

Leitfaden Freibord/ Überström- strecke

Leitfaden zur
einheitlichen
Anwendung
und Interpretation
der Begriffe Freibord
und Überströmstrecke
im Richtlinienwerk
des Wasserbaus



Leitfaden Freibord/ Überströmstrecke

Leitfaden zur einheitlichen Anwendung
und Interpretation der Begriffe
Freibord und Überströmstrecke
im Richtlinienwerk des Wasserbaus

Wien, 2024

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft (BML)

Stubenring 1, 1010 Wien

Autoren: IC-Ingenieure, SBF Wasserbau

Redaktion: BML 2023, Fritz Weiß, Martin Wenk

Bildquelle Cover und Kapiteltrennseite „Überströmstrecke“: Wasserbau

Bildquelle Kapiteltrennseite „Freibord“: Georg Hummer – stock.adobe.com

Alle Rechte vorbehalten

Wien, 2024

Inhalt

1 Freibord	6
1.1 Anlass.....	7
1.2 Definition.....	7
1.3 Bestandteile.....	8
1.3.1 Bestandteile des Freibord.....	9
1.3.1.1 Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen.....	9
1.3.1.2 Querneigung in Flusskrümmungen.....	11
1.3.1.3 Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage.....	12
1.3.1.4 Schwemmholz bzw. Treibgut.....	13
1.3.1.5 Minimales-, Maximales Freibord.....	15
1.3.2 Bestandteile des Bemessungswasserspiegels.....	16
1.3.2.1 Langfristige Sohlagenentwicklung.....	16
1.3.2.2 Verringerung des Abflussquerschnittes.....	17
1.3.2.3 Eisbildung und Eisstau.....	17
1.3.2.4 Bewuchs im Abflussquerschnitt.....	18
1.4 Anwendungen.....	19
1.4.1 Freibord im Längsverlauf.....	19
1.4.2 Freibord im Querprofil.....	19
1.4.3 Freibord unter Brücken.....	19
1.5 Interpretation.....	21
1.5.1 Freibord bei der Projektierung.....	21
1.5.1.1 Freibord beim Bemessungsereignis.....	21
1.5.1.2 Freibord im Überlastfall.....	22
1.5.2 Freibord bei der Bestandsbeurteilung.....	23
1.5.2.1 Anschlaglinien bei unzureichendem Freibord.....	23
1.5.2.2 Anschlaglinie bei Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit.....	23
1.5.2.3 Risiko und Schadenspotential bei unzureichendem Freibord.....	23

1.6 Zusammenfassung.....	24
1.6.1 Definition.....	24
1.6.2 Bestandteile.....	24
1.6.3 Höhe des Freibords.....	24
1.6.4 Freibord unter Brücken.....	24
1.6.5 Bestandsbeurteilung.....	24
1.6.6 Überlastfall.....	25
1.7 Beispiele zur Ermittlung des Freibordmaßes.....	26
1.7.1 Beispiel 1.....	26
1.7.2 Beispiel 2.....	27
1.7.3 Beispiel 3.....	28
1.8 Vergleich der Bemessung des Freibordes mit Nachbarländern.....	29
1.8.1 Schweiz.....	29
1.8.2 Deutschland.....	31
2 Überströmstrecke.....	32
2.1 Definition.....	33
2.2 Kriterien für die räumliche Situierung von Überströmstrecken.....	33
2.3 Dimensionierung von Überströmstrecken.....	34
2.3.1 Kapazität von Überströmstrecken.....	34
2.3.2 Überfallbeiwert μ	37
2.4 Konstruktive Ausführung von Überströmstrecken.....	37
2.4.1 Grasbewuchs.....	39
2.4.2 Bodenstabilisierung.....	39
2.4.3 Geokunststoffe.....	40
2.4.4 Steinschlichtung, Steinpflasterung, Steinschüttung.....	42
2.4.5 Raubettgerinne.....	42
2.4.5.1 Unterscheidungskriterien für glatte und raue Rampen.....	43
2.4.6 Verbundene Rasengittersteine.....	44

2.4.7 Mastix-Schotter-Deckwerk.....	44
2.4.8 Geogittermatratzen.....	44
2.4.9 Durchlässige Deckschichten und Sicherungsmaßnahmen.....	45
2.4.10 Sicherung des Böschungsfußes.....	46
2.5 Entlastung des Hinterlandes.....	48
2.6 Empfehlungen für die Berücksichtigung des Abflusses im Hinterland.....	49
2.7 Hinweise zu Siedlungen in den Hinterlandbereichen.....	49
2.8 Sicherheitstechnische und Wirtschaftliche Beurteilung.....	50
2.8.1 Standsicherheit von Dämmen.....	50
2.8.1.1 Nachweis der Erosionssicherheit des Einzelsteins.....	50
2.8.1.2 Nachweis der selbsttragenden Wirkung des Deckwerks (Gleitsicherheit)	52
2.8.1.3 Geotechnische Versagenswahrscheinlichkeit.....	53
2.8.2 Erosionsschutz von Dammoberflächen.....	53
2.8.3 Damminstandhaltung.....	54
2.8.4 Standsicherheit von Dämmen.....	54
2.8.5 Typische Schäden im Bereich von Überströmstrecken.....	55
2.8.6 Restrisiko.....	58
2.8.6.1 Hydrologisches Restrisiko.....	58
3 Literatur.....	60
4 Abbildungsverzeichnis.....	62
5 Tabellenverzeichnis.....	64

1 Freibord



1.1 Anlass

In den Richtlinien des Wasserbaus wird der Begriff „Freibord“ vielfach verwendet und dabei verschieden interpretiert.

Dieser Leitfaden zum Thema Freibord strebt eine konsistente Verwendung und Interpretation des Begriffs an, sowie eine Übersicht wie dieser in einem leicht verständlichen Weg bemessen werden kann. Er konzentriert sich auf den Hochwasserschutz im Zuständigkeitsgebiet des Wasserbaus.

Dieser Leitfaden gilt bei Rückhaltebecken bis zu einem Volumen von 500.000 m³ sowie einer Dammhöhe von weniger als 15 m von Gründungssohle bis zur Dammkrone. Alle größeren Wasserflächen sollten nach dem System mit Wellenauflauf und Windstau bemessen werden.

1.2 Definition

DER FREIBORD ist der vertikale Abstand zwischen Bemessungswasserspiegel und hydraulisch wirksamer Oberkante des Schutzbauwerkes. Unter Brücken definiert sich der Freibord als der vertikale Abstand zwischen Bemessungswasserspiegel und Konstruktionsunterkante.

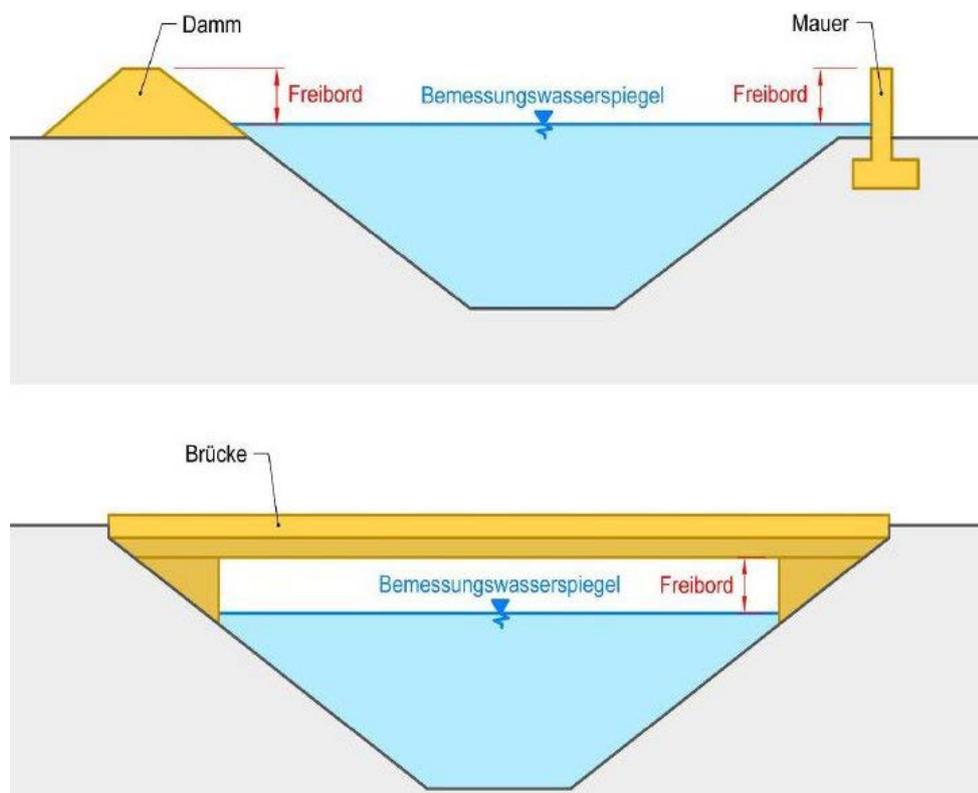


Abbildung 1-1: Definition Freibord

Der Freibord ist unabhängig von der Art des Schutzbauwerkes (Mauer/Damm), dessen Ausführung bzw. von einer etwaigen Nutzung im geschützten Bereich. Dabei wird vorausgesetzt, dass das Hochwasserschutzbauwerk bis zum Erreichen des bordvollen Abflusses als standsicher anzusehen ist.

Der Freibord stellt einen Sicherheitszuschlag dar, welcher die hydraulischen Unsicherheiten bei der Bemessung von Hochwasserschutzbauwerken und bei der Überprüfung der Hochwassersicherheit abdeckt.

Hydrologische Unsicherheiten werden bereits bei der Festlegung der Bemessungswassermengen berücksichtigt und gehen daher in den Freibord nicht ein. Der Freibord ist Bestandteil eines dem Stand der Technik entsprechenden Hochwasserschutzes.

1.3 Bestandteile

Die Bemessung der Höhe des Freibords erfolgt auf Basis von physikalischen Parametern, die die Fließverhältnisse und Wellenbewegungen beeinflussen. Zu diesen gehören vor allem der Energieeintrag durch den Wind und die Energie des fließenden Wassers. Für die Berechnung der jeweiligen Situation stehen diese Werte normalerweise zur Verfügung, wodurch das Freibordmaß projektbezogen ermittelt werden kann.

Es folgen Hinweise zu den Größen, die im Freibord üblicherweise enthalten sein sollten und die bei der Modellierung des Bemessungswasserspiegels in den Szenario-berechnungen zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1: Einflüsse auf den Freibord und den Bemessungswasserspiegel

Einflussfaktor	Freibord	Bemessungswasserspiegel
Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage (z.B. Prognose der Sohlenlage, Rauheit, ...)	×	
Querneigung in Flusskrümmungen	×	
Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen	×	
Schwemmholz bzw. Treibgut	×	×
Verringerung des Abflussquerschnitt (Muren, Lawinen)		×
Eisbildung, Eisstau		×
Langfristige Sohlagenentwicklung		×
Bewuchs im Abflussquerschnitt		×

1.3.1 Bestandteile des Freibord

- Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage (z.B. Prognose der Sohlenlage, Rauheit, ...)
- Querneigung in Flusskrümmungen
- Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen
- Schwemmholz bzw. Treibgut

Diese Einflussgrößen sind in der Betrachtung zu berücksichtigen, falls sie nicht schon in der Erstbestimmung des designierten Wasserspiegels einbezogen wurden. Diese Faktoren sind separat zu analysieren und über den zusätzlichen Sicherheitsabstand, den Freibord, zu berücksichtigen.

Der erforderliche Freibord ergibt sich aus der Summe der Freiborde der einzelnen Einflussgrößen und muss zwischen minimalem und maximalem Freibord zu liegen kommen

$$f_{min} \leq f_e = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_t^2} \leq f_{max}$$

mit

f_e ... erforderlicher Freibord

f_{min} ... minimal erforderlicher Freibord

f_{max} ... maximal erforderlicher Freibord

f_w ... erforderlicher Freibord aufgrund von Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage

f_v ... erforderlicher Freibord aufgrund von Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen

f_t ... erforderlicher Freibord aufgrund von zusätzlich benötigtem Abflussquerschnitt für Treibgut unter Brücken

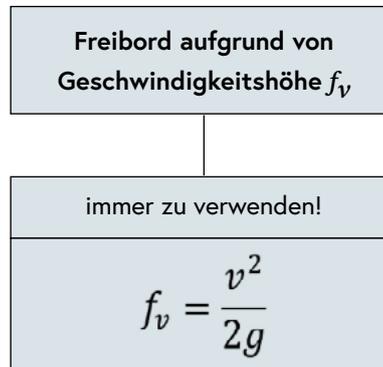
Im Kapitel 1.8. werden anhand von Beispielen Verfahren zur Freibordbestimmung dargestellt, wobei ein besonderer Fokus auf die Zusammensetzung der verschiedenen Freibord-Elemente gelegt wird. In speziellen Fällen, in denen andere Faktoren vorrangig sind, kann der Freibord basierend auf den berechneten Parametern angepasst werden.

1.3.1.1 Wellenbildung und Rückstau an Hindernissen

Flüsse in Gebieten mit erheblichen Hindernissen und Gefällen weisen oft ein komplexes Strömungsverhalten auf, das sich durch Turbulenzen, Wellen und andere dynamische Phänomene auszeichnet. Wenn solche Phänomene, einschließlich der Entstehung von Wellen und Fließwechseln, in hydraulischen Modellierungen nicht vollständig erfasst werden, müssen sie bei der Bestimmung des Freibords berücksichtigt werden.

Ein Werkzeug zur Erfassung dieser Energiemuster ist die Geschwindigkeitshöhe. Durch ihre Anwendung kann die Energie eines bestimmten Flussabschnitts quantifiziert und somit die notwendige Höhe von Bauwerken in der Nähe bestimmt werden. Die zugehörige Fließgeschwindigkeit wird aus hydraulischen Daten abgeleitet und kann sich je nach Position und Ausrichtung des Flusses ändern.

In Kombination betrachtet, ist es unerlässlich, sowohl die Geschwindigkeitshöhe als auch die variablen Fließgeschwindigkeiten in Betracht zu ziehen, wenn man die Auswirkungen eines Flusses auf seine Umgebung und die Anforderungen an die Infrastruktur genau bestimmen möchte.



- f_v ... Freibord aufgrund der Geschwindigkeitshöhe [m]
- v ... Fließgeschwindigkeit [m/s]
- g ... Erdbeschleunigung [m/s²]

Abbildung 1-2: Entscheidungsbaum Geschwindigkeitshöhe



Abbildung 1-3: Turbulenter Abfluss

1.3.1.2 Querneigung in Flusskrümmungen

In mehrdimensionalen hydraulischen Modellen kann die Erhöhung des Wasserspiegels, besonders im Außenbogen, direkt in die Kalkulation des Bemessungswasserspiegels einfließen. Wenn dies jedoch nicht der Fall ist, muss dieser erhöhte Wasserspiegel beim Bestimmen des Freibords berücksichtigt werden und kann mit der Geschwindigkeitshöhe aufsummiert werden. Einflussfaktoren, die hier eine Rolle spielen, sind sowohl der Krümmungsradius als auch die Fließgeschwindigkeit. Insbesondere bei engen Flussbiegungen, ob in Mittelgebirgs- oder Gebirgsflüssen, ist eine Überhöhung im Außenbogen zu beobachten. Dieser erhöhte Wasserspiegel sollte idealerweise im Entwurf berücksichtigt werden, wird jedoch oft vernachlässigt. In solchen Fällen wird diese Überhöhung zum Freibord hinzugefügt. Durch starke Querströmungen im Außenbogen können zusätzliche Belastungen am Außenufer entstehen. Das kann zu Veränderungen des Flussbetts führen, etwa durch Auswaschungen. Innerhalb der Flusskrümmung wird die Wasserbewegung nicht nur durch die Fliehkraft beeinflusst, sondern hauptsächlich durch seitliche Beschleunigungen aufgrund des Quergefälles. Die Fliehkraft sorgt wiederum dafür, dass das Wasser zum Außenufer tendiert.

