einer Höhe von 2 m.

Für das Beispiel wird angenommen, dass der Durchlass aus Beton-Fertigteilelementen besteht, die vor Herstellung des Kanals in einem Graben im Trockenen verlegt wurden und dass der Durchlassgraben mit dem vorhandenen Untergrundmaterial verfüllt wurde.

2 Zweidimensionale (vertikal-ebene) Ersatzmodelle

2.1 Ermittlung der Grundwasserpotentialverteilung

Das Modell für die vertikal-ebenen Ersatzmodelle hat eine Gesamtlänge von 76 m und reicht von Kanalmitte bis zur Mitte des parallel zum Damm verlaufenden Bachs. In der Vertikalen reicht das Modell bis NHN+0 m (wasserstauende Schicht). Der linke sowie der rechte Modellrand und die untere Modellbegrenzung werden, auf der sicheren Seite liegend, als Randstromlinie definiert, d. h. diese Ränder werden als dicht angenommen. Im Auslaufgraben des Durchlasses und im parallel zum Kanal verlaufenden Bach wird das Potential zwischen NHN+12,5 m und NHN+14,5 m variiert.

Erstes vertikal-ebenes Ersatzmodell

Die Potentialverteilung wird für den Schnitt durch den Damm neben dem Bauwerk (Schnitt 2-2, siehe Abbildung A7.1) unter Berücksichtigung eines vollständigen Ausfalles der Kanaldichtung ermittelt (Abbildung A7.2) und auf den Dammquerschnitt mit Bauwerk übertragen.

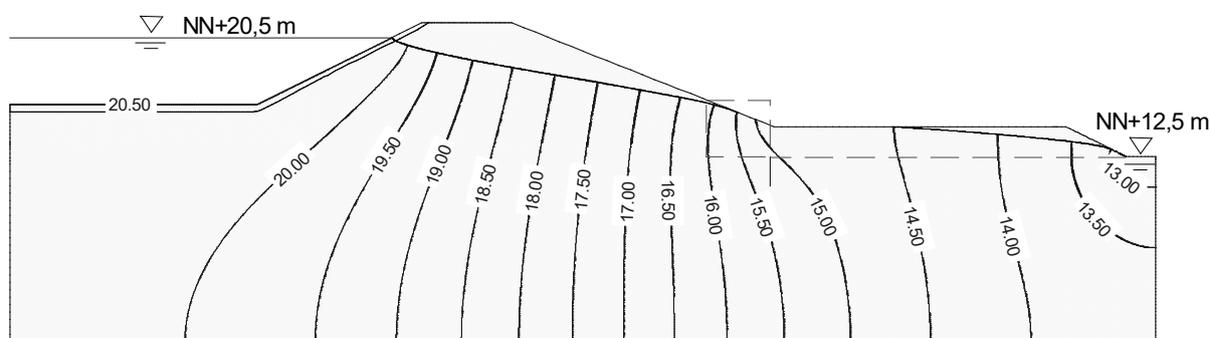


Abbildung A7.2: Potentialverteilung für das erste vertikal-ebene Ersatzmodell mit Randbedingung NHN+12,5 m

Zweites vertikal-ebenes Ersatzmodell

Die Potentialverteilung wird für den Schnitt durch den Damm mit dem Bauwerk (Schnitt 1-1, siehe Abbildung A7.1) jedoch ohne Berücksichtigung möglicher Fugen zwischen Bauwerk und Boden ermittelt (Abbildung A7.3). Die Spundwand und das Bauwerk sind in diesem Fall als undurchlässige Körper abgebildet. Das Durchlassrohr bleibt unberücksichtigt.

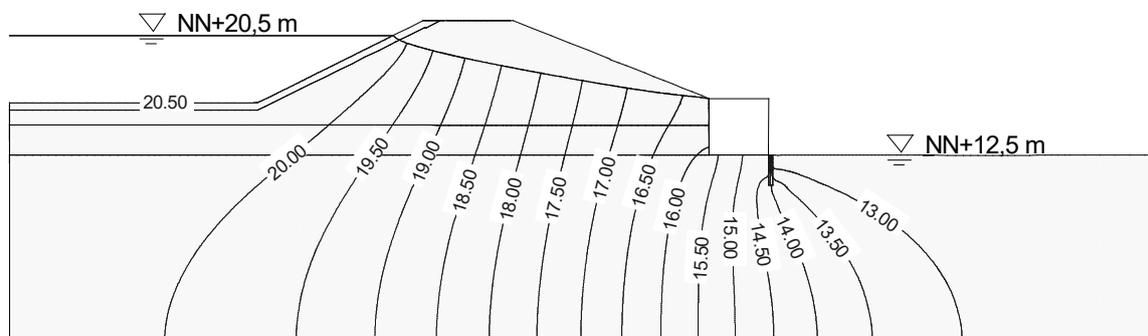


Abbildung A7.3: Potentialverteilung für das zweite vertikal-ebene Ersatzmodell mit Randbedingung NHN+12,5 m

