



Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen

Teil C2: Hochwassersicherheit und Stauseeabsenkung

Die letzte Fassung ersetzt die früheren Fassungen

Version	Abänderung	Datum
2.0	Totalrevision der BWG Richtlinie 2002	15.01.2017
2.01	Überarbeitung Literaturverzeichnis	15.02.2017
2.02	Anpassung Kapitel 2.7.1	03.10.2018



Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Energie, Sektion Aufsicht Talsperren, 3003 Bern

Erarbeitung

Arbeitsgruppe Revision Richtlinie Teil C2 "Hochwassersicherheit und Stauseeabsenkung":

- P. Dändliker, Bundesamt für Umwelt BAFU
- G. Darbre, Bundesamt für Energie BFE
- H. Fuchs, ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW
- B. Joos, Schweizerisches Talsperrenkomitee STK
- Y. Keller, IUB Engineering AG
- P. Lazaro, Lombardi SA
- T. Rüesch, Rüesch Engineering AG
- B. Schaepli, Universität Lausanne UNIL, Institute of Earth Surface Dynamics IDYST
- M. Schwager, Bundesamt für Energie BFE
- F. Zeimetz, EPF Lausanne, Labor für Wasserbau LCH

Abnahme

Kerngruppe Revision Richtlinie:

- A. Baumer, Schweizerisches Talsperrenkomitee STK
- R. Boes, ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW
- G. Darbre, Bundesamt für Energie BFE
- S. Gerber, Bundesamt für Energie BFE
- H. Meusburger, Konferenz der kantonalen Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren BPUK
- T. Oswald, Bundesamt für Energie BFE
- B. Otto, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband SWV
- R. Panduri, Bundesamt für Energie BFE
- M. Perraudin, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE
- A. Schleiss, EPF Lausanne, Labor für Wasserbau LCH
- A. Truffer, Konferenz der kantonalen Energiedirektoren EnDK

Durch die Geschäftsleitung des BFE am 29. November 2016 verabschiedet.

Datum

Ersterscheinung (Version 2.0): 15. Januar 2017



Inhaltsverzeichnis Teil C2

1. Einleitung	5
1.1. Ziele des Richtlinienteils „Hochwassersicherheit und Stauseeabsenkung“	5
1.2. Nachweis der Hochwassersicherheit	5
1.3. Stauseeabsenkung.....	5
1.4. Bestehende Stauanlagen	6
1.5. Stauanlagen am Hochrhein und an der Aare unter direkter Bundesaufsicht.....	6
1.6. Stauanlagenklassen	6
2. Hochwassersicherheit	7
2.1. Nachweis der Hochwassersicherheit	7
2.2. Initiale Staukote.....	7
2.3. Maximal zulässige Wasserspiegelkote	7
2.3.1. Gefahrenkote.....	8
2.3.2. Sicherheitsfreibord.....	8
2.4. Hochwasserereignis	10
2.4.1. Natürlicher Zufluss zur Stauanlage.....	11
2.4.2. Methodik zur Abschätzung des natürlichen Zuflusses	12
2.5. Entlastungsmöglichkeiten.....	15
2.6. Konstruktive Anforderungen an Entlastungsvorrichtungen	17
2.6.1. Verhinderung von Verklausung	17
2.6.2. Verhinderung von Kolkbildung.....	18
2.6.3. Verhinderung von Steuerungsausfällen	19
2.7. Besondere Situationen	19
2.7.1. Stauanlagen der Stauanlagenklasse III	19
2.7.2. Stauhaltungsdämme.....	19
2.7.3. Revisions- und Bauzustände	20
2.7.4. Hochwassersicherheit nach einem Erdbeben.....	20
3. Dimensionierungskriterien für Ablassvorrichtungen	21
3.1. Generelle Anforderungen	21
3.2. Absenkung des Stauspiegels bei unmittelbarer Gefahr eines unkontrollierten Wasserausflusses.....	21
3.3. Absenkung des Stauspiegels bei militärischer Bedrohung.....	22
3.4. Absenkung des Stauspiegels für Kontroll- und Unterhaltsarbeiten.....	22
3.5. Tiefhalten des Stauspiegels nach einer sicherheitsbedingten Stauspiegelabsenkung	22
3.6. Steuerung des Stauspiegels beim Ersteinstau	22
3.7. Beckenspülungen.....	23
3.8. Ableitung von Hochwassern	23
3.9. Konstruktive Anforderungen an Ablassvorrichtungen	23
4. Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen.....	24
4.1. Umfang der Prüfung	24
4.2. Prüfung der beweglichen Verschlüsse der Ablassvorrichtungen.....	24
4.3. Prüfung der beweglichen Verschlüsse der Entlastungsvorrichtungen (Hochwasserentlastungen)	25
4.4. Prüfung der beweglichen Verschlüsse von Flusswehren	25
4.5. Prüfung der beweglichen Verschlüsse von Rückhaltebecken	25
4.6. Protokoll der Prüfung.....	25
5. Wehrreglement.....	26
5.1. Zweck und Inhalt des Wehrreglements.....	26
5.2. Erarbeitung des Wehrreglements	27
5.3. Prüfung und Genehmigung des Wehrreglements durch die Aufsichtsbehörde	27
6. Literaturverzeichnis	28



Anhang 1 – Gängige Methoden zur Abschätzung von Hochwasserereignissen	30
Anhang 2 – Üblicher Ablauf der Prüfung der Funktionstüchtigkeit der beweglichen Verschlüsse einer Ablassvorrichtung	31



1. Einleitung

1.1. Ziele des Richtlinienenteils „Hochwassersicherheit und Stauseeabsenkung“

Der vorliegende Richtlinienenteil hat die Ziele, sowohl die Sicherheit einer Stauanlage bei Hochwasser als auch die Voraussetzungen für eine sicherheitsbedingte Stauseeabsenkung zu gewährleisten.

Zudem werden die Anforderungen an die Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen mit beweglichen Verschlüssen sowie an den Inhalt des Wehrreglements dargelegt.

Der Richtlinienenteil beschränkt sich auf die Sicherheit der Stauanlage mit dem Ziel, ein Versagen der Anlage, welches zu einem unkontrollierten Wasserausfluss führt, zu verhindern. Nicht Gegenstand dieser Richtlinie sind insbesondere die Bewältigung des Abflusses im Unterlauf und die damit verbundenen Belange des Hochwasserschutzes.

1.2. Nachweis der Hochwassersicherheit

Zum Nachweis der Hochwassersicherheit ist aufzuzeigen, dass Hochwasserereignisse in aussergewöhnlichen bis extremen Situationen zurückgehalten oder abgeleitet werden können, ohne die Sicherheit der Stauanlage zu gefährden. Als Hochwasser werden Zuflüsse in den Stauraum verstanden, unabhängig davon, ob diese natürlicher (z.B. aus Niederschlägen oder Schneeschmelze) oder betrieblicher (z.B. aus Zuleitungen, Turbinier- oder Pumpbetrieb) Natur sind.

Ein Nachweis der Hochwassersicherheit ist notwendig

- bei Neu- oder Umbauten,
- für bestehende Stauanlagen, wenn noch kein Nachweis der Hochwassersicherheit vorliegt,
- zur Berücksichtigung veränderter Annahmen eines vorgängigen Nachweises (insbesondere veränderter hydrologischer Verhältnisse),
- zur Berücksichtigung von Änderungen des Standes von Wissenschaft und Technik.

Anhand obiger Kriterien ist periodisch zu überprüfen, ob ein neuer Nachweis der Hochwassersicherheit notwendig ist. Bei Stauanlagen der Klasse I (vgl. Kapitel 1.6) soll dies im Rahmen der umfassenden Sicherheitsüberprüfung (alle 5 Jahre), bei Stauanlagen der Klasse II in der Regel alle 10 Jahre und bei Stauanlagen der Klasse III auf Anweisung der Aufsichtsbehörde geschehen.