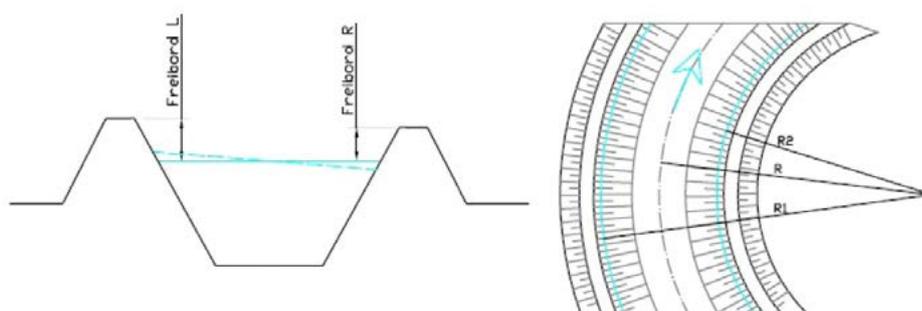
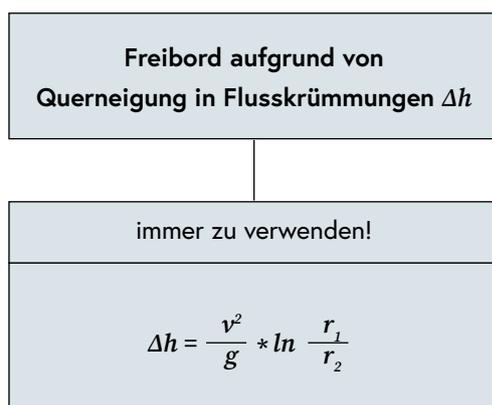


Abbildung 1-4: Querneigung in Flusskrümmungen



Δh ... Wasserspiegeländerung am Außenrand [m]

v ... Fließgeschwindigkeit [m/s]

g ... Erdbeschleunigung [m/s²]

r_1 ... Radius Außenbogen [m]

r_2 ... Radius Innenbogen [m]

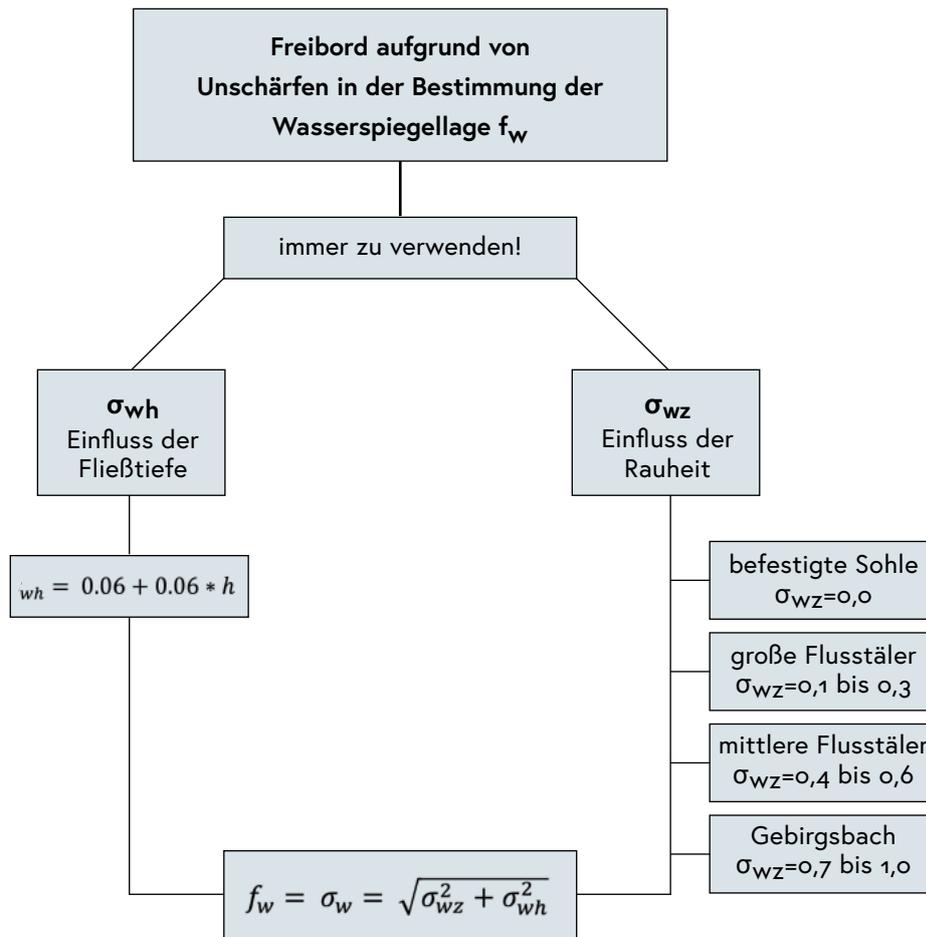
Abbildung 1-5: Entscheidungsbaum Querneigung



Abbildung 1-6: Querneigung in Flusskrümmungen

1.3.1.3 Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage

Unsicherheiten in der Berechnung des Durchflusses können durch ungenaue Angaben zur Querschnittsgeometrie oder durch Ungenauigkeiten bei der Einschätzung der Gewässer-Rauheit entstehen. In einer Sensitivitätsstudie für verschiedene Schweizer Gewässer wurde das Ausmaß dieser Unsicherheiten ermittelt. Hierbei ging man davon aus, dass jeder Eingabewert für die Abflusskalkulation einen durchschnittlichen Fehler aufweist. Die Analyse wurde für 18 Gewässer und 52 unterschiedliche Abflusssituationen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass der durchschnittliche Fehler der berechneten Abflusstiefe mit dieser linear zunimmt und durch die Formel $\sigma_{wh} = 0,06 + 0,06 * h$ approximiert werden kann. Je größer die Abflusstiefe, desto größer ist auch der berechnete Fehler. Besonders stark wirkt sich ein Fehler der Rauheiten auf die Abflusstiefe aus, da nach der Strickler-Formel der Rauheitskoeffizient direkt in die Abflussberechnung einfließt. Für die Bestimmung von σ_{wz} können Werte zwischen 0,1 m (für größere Flusstäler) und 1,0 m (für Gebirgsbäche) als realistisch angesehen werden. Bei befestigten Gewässersohlen kann die Unsicherheit für σ_{wz} vernachlässigt werden, sodass $\sigma_{wz} = 0$ gesetzt werden kann (KOHS, 2013).



- f_w ... Freibord aufgrund von Unschärfen in der Bestimmung der Wasserspiegellage
 σ_{wz} ... Einfluss der Rauheit ($0 < \sigma_{wz} < 1$)
 σ_{wh} ... Einfluss der Fließtiefe ($\sigma_{wh} = 0,06 + 0,06 * h$)

Abbildung 1-7: Entscheidungsbaum Unschärfen

1.3.1.4 Schwemmholz bzw. Treibgut

An Brücken oder anderen Bauwerken im Fluss kann es im Ereignisfall zur Ansammlung von Treib- oder Wildholz kommen.

Beim Abfluss unter Brücken beansprucht mitgeführtes Treibgut zusätzlichen Raum über dem Wasserspiegel, damit es ohne hängen zu bleiben, abgeführt wird. Grundsätzlich hängt der benötigte Raum von der Menge und den Abmessungen des Treibgutes ab (glatte Baumstämme, Wurzelteller, usw., die einzeln oder als Teppich angeschwemmt werden) sowie von der Beschaffenheit der Untersicht der Brücke. Für die Festlegung des Teil-Freibordes f_t für Schwemmholz wird ein Klassensystem herangezogen. f_t ist eine feste Größe zwischen 0,3 m und 1,0 m. Der Wert von f_t wird anhand der Beschaffenheit der Brücke und anhand der Art und Menge des erwarteten Schwemmholzes definiert. Als Brücke mit rauer Untersicht gilt z.B. eine Brücke mit Fachwerk, vorspringenden Trägern oder angehängten Leitungen (KOHS, 2013).

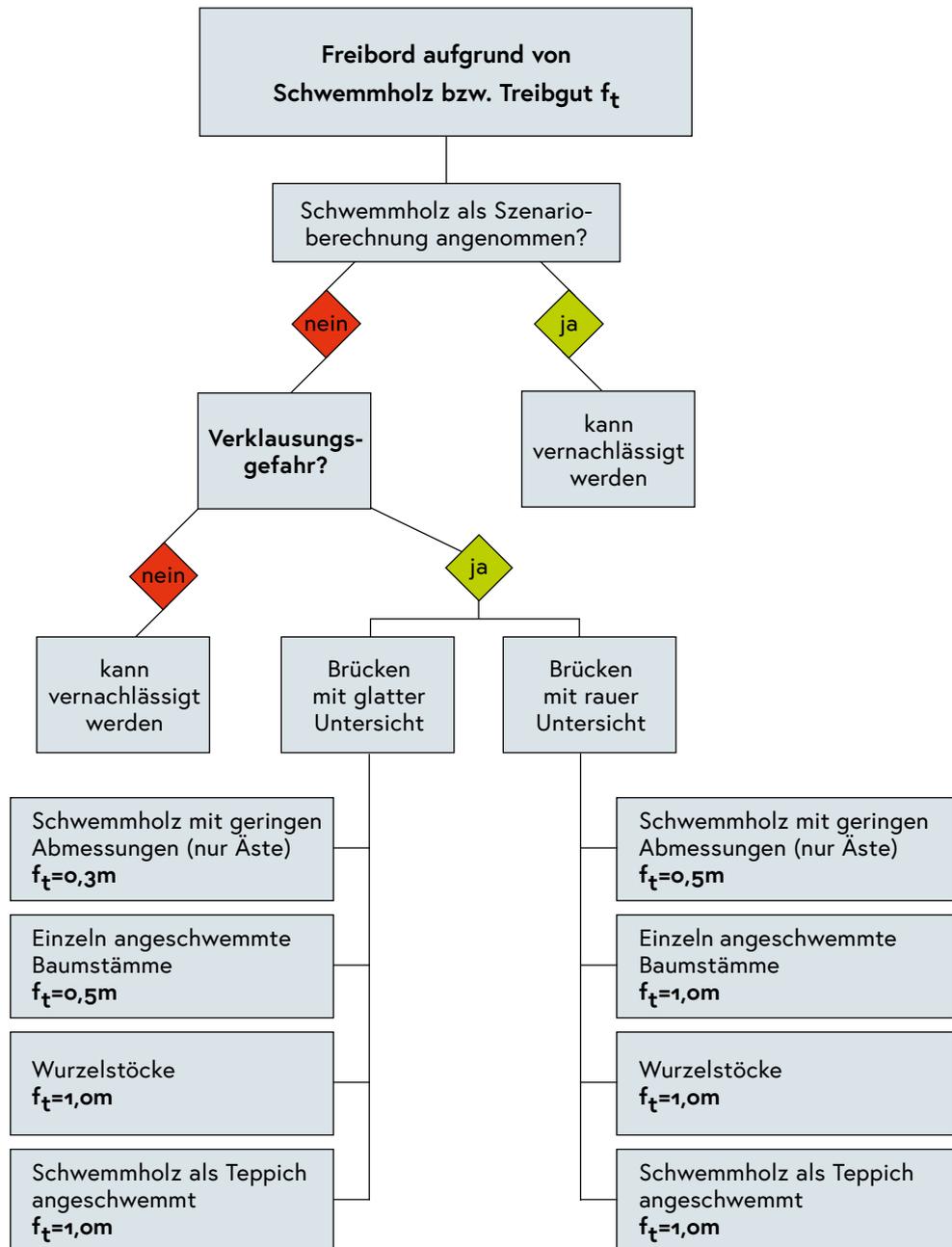


Abbildung 1-8: Entscheidungsbaum Schwemmholz



Abbildung 1-9: Verklauung einer Straßenbrücke

1.3.1.5 Minimales-, Maximales Freibord

Der minimale Freibord stellt den unteren Grenzwert des vertikalen Abstands zwischen dem vorausberechneten Höchststand des Wasserspiegels und der Oberkante eines Hochwasserschutzbauwerks dar. Es dient als Basismaß für die erforderliche Sicherheit und ist das absolute Minimum, das einzuhalten ist. Dieser Wert stellt das notwendige Minimum dar, um die grundlegenden Sicherheitsanforderungen an die Hochwassersicherheit zu erfüllen. Das minimale Freibord ist nicht darauf ausgerichtet, alle denkbaren Szenarien abzudecken, sondern stellt vielmehr eine grundlegende Sicherheitsmarge dar, die in vielen Fällen einen ausreichenden Schutz bietet.

Das maximale Freibord definiert den größtmöglichen vertikalen Abstand zwischen dem kalkulierten Höchstwasserstand und der hydraulisch wirksamen Oberkante des Hochwasserschutzbauwerks. Dieser Wert dient als Puffer für unvorhersehbare und extreme Hochwasserereignisse, die über die standardmäßig berechneten Szenarien hinausgehen. Der maximale Freibord kann jedoch mit zusätzlichen Kosten für den Bau und die Instandhaltung des Schutzbauwerks verbunden sein. Er stellt somit einen Abwägungspunkt dar zwischen dem Bedürfnis nach maximaler Sicherheit und den zur Verfügung stehenden Ressourcen.

Tabelle 2: Min.-, Maximaler Freibord (Quelle: KOHS, 2013)

minimale bzw. maximale Freiborde	Wasserbau
Alle Fließgewässer freie Strecke	$0,3\text{ m} < f_e < 1,5\text{ m}$
Brücken / Überbauungen mit Verklauungsrisiko	$0,5\text{ m} < f_e < 1,5\text{ m}$

1.3.2 Bestandteile des Bemessungswasserspiegels

Die folgenden Einflussgrößen sind nach Möglichkeit bereits bei der Festlegung des Bemessungswasserspiegels zu berücksichtigen:

- Langfristige Sohlagenentwicklung
- Verringerung des Abflussquerschnittes durch Geschiebe- und Lawineneinstöße sowie Geschiebeablagerungen im Ereignisfall
- Eisbildung und Eisstau
- Bewuchs im Abflussquerschnitt
- Schwemmholz bzw. Treibgut

Bereits im Bemessungswasserspiegel enthaltene Einflussfaktoren sind bei der Bemessung des Freibords nicht noch einmal zu berücksichtigen. Die Überdimensionierung von Bauwerken durch doppelte Berücksichtigung von Einflussgrößen ist zu vermeiden. Das angestrebte Schutzziel sollte dadurch nicht überschritten werden.

1.3.2.1 Langfristige Sohlagenentwicklung

Langfristige Anlandungen treten z.B. in Mündungs-, Aufweitungs- oder Rückstaubereichen auf. Das zur Ermittlung des Bemessungswasserspiegels maßgebliche Ereignisszenario hat ggf. die sich ändernde Sohlage zu enthalten. Feststoffentnahmen, wie z.B. Baggerungen für Instandhaltungsmaßnahmen, oder kommerzielle Entnahmen, müssen dabei ebenfalls berücksichtigt werden.



Abbildung 1-10: Sohlräumung an der Saalach

1.3.2.2 Verringerung des Abflussquerschnittes

Seitliche Lawinen- und Geschiebeeinstöße können bei alpinen Flüssen zu starken Auflandungen der Gewässersohle sowie zu oft beträchtlichen Rückstauerscheinungen oberhalb des Einstoßes führen. Sie stellen eine Sonderform der den Freibord beanspruchenden Faktoren dar.



Abbildung 1-11: Geschiebe und Wildholz

1.3.2.3 Eisbildung und Eisstau

Eisstau tritt auf, wenn sich Eis in einem Fluss- oder Wasserwegsystem an einer spezifischen Stelle ansammelt und den regulären Wasserfluss beeinträchtigt. Das Phänomen erfordert sorgfältige Handhabung, einschließlich präventiver und aktiver Managementstrategien. Zu den verwendeten Techniken können das Beseitigen von Eis mit spezialisierten Werkzeugen, der Einsatz von Eisbrechern und das Entwerfen sowie der Bau von Strukturen gehören, die in der Lage sind, den Fluss des Eises zu steuern, ohne einen Stau zu erzeugen. Die Einschätzung von Eisbildung oder Eisstau ist oft spezifisch für das jeweilige Szenario und sollte bei der Berechnung des maßgeblichen Wasserspiegels berücksichtigt werden, sofern es relevant ist. Wenn sichergestellt ist, dass Eisbildung durch Wartung oder Verteidigungsmaßnahmen am Schutzbauwerk verhindert wird, kann eine Berücksichtigung in der Bemessung entfallen.



Abbildung 1-12: Eisstau

1.3.2.4 Bewuchs im Abflussquerschnitt

Im Zuge der Gewässerpflege ist Bewuchs aus dem unmittelbaren Abflussquerschnitt zu entfernen. Ist aus ökologischen oder sonstigen Gründen ein Aufkommen von Bewuchs im Abflussquerschnitt zugelassen, muss dessen langfristige Entwicklung im Bemessungswasserspiegel berücksichtigt werden. Es sind Festlegungen zu treffen, wie der hydraulisch (noch) vertretbare Endzustand der Ufervegetation aussieht.



Abbildung 1-13: Abflussreduzierender Bewuchs im Abflussquerschnitt

1.4 Anwendungen

1.4.1 Freibord im Längsverlauf

Um unnötige Unstetigkeiten im Höhenverlauf des Hochwasserschutzbauwerkes im Projektabschnitt zu vermeiden, soll der Freibord im engeren Projektbereich einheitlich gewählt werden. Sprunghafte Veränderungen der Bauwerksoberkanten sind zu vermeiden. Das Freibordmaß ist jedoch trotzdem auf Basis der gegebenen Randbedingungen zu bemessen. Pauschalierte Annahmen des Freibordes sind zu vermeiden, da dadurch die projektspezifische Bemessung zur Erreichung eines einheitlichen Sicherheitsmaßes verloren geht.

1.4.2 Freibord im Querprofil

In den meisten Fällen wird der Freibord am linken und rechten Ufer gleich gewählt. Bei variablen Sohlverhältnissen im Querprofil oder bei starken Krümmungen des Flusslaufes kann es aufgrund unterschiedlicher Bemessungsgrundlagen (z.B. unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten oder Wassertiefen) jedoch durchaus zu unterschiedlichen Freibordmaßen an den beiden Ufern kommen.

1.4.3 Freibord unter Brücken

Der Freibord unter Brücken ist vor allem in Abhängigkeit vom Treibholzpotential des Einzugsgebietes zu sehen. Um die Verklausungsgefahr möglichst gering zu halten, wird empfohlen, unter Brücken einen Mindestfreibord einzuhalten.

Ist die Einhaltung eines ausreichenden Brückenfreibordes nicht möglich, muss dies jedenfalls im Bemessungswasserspiegel flussaufwärts berücksichtigt werden – beispielsweise, indem Szenarien mit Teilverklauung gerechnet werden.