Drittes vertikal-ebenes Ersatzmodell

Die Ermittlung der Potentialverteilung erfolgt für den Schnitt durch den Damm mit dem Bauwerk unter Berücksichtigung möglicher Fugen zwischen Bauwerk und Boden (Abbildung A7.4). Die Spundwand und das Bauwerk werden wie im zweiten Ersatzmodell als undurchlässig angenommen. Das Durchlassrohr bleibt auch in diesem Fall unberücksichtigt. Für die Fuge wird eine durchgängige Hohllage (unter Durchlass und Auslaufbauwerk) von 1 cm angesetzt. Sie wird im Modell (unter Annahme einer laminaren Strömung in der Fuge) durch eine 0,5 m mächtige Schicht mit einer Durchlässigkeit von $k = 1 \text{ m/s}$ abgebildet (vgl. Anlage 5). Der Dichtungsausfall im Modell wird in diesem Fall auf einen (senkrecht zur Strömungsrichtung unendlich ausgedehnten) Streifen am Übergang von der Sohl- zur Böschungsdichtung mit einer gewählten Breite von 2 m begrenzt.

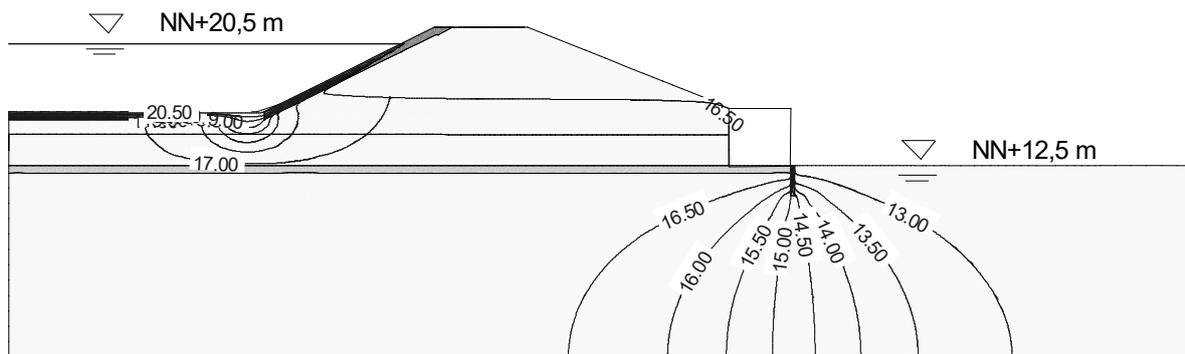


Abbildung A7.4: Potentialverteilung für das dritte vertikal-ebene Ersatzmodell mit Randbedingung $NHN+12,5 \text{ m}$

2.2 Standsicherheitsnachweise

Globale Standsicherheit

Der größte Ausnutzungsgrad für die Böschung über dem Auslaufbauwerk ergibt sich für das Ersatzmodell 2 unter Ansatz eines Wasserstandes im Auslaufbereich von $NHN+14,5 \text{ m}$. Er beträgt $\mu = 0,74 \leq 1$ und ist somit ausreichend.

Lokale Standsicherheit

Maßgebend für den Nachweis der lokalen Sicherheit sind die Ersatzmodelle 2 und 3, bei denen es zu einem Austritt der Sickerlinie an der luftseitigen Böschung oberhalb des Auflaufbauwerkes kommt. Die lokale Böschungsstandsicherheit unterhalb des Sickerlinienaustrittspunktes ist nicht ausreichend, da

$$\tan \beta = 0,4 \not\leq 0,32 = \frac{1}{2} \tan \varphi_d,$$

mit $\tan \varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_\varphi$ und $\gamma_\varphi = 1,1$ in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A)

D. h. in diesem Bereich sind Maßnahmen zur Erhöhung der lokalen Sicherheit erforderlich, wenn lokale Schäden beim Auftreten einer Dammdurchströmung verhindert werden sollen.

Im nicht durchströmten Bereich der Böschung oberhalb des Sickerlinienaustrittspunktes ist dagegen die lokale Standsicherheit ausreichend, da

$$\tan \beta = 0,4 \leq 0,64 = \tan \varphi_d$$

Hydraulischer Grundbruch

Nach DIN 1054:2021-04 ergibt sich der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch aus:

$$S_{dst,k} \cdot \gamma_H \leq G'_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

Betrachtet wird ein Bodenkörper vor der Spundwand, dessen Breite b gleich der halben Einbindetiefe der Spundwand angenommen wird und dessen Höhe h der Einbindetiefe unterhalb der Grabensohle entspricht. Der für diesen Nachweis ungünstigste Fall ergibt sich aus dem dritten vertikal-ebenen Ersatzmodell (Randbedingung $NHN+12,5$ m), da hier das hydraulische Gefälle vor der Spundwand am größten ist. Das über die Breite des Bodenkörpers gemittelte hydraulische Gefälle beträgt $i = 0,84$. Die charakteristische Strömungskraft $S_{dst,k}$ auf den Bodenkörper errechnet sich zu $S_{dst,k} = i \cdot \gamma_w \cdot h \cdot b = 16,8$ kN/m. Der Teilsicherheitsbeiwert für die Strömungskraft γ_H beträgt nach DIN 1054:2021-04 in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) bei dem hier anstehenden Untergrund, der als günstiger Untergrund einzustufen ist, $\gamma_H = 1,25$. Die charakteristische Eigenlast des Bodenkörpers unter Auftrieb $G'_{stb,k}$ beträgt 19 kN/m. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,stb}$ für stabilisierende ständige Einwirkungen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) beträgt $\gamma_{G,stb} = 0,95$. Somit ergibt sich:

$$16,8 \text{ kN/m} \cdot 1,25 = 21,0 \text{ kN/m} \not\leq 18,1 \text{ kN/m} = 19 \text{ kN/m} \cdot 0,95$$