1.3. Stauseeabsenkung

Der Stauspiegel soll bei einem drohenden unkontrollierten Ausfluss und zur Vornahme von Kontroll- und Unterhaltsarbeiten abgesenkt werden können. Daher legt dieser Richtlinienenteil Dimensionierungskriterien für die Ablassvorrichtungen fest.



1.4. Bestehende Stauanlagen

Die Aufsichtsbehörde soll dem Verhältnismässigkeitsprinzip bei der Umsetzung der Dimensionierungskriterien zur Stauseeabsenkung bei bestehenden Anlagen besondere Beachtung schenken.

1.5. Stauanlagen am Hochrhein und an der Aare unter direkter Bundesaufsicht

Für den Hochwassersicherheitsnachweis für Stauanlagen am Hochrhein und an der Aare unter direkter Bundesaufsicht sind die entsprechenden Vollzugshilfen (aktuell: [BFE & RPF 2013; BFE 2015]) heranzuziehen.

1.6. Stauanlagenklassen

Stauanlagen, welche der Stauanlagengesetzgebung unterstehen, werden in drei Klassen eingeteilt, an welche unterschiedliche Anforderungen gestellt werden. Die Einteilung in Klassen erfolgt nach folgenden Kriterien:

- Stauanlagen der Klasse I sind solche, welche die Kriterien von Art. 18 Abs. 1 Bst. a oder Bst. b StAV erfüllen.
- Stauanlagen der Klasse II sind solche mit einer Stauhöhe grösser oder gleich 5 m, welche das Grössenkriterium von Art. 3 Abs. 2 StAG erfüllen und nicht der Klasse I zugeteilt werden.
- Stauanlagen der Klasse III sind solche, welche das Grössenkriterium von Art. 3 Abs. 2 StAG nicht erfüllen oder eine Stauhöhe bis zu 5 m aufweisen.

Abbildung 1 zeigt die Stauanlagenklassen bezüglich der Stauhöhe und des Stauraumvolumens (vgl. Begriffsdefinitionen im Richtlinien teil A).

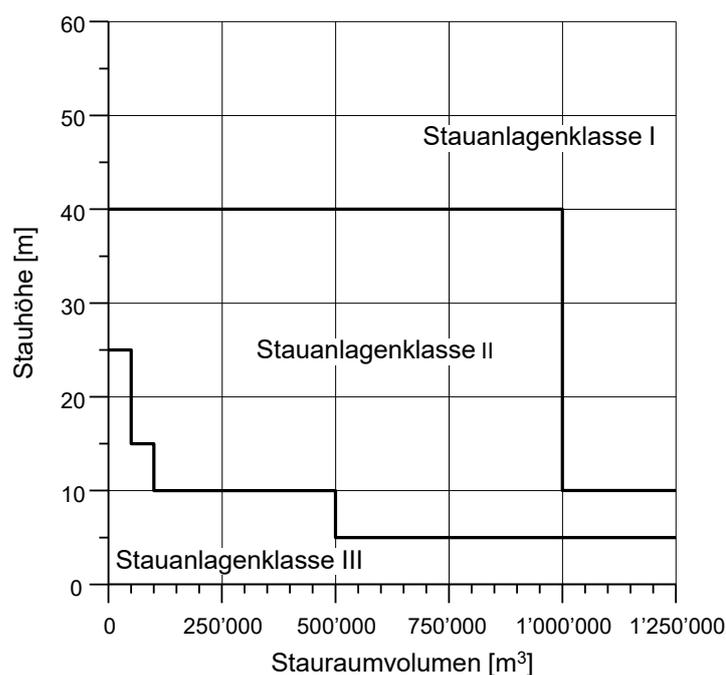


Abbildung 1: Definition der drei Stauanlagenklassen.



2. Hochwassersicherheit

2.1. Nachweis der Hochwassersicherheit

Zum Nachweis der Hochwassersicherheit ist aufzuzeigen, dass

- a) in einer aussergewöhnlichen und in einer extremen Situation die je festgelegten maximal zulässigen Wasserspiegelkoten nicht überschritten werden.

Die aussergewöhnliche und die extreme Situation sind definiert durch:

- die initiale Staukote (vgl. Kapitel 2.2),
- die maximal zulässige Wasserspiegelkote (vgl. Kapitel 2.3),
- das Hochwasserereignis (vgl. Kapitel 2.4),
- die einsetzbaren Entlastungsmöglichkeiten (vgl. Kapitel 2.5).

- b) die sicherheitsbedingten konstruktiven Anforderungen an Entlastungsvorrichtungen eingehalten sind (vgl. Kapitel 2.6).

2.2. Initiale Staukote

Die für den Nachweis der Hochwassersicherheit zu berücksichtigende initiale Staukote entspricht

- bei Stauanlagen mit aktiver Bewirtschaftung des Stauraumes dem maximalen betrieblichen Stauspiegel,
- bei Stauanlagen ohne aktive Bewirtschaftung des Stauraumes dem für die Bestimmung der Stauhöhe massgebenden Niveau (vgl. Richtlinienenteil A).

Bei **Hochwasserrückhaltebecken** ist anzunehmen, dass die initiale Staukote in der aussergewöhnlichen Situation dem für die Bestimmung der Stauhöhe massgebenden Niveau entspricht. Es darf jedoch angenommen werden, dass das Hochwasserereignis in der extremen Situation auf das initial leere Becken trifft.

2.3. Maximal zulässige Wasserspiegelkote

In der aussergewöhnlichen Situation liegt die maximal zulässige Wasserspiegelkote um den minimal erforderlichen Sicherheitsfreibord (vgl. Kapitel 2.3.2) unter der Gefahrenkote (vgl. Kapitel 2.3.1).

In der extremen Situation entspricht die maximal zulässige Wasserspiegelkote der Gefahrenkote (vgl. Kapitel 2.3.1).



2.3.1. Gefahrenkote

Die Gefahrenkote entspricht derjenigen Wasserspiegelkote, ab welcher die Sicherheit der Stauanlage gefährdet ist¹.

Bei überströmbaren Sperren soll die Stabilität des Absperrbauwerks unter der Annahme stationären Überströmens nachgewiesen werden.

Liegen keine anlagenspezifischen Betrachtungen vor, so entspricht die Gefahrenkote in der Regel

- bei homogenen Dämmen der Kronenkote (Abbildung 2),
- bei den übrigen Dämmen der Kote der Oberkante des dichtenden Elementes (Abbildung 3),
- bei Staumauern der Kronenkote bzw. der Kote der Brüstungsmauer (Abbildung 4).

2.3.2. Sicherheitsfreibord

Als Sicherheitsfreibord wird der Abstand von der Gefahrenkote bis zum höchsten Wasserspiegel definiert, welcher sich in der aussergewöhnlichen Situation einstellen kann (Abbildungen 2, 3 und 4).

Der Sicherheitsfreibord dient dazu, Schäden durch beispielsweise windinduzierten Wellenschlag in der aussergewöhnlichen Situation zu vermeiden. Richtwerte für den minimal erforderlichen Sicherheitsfreibord können Tabelle 1 entnommen werden. Diese Richtwerte sollten nur unterschritten werden, falls dies mit den anlagenspezifischen Eigenschaften des Stauraums begründet werden kann.

Höhe des Absperrbauwerks	$H \leq 10\text{m}$	$10\text{ m} < H < 40\text{ m}$	$H \geq 40\text{ m}$
Sicherheitsfreibord bei Mauern	0.5 m	Lineare Interpolation	1.0 m
Sicherheitsfreibord bei Dämmen - ohne wasserseitigen Blockwurf - mit wasserseitigem Blockwurf	1.0 m 1.0 m	Lineare Interpolation Lineare Interpolation	3.0 m 2.5 m

Tabelle 1: Richtwerte für den minimal erforderlichen Sicherheitsfreibord.