An Flüssen mit hohem Treibholzpotential sollten Brücken zudem keine Konstruktionselemente aufweisen, welche eine Verklausung begünstigen, wie zum Beispiel Fachwerksausbildungen und untergehängte Leitungen. Eventuell sollten konstruktive Maßnahmen wie die Verschalung der Stirnseite oder eine glatte Ausbildung der Brückenuntersicht zur Verringerung der Verklausungsgefahr vorgesehen werden.



Abbildung 1-14: Brücke mit beschädigter Rohrleitung nach dem Hochwasser

Im Sinne eines im Hochwasserfall wirksamen Abflussquerschnittes soll der Freibord im Bereich von Brücken grundsätzlich über den gesamten Fließquerschnitt gegeben sein. Aufgrund beengter Platzverhältnisse bzw. schwieriger Höhenverhältnisse bei der Anbindung der Brücken an das bestehende Straßennetz (Ausführung von Kuppen und Wannen) kann diese Forderung jedoch nicht immer baulich umgesetzt werden. Als Faustregel kann hier angesetzt werden, dass der Freibord mindestens über 70 % der Spannweite gegeben sein soll und die Widerlager den Abflussquerschnitt im Bemessungsfall um maximal 20 % einengen dürfen.

1.5 Interpretation

Grundsätzlich ist der Freibord bei der Projektierung und Beurteilung von Bestandssituationen in gleicher Weise zu berücksichtigen. Je nach Aufgabenstellung ergeben sich jedoch unterschiedliche Fragen und daraus abzuleitende Herangehensweisen.

1.5.1 Freibord bei der Projektierung

Die Höhe eines Hochwasserschutzbauwerkes für ein bestimmtes Ereignis ergibt sich aus dem unter Berücksichtigung aller maßgeblichen Eingangsgrößen und Szenarien berechneten Bemessungswasserspiegel plus dem Freibord.

1.5.1.1 Freibord beim Bemessungsereignis

Um mögliche hydraulische Unsicherheiten zu erfassen, ist bei der Projektierung von Hochwasserschutzbauwerken der Freibord grundsätzlich immer zu berücksichtigen. Aufgrund der o.a. Definition und Bemessung ist der Freibord unabhängig von der Bauweise der Hochwasserschutzbauwerke und ihrer Höhenlage in Bezug auf den geschützten Bereich anzusetzen.



Abbildung 1-15: Freibord bei Hochwasser

Der bei der Projektierung zu berücksichtigende Freibord ist nicht vom Schadenspotential hinter den Schutzeinrichtungen abhängig. Die Berücksichtigung des Schadenspotentials erfolgt nicht durch Variation des Freibords, sondern durch Anpassung des Ausbaugrades. Auf wasserdurchlässige (Weg)Aufbauten ist ggf. Rücksicht zu nehmen. Sollte der Dichtkörper des Hochwasserschutzbauwerks nicht bis zu dessen Oberkante reichen, muss der Durchströmung des Freibordes durch gesonderte konstruktive Maßnahmen entgegengewirkt werden (z.B. wasserseitige Dichtung).

1.5.1.2 Freibord im Überlastfall

Bei Wasserführungen, die größer sind als jene des Bemessungshochwassers, kann es vorkommen, dass der rechnerische Wasserspiegel aufgrund des mit Freibord bemessenen Schutzbauwerkes immer noch unter der Bauwerksoberkante liegt. Der Wasserspiegel befindet sich somit im Bereich des für das Bemessungsereignis angesetzten Freibordes. Da das Bauwerk jedoch nur für die Bemessungswassermenge bemessen wurde, ist der erforderliche Freibord für das Überlastszenario in diesem Fall nicht vorhanden. Die Hochwassersicherheit für den Überlastfall ist daher nicht gegeben.

Die Verhältnisse bei Wasserführungen größer als der Bemessungsdurchfluss werden in erster Linie dargestellt, um zu zeigen, wie sich die Überflutungssituation im Überlastfall entwickeln kann.

Werden Anschlaglinien von Überlastszenarien nur wasserseitig des Schutzbauwerkes ausgewiesen, obwohl dieses nur auf das Bemessungsereignis inkl. Freibord bemessen ist, kann das zur Unterschätzung des verbleibenden Risikos im Überlastfall führen. Im Sinne einer nachhaltigen Darstellung des Überlastfalles wird daher für die Projektierung empfohlen, bei Wasserführungen größer als der Bemessungsdurchfluss mit Anschlaglinien im Bereich des Freibordes ein (lokales) Versagen des Schutzbauwerkes anzusetzen und die entsprechenden Ausuferungen darzustellen.

Entsprechende Annahmen sind in allen Fällen in Plänen und Berichten zu dokumentieren. Die resultierenden Anschlaglinien sind mit Hinweisen zu versehen.



Abbildung 1-16: Überströmte Hochwasserschutzmauer

1.5.2 Freibord bei der Bestandsbeurteilung

Hochwassersicherheit nach dem Stand der Technik ist gegeben, wenn für ein angestrebtes Schutzziel ein ausreichender Freibord gegeben ist.

1.5.2.1 Anschlaglinien bei unzureichendem Freibord

Sofern nicht Gründe für andere Annahmen bestehen (z.B. wenn ein Damm nachweislich nicht standsicher ist), ist für die Überprüfung der Hochwassersicherheit unterschiedlicher Jährlichkeiten ausschließlich der berechnete Wasserspiegel und die physische Bauwerksoberkante maßgebend.

Ist der verbleibende Abstand zwischen Wasserspiegel und Gelände- oder Bauwerksoberkante kleiner als der für die jeweilige Situation anzusetzende Freibord, kommt es rechnerisch noch nicht zwingend zu Ausuferungen. Solange der Wasserspiegel unter der Bauwerksoberkante liegt, ist ein Mindestmaß an Sicherheit gegen Überflutung gegeben („Hochwassersicherheit > 1“) und die Anschlaglinie kann bei Hochwasser bis mittlere Wahrscheinlichkeit an der Wasserseite des Bauwerkes dargestellt werden.

Hochwasserschutzbauwerke mit unzureichendem Freibord entsprechen allerdings nicht dem Stand der Technik, da der im Freibord zu erfassende volle Sicherheitszuschlag nicht gegeben ist. Die hydraulischen Unsicherheiten sind nicht im erforderlichen Maß abgedeckt.

Grundsätzlich sollten Bauwerke bis zum Erreichen des bordvollen Abflusses standsicher sein. Sind jedoch Schwachstellen bekannt, oder gibt es begründete Zweifel an der Standsicherheit, kann im Einzelfall auch bereits bei Hochwasser mit mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit ein Versagen des Bauwerkes angenommen werden. Die gewählte Vorgehensweise ist zu dokumentieren. Ein allfälliges Versagen ist entsprechend den jeweiligen Richtlinien zu berücksichtigen (z.B. gesonderte Szenarien nach der Richtlinie für Gefahrenzonenausweisung).

1.5.2.2 Anschlaglinie bei Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit

Die Darstellung von Anschlaglinien bei Hochwasserereignissen mit niedriger Wahrscheinlichkeit oder bei Szenarien für Extremereignisse soll sinngemäß analog der Vorgehensweise bei der Projektierung im Überlastfall erfolgen.

Aufgrund der zu erwartenden hohen Schadenswirkung und eventuell auftretender Sekundärprozesse wird auch bei der Bestandsbeurteilung empfohlen, ein Versagen der Schutzeinrichtung anzusetzen.

1.5.2.3 Risiko und Schadenspotential bei unzureichendem Freibord

Aufgrund der berechneten Parameter ergeben sich für Hochwässer unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit auch unterschiedliche Freibordmaße.

Hochwasserschutzanlagen mit unzureichendem Freibord für das betrachtete Ereignis bedeuten eine potentielle Hochwassergefährdung, da die erforderliche Hochwassersicherheit nach dem heutigen Stand der Technik für das jeweilige Szenario nicht gegeben ist. Die hydraulischen Unsicherheiten sind in diesen Fällen nicht im vollen Maß abgedeckt.

Bei unzureichendem Freibord kann es daher bei Risiko- und Schadenspotentialbetrachtungen zielführend sein, bereits für das Bemessungsereignis Überflutungsszenarien, z.B. durch das Versagen von Bauwerken, anzunehmen.

1.6 Zusammenfassung

1.6.1 Definition

Der Freibord ist der vertikale Abstand zwischen Bemessungswasserspiegel und hydraulisch wirksamer Oberkante des Schutzbauwerkes, durch welchen hydraulische Unsicherheiten erfasst werden.

Pauschalierte Annahmen für den Freibord sind nicht zielführend. Das hydraulische Sicherheitsmaß ist durch projektbezogene Bemessung zu bestimmen.

1.6.2 Bestandteile

Der Freibord setzt sich im Wesentlichen aus Anteilen zusammen, die durch Unschärfen der Wasserspiegellage, Wellenbildung und Rückstau, Schwemmholz bzw. Treibgut und Querneigung des Wasserspiegels in Flusskrümmungen entstehen.

Szenarien wie langfristige Sohllagenentwicklungen, Verringerung des Abflussquerschnittes durch Muren oder Lawinen und Eisbildung sowie Bewuchs sind für die Bemessung von Hochwasserschutzbauwerken maßgeblich und grundsätzlich schon bei der Berechnung des Bemessungswasserspiegels zu berücksichtigen.

Faktoren, die bereits bei der Festlegung des Bemessungswasserspiegels herangezogen wurden, dürfen dem Freibord nicht noch einmal zugeschlagen werden.

1.6.3 Höhe des Freibords

Der Freibord ist unabhängig von der Art, Ausführung und Höhe des Schutzbauwerkes sowie vom Schadenspotential dahinter. Besonders sensible Objekte bedürfen eines höheren Schutzgrades, nicht eines größeren Freibordes. Das Freibordmaß muss das Ergebnis der Berechnung der Bestandteile bleiben.

1.6.4 Freibord unter Brücken

Die Bestimmung des Freibordes unter Brücken ist je nach Treibholzpotential und der Beschaffenheit der Brücke situationsabhängig.

1.6.5 Bestandsbeurteilung

Ist bei der Beurteilung der Hochwassergefährdung hinter bestehenden Schutzbauwerken kein ausreichender Freibord vorhanden, der Wasserspiegel jedoch noch unter der Bauwerksoberkante, kann davon ausgegangen werden, dass trotzdem zumindest ein Mindestmaß an Hochwassersicherheit besteht. Die volle Sicherheit für das Bemessungsereignis ist jedoch auf Grund des fehlenden Freibordes nicht gegeben. In diesen Fällen wird bei Wasserführungen bis Hochwasser mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit

empfohlen, die Anschlaglinien an der Wasserseite des Bauwerkes darzustellen. Es ist ohne begründete Annahme, kein Versagen des Schutzbauwerkes anzusetzen.

Im Zuge von **Risiko- oder Schadenspotentialausweisungen, an erster Stelle die Gefahrenzonenplanungen des Wasserbaus**, werden die Auswirkungen von unzureichendem Freibord jedenfalls relevant. Hier kann es sinnvoll sein, bereits für ein Hochwasser mit mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit Überflutungsszenarien mit Versagen des Schutzbauwerkes darzustellen.

1.6.6 Überlastfall

Die Berechnung des Überlastfalles zielt auf die Darstellung eines Extremereignisses ab. Deshalb sollten bei unzureichendem Freibord und bei Wasserführungen, die höher als der Bemessungswasserspiegel sind, die Konsequenzen eines Versagens oder Überströmens des Bauwerks für die Bevölkerung sichtbar gemacht werden. Aus diesem Grund sollte das Versagen (z.B. Bruch eines Dammes) oder Überströmen (z.B. bei Mauern) angenommen und die Anschlaglinien in allen Planungen im Hinterland dargestellt werden.

1.7 Beispiele zur Ermittlung des Freibordmaßes

Im folgenden Kapitel wird ein fiktives Beispiel konkret durchgerechnet.

1.7.1 Beispiel 1

Freibordermittlung für einen geradlinigen Flussabschnitt mit uferparallelen Dämmen:
 $HQ_{100} = 820 \text{ m}^3/\text{s}$, $I = 0,004$, $v = 1,8 \text{ m/s}$, $h = 2,75 \text{ m}$, großer Talfluss, vereinzelt Treibgut

$$1) \quad f_v = \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.17 \text{ m}$$

$$2) \quad f_t = 0.5 \text{ m}$$

$$3) \quad f_w = \sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2}$$

$$\sigma_{wz} = 0.2$$

$$\sigma_{wh} = 0.06 + 0.06 \cdot h = 0.225$$

$$f_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2} = 0.30 \text{ m}$$

Hier ist die Berechnung der Querneigung nicht notwendig, da keine Krümmungen vorhanden sind.

$$f_e = \sqrt{f_v^2 + f_w^2 + f_t^2} = 0.6 \text{ m}$$

Der erforderliche Freibord wäre somit 0,6 m.

Hier könnte man jedoch auch noch aufteilen in Bereiche mit und ohne Brücken:

$$f_{e_ohne} = \sqrt{f_v^2 + f_w^2} = 0.35 \text{ m} \sim 0.4 \text{ m}$$

$$f_{e_mit} = \sqrt{f_v^2 + f_w^2 + f_t^2} = 0.6 \text{ m}$$

1.7.2 Beispiel 2

Freibordermittlung für einen geradlinigen Flussabschnitt mit uferparallelen Dämmen:

$HQ_{100} = 350 \text{ m}^3/\text{s}$, $I = 0,004$, $v = 1,51 \text{ m/s}$, $h = 1,3 \text{ m}$, großer Talfluss, vereinzelt Treibgut

$$1) \quad f_v = \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,12 \text{ m}$$

$$2) \quad f_t = 0,5 \text{ m}$$

$$3) \quad f_w = \sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2}$$

$$\sigma_{wz} = 0,1$$

$$\sigma_{wh} = 0,06 + 0,06 \cdot h = 0,138$$

$$f_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2} = 0,17 \text{ m}$$

Hier ist die Berechnung der Querneigung nicht notwendig, da keine Krümmungen vorhanden sind.

$$f_e = \sqrt{f_v^2 + f_w^2 + f_t^2} = 0,5 \text{ m}$$

Der erforderliche Freibord wäre somit 0,5 m.

Hier könnte man jedoch auch noch aufteilen in Bereiche mit und ohne Brücken:

$$f_{e_ohne} = \sqrt{f_v^2 + f_w^2} = 0,2 \text{ m}$$

im Bereich ohne Brücken würde hier der Fall des minimalen Freibord zu tragen kommen.

$$f_{e_mit} = \sqrt{f_v^2 + f_w^2 + f_t^2} = 0,5 \text{ m}$$

1.7.3 Beispiel 3

Freibordermittlung für einen Flussabschnitt in einer starken Krümmung:

$HQ_{100} = 3050 \text{ m}^3/\text{s}$, $I = 0,003$, $v = 2,8 \text{ m/s}$, $h = 4,3 \text{ m}$, $B = 75 \text{ m}$, $R = 140 \text{ m}$, mittlerer Talfluss, einzelne Äste

$$1) \quad f_{v1} = \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,4 \text{ m}$$

$$\Delta h = \frac{v^2}{g} * \ln \frac{r_1}{r_2} = 0,43 \text{ m}$$

$$f_v = f_{v1} + \Delta h = 0,83 \text{ m} \text{ (nur für den Außenbogen)}$$

$$2) \quad f_t = 0,3 \text{ m}$$

$$3) \quad f_w = \sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2}$$

$$\sigma_{wz} = 0,3$$

$$\sigma_{wh} = 0,06 + 0,06 * h = 0,32$$

$$f_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2} = 0,43 \text{ m}$$

$$f_{e1} = \sqrt{f_v^2 + f_w^2 + f_t^2} = 1 \text{ m} \text{ (im Außenbogen)}$$

$$f_{e2} = \sqrt{f_v^2 + f_w^2 + f_t^2} = 0,7 \text{ m} \text{ (im Innenbogen)}$$

Der erforderliche Freibord wäre somit 1 m im Außenbogen und 0,7 m im Innenbogen.

1.8 Vergleich der Bemessung des Freibordes mit Nachbarländern

Im Zuge der Recherchearbeit wurde festgestellt, dass jedes Land für sich eine eigene Vorgehensweise zur Bestimmung des Freibords hat.

Oft werden auch nur feste Größen genannt:

- unter Brücken $f_e = \text{min. } 1,0 \text{ m}$
- Bäche $f_e = \text{min. } 0,5\text{--}1,0 \text{ m}$
- Flüsse $f_e = \text{min. } 0,8\text{--}1,0 \text{ m}$
- Wildbäche $f_e = \text{min. } 1,5\text{--}2,5 \text{ m}$

Folgend wird Schweiz und Deutschland vorgestellt.

1.8.1 Schweiz

In der Schweiz gibt es eine Empfehlung der Kommission Hochwasserschutz KOHS vom 17.01.2013. Grundsätzlich wird das Freibord für alle Gewässer gleich berechnet. Die Berechnung erfolgt bei Wasserbauprojekten für die Ausbauwassermenge, bei Gefahrenkarten für sämtliche relevanten Jährlichkeiten.