D. h. es ist keine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch gegeben.

Belastung des Auslaufbauwerkes

Die maßgebliche Wasserdruckbelastung auf das Auslaufbauwerk ergibt sich im dritten vertikal-ebenen Ersatzmodell bei Ansatz der Randbedingung von $NHN+14,5$ m. In Abbildung A7.5 ist diese Wasserdruckverteilung grafisch dargestellt.

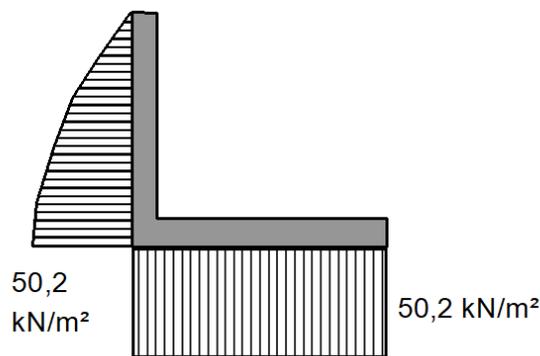


Abbildung A7.5: Wasserdruckverteilung auf das Auslaufbauwerk für das dritte vertikal-ebene Ersatzmodell (Randbedingung $NHN+14,5$ m)

3 Dreidimensionale Modelle

Als 3-D-Modell wurde ein Viertelmodell verwendet (siehe Abbildung A7.6). Das Modell hat quer zum Damm eine Länge von 76 m (von der Kanalachse bis zur Achse des parallel zum Damm verlaufenden Bachs) und in Richtung der Dammachse eine Länge von 60 m. Die vertikalen Modellränder sowie der untere Rand werden auf der sicheren Seite liegend als Randstromlinien definiert, d. h. diese Ränder werden als dicht angenommen. Analog zu den Berechnungen der vertikal-ebenen Ersatzmodelle wird im Auslaufbereich des Durchlasses und im Bachlauf das Potential zwischen $\text{NHN}+12,5 \text{ m}$ und $\text{NHN}+14,5 \text{ m}$ variiert.

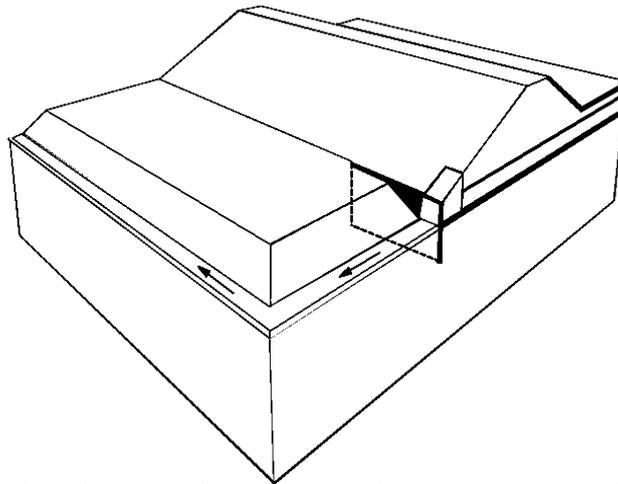


Abbildung A7.6: 3-D-Modell

3.1 Ermittlung der Grundwasserpotentialverteilung

Erstes dreidimensionales Strömungsmodell

Die Berechnungen im ersten dreidimensionalen Strömungsmodell werden ohne Berücksichtigung hydraulisch wirksamer Fugen unter Annahme eines vollständigen Dichtungsausfalls durchgeführt. Wie aus Abbildung A7.7 ersichtlich, weicht die ermittelte Grundwasserpotentialverteilung für den Vertikalschnitt entlang der Achse des Durchlasses nur relativ geringfügig von den berechneten Grundwasserpotentialverteilungen für das erste und zweite vertikal-ebene Ersatzmodell (Abbildung A7.2 und Abbildung A7.3) ab. Dies ist begründet durch die geringe aufstauende Wirkung des Auslaufbauwerkes, da die Spundwand nicht in eine geringdurchlässige Bodenschicht einbindet und somit unterströmt wird.