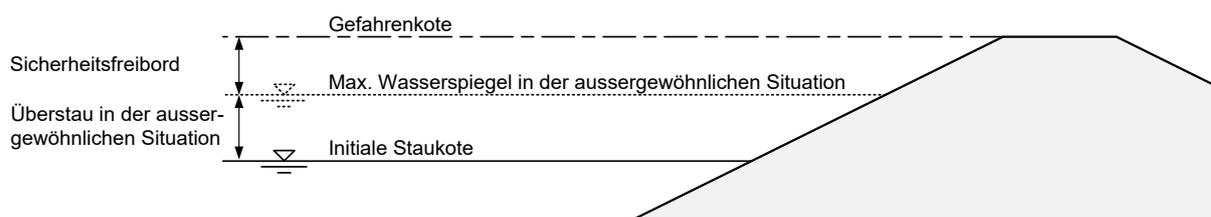


Abbildung 2: Gefahrenkote und Sicherheitsfreibord bei homogenen Schüttdämmen.

¹ Zur Ermittlung der Gefahrenkote sind die Einwirkungen und Sicherheitsfaktoren entsprechend dem Lastfall des extremen statischen Typs gemäss Richtlinienteil C1 anzusetzen.

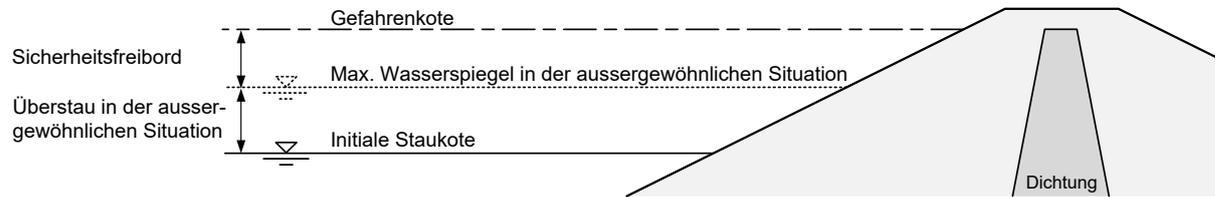


Abbildung 3: Gefahrenkote und Sicherheitsfreibord bei nicht-homogenen Schüttdämmen.

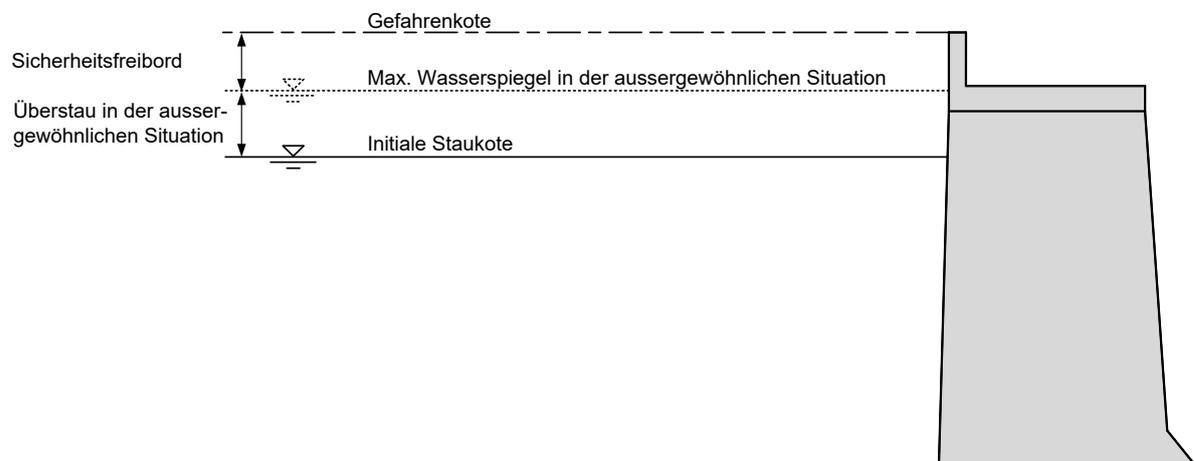


Abbildung 4: Gefahrenkote und Sicherheitsfreibord bei Staumauern.

Für **Wehre und Stauhaltungsdämme im Nahbereich** (vgl. Kapitel 2.7.2) werden keine Richtwerte für den minimalen Sicherheitsfreibord angegeben. Das Bemessungshochwasser (vgl. Kapitel 2.4) soll jedoch schadlos und ohne Überströmen des Absperrbauwerks abgeleitet werden können.

Für **Stauhaltungsdämme ausserhalb des Nahbereichs** (vgl. Kapitel 2.7.2) soll der einzuhaltende Sicherheitsfreibord vorbehältlich strengerer Anforderungen der Konzessionsbehörde mindestens 50 cm betragen.

Falls von starkem windinduziertem Wellengang an exponierter Lage, von erdbebeninduzierten Setzungen oder von Impulswellen infolge Massenbewegungen im Stauraum ausgegangen werden muss, so ist ein ausreichendes Gesamtfreibord (Freibord bezogen auf die initiale Staukote) vorzusehen, sodass die Sicherheit der Stauanlage nicht gefährdet werden kann.



2.4. Hochwasserereignis

Als Hochwasserereignis wird der im Rahmen einer aussergewöhnlichen oder extremen Situation anzunehmende Zufluss (Ganglinie) in den Stauraum verstanden. Dieser Zufluss kann natürlicher oder betrieblicher Natur sein und kann folgende Anteile beinhalten:

$Q_D(t)$	natürlicher Zufluss aus dem direkten Einzugsgebiet (vgl. Kapitel 2.4.1 & 2.4.2)
$Q_I(t)$	zugeleitete Wassermenge aus einem indirekten Einzugsgebiet (Zuleitungskapazität)
$Q_T(t)$	turbinierte Wassermenge aus einer oben liegenden Wasserkraftanlage (Turbinenkapazität)
$Q_P(t)$	gepumpte Wassermenge aus einer unten liegenden Wasserkraftanlage (Pumpkapazität)
$Q_R(t)$	rückfliessende Wassermenge aus einem Wasserschloss einer unten liegenden Wasserkraftanlage

Zum Nachweis der Hochwassersicherheit ist für die aussergewöhnliche Situation das Bemessungshochwasser $Q_B(t)$ und für die extreme Situation das Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$ zu ermitteln.

Das Bemessungs- und das Sicherheitshochwasser entsprechen denjenigen Ganglinien, welche unter Berücksichtigung von Retentions- und Entlastungskapazitäten zur höchsten Wasserspiegelkote führen. In der Regel sind daher Retentionsberechnungen für mehrere Szenarien und für mehrere Ganglinien eines einzelnen Szenarios durchzuführen.

Aussergewöhnliche Situation: Bemessungshochwasser

Das Bemessungshochwasser $Q_B(t)$ ergibt sich aus den folgenden Szenarien:

Szenario 1	$Q_B(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_R(t)$	direkte Zuflüsse, indirekte Zuflüsse, rückfliessende Wassermenge
Szenario 2	$Q_B(t) = Q_T(t)$	turbinierte Wassermenge
Szenario 3	$Q_B(t) = Q_P(t)$	gepumpte Wassermenge

Liegen redundante Steuerungssysteme² für den Turbinier- und Pumpbetrieb vor, so ist der Nachweis nur für direkte und indirekte Zuflüsse und rückfliessende Wassermengen zu erbringen:

$$Q_B(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_R(t)$$

Kann die zugeleitete Wassermenge $Q_I(t)$ aus einem indirekten Einzugsgebiet durch betriebliche Massnahmen unterbunden werden, so kann mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde von der Berücksichtigung der zugeleiteten Wassermenge abgesehen werden.