Das erforderliche Freibord f_e wird wie folgt berechnet:

$$f_{min} \leq f_e = \sqrt{f_w^2 + f_v^2 + f_t^2} \leq f_{max}$$

f_{min} ... minimal erforderlicher Freibord

f_e ... erforderlicher Freibord

f_w ... erforderlicher Freibord aufgrund von Unschärfen
in der Bestimmung der Wasserspiegellage

f_v ... erforderlicher Freibord aufgrund von Wellenbildung
und Rückstau an Hindernissen

f_t ... erforderlicher Freibord aufgrund von zusätzlich benötigtem
Abflussquerschnitt für Treibgut unter Brücken

f_{max} ... maximal erforderlicher Freibord

$$f_w = \sigma_w = \sqrt{\sigma_{wz}^2 + \sigma_{wh}^2}$$

σ_{wz} ... beschreibt den mittleren Fehler am Wasserspiegel aufgrund von Unschärfen in der Sohlage und liegt zwischen 0.1 für größere Talabflüsse und 1.0 für Wildbäche

σ_{wh} ... beschreibt den Fehler am Wasserspiegel aufgrund von Unschärfen in der Abflussrechnung ($\sigma_{wh} = 0,06 + 0,06 * h$, h ... mittlere Wassertiefe)

$$f_v = \frac{v^2}{2g}$$

f_i ... abhängig der Beschaffenheit der Brücke und Art und Menge des Schwemmholzes

Tabelle 3: f_i für Brücken

	Brücke mit glatter Untersicht [m]	Brücke mit rauher Untersicht [m]
Schwemmholz mit geringen Abmessungen (nur Äste)	0,3	0,5
Einzel angeschwemmte Baumstämme	0,5	1,0
Wurzelstöcke	1,0	1,0
Schwemmholz als Teppich angeschwemmt	1,0	1,0

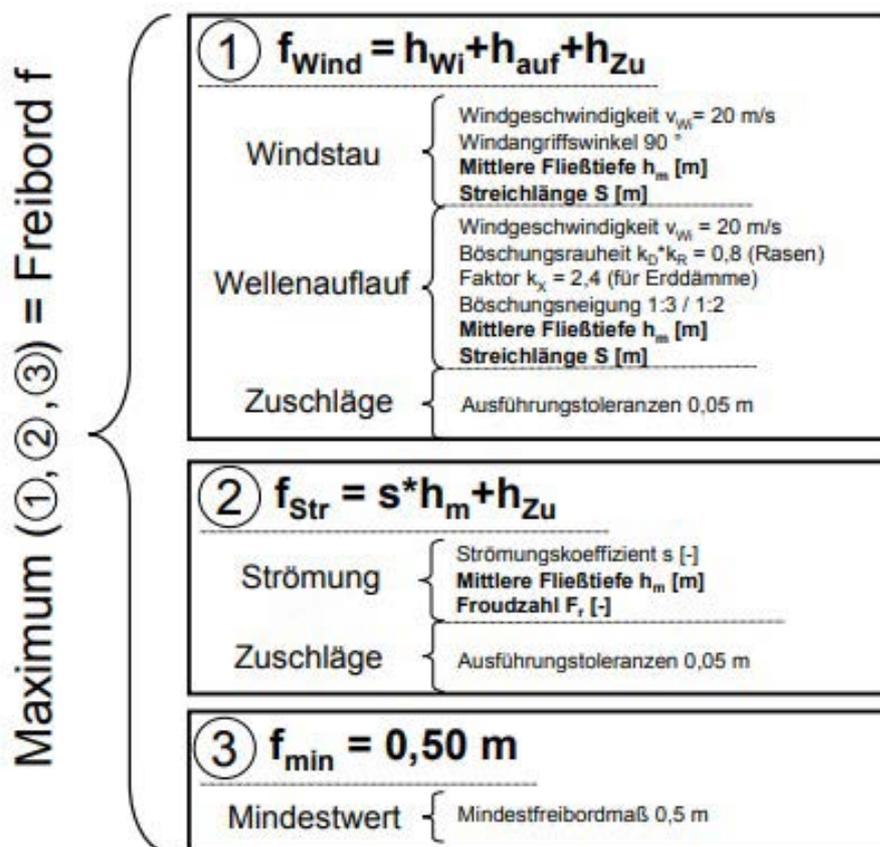
Tabelle 4: Min-, Maximaler Freibord

minimale bzw. maximale Freiborde	Wasserbau
Alle Fließgewässer freie Strecke	$0,3 \text{ m} < f_e < 1,5 \text{ m}$
Brücken / Überbauungen mit Verklausungsrisiko	$0,5 \text{ m} < f_e < 1,5 \text{ m}$

1.8.2 Deutschland

In Deutschland ist das Verfahren sehr ähnlich wie das bisher verwendete System in Österreich mit der Ausnahme, dass dieses auch eine Berechnung einer Strömungsinduzierten Welle beinhaltet. Auf Basis eines Entscheidungsbaumes der Maßgebliche Wert aus allen Einflussfaktoren ermittelt.

Anhand der Strömungsparameter (Fr ; h) wird eine Strömungswellenhöhe ermittelt, woraus sich nach Berücksichtigung der notwendigen Zuschläge ein Strömungsfreibord ergibt. Nach dem Vergleich mit dem Freibord aus Wind und einem Mindestfreibord von 0,50 m wird die maßgebende, maximale Freibordhöhe festgelegt. Dieses Abschätzungsverfahren kann als Entscheidungshilfe oder Richtwert für pauschale Festlegungen dienen. Unsicherheiten aus Hydrologie, Hydraulik oder Gewässermorphologie sollten ggf. mit einem Zuschlag beim Wasserstand bedacht werden, da diese Größen i. d. R. eine Erhöhung des Wasserstands bewirken.



mit $s = 0,17 \cdot Fr^{1/3}$

Abbildung 1-17: Berechnungsschema Deutschland

Die Berechnungsschritte von Wellenauflauf und Windstau sind im DVWK Merkblatt 246, 1997 im Detail beschrieben.

2 Überströmstrecke



Für den Fall des Auftretens eines Ereignisses, das größer als das Bemessungsereignis ist, sind Maßnahmen zum Schutz des HWS-Bauwerkes vorzusehen. Erst durch den Erhalt des Bauwerkes trotz extremer Belastungen kann auch der Schaden im Hinterland durch eine kontrollierte Überflutung reduziert werden. Weiters wird der verbleibende Zeitraum für Notfallmaßnahmen (z.B. Evakuierungsmaßnahmen) verlängert. Es kommen verschiedene Entlastungseinrichtungen in Betracht. Insbesondere sind regelbare Durchlässe, Wehranlagen und Überströmstrecken möglich. Infolge der raschen Einströmung kommt es zu Erosionserscheinungen und in der Folge auch zu erhöhten Schäden an Bauten und Infrastruktureinrichtungen. Nachfolgend liegt der Schwerpunkt auf der Diskussion von Überströmstrecken. Es werden die lagemäßige Anordnung, die Bemessung und die technische Ausführung behandelt.

2.1 Definition

Ziel einer Überströmstrecke ist es, im Falle des Überschreitens der Bemessungswassermenge, das Wasser an Stellen mit möglichst geringem Schadenpotenzial „kontrolliert“ über einen Hochwasserschutzdamm ausufernd zu lassen. Dadurch sollen Verluste von Menschenleben verhindert und der Sachschaden begrenzt werden. Durch die kontrollierte Wasserableitung bei einer Überströmstrecke sinkt der Wasserspiegel stromabwärts bis etwa zum Bemessungswasserspiegel. Überströmstrecken bilden somit einen Bestandteil der Katastrophenschutzpläne. Unter einer „kontrollierten“ Überflutung eines Dammes wird das bewusste Ableiten eines Abflusses über den geschütteten Dammkörper oder über Teile davon verstanden. Um den Damm vor Schaden zu schützen, müssen gewisse Sicherungsmaßnahmen an der Dammoberfläche und am Dammfuß vorgesehen werden. Je nach örtlicher Situation ist durch das Anordnen erosionssicherer Überströmstrecken dafür Sorge zu tragen, dass kein unkontrollierter und unkontrollierbarer Dambruch durch Überströmung eintreten kann. **Bei einer kontrollierten Flutung des festgelegten Vorlandes sind die zu erwartenden Schäden jedenfalls geringer als bei einem unkontrollierbaren Dambruch!**

2.2 Kriterien für die räumliche Situierung von Überströmstrecken

Die Situierung von Überströmstrecken hängt von folgenden Faktoren ab:

- hydrologischen
- topografischen
- nutzungsbezogenen Eigenschaften und von
- ökologischen Gesichtspunkten

Aus hydrologischer Sicht sind im Längsverlauf des Fließgewässers Überströmstrecken jeweils dort zu situieren, wo es in Folge größerer Zubringer zu einer nennenswerten Erhöhung des Hochwasserabflusses kommt. Bei der Anordnung mehrerer Überströmstrecken an einem Flusslauf muss die Tatsache berücksichtigt werden, dass der Abfluss flussab der ersten Überströmstrecke durch die planmäßige Ausuferung schon reduziert ist. Die Anordnung weiterer Überströmstrecken ist also nur notwendig, wenn davon ausgegangen werden muss, dass auch flussab der Überströmstrecke das Bemessungsereignis, z.B. auf Grund der Einmündung eines weiteren großen, hochwasserführenden Zubringers wieder überschritten wird. Ein weiterer Aspekt für die Situierung von Überströmstrecken ist der im Hinterland vorhandene Retentionsraum. Überall wo größere Retentionsräume vorhanden sind, ist eine Entlastung vorzusehen, und wenn nicht anders möglich auch im Bereich von Siedlungsgebieten. Weiters ist bei der Situierung von Überströmstrecken auf die Abflusskapazität im Hinterland und auf die Bebauung Bedacht zu nehmen. Es ist darauf zu achten, dass Altarme, Mulden im Vorland oder Ähnliches den Abfluss und die Rückgabe in den Fluss ermöglichen. Werden Überströmstrecken gezielt nach ökologischen Gesichtspunkten angeordnet, ist zumeist ein häufiges Ausuferen gewünscht. Auch in einem solchen Fall sind die für ein kontrolliertes Ausuferen nötigen Überströmstrecken zu bemessen und konstruktiv sorgfältig auszuführen.

2.3 Dimensionierung von Überströmstrecken

Als Dimensionierungsgrößen dienen die Länge, die Profilform (Neigung) sowie der Erosionsschutz des Dammes und des Böschungsfußes bei der technischen Ausführung. All diese Größen hängen von der Abflusscharakteristik, der Häufigkeit und Dauer der Beanspruchung sowie der Höhe der Wasserspiegellage über dem Gelände ab. Generell ist festzustellen, dass für die Überströmstrecken selbst kein Freibord vorzusehen ist. Bei der Abflusscharakteristik sind die Länge der Überflutungsstrecke, die Rauigkeit der Dammoberfläche, die luftseitigen Böschungsneigungen (Neigung der Energielinie) sowie die maximal mögliche spezifische Beaufschlagung maßgebend. Der maximal mögliche Abfluss, für den die Überströmstrecke zu dimensionieren ist, ist abhängig von der Gerinnecharakteristik (vor allem dem Verhältnis zwischen Gerinnebreite zu Abflusstiefe). Aus der von bautechnischen Gesichtspunkten abhängigen zulässigen spezifischen Beaufschlagung ergibt sich die Länge der jeweiligen Überströmstrecke.

2.3.1 Kapazität von Überströmstrecken

Der Abfluss im Kronenbereich entspricht dem Abfluss über ein Streichwehr, da die feste Wehrkrone (= niedrig gesetzter Uferbegleitdamm) parallel oder nahezu parallel zur Hauptströmrichtungsrichtung des Gerinnes verläuft. Die Kapazität von Überströmstrecken kann demnach mit Hilfe der Formel von Poleni zur Berechnung der sekundlichen Überfallmenge Q_{str} von Streichwehren mit einer mittleren Überfallhöhe $H_{\bar{v}}$ erfolgen. Der Überfallbeiwert μ liegt für breittkronige Wehre zwischen 0,4 und 0,55.

$$Q_{Str} = v * \frac{2}{3} \mu * L * H_{\bar{U}}^2 * \sqrt{2 * g}$$

mit $H_{\bar{U}} = \left(\frac{h_u + h_o}{2} \right)$

L ... Wehrkronenlänge

v ... Abminderungsfaktor wegen Schräganströmung: $v = 0,95$

μ ... Überfallbeiwert

Im Falle eines Überschreitens des Bemessungshochwassers, ergibt sich die sekundliche Überfallmenge bei einer als Streichwehr ausgeführten Überströmstrecke somit wie folgt:

$$q_{Str} = 2.805 * \mu * H_{\bar{U}}^2 \quad \text{pro Laufmeter Überströmstrecke}$$

q_{Str} ... Spezifische Förderleistung der Überfallstrecke ($\text{m}^3/\text{s} * \text{m}^{-1}$).

Dabei muss berücksichtigt werden, dass $H_{\bar{U}}$ von HQ_x abhängig ist.

Die notwendige Länge L einer Überstromstrecke errechnet sich somit aus demjenigen über das Bemessungshochwasser hinausgehenden Abfluss HQ_x , welcher schadlos abgeführt werden soll.

$$L = \frac{HQ_x - HQ_n}{q_{Str}}$$

L ... Länge der Überströmstrecke (m)

HQ_n ... Abfluss der bei Bemessungsereignis noch im Hauptgerinne abgeführt werden kann [m^3/s]

HQ_x ... Abfluss mit einer größeren Jährlichkeit als das Bemessungsereignis [m^3/s]

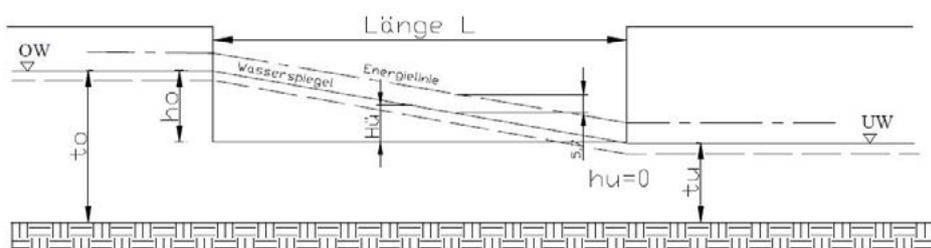


Abbildung 2-1: Schematischer Längenschnitt einer Überströmstrecke. Die Wasseranschlagslinie flussabwärts des Streichwehrs entspricht dem Bemessungswasserstand.

Analog zu Entlastungseinrichtungen von Hochwasserrückhaltebecken sind Überströmstrecken in ihrer Bemessung folgendermaßen auszulegen:

Die Krone der Überströmstrecke ist auf den Wasserstand des Bemessungshochwassers des Dammes auszulegen, zumeist als auf das HQ_{100} . Die Kapazität der Entlastung ist mindestens auf ein 1000-jährliches Hochwasser auszulegen. Die Länge der Überströmstrecke muss so ausgelegt sein, dass die Differenz von HQ_{1000} und HQ_{100} in $[m^3/s]$ abgeführt werden kann.

$$\text{Förderleistung: } Q_{Str} = HQ_{1000} - HQ_{100}$$

Die hydraulischen Verhältnisse und Turbulenzen beim Abfluss über die luftseitige Böschung des Dammes sind je nach Rauigkeit der Oberfläche sehr verschieden. Entlang der Rampe erfolgt üblicherweise eine Beschleunigung der Strömung, die so lange anhält, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand zwischen der rampenparallelen Geschwindigkeitskomponente des Wassers und dem Strömungswiderstand des Entlastungsgerinnes einstellt. Je nach Substrat sind in Überströmstrecken geeignete Maßnahmen zum Schutz vor Erosion vorzusehen. Um große Wassertiefen und damit starke Sohlschubspannungen und Erosion beim Abfluss über die Böschung zu vermeiden, sind die Überströmstrecken entsprechend lang zu gestalten. Dabei ist die Fließhöhe im Überströmbereich unter 30 cm (sofern nicht anders möglich bis 50 cm) zu halten. Notwendig ist es außerdem, den Oberflächenschutz gegen die Wasserseite über den Kronenbereich herabzuziehen. Bei seltener Beanspruchung der Überströmstrecken ist es möglich und sinnvoll, die Oberflächensicherungen mit einer geringen Humusüberdeckung zu überziehen und so als „versteckte Sicherungsmaßnahmen“ zu gestalten.

2.3.2 Überfallbeiwert μ

Der Überfallbeiwert wird durch die Form des Überfalls bestimmt.

Tabelle 5: Festlegung der Überfallbeiwerts μ (Bollrich, 2000)

Wehrform	Überfallbeiwert μ
Breit, scharfkantig, waagrecht	0,49 – 0,51
Breit, gut abgerundete Kanten, waagrecht	0,50 – 0,55
Breit, vollständig abgerundete Wehrkrone	0,65 – 0,73
Scharfkantig, Überfallstrahl belüftet	~ 0,64
Rundkronig, lotrechte Oberwasser- und geneigte Unterwasserseite	0,73 – 0,75
Dachförmige, abgerundete Wehrkrone	0,75 – 0,79

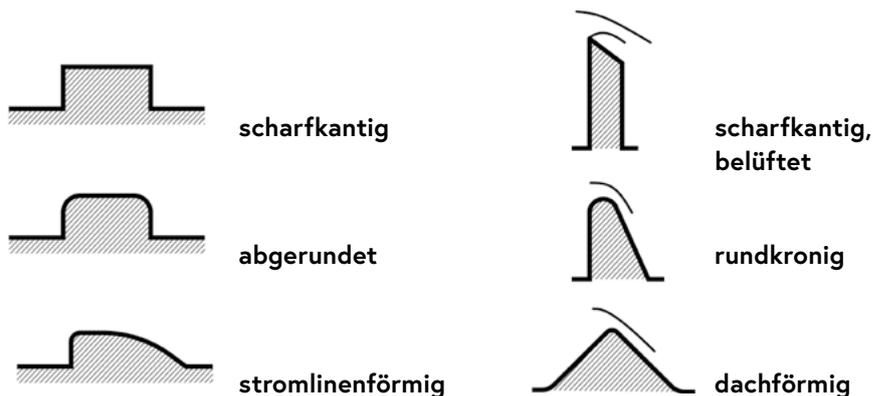


Abbildung 2-2: Wehrformen zur Bestimmung des Überfallbeiwerts

2.4 Konstruktive Ausführung von Überströmstrecken

Die konstruktive Ausführung einer Überströmstrecke hängt von den gegebenen Randbedingungen und von den an die Überströmstrecke gestellten hydraulischen Anforderungen ab.