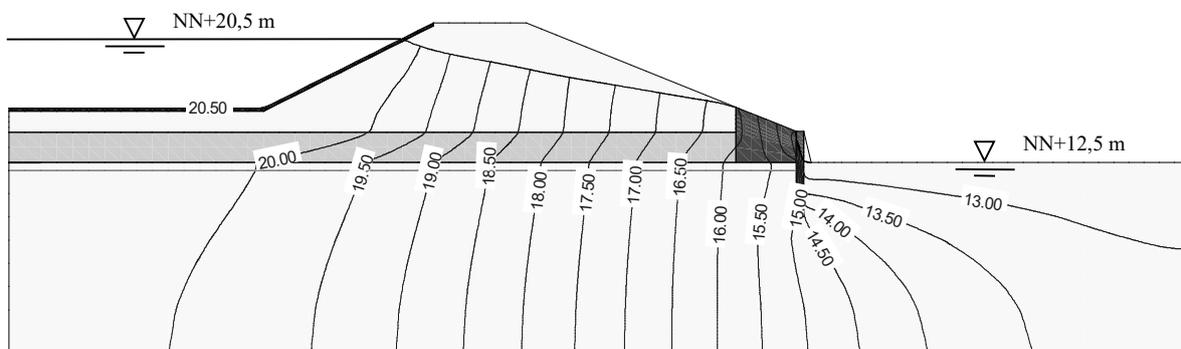


Abbildung A7.7: Potentialverteilung für das erste dreidimensionale Strömungsmodell (Vertikalschnitt entlang Durchlassachse) mit Randbedingung $\text{NHN}+12,5 \text{ m}$

Zweites dreidimensionales Strömungsmodell

Im zweiten dreidimensionalen Grundwasserströmungsmodell wird eine hydraulisch wirksame Fuge unter dem Durchlass und dem Auslaufbauwerk angenommen (Berücksichtigung der Fuge in der Strömungsbeziehung entsprechend drittem vertikal-ebenen Ersatzmodell). Der Dichtungsausfall wird in diesem Fall im Modell auf eine Fläche von 25 m² (2 m x 12,5 m) am Übergang von der Sohl- zur Böschungsdichtung begrenzt. Dies entspricht einer tatsächlichen Leckgröße von 50 m².

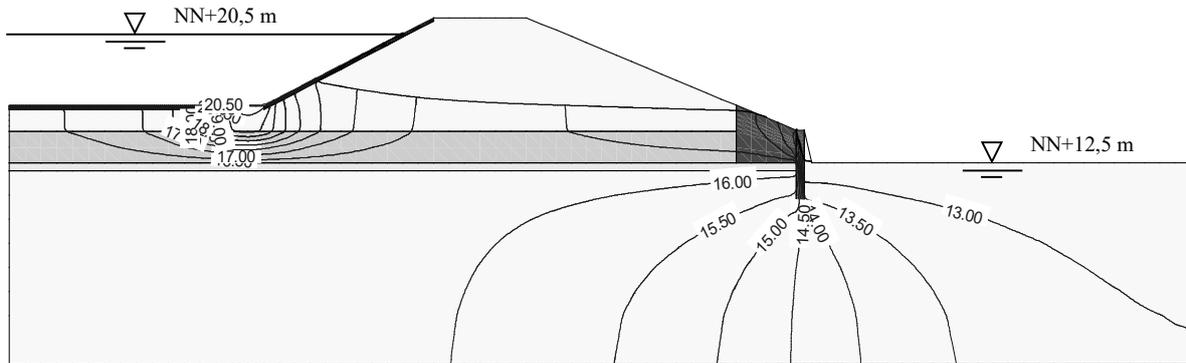


Abbildung A7.8: Potentialverteilung für das zweite dreidimensionale Strömungsmodell (Vertikalschnitt entlang Durchlassachse) mit Randbedingung NHN+12,5 m

Die ermittelte Grundwasserpotentialverteilung für den Vertikalschnitt entlang der Achse des Durchlasses (Abbildung A7.8) ergibt im Vergleich zur entsprechenden zweidimensionalen Modellierung (drittes vertikal-ebenes Ersatzmodell, Abbildung A7.4) eine geringere hydraulische Belastung des Auslaufbauwerkes. Dies ist begründet durch die realistische Abbildung der Bauwerksverhältnisse im dreidimensionalen Modell, wodurch sich im Vergleich zum dritten vertikal-ebenen Ersatzmodell (keine Berücksichtigung des Durchlasses, unendliche Ausdehnung der hydraulisch wirksamen Fuge in der Breite) ein erhöhter Potentialabbau bei der Zuströmung aus dem Kanal und der Umströmung des Durchlasses zu der hydraulisch wirksamen Fuge unterhalb des Durchlasses ergibt.

3.2 Standsicherheitsnachweise

Globale Standsicherheit

Der größte Ausnutzungsgrad ergibt sich für das erste dreidimensionale Strömungsmodell unter Annahme eines vollständigen Dichtungsausfalls bei Ansatz eines Wasserstandes im Auslaufbereich von NHN+14,5 m. Er beträgt $\mu = 0,66$ und ist somit kleiner als der größte Ausnutzungsgrad, der mit Hilfe der vertikal-ebenen Ersatzmodelle ermittelt wurde.