² Das Steuerungssystem soll bezüglich der Messung der Eingangsgrössen (z.B. Wasserstand), der Übermittlung der Eingangs- und Ausgangsgrössen, der Steuereinheit und der Stromversorgung redundant sein.



Extreme Situation: Sicherheitshochwasser

Das Szenario für das Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$ wird als die Summe der möglichen Anteile definiert:

$$Q_S(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_T(t) + Q_P(t) + Q_R(t)$$

Liegen redundante Steuerungssysteme³ für den Turbinier- und Pumpbetrieb vor, so ergibt sich das Sicherheitshochwasser aus den folgenden Szenarien

Szenario 1	$Q_S(t) = Q_D(t) + Q_I(t) + Q_R(t)$	direkte Zuflüsse, indirekte Zuflüsse, rückfliessende Wassermenge
Szenario 2	$Q_S(t) = Q_T(t)$	turbinierte Wassermenge
Szenario 3	$Q_S(t) = Q_P(t)$	gepumpte Wassermenge

Kann der Nachweis der Hochwassersicherheit für das Szenario 2 oder 3 der extremen Situation nicht geführt werden und liegen redundante Steuerungssysteme³ vor, so kann die Sicherheit bei Hochwasser auch durch eine Betriebseinschränkung gewährleistet werden. Hierzu ist sicherzustellen, dass stets mindestens so viel freies Rückhaltevolumen unterhalb der initialen Staukote zur Verfügung steht, dass die zu diesem Zeitpunkt gesamte aus dem Oberbecken turbinierbare (respektive aus dem Unterbecken pumpbare) Wassermenge aufgenommen werden kann. Zur Aufrechterhaltung der Betriebseinschränkung haben die Ablassvorrichtungen den Anforderungen zum Tiefhalten der Staukote nach Kapitel 3.5 zu genügen. Die entsprechenden Auflagen sollen von der Aufsichtsbehörde angeordnet werden.

2.4.1. Natürlicher Zufluss zur Stauanlage

Die natürlichen Anteile $Q_D(t)$ des Hochwasserereignisses sollen Wiederkehrperioden gemäss Tabelle 2 aufweisen.

Situation	Aussergewöhnliche Situation	Extreme Situation
Hochwasserereignis	Bemessungshochwasser	Sicherheitshochwasser
Wiederkehrperiode	1'000 Jahre	>> 1'000 Jahre

Tabelle 2: Wiederkehrperiode der natürlichen Anteile des Hochwasserereignisses.

Zur Ermittlung der Hochwasserganglinie kann eine allfällige Begrenzung dieser durch die Kapazität des Zuflussgerinnes berücksichtigt werden, sofern diese Kapazitätsbegrenzung nachgewiesen wird.

Für **Stauhaltungsdämme ausserhalb des Nahbereichs** (vgl. Kapitel 2.7.2) sollen die natürlichen Anteile des Bemessungs- resp. Sicherheitshochwassers vorbehaltlich strengerer Anforderungen durch die Konzessionsbehörde Wiederkehrperioden von mindestens 100 bzw. 300 Jahren aufweisen.

Für **Rückhaltebecken der Stauanlagenklasse III** kann die Aufsichtsbehörde die Anforderungen an die zu betrachtenden Hochwasserereignisse anpassen (vgl. Kapitel 2.7.1).

³ Das Steuerungssystem soll bezüglich der Messung der Eingangsgrössen (z.B. Wasserstand), der Übermittlung der Eingangs- und Ausgangsgrössen, der Steuereinheit und der Stromversorgung redundant sein.



2.4.2. Methodik zur Abschätzung des natürlichen Zuflusses

Die natürlichen Anteile eines Hochwasserereignisses sind durch wissenschaftlich fundierte, standortspezifische Studien abzuschätzen. Unsicherheiten bezüglich der verwendeten Methoden sind zu untersuchen und zu beurteilen. Es sollen nach Möglichkeit mehrere voneinander unabhängige Methoden verwendet werden.

Die von der Stauanlagenklasse abhängigen Minimalanforderungen bezüglich der Methodik zur Abschätzung des natürlichen Zuflusses sind Tabelle 3 zu entnehmen. Die Anwendungsgrenzen der einzelnen Methoden sind in Anhang 1 dargelegt.

Können diese Methoden den anlagenspezifischen Gegebenheiten nicht gerecht werden, so sind weiterführende Abklärungen vorzunehmen und verfeinerte Methoden zu verwenden.

Zur Abschätzung von Hochwasserereignissen in aussergewöhnlichen und extremen Situationen sind empirische und pseudo-empirische Methoden (vgl. Anhang 1) in der Regel ungeeignet.

Hochwasserereignis	Stauanlagenklasse I	Stauanlagenklasse II	Stauanlagenklasse III
Bemessungshochwasser	M1 und M2 + SG oder + NAM	M1 und M2 + SG oder + NAM	oder M1 M2 + SG oder + NAM
Sicherheitshochwasser	M3 und M4 + NAM zum Vergleich	ev. M3 M4 + NAM zum Vergleich	ev. M3 M4 + NAM zum Vergleich

Tabelle 3: Übersicht der Minimalanforderungen bezüglich der Methodik; M1-M5: Methoden 1-5 (vgl. Kapitel 2.4.2.), SG: Synthetische Ganglinie (vgl. Abschnitt: 2.4.2.1), NAM: Niederschlags-Abfluss-Modell (vgl. Abschnitt 2.4.2.2).

Übersicht der Methoden und Vorgehen

M1: Statistische Methoden basierend auf Zuflussmessreihen:

Diese Methoden erlauben die Abschätzung des Spitzenzuflusses. Wenn keine Angaben zur Ganglinie vorliegen, darf die Retentionswirkung nicht berücksichtigt werden. Statistische Methoden basierend auf Zuflussmessreihen setzen eine genügend lange Beobachtungsdauer der Zuflüsse und eine genügend feine zeitliche Auflösung der Messreihen voraus. Ist die Beobachtungsdauer nicht ausreichend (vgl. Anhang 1), so können bei Einzugsgebieten ohne Schnee und Gletscher zum Beispiel mit Hilfe der Verfahren Gradex [Guillot & Duband 1967] oder Agregee [Margoum 1994] Niederschlagsmessreihen miteinbezogen werden.

M2: Statistische Methoden basierend auf Niederschlagsmessreihen:

Diese Methoden erlauben die Abschätzung der Niederschlagsintensität. Um den Niederschlagsereignissen eine Hochwasserganglinie zuzuordnen, sind synthetische Ganglinien (vgl. Abschnitt 2.4.2.1) oder Niederschlagsabflussmodelle (vgl. Abschnitt 2.4.2.2) zu verwenden.



Statistische Methoden basierend auf Niederschlagsmessreihen setzen eine genügend lange Beobachtungsdauer der Niederschläge voraus. Ist diese nicht ausreichend (vgl. Anhang 1), so kann basierend auf der „besten Schätzung“ gemäss [MeteoSchweiz 2016, Version 2016 oder aktueller] extrapoliert werden. Wird die Zuverlässigkeit der Ergebnisse gemäss [MeteoSchweiz 2016] als „fragwürdig“ oder „ungenügend“ eingestuft oder liegt keine für das Einzugsgebiet repräsentative Niederschlagsmessstation vor, so ist die Datengrundlage des Hydrologischen Atlas der Schweiz ([BAFU 2007], Blatt 2.4) vorzuziehen. Ist die Beobachtungsdauer der Niederschläge nicht ausreichend, so können auch durch stochastische Verfahren (z.B. Neyman-Scott Schema, [Burton et al. 2004]) generierte Niederschlagsserien miteinbezogen werden.

Bezüglich der Wiederkehrperiode der Niederschläge ist die Annahme zu treffen, dass die Niederschläge und die dazugehörigen Hochwasserereignisse dieselbe Eintretenswahrscheinlichkeit aufweisen.