Zur Sicherung kann die Böschungsneigung auf 1:10 bis 1:20 abgeflacht werden. Jedenfalls muss die Oberfläche einer derart abgeflachten Dammböschung entsprechend gegen Erosion gesichert sein, damit ein gefahrloses Abführen des überströmenden Wassers gewährleistet ist. Es ist überdies darauf zu achten, dass ein seitliches Überschwappen des Wassers beidseitig der Überströmstrecke ausgeschlossen wird. Die Art der Erosionssicherung ist von den möglichen maximalen Abflüssen und der Ausgestaltung der Böschungen und des Dammfußes abhängig. Dabei wird unbedingt empfohlen, bei Überströmstrecken große Sicherheiten vorzusehen, um nicht rückschreitende

Erosionen des gesamten Dammbauwerkes und damit einen Dambruch zu verursachen. Bei Staudämmen aus Steinschüttmaterial gibt es mehrere erprobte Möglichkeiten, um eine ausreichende Sicherheit bei vorübergehender oder dauernder Überströmung zu gewährleisten. Bei flachen, luftseitigen Dammböschungen, deren Standsicherheit allein auf dem Reibungswiderstand der Steine beruht, kann aufgrund der angegebenen Beziehungen zwischen der Böschungsneigung und der überströmenden Wassermenge je Meter Dammkrone die erforderliche Größe der Steine, die von der Strömung nicht mitgerissen werden können, angegeben werden. Bei steileren Böschungsneigungen, die der Strömungskraft nicht mehr allein durch Reibung widerstehen, kann eine Stahlbewehrung die Zusatzkräfte in der oberflächennahen Böschungszone und in tiefen Gleitzonen aufnehmen.

Die Sicherung des Dammfußes gegen die Kräfte der turbulenten Strömung, sowie eine möglichst große Rauigkeit der Böschung sind besonders wichtig (Idel 1972).

Die maßgebenden Kriterien für Deckwerke lassen sich stichwortartig wie folgt beschreiben (Bieberstein et al. 2002):

- 1. Ausreichende Dauerhaftigkeit/Langzeitstabilität
- 2. Zuverlässig hohe Wasserdurchlässigkeit
- 3. Erosionsstabilität
- 4. Plastizität (wg. möglicher Setzungsdifferenzen)
- 5. Fugenlosigkeit
- 6. Mäßig rau (wegen Hydraulik)
- 7. Widerstandsfähig gegen Überströmung
- 8. Bepflanzbarkeit

Haselsteiner et al. (2014) haben zur Veranschaulichung der unterschiedlichen hydraulischen Verhältnisse und Beanspruchungen in der folgenden Abbildung 2-3 einen überströmbaren Damm unter Zuhilfenahme der Energielinie in mehrere Bereiche eingeteilt und diese wie folgt beschrieben:

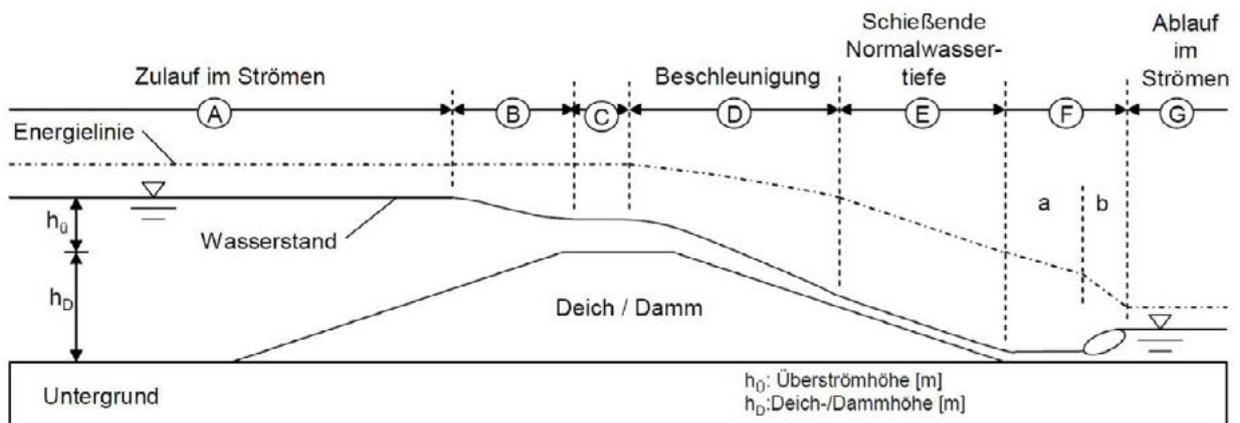


Abbildung 2-3: Hydraulische Verhältnisse an einem überströmbaren Damm; wobei h_0 = Überströmhöhe, D = Dammhöhe; Beschreibung der Bereiche A-F siehe Fließtext.

Bereich A: Zuströmbereich, Energieverluste sind vernachlässigbar

Bereich B: Einschnürung erfolgt

Bereich C: Bereich über der Dammkrone, konstanter Wasserspiegel stellt sich ein

Bereich D: Beschleunigungsbereich an der Dammböschung

Bereich E: Grenzverhältnisse wurden erreicht, schießender Abfluss stellt sich ein

Bereich F: Hohe Energieverluste aufgrund des Neigungswechsels (a), im Idealfall bildet sich ein Wechselsprung von Schießen auf Strömen aus, wodurch auf kurzer Strecke eine große Menge Energie umgewandelt wird (b). Es ist zu überprüfen, ob die Ausbildung eines Tosbeckens notwendig ist. (Monschein 2017)

2.4.1 Grasbewuchs

Der wirtschaftlichste und natürlichste Schutz für den Dammkörper ist eine gute, dauerhafte, geschlossene und dichte Grasnarbe auf den Böschungen. Bei Überströmstrecken mit geringer hydraulischer Beanspruchung (geringe Überflutungshöhen, sehr flache luftseitige Böschungen, Neigung 1:5 oder flacher) sind Grasböschungen auf entsprechend verdichteten Dämmen aus kohäsivem (bindigem) Material geeignet, um bei dichtem Grasbewuchs einer begrenzten Sohlbeanspruchung Stand zu halten. Die Sicherungswirkung durch das Gras ist jedoch stark abhängig von der Dauer der Überflutung. Durch die Wahl von geeigneten Grassorten kann der Belastungswiderstand erhöht werden. Eine Möglichkeit, die Stabilität des Grasses weiter zu erhöhen, ist die Sicherung durch Draht- oder Kunststoffgeflechte. Dadurch wird verhindert, dass einzelne Teile des Bewuchses herausgerissen werden und in weiterer Folge rückschreitende Erosion auftritt.

Unregelmäßigkeiten wie Kanten, Rillen, etc., auf offenen Schotterflächen, Wegen und Vertiefungen, die z.B. durch starken Regenfall entstehen, müssen zeitnah saniert werden, um der Erosion im Falle einer Überströmung keinen Angriffspunkt zu bieten.

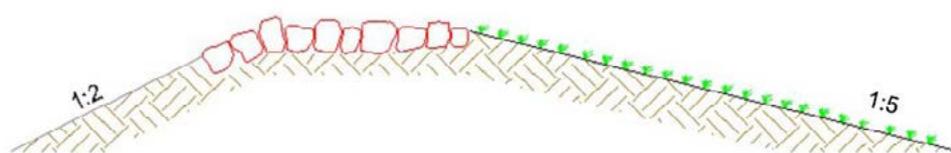


Abbildung 2-4: Überströmstrecke gesichert durch Grasbewuchs (grün dargestellt) und Grobsteinen im Kronenbereich (rot gekennzeichnet)

2.4.2 Bodenstabilisierung

In Anlehnung an das deutsche DVWK-Merkblatt 202 (Hochwasserrückhaltebecken) müssen, im Falle der Verwendung kohäsiver Materialien als Baustoff für Dämme die dort angegebenen Materialanforderungen erfüllt sein. Für die Eignung zur Bodenstabilisierung mit Feinkalk oder Kalkhydrat muss der zu behandelnde feinkörnige Boden darüber hinaus genügend reaktionsfähige Bestandteile enthalten. Wenn der Boden die gestellten Anforderungen erfüllt, können auch Überströmstrecken

aus mit hydraulischen Bindemitteln stabilisierten kohäsiven Böden hergestellt werden. Stabilisierte kohäsive Böden müssen aber auch nach der Einwirkung wechselnder Witterungseinflüsse wie Frost und Austrocknung im Fall der Durch- und Überströmung dauerhaft erosionsstabil bleiben (Zwetschper 2003).

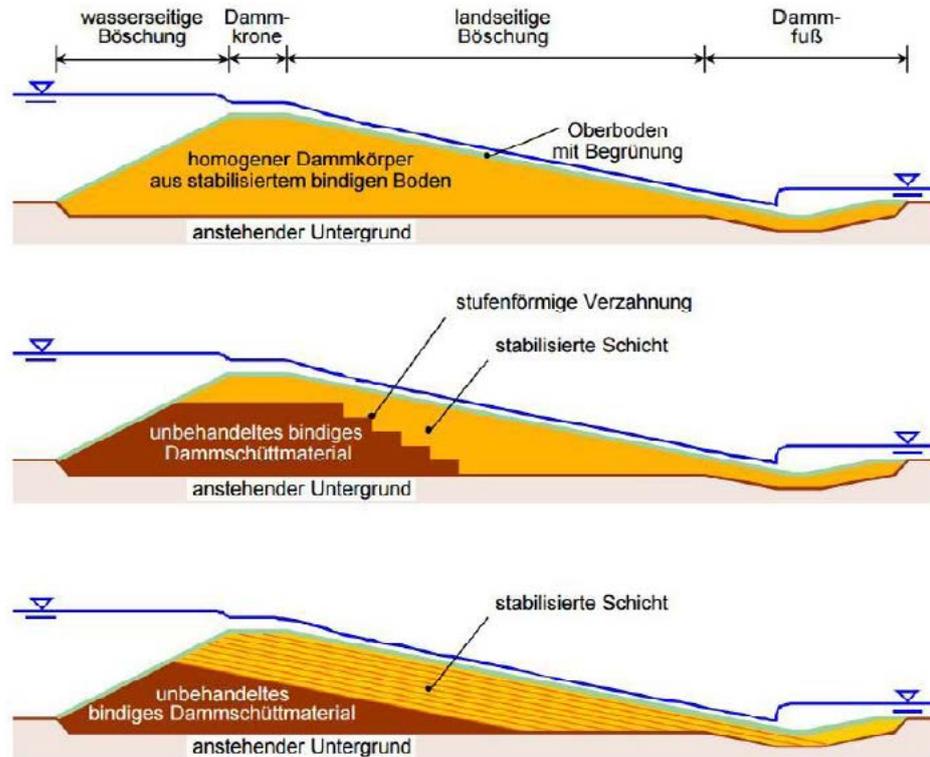


Abbildung 2-5: Prinzipskizzen von Dammquerschnitten

2.4.3 Geokunststoffe

Die Ausführungsarten von Geokunststoffen bei überströmbaren Dämmen sind äußerst vielfältig. Haselsteiner et al. (2014) beschreiben die Eigenheiten und unterschiedlichen Varianten: Vliese, Geogitter oder mit Geogitter kombinierte Vliese weisen eine hohe Zugfestigkeit auf, wodurch mit Geokunststoffen verstärkte oder eingepackte Erdkörper äußerst stabil werden in Bezug auf Überströmung und Durchströmung. Die Durchlässigkeit muss dabei hoch genug sein, um Wasserdruck auf die Konstruktion zu verhindern. Zusätzlich muss durch genügend hohe Filterstabilität, das Erodieren von Bodenteilchen verhindert werden. Die Beachtung der globalen Standsicherheit stellt sicher, dass die gesamte Konstruktion an einer Gleit- oder Bruchfläche nicht versagt. In Bezug auf die linienhafte Sicherung von Dämmen längs des Flusses, stellen Fugenstöße der Geokunststoffe Schwachstellen dar. Eine ausreichende Überlappung ist einzuhalten, eventuell ist auch eine konstruktive Sicherung (z.B. durch Klettbänder) sinnvoll. Im Kronenbereich ist es zweckdienlich, Geokunststofflagen zu führen oder Geoschläuche anzuordnen. Um die Gefahr der Kolkbildung im Bereich des landseitigen Dammfußes zu verhindern, können mit Geokunststoffen ummantelte Bodenpackungen, angeordnet werden. Zusätzlich

kann es bei größerer hydraulischer Belastung notwendig werden, Konstruktionen zur Energieumwandlung zu errichten. Um schon auf der Böschung einen großen Teil der Energie umzuwandeln, ist eine kaskadenartige Ausbildung von Vorteil. Da Geokunststoffe sensibel auf UV-Strahlung reagieren, ist es notwendig sie mit einer Vegetationsdecke zu schützen. Der Bewuchs dieser Schicht sollte sich aber unbedingt auf Rasensorten beschränken, da Gehölze die Kunststoffe durch deren Wurzeln beschädigen. Bei Erwartung von verstärktem Wühltrieb ist es empfehlenswert Kiesschichten oder Drahtgitter als Sperrschichten einzubauen (Monschein 2017).

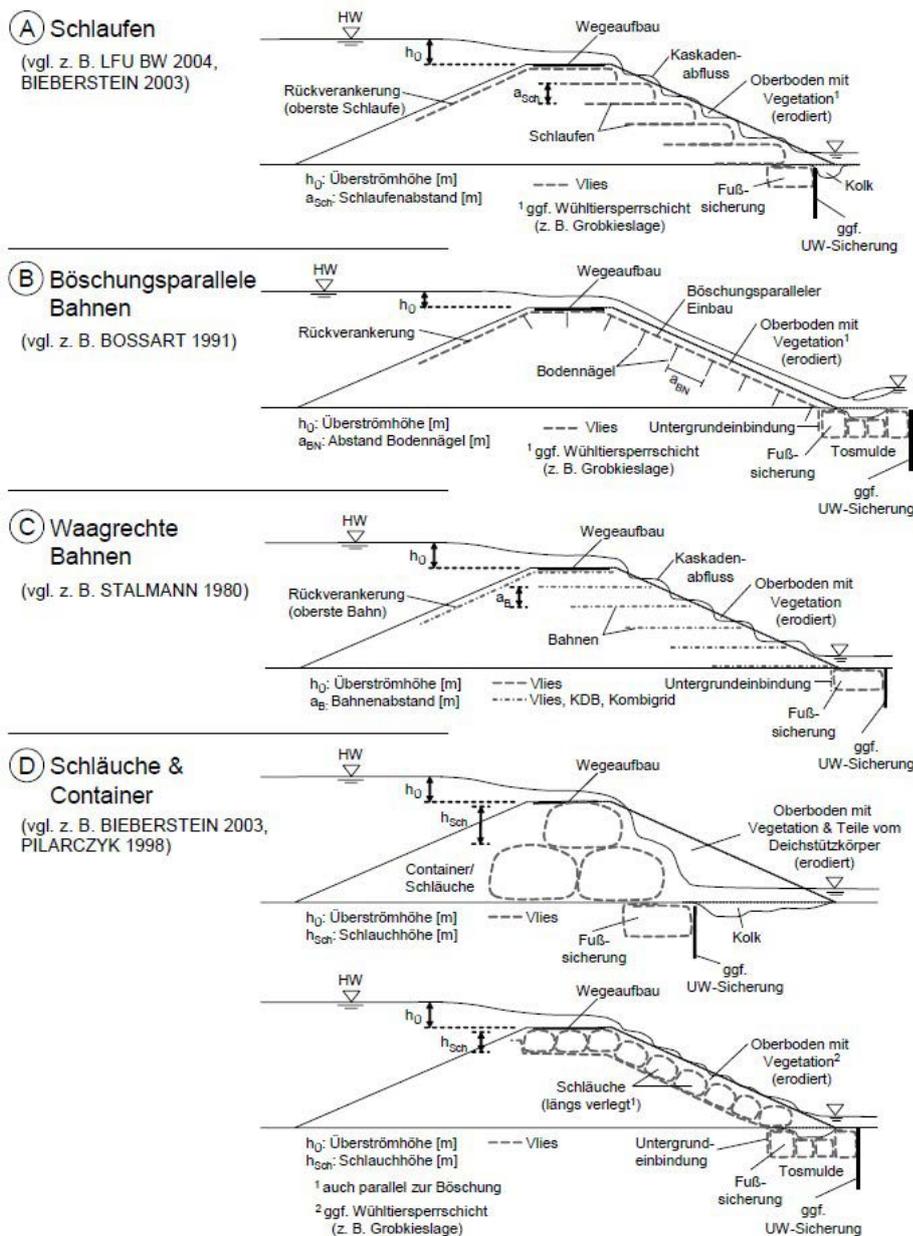
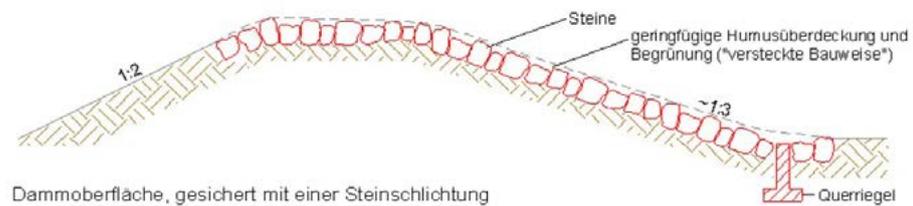


Abbildung 2-6: In der folgenden Abbildung sind unterschiedliche Konstruktionsmöglichkeiten von überströmbaren Dämmen mit Geokunststoffen.