Lokale Standsicherheit

Für beide dreidimensionalen Modellierungen wird kein Austritt der Sickerlinie in der Böschung oberhalb des Bauwerkes ermittelt. Die lokale Sicherheit ist somit ausreichend.

Hydraulischer Grundbruch

Die für den Nachweis des hydraulischen Grundbruchs maßgebliche Potentialverteilung ergibt sich für das zweite dreidimensionale Strömungsmodell unter Annahme eines Wasserstandes im Auslaufbereich von

NHN+12,5 m. Das über die Breite des Bodenkörpers gemittelte hydraulische Gefälle beträgt $i = 0,72$. Es ergibt sich:

$$14,4 \text{ kN/m} \cdot 1,25 = 18,0 \text{ kN/m} \leq 18,1 \text{ kN/m} = 19 \text{ kN/m} \cdot 0,95$$

D. h. die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ist ausreichend.

Belastung der Bauwerke

Die maßgebliche Wasserdruckbelastung auf das Auslaufbauwerk ergibt sich für das zweite dreidimensionale Strömungsmodell bei Ansatz der Randbedingung von NHN+14,5 m. In Abbildung A7.9 ist die Wasserdruckverteilung grafisch dargestellt.

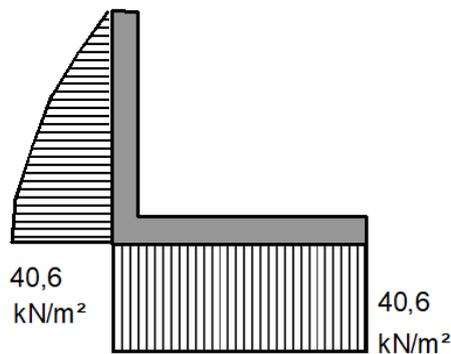


Abbildung A7.9: Wasserdruckverteilung auf das Auslaufbauwerk für das zweite 3-D-Modell (Randbedingung NHN+14,5 m)

Anlage 8: Gehölzliste

Tabellenlegende

Fettdruck: Bundesweite Pflanzempfehlungen für feuchte bis frische Dammböschungen und leicht saures bis basisches Dammsubstrat (Pflanzempfehlungen für stark saure, staunasse oder trockene Dammböschungen oder regionaltypische Gehölze werden innerhalb des MSD nicht gesondert aufgeführt)

(E): Eingebürgertes, nicht heimisches Gehölz, Neophyt. Aus Gründen des Naturschutzes nicht zu fördern

(e): wie (E), aber in Teilen Deutschlands heimisch

(Inv): Invasiver Neophyt, der wirtschaftliche und ökologische Schäden verursachen kann

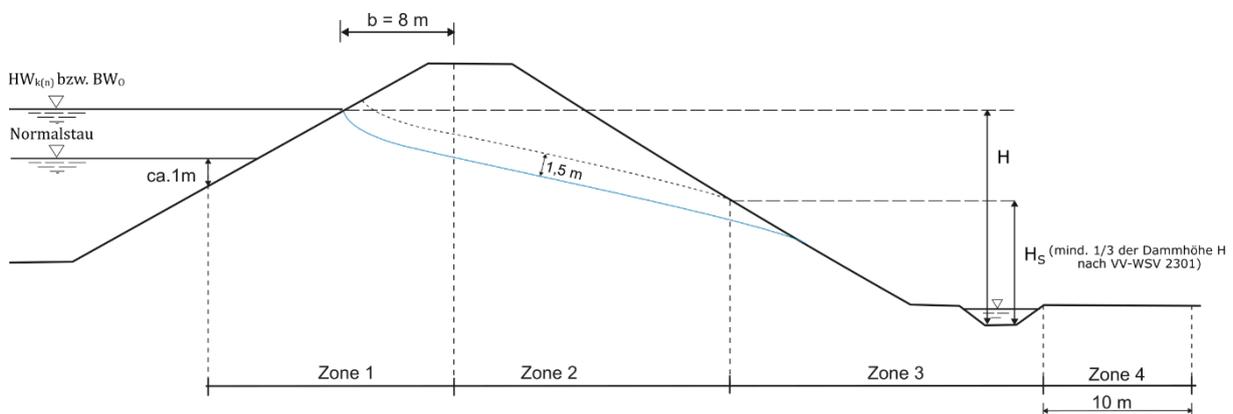


Abbildung A8.1: Zoneneinteilung für den zulässigen Dammbewuchs mit Gehölzen

Tabelle A8.1: Für Dämme und für das landseitige Dammvorland (alle Zonen) nicht zulässige Bäume 1. Ordnung mit intensiver Wurzelbrut

Ailanthus altissima (Inv)	Chinesischer Götterbaum
Populus alba (e)	Silber-Pappel
Populus canadensis (Inv)	Hybridpappeln, alle Sorten
Populus canescens (e)	Grau-Pappel
Populus italica (E)	Pyramiden-Pappel
Populus nigra	Schwarz-Pappel
Populus tremula	Zitter-Pappel
Robinia pseudoacacia (Inv)	Robinie

Tabelle A8.2: Zulässige Sträucher bei Dämmen mit innenliegender Dichtung und Dämmen ohne Dichtung in Zone 1 wasserseitige Dammböschung