M3: Vorgehen zur Ermittlung des Sicherheitshochwassers basierend auf dem Bemessungshochwasser:

Dieses Vorgehen erlaubt es, die Ganglinie des natürlichen Zuflussanteils des Sicherheitshochwassers $Q_{D,S}(t)$ aus derjenigen des entsprechenden Anteils des Bemessungshochwassers $Q_{D,B}(t)$ abzuschätzen.

Bei bestehenden Anlagen: Durch Erhöhung des Zuflusses um 50% [Biedermann et al. 1988]:

$$Q_{D,S}(t) = 1.5 Q_{D,B}(t) \quad (\text{vgl. Abbildung 5})$$

Bei Neu- oder Umbauten: Durch Erhöhung des Zuflusses und der Ereignisdauer um je 50% [Biedermann et al. 1988, BFE 2008]:

$$Q_{D,S}(t) = 1.5 Q_{D,B}\left(\frac{2}{3}t\right) \quad (\text{vgl. Abbildung 5})$$

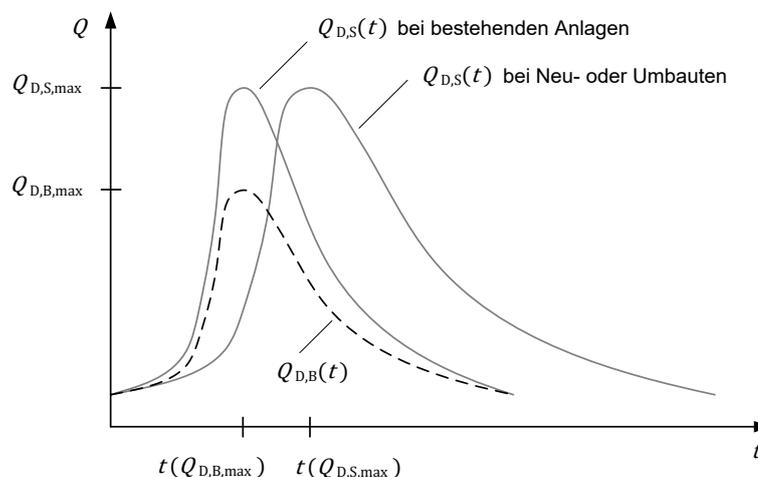


Abbildung 5: Schematische Zuflussganglinien des natürlichen Anteils des Bemessungs- und des Sicherheitshochwassers.



M4: Methoden basierend auf dem PMP-Verfahren (Probable Maximum Precipitation):

Diese Methoden erlauben die Abschätzung der standortspezifischen vermutlich grössten Niederschläge unter der Annahme ungünstigster meteorologischer Bedingungen (vgl. Anhang 1). Den Niederschlagsereignissen ist mit Hilfe eines Niederschlags-Abfluss-Modells (vgl. Abschnitt 2.4.2.2) eine Hochwasserganglinie zuzuordnen.

PMP-Karten für die Schweiz sind dargelegt in [Hertig et al. 2007]⁴. Falls andere PMP-Karten oder standortspezifische PMP-Studien herangezogen werden, sind die Abweichungen zu den erwähnten PMP-Karten zu begründen⁵.

2.4.2.1. Annahmen zu synthetischen Ganglinien

Werden ausgehend von Niederschlägen synthetische Hochwasserganglinien gebildet, so ist die Annahme zu treffen, dass das gesamte Niederschlagsvolumen zum Zuflussvolumen in den Stauraum beiträgt⁶. Davon abweichende Phänomene, wie sie für kleinere Wiederkehrperioden auftreten können, werden für die hier betrachteten Hochwasserereignisse nicht berücksichtigt. Kann der Beitrag zum Hochwasserereignis aus Schnee und Gletscher bedeutend sein, so ist dieser zu berücksichtigen; ggf. ist eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung vorzuziehen.

Falls keine weiteren spezifischen Abklärungen vorliegen, so kann in erster Näherung die synthetische Hochwasserganglinie nach Maxwell [Sinniger & Hager 1984]

$$Q(t) = \left(\frac{t}{t_{\max}} e^{\left(1 - \frac{t}{t_{\max}}\right)} \right)^n Q_{\max}$$

mit dem zugehörigen Hochwasservolumen

$$V = Q_{\max} t_{\max} \frac{e^n n!}{n^{n+1}}$$

angenommen werden. Die Zeit t_{\max} entspricht der Zeitdauer bis zur Hochwasserspitze; es kann angenommen werden, dass diese der Niederschlagsdauer entspricht. Werden ausgehend von Niederschlägen synthetische Hochwasserganglinien gebildet (M3), so soll für den Exponenten n der Wert 6 angesetzt werden. Abweichende Werte für n zwischen 1 und 6 können ausschliesslich berücksichtigt werden, falls diese durch Untersuchungen der spezifischen Charakteristiken des Einzugsgebietes ermittelt wurden.

⁴ Bis anhin gibt es wenig Erfahrung in der Anwendung dieser PMP-Karten. Die ermittelten Niederschläge (PMP) und Zuflüsse (PMF) sind daher mit den Ergebnissen anderer Methoden zu vergleichen und zu beurteilen.

⁵ Falls probabilistische Betrachtungen in die Bestimmung der PMP-Werte einfließen, sollen letztere einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von ca. 10^{-4} pro Jahr entsprechen.

⁶ Der sogenannte Volumen-Abfluss-Koeffizient wird somit zu 1.



2.4.2.2. Annahmen zur Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Ein Niederschlags-Abfluss-Modell erlaubt es, einem Niederschlagsereignis (ereignisbasierte Modellierung) oder einer Niederschlagszeitreihe (Langzeitsimulation) einen zeitabhängigen Zufluss zur Stauanlage zuzuordnen. Ein solches Modell soll das hydrologische Verhalten des Einzugsgebiets bei aussergewöhnlichen und extremen Ereignissen abbilden können.

- Die **ereignisbezogene Modellierung** ermöglicht es, ausgehend vom Niederschlagsereignis das dazugehörige Hochwasserereignis zu berechnen. In einem ersten Schritt soll das Volumen des Niederschlagsereignisses über dessen Zeitdauer hinweg verteilt werden. Hierzu kann zum Beispiel eine sogenannte Rainfall-Mass-Curve verwendet werden [Zeimetz 2017]. In einem zweiten Schritt soll ausgehend vom zeitabhängigen Niederschlag der resultierende Zufluss zur Stauanlage berechnet werden. Folgende Annahmen sind dabei zu treffen:
Die Anfangsbedingungen (wie Sättigung des Untergrundes, Dicke der Schneedecke und deren Sättigung etc.) sind bei der Modellierung als möglichst ungünstig anzusetzen oder aus den bei seltenen bis extremen Ereignissen vorherrschenden Anfangsbedingungen abzuleiten. Bei letzterer Vorgehensweise ist die Sensitivität der Zuflüsse bezüglich der Anfangsbedingungen aufzuzeigen.
Der Zufluss zur Stauanlage aus Schneeschmelze aus den verschiedenen Höhenlagen ist mithilfe eines hydrologischen Schneemodells zu berücksichtigen. Falls kein solches Modell und keine standortspezifischen Untersuchungen zu Schneeschmelzraten und Schneehöhen vorliegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Schneeschmelzrate 50 mm/Tag (Wasseräquivalent) [Würzer et al. 2016] beträgt und dass diese Schmelzrate über die gesamte Dauer des Niederschlagsereignisses anhält.
- Die **Langzeitsimulation** ermöglicht es, ausgehend von langen Zeitreihen der Eingangsgrössen (wie Niederschlag, Temperatur, Strahlung etc.) eine kontinuierliche lange Abflusszeitreihe zu berechnen, welche anschliessend extremwertstatistisch ausgewertet werden kann.