2.4.4 Steinschichtung, Steinpflasterung, Steinschüttung

Oberflächensicherungen mittels Steinschichtungen müssen so bemessen werden, dass die einzelnen Elemente nicht von der Strömung herausgelöst werden können. Zudem sollte speziell bei feinkörnigem Untergrund zwischen Steinschichtung und Dammböschungsuntergrund eine Kieslage als Drainageschicht vorgesehen werden, um Fugenerosion zwischen den Steinen zu verhindern. Steinschichtungen in Überströmstrecken können bei seltener Beanspruchung auch in „versteckter Bauweise“ mittels geringer Humusüberdeckung und Begrünung ausgeführt werden. Diese Überdeckung wird allerdings im Hochwasserfall bei Beanspruchung erodiert und muss im Rahmen der Instandhaltung, -setzung nach einem Ereignis wieder aufgebracht werden.



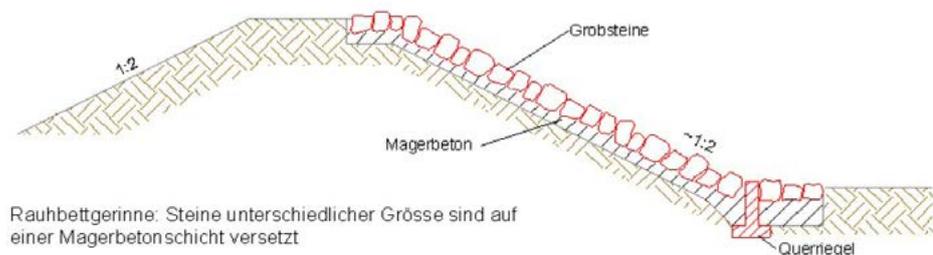
Damtoberfläche, gesichert mit einer Steinschichtung

Abbildung 2-7: Variante Steinschichtung

2.4.5 Raubettgerinne

Nur bei steilen luftseitigen Böschungen bzw. starken Beanspruchungen, die jedoch bei Überströmstrecken selten und nicht anzustreben sind, kann in Einzelfällen die Ausführung von in Magerbeton versetzten Raubettgerinnen erforderlich sein.

Dabei müssen die Steine in den Blocksatz bei entsprechend hohem Arbeitsaufwand sehr genau versetzt werden, weil nur dann die Festigkeit des ganzen Steinsatzes gewährleistet ist. Bei einer derartigen Bauweise sollte jedoch unbedingt ein Querriegel am Dammfuß vorgesehen werden.



Raubettgerinne: Steine unterschiedlicher Größe sind auf einer Magerbetonschicht versetzt

Abbildung 2-8: Variante Raubettgerinne

Bei rau ausgebildeten Überströmstrecken soll nach einer möglichst kurzen Beschleunigungsstrecke ein gebremster, annähernd stationärer Fließzustand eines Wasser-Luft-Gemisches erzielt werden (Idel, 1972).

2.4.5.1 Unterscheidungskriterien für glatte und raue Rampen

Während bei überströmbaren Erddämmen luftseitige Böschungen zumeist mit einer Grasnarbe und mit geringer Neigung ausgebildet werden, um bei Überströmung die Ausbildung von Wirbeln und Walzen zu vermeiden, werden Überströmstrecken so rau wie möglich ausgebildet, um die Energie umzuwandeln und nach möglichst kurzer Beschleunigungsstrecke einen gebremsten, annähernd stationären Fließzustand eines Wasser-Luft-Gemisches zu erzielen (Idel, 1972).

Tabelle 6: Wichtige Kenngrößen und Unterscheidungsmerkmale zwischen glatten und rauhen Rampen (Langen et al. 1989)

	glatte Rampe	raue Rampe
Neigung bevorzugt	1:4 bis 1:8 1:6	1:8 bis 1:15 1:10
Erguß q		bis 9 m ³ /(sm)
Rampenhöhe h		bisher bis ca. 3 m
Baustoffe der Rampenoberfläche	Beton Holzverkleidung Steinpflaster	Steinblöcke d _s = 0,6 bis 1,2 m bevorzugt: d _s = 1,2 m
Art und Ort der Energieumwandlung	am Fuß der Rampe durch Wechselsprung	auf der Rampe durch erhöhte Reibung

2.4.6 Verbundene Rasengittersteine

Verbundene Rasengittersteine können als selbsttragendes und kohärentes Deckwerk-system für überströmbare Dammbereiche verwendet werden (siehe Abbildung 2 -26). Die einzelnen Rasengittersteine müssen dauerhaft untereinander verbunden werden. Hierfür kommen langzeitbeständige Stahlklammern oder durchlaufende Stahlseile in Betracht. Hieraus resultiert eine zusammenhängende (kohärente) Oberflächensicherung (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004).



Abbildung 2-9: Verbundene Rasengittersteine in einer Kipprinne im Labor



Abbildung 2-10: Bohrkern aus einem begrünten MastixSchotter-Deckwerk

2.4.7 Mastix-Schotter-Deckwerk

Mastix-Schotter kann als „mittels bituminösem Mörtel gebundener Einkornsplitt“ bezeichnet werden, mit dem ein hochporöses Deckwerk hergestellt werden kann. Dieses Material wird im Wasserbau seit vielen Jahren im Bereich von Ufer- und Böschungssicherungen an Fließgewässern eingesetzt.

Es handelt sich um ein dränfähiges und kohärentes Deckwerksmaterial. Der starke Verbund der einzelnen Körner erfolgt durch den Bitumenmörtel.

Bei der Herstellung von Mastix-Schotter werden in der Regel die Baustoffe Splitt (meist Kalkstein), Bitumen, Füller, Mittelsand und Faserstoffe verwendet (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004).

2.4.8 Geogittermatratzen

Bei den Geogittermatratzen wird eine Steinschüttung durch ein Geogitter umschlossen. Das Geogitter dient als Erosionsschutz und garantiert somit den Verbund der einzelnen Steine. Geogitter bestehen in der Regel aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polyamid (PA) (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004).

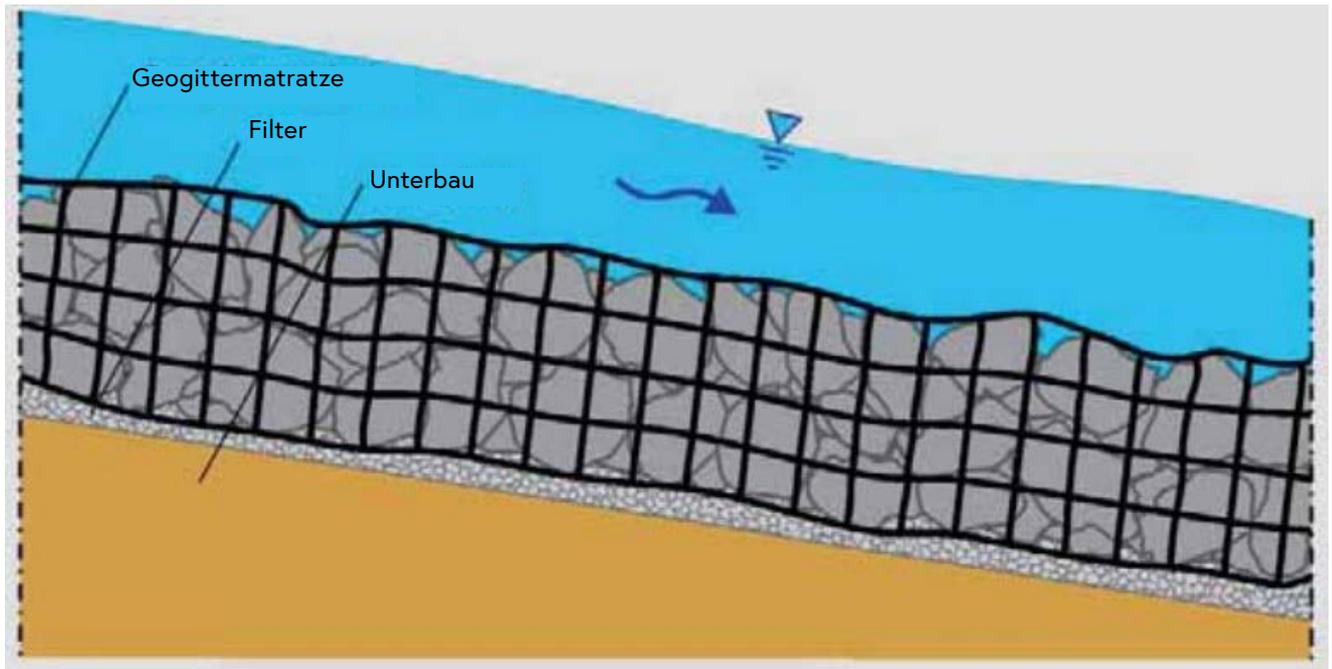


Abbildung 2-11: Geogittermatratze als Oberflächensicherung

2.4.9 Durchlässige Deckschichten und Sicherungsmaßnahmen

Bei durchlässigen Oberflächensicherungen kann das Wasser von oben her in den Dammkörper einsickern. Die Sicherungselemente stehen somit unter einem gewissen Auftrieb. Aus diesem Grund muss unterhalb der Oberflächensicherung ein Filter vorgesehen werden, der ein Unterspülen der Oberflächensicherung verhindert. Der Vorteil eines flexiblen Deckwerkes liegt vor allem in seiner guten Anpassungsfähigkeit an veränderliche Untergründe, die im Dammbau wegen der unvermeidbaren Setzungen die Regel sind.

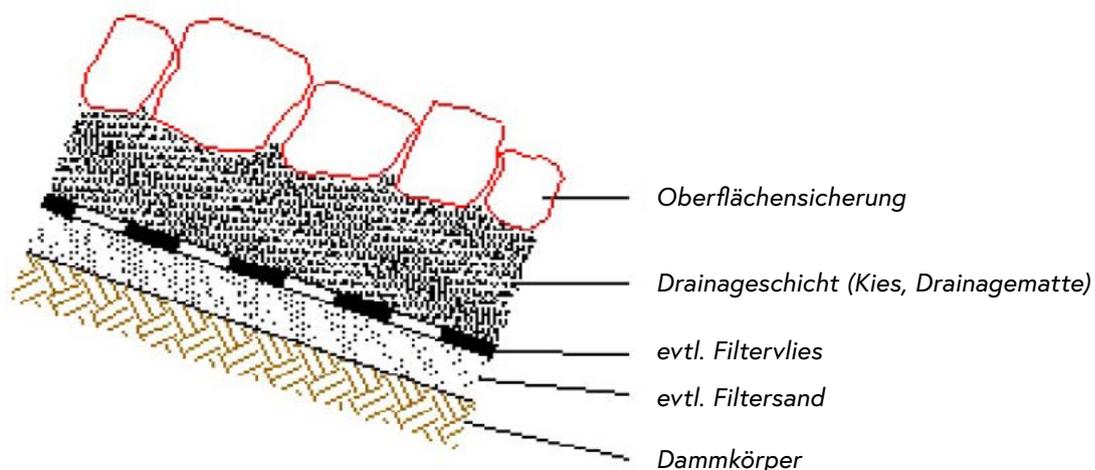


Abbildung 2-12: Aufbau der luftseitigen Dammböschung mit Drainage

2.4.10 Sicherung des Böschungsfußes

Wie in Abbildung 2-30 ersichtlich, bildet sich am luftseitigen Böschungsfuß bei Überströmung meistens ein Wechsprung aus. Durch diese Belastungen auf den Untergrund ist es notwendig diesen Bereich vor Kolkbildung und rückschreitender Erosion zu sichern. Diese Sicherung schützt das Bauwerk vor vollständigem Versagen (Queißer, 2006).

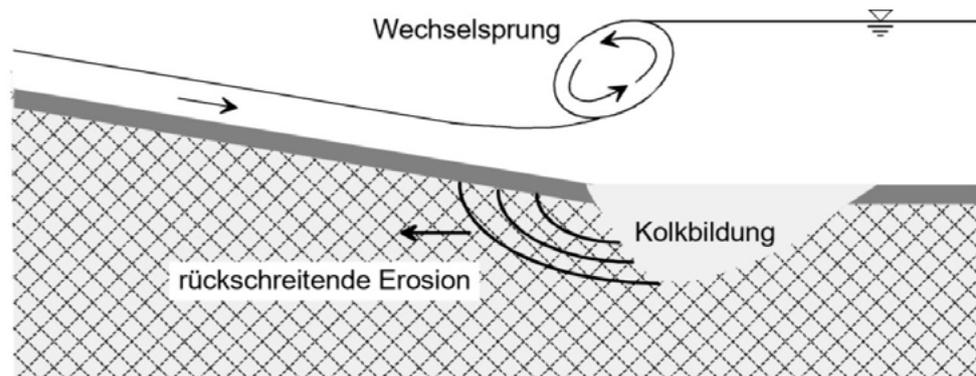


Abbildung 2-13: Belastungen des Böschungsfußes; der auftretende Wechsprung führt zu Kolkbildung und rückschreitender Erosion

In Abhängigkeit von der Rauheit der Oberflächensicherung kommt es zu unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten, wobei im Fall von glatten Sicherungen besonders hohe Geschwindigkeiten auftreten. Dadurch gibt es, wie in Abbildung 2-31 ersichtlich, je nach Art des Deckwerkes unterschiedliche Varianten den Böschungsfuß zu sichern. Abfließendes Sickerwasser muss durch Drainagen abgeleitet werden, die auch nach einer Überströmung zur Entwässerung des Damms dienen. Das an den Böschungsfuß anschließende Gelände, sollte möglichst strömungsgünstig ausgebildet sein, um den Abfluss nicht zu behindern und die Erosion auf ein Minimum zu beschränken (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004).

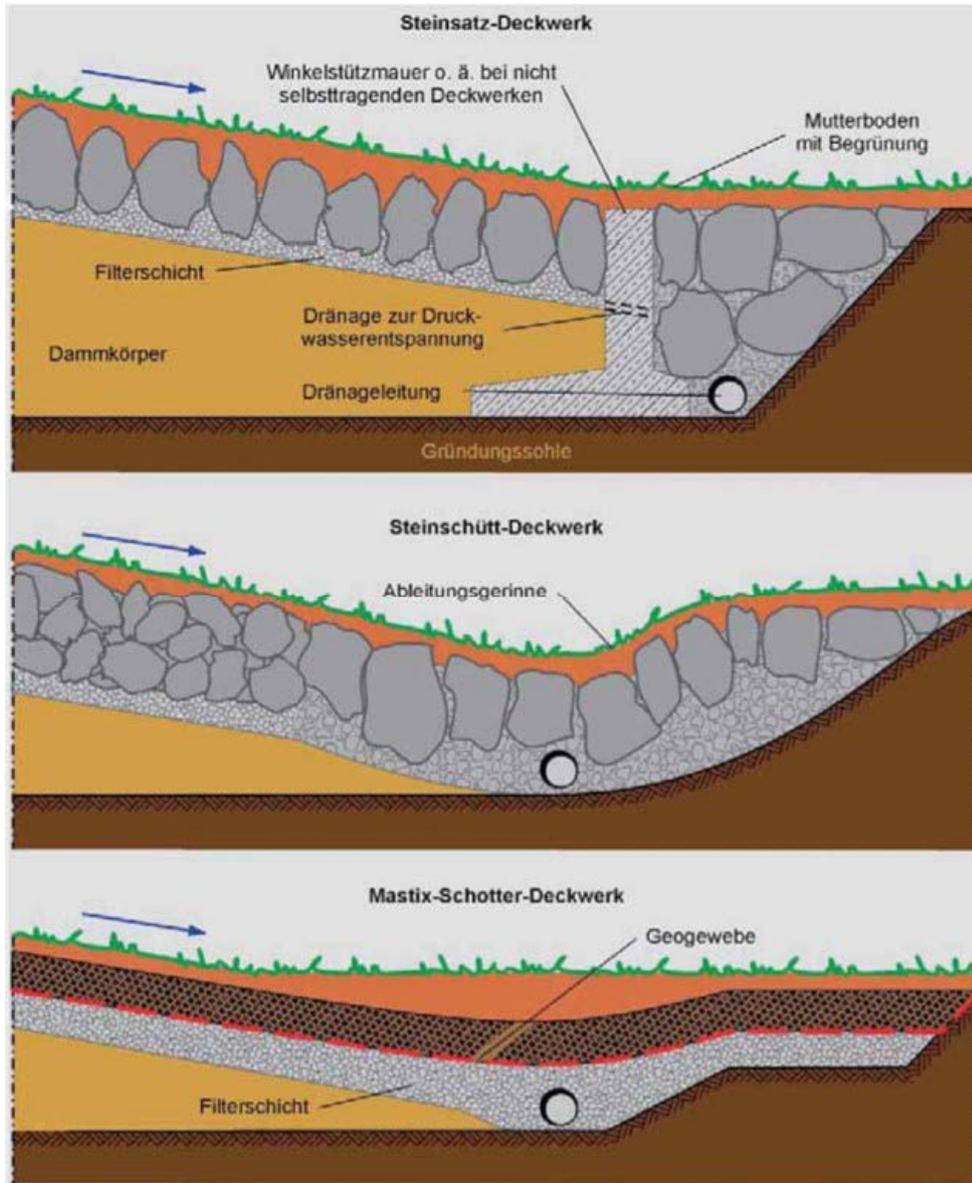


Abbildung 2-14: Fußsicherungen unterschiedlicher Deckwerke

Weiters sind noch folgende konstruktive Ausführungen von Überströmstrecken möglich (Westrich et al. 2003), (Bieberstein et al. 2002):