Amelanchier ovalis s.l.	Mitteleuropäische Felsenbirne
Berberis vulgaris	Gewöhnliche Berberitze
Colutea arborescens (E)	Blasenstrauch
Cornus sanguinea	Blutroter Hartriegel, Roter Hartriegel
Cytisus scoparius	Besenginster
Euonymus europaeus	Gewöhnliches Pfaffenhütchen, Spindelstrauch
Frangula alnus (=Rhamnus frangula)	Faulbaum
Ligustrum vulgare (e)	Gewöhnlicher Liguster, Rainweide
Lonicera periclymenum	Wald-Geißblatt
Lonicera xylosteum	Rote Heckenkirsche
Ribes - Wildformen	Johannisbeeren, Stachelbeeren
Rosa canina	Hunds-Rose
Rubus caesius	Kratzbeere
Rubus idaeus	Himbeere
Salix cinerea	Grau-Weide
Salix purpurea	Purpur-Weide
Salix triandra	Mandel-Weide
Sambucus racemosa	Roter Holunder
Symphoricarpos albus (E)	Gewöhnliche Schneebeere
Viburnum lantana	Wolliger Schneeball
Viburnum opulus	Wasserschneeball

Tabelle A8.3: Zulässige Bäume und Sträucher in Zone 2 landseitige Dammböschung oberhalb von Hs

Sträucher der Tabelle 2 und zusätzlich:

Acer campestre	Feld-Ahorn
Alnus glutinosa ¹	Schwarz-Erle ¹
Alnus incana (e) ¹	Grau-Erle ¹
Carpinus betulus	Gewöhnliche Hainbuche
Cornus mas (e)	Kornelkirsche
Corylus avellana	Gewöhnliche Hasel
Crataegus laevigata s.l.	Zweigriffeliger Weißdorn
Crataegus monogyna	Eingriffeliger Weißdorn
Hippophae rhamnoides (e)	Sanddorn
Ilex aquifolium	Gewöhnliche Stechpalme
Malus domestica	Kultur-Apfel
Malus sylvestris	Wild-Apfel, Holz-Apfel

Mespilus germanica (e)	Echte Mispel
Prunus avium	Vogel-Kirsche, Süß-Kirsche
Prunus cerasifera (E)	Kirschpflaume
Prunus domestica	Kultur-Pflaume, Zwetschge
Prunus mahaleb (e)	Felsen-Kirsche, Steinweichsel
Prunus padus	Trauben-Kirsche
Prunus spinosa	Gewöhnliche Schlehe, Schlehdorn
Pyrus communis	Kultur-Birne
Pyrus pyraster	Wild-Birne, Holz-Birne
Rhamnus cathartica	Purgier-Kreuzdorn
Rosa	Alle einheimischen Wildrosenarten
Salix ¹ - Sträucher	Strauchweidenarten der Flussauen ¹
Salix caprea ¹	Sal-Weide ¹
Sambucus nigra	Schwarzer Holunder
Sorbus aria (e)	Gewöhnliche Mehlbeere
Sorbus aucuparia	Eberesche, Vogelbeere
Sorbus domestica (e)	Speierling
Sorbus intermedia (E)	Schwedische Mehlbeere
Sorbus torminalis	Elsbeere
Ulmus minor	Feld-Ulme
Viburnum lantana (e)	Wolliger Schneeball
Viburnum opulus	Wasserschneeball

¹: In Zone 2 zulässig, aber nicht in der Nähe von Dränleitungen

Tabelle A8.4: Für einen 10 m breiten Streifen landseitig der luftseitigen OK des Seitengrabens zulässige Bäume und Sträucher (Zone 4 landseitig des Seitengrabens)

Gehölze der Tabellen 2 und 3 und zusätzlich:

Acer platanoides	Spitz-Ahorn
Acer pseudoplatanus	Berg-Ahorn
Betula pendula	Hänge-Birke, Sand-Birke
Juglans regia (e)	Walnuss
Rubus fruticosus	Echte Brombeere
Salix alba	Silber-Weide
Salix fragilis	Bruch-Weide
Salix x rubens	Fahl-Weide, Rot-Weide