2.5. Entlastungsmöglichkeiten

Aussergewöhnliche Situation

Bei **Mauern** und **Schüttdämmen** soll das Bemessungshochwasser $Q_B(t)$ unter den Annahmen bewältigt werden können, dass

- a) die leistungsfähigste unter den "n" Entlastungs- und Ablassvorrichtungen⁷ mit beweglichen Verschlüssen ausser Betrieb ist ("n - 1" - Regel),
- b) kein Wasser über allfällige Triebwasserwege abgeführt werden kann. Es sei denn, die Zentrale ist überflutungssicher und die passive Wasserabgabe (z.B. durch Rohrturbinen in Segelstellung) oder der Weiterbetrieb der Maschinen (z.B. auf Grund zweier unabhängiger Hochspannungsleitungen zur Energieabfuhr) kann für die Dauer eines Ereignisses nachgewiesen werden. In jedem Fall dürfen höchstens "n - 1" Turbinen für den Nachweis berücksichtigt werden.

⁷ Als Entlastungs- und Ablassvorrichtungen sind Hochwasserentlastungen, Grundablässe, Mittelablässe, Umleitstollen, Wehrfelder oder regelbare Schleusen zu verstehen.



Bei **Flussstauhaltungen (Wehren)** soll das Bemessungshochwasser $Q_B(t)$ unter den Annahmen bewältigt werden können, dass

- a) die leistungsfähigste unter den "n" Entlastungs- und Ablassvorrichtungen⁸ mit beweglichen Verschlüssen ausser Betrieb ist ("n - 1" - Regel),
- b) alle Turbinen eingesetzt werden können, falls die passive Wasserabgabe oder der Weiterbetrieb der Maschinen nachgewiesen werden kann.

Bei **Rückhaltebecken**⁹ soll das Bemessungshochwasser $Q_B(t)$ unter der Annahme bewältigt werden können, dass

- allfällige Öffnungen (Grundablass oder Durchlass, mit oder ohne Rechen oder Bohlen-Verschlüssen) ausser Betrieb oder verstopft sind. Es sei denn, es werden ausreichende konstruktive Massnahmen getroffen, welche eine Verstopfung verhindern.

Extreme Situation

Bei **Mauern** soll das Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$ unter den Annahmen bewältigt werden können, dass

- a) alle Entlastungs- und Ablassvorrichtungen eingesetzt werden können,
- b) kein Wasser über allfällige Triebwasserwege abgeführt werden kann¹⁰.

Bei **Schüttdämmen** soll das Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$ unter den Annahmen bewältigt werden können, dass

- a) die leistungsfähigste unter den "n" Entlastungs- und Ablassvorrichtungen⁸ mit beweglichen Verschlüssen ausser Betrieb ist ("n - 1" - Regel),
- b) kein Wasser über allfällige Triebwasserwege abgeführt werden kann¹⁰.

Bei **Flussstauhaltungen (Wehren)** soll das Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$ unter den Annahmen bewältigt werden können, dass

- a) alle Entlastungs- und Ablassvorrichtungen eingesetzt werden können,
- b) alle Turbinen eingesetzt werden können, falls die passive Wasserabgabe oder der Weiterbetrieb der Maschinen nachgewiesen werden kann.

Bei **Rückhaltebecken**⁹ soll das Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$ unter der Annahme bewältigt werden können, dass

- allfällige Öffnungen (Grundablass oder Durchlass, mit oder ohne Rechen oder Bohlen-Verschlüssen) ausser Betrieb oder verstopft sind. Es sei denn, es werden ausreichende konstruktive Massnahmen getroffen, welche eine Verstopfung verhindern.

Muss davon ausgegangen werden, dass bei einer aussergewöhnlichen oder extremen Situation weitere Entlastungs- oder Ablassvorrichtungen nicht funktionsfähig oder nicht einsetzbar sein könnten, so dürfen diese nicht für den Nachweis der Hochwassersicherheit berücksichtigt werden.

⁸ Als Entlastungs- und Ablassvorrichtungen sind Hochwasserentlastungen, Grundablässe, Mittelablässe, Umleitstollen, Wehrfelder oder regelbare Schleusen zu verstehen.

⁹ Bei Rückhaltebecken der Stauanlagenklasse III kann die Aufsichtsbehörde abweichende Anforderungen vorsehen; vgl. Kap. 2.7.1.

¹⁰ Bei Pumpspeichieranlagen mit unabhängigen und redundanten Steuerungssystemen können mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde die Turbinen- und Pumpwassermengen zur Ableitung von Hochwasserereignissen der Szenarien 2 und 3 berücksichtigt werden.



2.6. Konstruktive Anforderungen an Entlastungsvorrichtungen

2.6.1. Verhinderung von Verklausung

Bei Gefahr eines Anstiegs des Wasserspiegels infolge Verklausung durch Treibgut (insbesondere Schwemmholz) sind vorbeugende Massnahmen zu treffen, zum Beispiel [STK 2017]:

- a) Verminderung des Treibguteintrags im Einzugsgebiet (vgl. Abschnitt 2.6.1.1)
- b) Durch- und Weiterleiten des Treibguts (vgl. Abschnitt 2.6.1.2)
- c) Rückhalt des Treibguts im Stauraum (vgl. Abschnitt 2.6.1.3)

2.6.1.1. Verminderung des Treibguteintrags in den Stauraum

Der Treibguteintrag in den Stauraum kann durch Waldpflege, Gewässerunterhalt und Massnahmen zur Sicherung der Böschungen reduziert werden. Auch kann der Treibguteintrag durch Rechen und Netze an den Zuflussgerinnen verringert werden.

2.6.1.2. Durch- und Weiterleiten des Treibgutes

Die Entlastungsvorrichtungen können so ausgebildet sein, dass das Treibgut durch- und weitergeleitet werden kann.

Diese sind nach Möglichkeit als freier Überfall ohne direkte Aufbauten (wie z.B. Wehrbrücken, Strassenbrücken oder Fussgängerstege) zu gestalten.

Die erforderlichen Abmessungen der Entlastungsöffnungen ergeben sich aus der zu erwartenden Baumlänge, welche anhand von Beobachtungen bei Hochwasser oder anhand der ufernahen Bestockung abgeschätzt werden kann. Die Breite der Entlastungsöffnung soll grösser sein als 80% der zu erwartenden Baumlänge [Godtland & Tesaker 1994]. Liegen hierzu keine Angaben vor, können für die minimale Breite der Entlastungsöffnung Richtwerte Tabelle 4 [CFBR 2013] entnommen werden.

Staukote	$z \leq 600$ m ü. M.	600 m ü. M. $< z < 1800$ m ü. M.	$z \geq 1800$ m ü. M.
Minimale Breite der Entlastungsöffnung	15 m	Lineare Interpolation	4 m

Tabelle 4: Minimale Breite der Entlastungsöffnung abhängig von der Staukote z .

Die Höhe der Entlastungsöffnung, welche gegeben ist durch den Abstand zwischen deren Schwelle und der Unterkante einer allfälligen Wehrbrücke oder anderen Aufbauten, soll mindestens 15% der zu erwartenden Baumlänge betragen, sofern die effektive Wehrbreite grösser als 110% der massgebenden Baumlänge ist. Liegt die Wehrbreite zwischen 80 und 110% der Baumlänge, soll die Höhe der Entlastungsöffnung mindestens 20% der Baumlänge betragen [Godtland & Tesaker 1994].

Ist der lichte Abstand zwischen der Wehrbrücke (oder anderen Aufbauten) und dem Wasserspiegel in der aussergewöhnlichen Situation (vgl. Abbildung 6) kleiner als die in Tabelle 5



dargelegten Werte [CFBR 2013], so ist von einer erhöhten Verklausungsgefahr auszugehen. Weiterführende Abklärungen sind dann vorzunehmen, um die tatsächliche Verklausungsgefahr zu beurteilen.