- Dränbeton
- Dränasphalt
- Einfräsen von Schaumbitumen
- Überströmstrecken aus mit hydraulischen Bindemitteln stabilisierten, kohäsiven Böden

2.5 Entlastung des Hinterlandes

Das Hinterland sowie kleine Zubringer und Vorflutgräben werden über spezielle Durchlässe in den Hochwasserschutzdämmen entwässert. Ein Durchlass ist ein verschließbarer Gewässerdurchlass in einem Bauwerk. Sie bestehen aus Rohren oder Rahmenprofilen mit Vorrichtungen, die das Einströmen des Hochwassers in die Schutzzone verhindern. Als selbständige Verschlüsse stehen Rückstauklappen, in Verbindung mit Rohrdurchlässen in Verwendung. Größere Durchlässe in Rahmenprofilen sind mit – meist von Hand zu bedienenden – beweglichen Schützenklappen ausgestattet. Nach Abklingen der Hochwasserwelle ist der Polder zu entleeren. An der tiefsten Stelle ist eine verschließbare Verbindungsleitung zum Vorfluter vorzusehen. Über sie wird nach Abklingen des Hochwassers die Entleerung und bei Normalabfluss die ökologisch verträgliche Flutung und die luftseitige Entwässerung gewährleistet. Diese Verbindung kann aber auch zur gezielten Flutung des Hinterlandes eingesetzt werden. Die Verbindungsleitung muss so bemessen werden, dass der Polder nach abgelaufenem Hochwasser möglichst geplant entleert werden kann, wobei die Entleerungszeit bereits in der Projektierungsphase zu berücksichtigen ist.

Um auch hier bei der Einströmung ins Gewässer keine standsicherheitsgefährdende Erosion hervorzurufen, ist die Entleerungsleitung vor dem Gewässer in ein Tosbecken bzw. eine Tosbeckenmulde zu führen. Die Entleerungsleitung muss verschließbar sein, damit keine unerwünschte und unkontrollierbare Flutung durch die Leitung stattfinden kann. Als Verschluss eignet sich bei kleinen Öffnungen ein Keilschieber, der über einen Schieberschacht zugänglich sein sollte. Beim Einsatz von Durchlässen mit Rückstauklappen sollten zusätzliche, manuell zu betätigende Verschlusseinrichtungen vorhanden sein, um die automatischen Klappen im Notfall händisch schließen zu können.

Da bei Hochwässern eine Völlfüllung des Polders nicht verhindert werden kann, sind Dammabschnitte vorzusehen, die vom Polder in Richtung Gewässer überströmt werden können (Pasche 2003). Die Funktionstüchtigkeit der Hochwasserentlastung hängt nicht zuletzt davon ab, wo das ins Hinterland abgeleitete Wasser hinfließt, weshalb darauf zu achten ist, dass der Abfluss im Hinterland bzw. die Rückführung des Wassers ins Hauptgerinne nicht durch Straßen- oder Bahndämme behindert wird. Gerade beim Hochwasser 2002 erwiesen sich die Straßendämme als Abflusshindernis. Für die Rückleitung der Hochwasserwelle in das Hauptgerinne sind Querdämme vorzusehen, die auf sehr seltene Hochwässer (HQ_{300} , $RHHQ$) auszulegen sind, weil sie der anströmenden Hochwasserwelle standhalten müssen. Der Abschluss dieser Dämme gegen den Flusslauf oder flussbegleitenden Weg sollte dabei aufgrund der zu erwartenden großen angreifenden Erosionskräfte massiv gesichert werden (Steinschlichtung).

Bei der Festlegung der Stauräume selbst ist darauf zu achten, ob Mulden vorhanden sind, aus denen das Wasser nicht mehr abfließen kann.

2.6 Empfehlungen für die Berücksichtigung des Abflusses im Hinterland

Mittels 2-D-Wasserspiegellagenberechnungen müssen bei der Planung der Hochwasserschutzmaßnahmen und der Anordnung der Überströmstrecken die Fließwege des Wassers nach Überfließen der Überströmstrecke ermittelt werden. Besondere Rücksicht ist dabei auf etwaige Mulden und Grabensysteme im Überschwemmungsgebiet zu nehmen. Gegebenenfalls kann es auf Grund der örtlichen Gegebenheiten zu objektbezogenen Auflagen kommen. Die Positionierung der Überströmstrecken muss jedenfalls unter Berücksichtigung der lokalen Topographie und Nutzung erfolgen. Falls diese nicht eine rasche Abfuhr des Wassers erlaubt, sollten Begleitgräben oder Flutmulden angelegt werden. Flutmulden (Hochwassermulden) sind künstliche, flache Geländevertiefungen zur fallweisen Ableitung von Hochwässern. Am Anfang und am Ende der Flutmulde können Sicherungsmaßnahmen notwendig sein.

Wird die Flutmulde forstwirtschaftlich genutzt (als Wald), so ist sie zur Kompensierung der Abflussbehinderung entsprechend größer zu dimensionieren. Bei häufigem Anspringen der Hochwasserentlastung bzw. bei sehr starkem Geschiebetrieb ist eine Hochwassermulde ungeeignet. In solchen Fällen ist ein Entlastungsgerinne zweckmäßig. Die Sohle des Entlastungsgerinnes muss stabil sein und das Profil darf nicht durch starken Bewuchs eingengt sein. Gegebenenfalls ist eine Überdimensionierung vorzusehen. In dicht verbautem Gebiet lässt sich bisweilen eine gedeckte Bauweise des Entlastungsgerinnes wegen Platzmangels nicht vermeiden.

Alle Bauwerke sind bescheidmäßig Instandzuhalten.

2.7 Hinweise zu Siedlungen in den Hinterlandbereichen

Es gibt flussbauliche Beispiele (z.B. Gail), wo der Retentionsraum im Talbereich weitestgehend erhalten wurde, aber entlang des Gewässers Hochwasserschutzdämme errichtet wurden, um eine Verwerfung des Gewässers bei einem Hochwasserereignis zu verhindern. In diesem Falle werden die Dämme häufig überströmt, wobei der Einstau des Hinterlandes vom Unterwasser her erfolgt. Damit ergeben sich andere Anforderungen. Es ist dafür zu sorgen, dass auch bei häufiger Überflutung keine Verlandungen im Hinterland auftreten, dass die Querdämme eine gesicherte Rückführung des Hinterlandabflusses gewährleisten und dass der Siedlungsraum geschützt bleibt. Für die letztere Aufgabe wurden dort Ringdämme vorgesehen. Befinden sich im gefluteten Hinterland Ortschaften oder besiedelte Weiler, so sind diese durch Ringdämme zu schützen. Diese Ringdämme sind auf sehr seltene Hochwässer auszulegen (HQ_{300} , $RHHQ$) und gleichzeitig sind innerhalb der Dämme Überflutungsflächen für die anfallenden Regen und Sickerwässer freizuhalten.

Bei der Anlage von Ringdämmen ist weiters zu beachten:

- Kleingerinne oder Hangwässer, welche durch die mittels Ringdämmen geschützten Ortschaften durchfließen, sind im Bereich der Durchleitungen mittels Froschklappe sowie eines zusätzlichen Schiebers gegen rückströmendes Hochwasser zu schützen. Dabei ist in einer Betriebsordnung vorzusehen, durch wen und wann der Schieber zu schließen ist.
- Für derartige Gerinne und deren Überflutungsbereiche innerhalb der Ringdämme sind für die Zeit des Abfließens der HQ-Welle (d.h. für die Zeit, in welcher der Schieber geschlossen bleibt) Binnenstaubereiche ähnlich Gefahrenzonen auszuscheiden und von jeglicher Widmung für Bau- oder Gewerbe Zwecke freizuhalten

Bei länger andauernden Hochwässern stellt die Kontrolle der Sickerwässer meist ein Problem dar. Entweder sind, wie oben angeführt, Überflutungsflächen freizuhalten, Untergründichtungen vorzusehen oder Pumpwerke in Betracht zu ziehen.

2.8 Sicherheitstechnische und Wirtschaftliche Beurteilung

Zusätzlich zum Nachweis der Standfestigkeit des Dammes sind die Sicherheit gegen Erosion sowie die Sicherheit gegen Abgleiten oder Beschädigung des Deckwerks nachzuweisen.

2.8.1 Standsicherheit von Dämmen

2.8.1.1 Nachweis der Erosionssicherheit des Einzelsteins

Zur Beschreibung der Sohlstabilität wird die Verwendung eines abflussbezogenen Stabilitätskriteriums empfohlen (Bathurst 1987). Der Parameter des dimensionslosen spezifischen Abflusses q^* geht auf den von Schoklitsch (1962) entwickelten Stabilitätsansatz für natürliche Flussstrecken zurück (Palt und Dietrich 2002). Die folgende Gleichung, in welcher der kritische spezifische Abfluss pro Breitereinheit den wesentlichen Faktor darstellt, ist für Gefälle $I > 2\%$ gültig:

$$q^* = \frac{q_c}{\sqrt{g * (s - 1) * d_c^3}} = f(I)$$

q^* ... spezifischer Abfluss pro Breitereinheit

q_c ... kritischer spezifischer Abfluss pro Breitereinheit

d_c ... charakteristischer Korndurchmesser an der Sohlenoberfläche

s ... relative Dichte ($\rho_{\text{Sediment}} / \rho_{\text{Wasser}}$)

g ... Erdbeschleunigung

Maximale Beaufschlagungen von Raubettgerinnen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 7: Maximale Beaufschlagungen von Raubettgerinnen

	1:8	1:10	1:15	1:8	1:10	1:15
d_s in m	q_{zul} in $m^3/(s \cdot m)$			$Fr_{s,max}$		
0,6	2,5	2,7	3,15	1,71	1,84	2,16
0,9	4,6	4,9	5,8	$(h_m/d_s)_{max}$		
1,2	7,05	7,6	8,9	0,85	0,925	1,08

d_s ... Blocksteindurchmesser

h_m ... kritische Wassertiefe auf der Rampe

2.8.1.2 Nachweis der selbsttragenden Wirkung des Deckwerkes (Gleitsicherheit)

Die Standsicherheit des überströmten Böschungselementes ergibt sich aus einem Vergleich der einwirkenden und widerstehenden Kräfte zu (Bieberstein et al. 2002):

$$\eta = \frac{T_{res}}{H + F_{SD} + T_W} = \frac{\gamma'_D * d_D * \cos \beta * \tan \phi'}{\sin \beta * (\gamma'_D * d_D + \gamma_W * d_D + \gamma_W * d_W)}$$

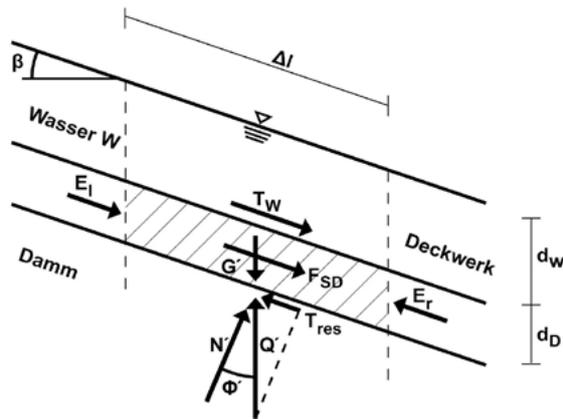


Abbildung 2-15: Einzelelement einer hangparallel durch- und überströmten Böschung

- N' ... Reaktionskraft in der Gleitfuge
- T_{res} ... Reaktionskraft in der Gleitfuge
- Q' ... Reaktionskraft in der Gleitfuge
- Φ' ... Reibungswinkel im Deckwerkaufleger
- T_W ... Schubspannungsergebnis bei Überströmung
- G' ... Deckwerkgewicht unter Auftrieb
- d_W ... Mittlere Dicke der Wasserschicht
- d_D ... Dicke des Deckwerkes
- $E_l \approx E_r$... Erddruckkräfte
- F_{SD} ... Strömungskraft
- β ... Böschungsneigung

Die wesentlichen Parameter für diese Betrachtung sind demnach

- der Böschungswinkel β ,
- der Reibungswinkel Φ' in der maßgebenden Scherfuge,
- die Stärke d_D des Deckwerkes,
- die Auftriebswichte γ'_D des Deckwerkes,
- sowie die hydraulische Belastung des Deckwerkes (ausgedrückt in d_W).

Die auftretenden Hangabtriebskräfte können wie folgt aufgenommen werden:

- Durch Reibung auf die eigentliche Dammböschungsoberfläche
- Mittels Anker in der Dammschüttung
- Durch Kontakt auf das jeweils nächste, tiefer liegende Sicherungselement bis zu einem Querriegel, der die Kräfte in den Untergrund ableiten kann. Grundsätzlich kann zwischen einem flexiblen, durchlässigen und einem starren undurchlässigen Deckwerk unterschieden werden.

2.8.1.3 Geotechnische Versagenswahrscheinlichkeit

Es wird darauf hingewiesen, dass ein Hochwasserschutzdamm kein Staudamm ist und dass der Widerstand, den ein Damms einer Belastung durch Hochwässer entgegensetzen kann, über die Zeit nicht konstant ist. Folgende Faktoren können die geotechnische Standsicherheit reduzieren:

- Eine nicht abgeschlossene Konsolidierung des Baumaterials bei Einstau kurz nach Fertigstellung des Damms
- Eine Beschädigung des Damms durch Wühl- und Nagetiere
- Ein langer Einstau von Dämmen mit unzureichender Sicherung gegen Durchströmung
- Ein wiederholter Einstau in kurzen zeitlichen Abständen
- Überschreiten der technischen Lebensdauer

Bei Überschreiten der technischen Lebensdauer ist zu prüfen, ob der Hochwasserschutzdamm noch die volle Schutzwirkung gewährleistet, die entsprechenden Nachweise sind erneut zu erbringen. Gegebenenfalls ist ein Hochwasserschutzdamm zu sanieren oder der Hochwasserschutz nach dem jeweiligen Stand der Technik neu zu errichten. Alle Bauwerke sind bescheidmäßig Instand zu halten.

2.8.2 Erosionsschutz von Dammoberflächen

Die Dammböschung und der Böschungsfuß müssen wasser- und landseitig soweit gegen möglich Angriffe gesichert werden, wie das verwendete Dammbaumaterial nicht selbst ausreichenden Widerstand bietet. Solche Angriffe entstehen durch:

- Starkregen
- Wellen und Strömung
- Überströmung
- Eisgang und Eisstau
- Wühltiere
- Haustiere (v.a. Rinder, Pferde)

2.8.3 Damminstandhaltung

Treibgut ist umgehend zu beseitigen. Höhlenbauten und Schlupflöcher müssen aufgedeckt, verfüllt und eingeebnet werden. Fehlstellen in der Grasnarbe müssen ausgebessert werden, die Vegetationsdecke ist jährlich (u.U. mehrmals jährlich) zu mähen. Im landseitigen Böschungsbereich kann im nicht überströmbar Bereich je nach Situation ein Gehölzbewuchs vorhanden sein, wobei eine ca. 50%ige Deckung der Fläche nicht überschritten werden darf. Die Bepflanzung ist nach Maßgabe von Pflegeplänen zu pflegen und zu erhalten. Nachdem ein Damm überströmt wurde, ist er auf jeden Fall zu inspizieren.

Alle durch Erosion entstandenen Schäden (Abbildung 2-33) sind umgehend zu reparieren. Wird ein Damm überströmt, dann tritt ab einem kritischen Wert des Abflusses eine Instabilität der luftseitigen Dammböschung auf. Dieser Wert ist von der Korngröße, von der Neigung der luftseitigen Dammböschung und der Verdichtung des luftseitigen Böschungsmaterials abhängig (Pregl 1999).



Abbildung 2-16: Rillen und Gully-Erosion

2.8.4 Standsicherheit von Dämmen

Damit die Standsicherheit eines Dammes bei Überströmen gewährleistet ist, muss diese für alle relevanten Lastfälle nachgewiesen werden. Ein Standsicherheitsnachweis kann gegebenenfalls entfallen, wenn für eine gleichartige Dammkonstruktion mit gleichen Bodenmaterialien und gleichem Untergrundaufbau bereits ein Nachweis vorliegt.