Anlage 9: Glossar

Begriff	Erklärung	siehe auch
Auflastdrän	Auf dem Dammkörper aufliegender Drän, der durch seine Auflast den Bodenkörper stabilisiert und durch seine Filterwirkung einen Austrag von Bodenmaterial aus dem Dammkörper verhindert	MAK 2013
Außendichtung	-> Oberflächendichtung	
Bemessungshochwasserzufluss (BHQ ₁ bzw. BHQ ₂)	Für die Bemessung und Gestaltung der Hochwasser-schutzanlage maßgebende Hochwasserzufluss. Die für diesen Zufluss ermittelten Hochwasserstände bilden die Grundlage für die Festlegung der Bauwerkshöhe und des Freibords sowie für die Klassifizierung und die geotechnischen und bautechnischen Nachweise der Stauanlage.	DIN 19700-13: 2019-06
Beobachtungssystem	Anlagen zur Feststellung von Grundwasserständen im Dammbereich oder von Dammdurchströmungen. Beobachtungssysteme können z. B. Grundwassermessstellen, Dränagesysteme mit Dränrohren und Kontrollschächten oder Einrichtungen zur Bodentemperaturmessung sein.	
Betriebswasserstand (oberer BWo bzw. unterer BWu)	Kanalwasserstand, der für die Bemessung von Dämmen, die nicht durch Hochwasser belastet werden, zugrunde gelegt wird	
Berme	Nahezu horizontaler Absatz in der Dammböschung der häufig als Betriebsweg ausgebaut ist	MDI 2017
Böschungsstandsicherheit	Gesamtstandsicherheit: Sicherheit der Dammböschung gegen Bruchzustände, bei denen der Bruchkörper die gesamte Dammböschung oder einen großen Teil davon umfasst und verhältnismäßig tief in den Boden einschneidet Lokale Standsicherheit: Sicherheit der Dammböschung gegen oberflächennahe Brüche	
Damm	Bauwerk zur Stützung eines Wasserstandes und ggf. zusätzlich zum Schutz gegen Hochwasser	
Dammeobachtung	Visuelle Kontrolle der Dämme und deren Anschlüsse an bauliche Anlagen, ggf. Durchführung von Messungen sowie Dokumentation der Beobachtungsergebnisse	VV-WSV 2301 2019
Damminspektion	Dammeobachtung, Auswertung und Bewertung der Ergebnisse sowie ggf. die Veranlassung daraus resultierender Maßnahmen	VV-WSV 2301 2019

Begriff	Erklärung	siehe auch
Dammverteidigung	Gesamtheit der Sofortmaßnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktion eines Dammes bei drohendem Versagen (z. B. Aufbringen eines landseitigen Auflastdräns)	
Deckwerk	Gesamter Aufbau einer Böschungs- und/oder Sohlensicherung (Deckschicht und Filter oder Deckschicht und Dichtung mit Trennlage)	MAK 2013
Dichtung	Natürliches oder künstliches Material mit geringer hydraulischer Durchlässigkeit, das zur Verhinderung oder Minimierung von Wasserverlusten aus der Wasserstraße dient	
Dichtungselement	-> Dichtung	
Drän, Dränsystem	Dient zur Fassung und Ableitung von Grund- und Sickerwasser. Drän bzw. Dränsystem ist der Sammelbegriff für Dränschicht und Dränleitung sowie ggf. weitere Einrichtungen (z. B. Kontrollschächte). Bei Dränsystemen für Dämme an Wasserstraßen ist eine Dränleitung nicht zwingend erforderlich.	
Erosion	Umlagerung und Transport aller Fraktionen eines Bodens durch die Strömung des Wassers	MAK 2013
Filter	Mineralkorngemisch oder Geotextil, das einen Transport von Bodenmaterial infolge Durchströmung verhindert	MAK 2013 MAG 2021
Fluss, staugeregelt	Fließgewässer mit überwiegend natürlichem Gewässerbett, das zur Anhebung der Wasserstände für die Schifffahrt und/oder für die Energiegewinnung mit Staustufen versehen ist	VV-WSV 1102 2005
Flussdeich	Erdbauwerk seitlich eines Fließgewässers, das bei Hochwasser eingestaut wird und zum Schutz des Hinterlandes gegen das Hochwasser dient	DIN 19712: 2013-01
Flussseitendamm	Erdbauwerk als seitliche Begrenzung eines staugeregelten Flusses und der Mündungsstrecken von Nebenflüssen im Staubeereich des Hauptflusses	VV-WSV 1102 2005
Freibord	Vertikaler Abstand zwischen der Bauwerksoberkante (Kronenhöhe bzw. wasserseitiger Böschungsschulter) und dem Bemessungshochwasserstand	DIN 19712: 2013-01 DIN 19700-13: 2019-06

Begriff	Erklärung	siehe auch
Fugenerosion	Rückschreitende Erosion an der Grenzfläche zwischen Massivbauwerken und Boden oder zwischen einer kohäsiven und einer unterlagernden nicht kohäsiven Bodenschicht	MMB 2013
Gewässerbett	Gewässersohle und Ufer eines Flusses oder Kanals	VV-WSV 1102 2005
Grundwasser	Unterirdisches Wasser im wassergesättigten Bereich des Bodens	DIN 4049- 3:1994-10
Hochwassersperrtor	Bauwerk in einem Schifffahrtskanal oder Schleusenkanal mit Verschlussvorrichtung zum Schutz gegen Hochwasser im angrenzenden Fluss	VV-WSV 1102 2005
hydrostatischer Stau (Normalstau)	Idealisierte Wasserspiegellage in einer Stauhaltung, die sich bei Einhaltung des Stauziels am Wehr ohne ein Wasserspiegelgefälle (ohne Berücksichtigung eines Abflusses) einstellen würde	MDI 2017
Innendichtung	Dichtung innerhalb des Dammkörpers, die als Kerndichtung oder Dichtwand ausgeführt werden kann	
Instandsetzung	Bauliche Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes sowie vorbeugende Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes	VV-WSV 2107, Zuordnungsregeln Kapitel 1203, Anlage 1
Kanalhaltung	Strecke zwischen zwei benachbarten Kanalstufen oder oberhalb der letzten Stufe eines Stichkanals	VV-WSV 1102 2005
Kanalseitendamm	Erdbauwerk als seitliche Begrenzung eines Schifffahrtskanals oder Schleusenkanals	VV-WSV 1102 2005
Kontakterosion	Transport von Bodenmaterial durch Strömung von Wasser an der Kontaktfläche von einem feinkörnigeren zu einem grobkörnigeren Bodenkörper	DWA 507-1 2011 MMB 2013
Leitdamm	Damm oberhalb eines teilregelndes Wehres, der das Flusswasser dem Wehr zuleitet und bei einem Hochwasser größerer HQ_x über- oder umströmt wird	
Normalwasserstand	Wasserstand in einem nicht hochwasserbelasteten Kanal ohne Berücksichtigung des Schwankungswertes	
Oberflächendichtung	Dichtung, die am Gewässerbett angeordnet ist	