Überfallhöhe (vgl. Abbildung 6) in der aussergewöhnlichen Situation	$h_{\bar{u}} \leq 2 \text{ m}$	$h_{\bar{u}} > 2 \text{ m}$
Mindestmass des lichten Abstands (vgl. Abbildung 6) in der aussergewöhnlichen Situation	2 m	1.5 m

Tabelle 5: Mindestmass des lichten Abstands zwischen der Wehrbrücke (oder anderen Aufbauten) und dem Wasserspiegel, bei dessen Unterschreitung eine erhöhte Verklausungsgefahr besteht.

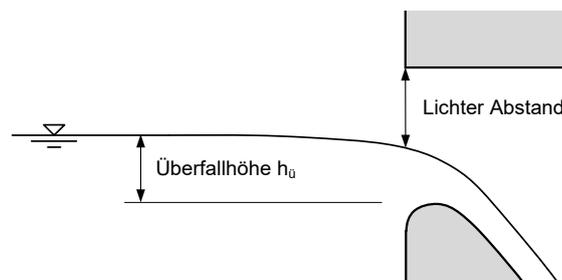


Abbildung 6: Überfallhöhe und lichter Abstand bei Entlastungsvorrichtungen.

2.6.1.3. Rückhalt des Treibguts im Stauraum

Ein Rückhalt im Stauraum kommt generell eher für Stauanlagen mit relativ grossem Ausbaugrad (Verhältnis Stauvolumen zu Jahresabflussfracht) von mindestens 0.2 und kleinen Stauspiegelschwankungen in Frage. Das Treibgut kann durch vorgelagerte Rechen, Tauchwände oder Schwimmbarrieren im Stauraum zurückgehalten werden. Diese Vorrichtungen sind nach dem Stand der Technik zu bemessen. Sie sind in Bereichen geringer Fließgeschwindigkeiten anzuordnen; daher ist ein ausreichend grosser Abstand zur Entlastungsvorrichtung vorzusehen.

2.6.2. Verhinderung von Kolkbildung

Um Kolkbildung zu vermeiden, welche die Stabilität des Absperrbauwerks gefährden könnte, ist der Fuss des Absperrbauwerks erosionssicher auszuführen. Folgende Grundsätze sind dabei zu beachten:

- Der Abfluss über die Entlastungsvorrichtungen ist in einem Energieumwandlungsbauwerk (Tosbecken) zu beruhigen oder, wenn es die topografischen und geologischen Bedingungen erlauben, über eine Schanze ins Unterwasser abzuführen.
- Falls kein Tosbecken am Sperrfuss vorgesehen ist, ist die Geometrie des sich bildenden Kolks zu ermitteln und gegebenenfalls auch die Stabilität des Absperrbauwerks in diesem Bereich nachzuweisen.
- Bei Geschiebesperren ist die erhöhte Kolkwirkung infolge des Geschiebes zu berücksichtigen.



2.6.3. Verhinderung von Steuerungsausfällen

Ein Ausfall der Steuerung der beweglichen Verschlüsse der Entlastungsvorrichtungen ist mit Hilfe von robusten und redundanten Systemen zu vermeiden. Zudem sind Rückfallsysteme vorzusehen. Folgende Grundsätze sind dabei zu beachten:

- Messwertgeber, Steuerung und Antriebe sind robust auszuführen. Die Messwertgeber und die Steuerung sind redundant vorzusehen. Eine unabhängige Notstromversorgung ist vorzuhalten (i.d.R. USV-Anlage für die Steuerung und Notstromgruppe für die Antriebe).
- Werden die beweglichen Verschlüsse fernbedient, so soll die Möglichkeit bestehen, diese auch lokal zu steuern.
- Die beweglichen Verschlüsse sollen sich stets auch im Handbetrieb betätigen lassen.
- Selbst während einer extremen Situation sollen die Vorrichtungen für den Handbetrieb, die Antriebe und eine Steuerung zugänglich bleiben. Die Energieversorgung wie auch deren Leitungskanäle dürfen durch das Hochwasser nicht beeinträchtigt werden können.

2.7. Besondere Situationen

2.7.1. Stauanlagen der Stauanlagenklasse III

Bei Stauanlagen der Stauanlagenklasse III kann die Aufsichtsbehörde

- die aussergewöhnliche Situation anpassen. So können beispielsweise die Anforderungen bezüglich des Bemessungshochwassers oder des erforderlichen Sicherheitsfreibordes verringert werden.
- auf einen Nachweis der extremen Situation verzichten, falls die entsprechenden Anforderungen zum Schutz der Bevölkerung vor Naturgefahren für den Überlastfall gemäss [BWG 2001] erfüllt werden.

2.7.2. Stauhaltungsdämme

Als Stauhaltungsdämme werden Seitendämme bezeichnet, welche sich im Einflussbereich einer Flusstauhaltung befinden. Der Einflussbereich erstreckt sich maximal über die konzessionierte Flussstrecke beziehungsweise bis zum luftseitigen Fuss einer oberwasserseitig liegenden Stauanlage (vgl. Figur A13 im Richtlinienenteil A).

Für Stauhaltungsdämme im Nahbereich eines Wehres¹¹ legt der vorliegende Richtlinienenteil die Anforderungen an die Hochwassersicherheit fest.

Für Stauhaltungsdämme ausserhalb des Nahbereiches eines Wehres¹¹ gelten die entsprechenden Konzessionsbestimmungen. Der vorliegende Richtlinienenteil legt lediglich Mindestanforderungen fest.

Die Aufsichtsbehörde kann nach Anhörung der für den Hochwasserschutz zuständigen kantonalen Behörden für gewisse Abschnitte der Stauhaltungsdämme strengere Anforderungen stellen.

¹¹ Die Aufsichtsbehörde legt den Nahbereich eines Wehres fest; hierzu wird der Einfluss des Nahbereichs auf die Stabilität des Wehres berücksichtigt.



2.7.3. Revisions- und Bauzustände

Für Revisions- und Bauzustände sind die abzuleitenden Hochwasserereignisse unter Beachtung der möglichen Auswirkungen für Dritte festzulegen.

Revisionsarbeiten an Entlastungs- und Ablassvorrichtungen sind möglichst ausserhalb der Hochwassersaison durchzuführen.

2.7.4. Hochwassersicherheit nach einem Erdbeben

Nach einem Erdbeben soll ein Hochwasserereignis mit einer Wiederkehrperiode von mindestens 10 Jahren bewältigt werden können (vgl. Richtlinien teil C3, Kapitel 2.2.).



3. Dimensionierungskriterien für Ablassvorrichtungen

3.1. Generelle Anforderungen

Die Ablassvorrichtungen sind hinsichtlich folgender Zwecke zu dimensionieren:

- a) Absenkung des Stauspiegels bei unmittelbarer Gefahr eines unkontrollierten Wasserausflusses (vgl. Kap. 3.2)
- b) Absenkung des Stauspiegels bei militärischer Bedrohung (vgl. Kap. 3.3)
- c) Absenkung des Stauspiegels für Kontroll- und Unterhaltsarbeiten (vgl. Kap. 3.4)
- d) Tiefhalten des Stauspiegels nach einer Stauspiegelabsenkung (vgl. Kap. 3.5)
- e) Regulierung des Stauspiegels beim Ersteinstau (vgl. Kap. 3.6)
- f) Spülung des Stauraums (vgl. Kap. 3.7)
- g) Ableitung von Hochwassern (vgl. Kap. 3.8)

Die Lage der Ablassvorrichtung ist so vorzusehen, dass diese den obigen Zielen unter Beachtung der voraussichtlichen Entwicklung der Sedimentablagerung und möglicher Massenbewegungen im Stauraum gerecht werden können.