Im Einzelnen sind in Anlehnung an das deutsche Regelwerk folgende Nachweise zu erbringen (DVWK 1986):

- Allgemeine Standsicherheit: Ermittlung der statischen Sicherheit
- Nachweis der Spreizspannungen im Dammlager
- Örtliche Standsicherheit bei Durchströmung des Damms
- Suffosion in Dammkörper und Untergrund
- Kontakterosion an Filterschichten und anderen Schichtgrenzen
- Erosionsgrundbruch
- Hydraulischer Grundbruch bzw. Auftriebssicherheit
- Standsicherheit von Böschungsdichtungen bei Wasserüberdruck vom Dammkörper aus

2.8.5 Typische Schäden im Bereich von Überströmstrecken

Speziell bei Überströmstrecken mit Grasbewuchs treten Erosionserscheinungen an Unregelmäßigkeiten der Dammböschung (kleine Rinnen oder Kanten, abgelöste Rasenflächen, etc.) auf. Ebenso erosionsgefährdet sind die Übergänge zu Fahrwegen auf dem Damm oder am Fuß des Damms bzw. an den Fahrwegen selbst, unabhängig davon in welcher Form diese Wege befestigt sind (Erosion der Schotterdecke, Unterwaschungen von Asphaltdecken, etc.).



Abbildung 2-17: Überströmstrecke der Gail während des Hochwassers 2002



Abbildung 2-18: Überströmstrecke der Gail, Erosionsschäden am Begleitweg nach dem Hochwasser 2002



Abbildung 2-19: Überströmstrecke der Gail, Erosionsschäden am Begleitweg nach dem Hochwasser 2002



Abbildung 2-20: Überströmstrecke der Gail während des Hochwassers 2002



Abbildung 2-21: Überströmstrecke der Gail nach der Überströmung 2002
Erosionsschäden am Fahrweg auf der Dammkrone

2.8.6 Restrisiko

2.8.6.1 Hydrologisches Restrisiko

Unter Restrisiko wird die Schadenserwartung für den Fall der Überschreitung des Bemessungsabflusses verstanden. Da der zu erwartende Schaden von der Art der Überflutung und von deren Vorhersehbarkeit abhängt sind zwei Szenarien zu unterscheiden, die sich auf

- die Überflutung im Hinterland von Überströmstrecken oder
- einen Dambruch beziehen.

Eine flächendeckende Erstellung von Gefahrenzonenplänen soll dafür sorgen, dass das Hochwasserrisiko für alle Flächen im Einflussbereich eines Fließgewässers quantifizierbar ist. Im Falle der Errichtung von Hochwasserschutzdämmen sind Gefahrenzonenpläne so auszuarbeiten, dass die Schadenspotentiale bei Eintreten der obenstehenden Szenarien quantifiziert werden können. Die Nutzung von gefährdeten Gebieten für gefährliche Anlagen (IPPC, aber auch Tankstellen, etc.) ist in jedem Fall zu vermeiden. Abflussquerschnitte im Hinterland sind freizuhalten, also nicht durch Dämme für Verkehrseinrichtungen abzusperren. Für Bauwerke im Abflussbereich des Hinterlandes sind bautechnische Auflagen auszusprechen und für deren Einhaltung zu sorgen.

Die Bevölkerung ist darauf hinzuweisen, dass nicht alle Dämme auf das rechnerisch größtmögliche Hochwasser ausgelegt sind und dass für verschiedene Dämme auch verschiedene Bemessungskriterien gelten. Nur eine derartige Bewusstseinsbildung kann in Zukunft, gemeinsam mit einer vorausschauenden Flächenwidmung, zu einer Verringerung der potentiellen Schäden führen. Die Bevölkerung im Einflussbereich der Hochwasserschutzmaßnahmen ist umfangreich über die Funktion der Überströmstrecken und die Funktion von Flutmulden und Begleitgräben zu informieren. Notfallpläne für Katastrophenereignisse, welche das Bemessungsereignis überschreiten sind, gegebenenfalls mit Beteiligung der betroffenen Bevölkerung, auszuarbeiten und öffentlich zu machen. Die Aufgabenbereiche einer Notfallorganisation sind festzusetzen und die Kompetenzen im Voraus klar festzulegen (Abbildung 2-22).

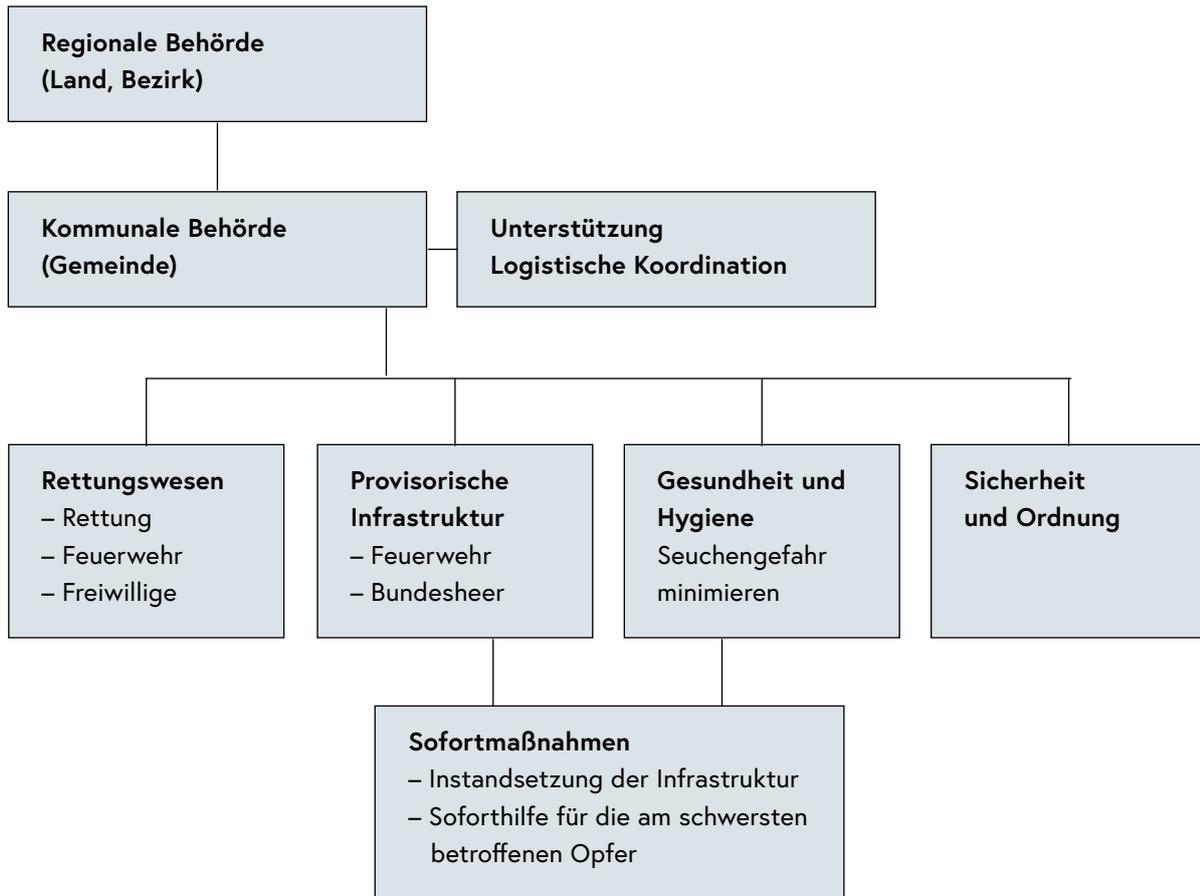


Abbildung 2-22: Aufgabenbereiche einer Notfallorganisation

3 Literatur

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WAS-SERWIRTSCHAFT: Leitfaden Freibord, Leitfaden zur einheitlichen Anwendung und Interpretation des Freibord-Begriffs im Richtlinienwerk der Bundeswasserbauverwaltung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser. Wien, 2016.

Wasser Energie Luft: Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen, Empfehlung der Kommission Hochwasserschutz (KOHS), 2013

NACHTNEBEL, H.P.: Freibord – Überströmstrecken. Leitfaden zur Festlegung des erforderlichen Freibordes anhand projektspezifischer Rahmenbedingungen einschließlich der Kriterien für die Anordnung von Überströmstrecken. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser. Wien, 2006.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WAS-SERWIRTSCHAFT: Technische Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung. RIWA-T gemäß § 3 Abs. 2 WBF. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser. Wien, 2006.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WAS-SERWIRTSCHAFT: Dammquerschnitte (Hochwasserschutzdämme). Empfehlungen für die Ausbildung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion Wasser. Wien, 2007.

DVWK- Merkblatt 246/1997: Freibordbemessung an Stauanlagen

SCHÜLL Markus, TSCHERNUTTER Peter: Neue Entwicklungen bei Überströmstrecken von Dämmen, Österr. Wasser und Abfallw. 2013

Monschein: Konzeptionelle Bemessung und Planung von Überströmstrecken, Diplomarbeit, TU Graz, 2017

DIN 19712 (1997): Flusssdämme

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

UMWELTMINISTERIUM BADEN WÜRTTEMBERG: Hochwassergefahrenkarten in Baden-Württemberg, Leitfaden. Oktober 2005

ARIZONA DEPARTMENT OF WATER RESOURCES: Design Manual for Engineering Analysis of Fluvial Systems. 1985

SCHONLAU, Henning, SCHWEIM, Christoph und KÖNGETER, Jürgen: Freibord am Niederrhein. WasserWirtschaft , Ausgabe Nr. 8/2005

LfU Baden-Württemberg Ref. 41. (2004): Überströmbare Dämme und Dammscharten. Karlsruhe: Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg.

UK ENVIRONMENT AGENCY: Fluvial Freeboard Guidance Note, R&D Technical Report W187. Environment Agency R&D Dissemination Centre. Bristol, 2000

HASELSTEINER, R., STROBL, Th.: Zum Freibord an Flussdämmen. Wasserbaukolloquium - Stauhaltungen und Speicher - Von der Tradition zur Moderne. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 2, Seite 475 - 489, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz, 2006

HASELSTEINER, R.; FISCHER, M.; STROBL, TH.; RUTSCHMANN, P.: Der Überlastfall an Flussdämmen - Strategien, Sicherungsmöglichkeiten, Risikominderung. Internationales Wasserbausymposium „Neue Anforderungen im Wasserbau“, ETH Zürich, VAW, September 2008

Haselsteiner, R., Mett, M., & Strobl, T. (2014): Überströmungssicherung von Dämmen mit Geokunststoffen. München: Institut für Wasserbau und Institut für Geotechnik, Universität München.

RISSLER, Peter: Talsperrenpraxis, Oldenbourg Industrieverlag. 1998

RÖSSERT, Robert: Hydraulik im Wasserbau, Oldenbourg Verlag. München, Wien, 1999

BRINKMANN, Birgitt: Seehäfen – Planung und Entwurf, Springer Verlag. Berlin, 2004

POMNY, M.; SCHMOCKER, L.: Vom Hochwasser lernen. Überlastfall einplanen. TEC21 2008/39. Verlags-AG. Zürich, 2008

Bathurst, J. C. (1987): Bed load discharge equations for steep mountain rivers. Sediment transport in gravel bed rivers. J. C. B. C.R. Thorne, R.D. Hey. Chichester, Wiley.

Bieberstein, A. (2004): Überströmbare Dämme- landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg, Forschungsbericht FZKA-BWPLUS. Karlsruhe: Universität Karlsruhe Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik.

Bieberstein, A., J. Brauns, J. Queißer and H. H. Bernhart (2002): Überströmbare Dämme - landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. Karlsruhe, Universität Karlsruhe

Bosshard, Max (1991): „Überflutbarkeit kleiner Dämme“, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (1991)

BWG, B. f. W. u. G. (2001): Hochwasserschutz an Fließgewässern. Wegleitungen des Bundesamts für Wasser und Geologie. Bern, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation: 71.

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Definition Freibord (Quelle: Wasserbau)	7
Abbildung 1-2: Entscheidungsbaum Geschwindigkeitshöhe	10
Abbildung 1-3: Turbulenter Abfluss (Quelle: Gina Sanders – stock.adobe.com)	10
Abbildung 1-4: Querneigung in Flusskrümmungen (Quelle: Wasserbau)	11
Abbildung 1-5: Entscheidungsbaum Querneigung	11
Abbildung 1-6: Querneigung in Flusskrümmungen, Annaberg (Lammer), 2002 (Quelle: Wasserbau)	12
Abbildung 1-7: Entscheidungsbaum Unschärfen	13
Abbildung 1-8: Entscheidungsbaum Schwemmholz	14
Abbildung 1-9: Verklausung einer Straßenbrücke (Quelle: Wasserbau)	15
Abbildung 1-10: Sohlräumung an der Saalach (Quelle: Wasserbau)	16
Abbildung 1-11: Geschiebe und Wildholz (Quelle: Wasserbau)	17
Abbildung 1-12: Eisstau (Quelle: Wasserbau)	18
Abbildung 1-13: Abflussreduzierender Bewuchs im Abflussquerschnitt (Quelle: Wasserbau)	18
Abbildung 1-14: Brücke mit beschädigter Rohrleitung nach dem Hochwasser, Lechtal, 2005 (Quelle: Wasserbau)	20
Abbildung 1-15: Freibord bei Hochwasser (Quelle: Wasserbau)	21
Abbildung 1-16: Überströmte Hochwasserschutzmauer in Pflach / Lechtal, 2005 (Quelle: Wasserbau)	22
Abbildung 1-17: Berechnungsschema Deutschland (Quelle: Haselsteiner, Paper013)	31

Abbildung 2-1: Schematischer Längenschnitt einer Überströmstrecke. Die Wasseranschlagslinie flussabwärts des Streichwehrs entspricht dem Bemessungswasserstand.	35
Abbildung 2-2: Wehrformen zur Bestimmung des Überfallbeiwerts (Bollrich, 2000)	37
Abbildung 2-3: Hydraulische Verhältnisse an einem überströmbaren Damm; wobei $h_{\text{ü}}$ = Überströmhöhe, D = Dammhöhe; Beschreibung der Bereiche A-F siehe Fließtext. (Haselsteiner et al., 2014)	38
Abbildung 2-4: Überströmstrecke gesichert durch Grasbewuchs (grün dargestellt) und Grobsteinen im Kronenbereich (rot gekennzeichnet) (BMLFUW, 2006)	39
Abbildung 2-5: Prinzipskizzen von Dammquerschnitten (Zweschper, 2003)	40
Abbildung 2-6: In der folgenden Abbildung sind unterschiedliche Konstruktionsmöglichkeiten von überströmbaren Dämmen mit Geokunststoffen. (Haselsteiner et al. 2014)	41
Abbildung 2-7: Variante Steinschichtung	42
Abbildung 2-8: Variante Raubettgerinne	42
Abbildung 2-9: Verbundene Rasengittersteine in einer Kiprinne im Labor (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004)	44
Abbildung 2-10:: Bohrkern aus einem begrünten MastixSchotter-Deckwerk (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004)	44
Abbildung 2-11: Geogittermatratze als Oberflächensicherung (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004)	45
Abbildung 2-12: Aufbau der luftseitigen Dammböschung mit Drainage	45
Abbildung 2-13: Belastungen des Böschungsfußes; der auftretende Wechsellprung führt zu Kolkbildung und rückschreitender Erosion (Queißer, 2006)	46
Abbildung 2-14: Fußsicherungen unterschiedlicher Deckwerke (LfU Baden-Württemberg Ref. 41, 2004)	47
Abbildung 2-15: Einzelelement einer hangparallel durch- und überströmten Böschung (Bieberstein et al. 2002)	52
Abbildung 2-16: Rillen und Gully-Erosion	54
Abbildung 2-17: Überströmstrecke der Gail im Bereich Stranig, während des Hochwassers im Nov. 2002 (Fotos Abt. Wasserwirtschaft Hermagor, Kärnten)	55
Abbildung 2-18: Überströmstrecke der Gail im Bereich Stranig, Erosionsschäden am Begleitweg nach dem Hochwasser vom Nov. 2002 (Fotos Abt. Wasserwirtschaft Hermagor, Kärnten)	56
Abbildung 2-19: Überströmstrecke der Gail im Bereich Stranig, anderer Bereich, Erosionsschäden am Begleitweg nach dem Hochwasser vom Nov. 2002 (Fotos Abt. Wasserwirtschaft Hermagor, Kärnten)	56

Abbildung 2-20: Überströmstrecke der Gail während des Hochwassers 2002 (Quelle: Abt. Wasserwirtschaft Hermagor, Kärnten)	57
Abbildung 2-21: Überströmstrecke der Gail nach der Überströmung 2002 Erosionsschäden am Fahrweg auf der Dammkrone (Quelle Abt. Wasserwirtschaft Hermagor, Kärnten)	57
Abbildung 2-22: Aufgabenbereiche einer Notfallorganisation	59

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflüsse auf den Freibord und den Bemessungswasserspiegel	8
Tabelle 2: Min-, Maximaler Freibord (Quelle: KOHS, 2013)	15
Tabelle 3: f_t für Brücken	30
Tabelle 4: Min-, Maximaler Freibord	30
Tabelle 5: Festlegung der Überfallbeiwerts μ (Bollrich, 2000)	37
Tabelle 6: Wichtige Kenngrößen und Unterscheidungsmerkmale zwischen glatten und rauen Rampen (Langen et al. 1989)	43
Tabelle 7: Maximale Beaufschlagungen von Raubettgerinnen	51