Begriff	Erklärung	siehe auch
rückschreitende Erosion	Entgegengesetzt der Strömungsrichtung fortschreitende Röhrenbildung durch Materialtransport	DWA 507-1 2011
Schifffahrtskanal	Für die Schifffahrt hergestelltes Oberflächengewässer mit überwiegend künstlich hergestelltem Gewässerbett	VV-WSV 1102 2005
Schleusenkanal	Schifffahrtskanal, der als Zufahrt zu einer Schiffsschleusenanlage von einem staugeregelten Fluss oberhalb eines Wehres abzweigt	VV-WSV 1102 2005
Seitengraben	Parallel zum Dammfuß verlaufender Entwässerungsgraben, der Sickerwasser und/oder Grundwasser sammelt und abführt	MDI 2017
Seitenkanal	Schifffahrtskanal neben einer Flussstrecke mit mehr als einer Kanalstufe	VV-WSV 1102 2005
Sicherungselement, hydraulisch	Konstruktionen, mit denen die Beeinträchtigung der Dammstandsicherheit infolge Durchströmung vermindert oder ganz vermieden wird, z. B. Dichtungen, Sickerwegverlängerungen oder Dränsysteme Die Sicherungselemente werden für den jeweils betrachteten Fließweg in Fließrichtung des durchströmenden Wassers nummeriert.	
Sickerlinie	Obere Begrenzung des wassergesättigten Bereiches des durchströmten Dammkörpers	DWA 507-1 2011
Sickerwasser	Das den Dammkörper durchströmende Wasser Im engeren Sinn: unterirdisches Wasser, das sich im teilgesättigten Bereich des Baugrunds durch Schwerkraft abwärts bewegt und das die Hohlräume des Baugrunds nur teilweise ausfüllt.	DIN 4049-3: 1994-10
Stauhaltung	Strecke eines staugeregelten Flusses zwischen zwei benachbarten Staustufen	VV-WSV 1102 2005
Stauhaltungsdamm	Damm, der die Stauhaltung einer Staustufe seitlich begrenzt und ständig eingestaut ist	DIN 19700-13: 2019-06
Staustufe	Absperranlage in einem staugeregelten Fluss, die im Wesentlichen nur den Fluss und nicht das gesamte Tal absperrt	VV-WSV 1102 2005
Stauziel	Beim Regelbetrieb zulässige Wasserspiegelhöhe oberhalb einer Wehranlage	DIN 19700-13: 2019-06

Begriff	Erklärung	siehe auch
Strömungskraft	In einem durchströmten Bodenkörper durch die Fließbewegung des Wassers auf die Bodenpartikel ausgeübte Kraft	
Suffosion	Umlagerung und Transport der feinen Fraktionen eines nicht kohäsiven Bodens im Porenraum des Korngerüstes der groben Fraktionen durch die Strömungskraft des Wassers	MAK 2013 MMB 2013
Systemsicherheit	Beschreibt die Eigenschaft eines einzelnen Bauteils oder mehrerer im Verbund wirkender Bauteile aufgrund der verwendeten Materialien, ihrer Herstellung sowie ihres Einbaus einem Sollzustand zu entsprechen und diesen dauerhaft zu erhalten	
Ufer	Seitlicher Teil des Gewässerbetts von der Gewässersohle bis zur Oberkante der Uferböschung oder Uferwand bzw. bis zur Oberkante des Flusseitendammes oder Kanalseitendammes	VV-WSV 1102 2005
Wasserspiegelabsenk	Absenkung des Wasserspiegels in einem Kanal oder Fluss infolge Schiffseinwirkung oder bei ablaufender Hochwasserwelle	
Wehr, teilregelnd	Regelung des Oberwasserstandes bis zu einem Hochwasserzufluss, der kleiner ist als BHQ_1	DIN 19700-13: 2019-06
Wehr, vollregelnd	Regelung des Oberwasserstandes mindestens bis zum Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1	DIN 19700-13: 2019-06