3.2. Absenkung des Stauspiegels bei unmittelbarer Gefahr eines unkontrollierten Wasserausflusses

Die Wasserdruckkraft soll ausgehend von der initialen Staukote (gemäss Kap. 2.2) innert 8 Tagen halbiert werden können. Zudem soll der Stauraum innert der in Tabelle 6 festgelegten maximalen Entleerungszeit entleert werden können¹². Dabei sind Zuflüsse zu berücksichtigen, welche den mittleren langjährigen natürlichen Sommerzuflüssen entsprechen. Allfällige turbinierbare Wassermengen dürfen der Ablasskapazität zugerechnet werden.

Stauvolumen	$V \leq 1 \text{ Mio. m}^3$	$1 \text{ Mio. m}^3 < V < 10 \text{ Mio. m}^3$	$V \geq 10 \text{ Mio. m}^3$
Maximale Entleerungszeit	(1 bis) 3 Tage	Lineare Interpolation	21 Tage

Tabelle 6: Entleerungszeit abhängig vom Stauvolumen.

Die zur Entleerung erforderliche Kapazität der Ablassvorrichtungen kann in Absprache mit der Aufsichtsbehörde unter Berücksichtigung der Abflusskapazität des Vorfluters angepasst werden.

¹² Das anlagenspezifische Entleerungsziel soll in Absprache mit der Aufsichtsbehörde festgelegt werden. Dabei sollen die zu erwartenden Schäden an Dritten infolge eines Versagens der auf das Entleerungsziel abgesehenen Stauanlage beachtet werden.



3.3. Absenkung des Stauspiegels bei militärischer Bedrohung

Stauanlagen, welche die Kriterien zur Installation einer Wasseralarmeinrichtung gemäss Art. 11 StAG und Art. 26 StAV erfüllen, sollen bei einer militärischen Bedrohung innert 3 Tagen bis zur militärisch kritischen Kote abgesenkt werden können¹³. Dabei sind Zuflüsse zu berücksichtigen, welche den mittleren langjährigen Sommerzuflüssen entsprechen. Allfällige turbinierbare Wassermengen dürfen der Ablasskapazität zugerechnet werden.

Die militärisch kritische Kote entspricht bei Staumauern derjenigen Kote, bei welcher die Mauer 15 m stark ist, bzw. bei Staudämmen derjenigen Kote, welche 20 m unter der Dammkrone liegt. Die militärisch kritische Kote kann höher festgelegt werden, falls keine hohe Gefahr gemäss Art. 26 Abs. 2 StAV besteht, wenn der Stauspiegel auf dieser Kote liegt.

Die zur Absenkung erforderliche Kapazität der Ablassvorrichtungen kann in Absprache mit der Aufsichtsbehörde unter Berücksichtigung der Abflusskapazität des Vorfluters angepasst werden.

3.4. Absenkung des Stauspiegels für Kontroll- und Unterhaltsarbeiten

Für die Anforderungen an die Kapazität der Ablassvorrichtungen zur Absenkung des Stauspiegels für Kontroll- und Unterhaltsarbeiten werden keine Richtwerte angegeben.

3.5. Tiefhalten des Stauspiegels nach einer sicherheitsbedingten Stauspiegelabsenkung

Die Kapazität der Ablassvorrichtungen soll ausreichend sein, um den Wasserspiegel im Stauraum tief halten zu können. Es ist hierzu aufzuzeigen, dass direkte natürliche Zuflüsse bis zu einer Wiederkehrperiode von 5 Jahren ohne einen Wiederanstieg des Stauspiegels abgeführt werden können. Hierfür ist anzunehmen, dass sich der abgesenkte Stauspiegel auf derjenigen Kote befindet, welche einer Halbierung der Wasserdruckkraft entspricht. Diese Kote liegt üblicherweise bei 71% der Stauhöhe oder höher. Allfällige turbinierbare Wassermengen dürfen der Ablasskapazität zugerechnet werden.

Diese Anforderung findet keine Anwendung bei Flusstauhaltungen, Anlagen zum Schutz vor Naturgefahren und denjenigen Anlagen, welche das geometrische Unterstellungskriterium gemäss Art. 2 Abs. 1 StAG nicht erfüllen.

3.6. Steuerung des Stauspiegels beim Ersteinstau

Die Anforderungen an die Kapazität der Ablassvorrichtungen zur Steuerung des Stauspiegels beim Ersteinstau sind durch diejenigen zum Tiefhalten der Staukote nach einer sicherheitsbedingten Stauspiegelabsenkung abgedeckt.

¹³ Ist diese Anforderung bei einer bestehenden Stauanlage nicht erfüllt, so soll die Ablasskapazität deswegen nicht erweitert werden müssen. Die Ablasskapazität darf jedoch nicht verringert werden.



3.7. Beckenspülungen

Anforderungen an die Kapazität der Ablassvorrichtungen zur Spülung des Stauraums sind primär betrieblicher Natur. Sie sind daher nicht Gegenstand dieses Richtlinienenteils.

3.8. Ableitung von Hochwassern

Ablassvorrichtungen können zur Gesamtableitkapazität einer Anlage beitragen, vorausgesetzt sie lassen sich bei aussergewöhnlichen und extremen Hochwasserereignissen auch betätigen. Weitere Angaben hierzu sind im Kapitel 2 dargelegt.

3.9. Konstruktive Anforderungen an Ablassvorrichtungen

Ablassvorrichtungen sind so auszubilden, dass eine Verstopfung durch Geschiebe sowie eine Blockierung der beweglichen Verschlüsse verhindert werden kann. Die Querschnittsflächen, Einlaufrechen und Abstände zwischen den Revisions- und Betriebsverschlüssen sind entsprechend zu bemessen. Die Anlageteile sollen ferner so ausgestaltet sein, dass deren Funktionstüchtigkeit durch Eisbildung nicht beeinträchtigt werden kann.

Bei Verstopfungsgefahr durch Stauraumsedimente sind entsprechende vorbeugende konstruktive Massnahmen oder regelmässige Spülungen zum Zweck der Gewährleistung eines sedimentfreien Einlauftrichters vorzusehen.

Für maschinelle Antriebe von beweglichen Verschlüssen ist eine Notstromversorgung vorzusehen. Diese sollen sich stets auch im Handbetrieb betätigen lassen. Bei Stauanlagen der Klasse III ist es in der Regel ausreichend, ausschliesslich manuelle Antriebe vorzusehen.

Bei fernbedienten Verschlüssen soll die Öffnung stufenweise erfolgen, um ein unbeabsichtigtes vollständiges Öffnen zu vermeiden.

Bei Neubauten von Stauanlagen der Klassen I und II sind die Ablassvorrichtungen mit mindestens zwei beweglichen Verschlüssen auszurüsten (Revisions- und Betriebsverschluss).



4. Prüfung der Funktionstüchtigkeit der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen

4.1. Umfang der Prüfung

Die Funktionstüchtigkeit sämtlicher beweglicher Verschlüsse ist mindestens einmal im Jahr zu prüfen, sofern diese nicht im Laufe des Jahres in Betrieb waren.

Alle Komponenten sind dabei zu prüfen. Die Prüfung umfasst insbesondere

- die Antriebe (einschliesslich der manuellen Betätigung),
- die Steuerung (lokale Steuerung, Fernsteuerung, Regelung) und
- die Energieversorgung (einschliesslich der Notstromversorgung).

Das Zusammenspiel der einzelnen Komponente ist ebenfalls zu prüfen.

Zudem ist der Zustand der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen zu kontrollieren. Die Kontrolle umfasst insbesondere

- die hydromechanischen Teile (Schützen, Schieber, Klappen, Lager, Führungsprofile, Dichtungselemente, Antriebe),
- die Einlaufbauwerke,
- nicht benetzte Stollen und Schächte,
- die Auslaufbauwerke, Schussrinnen und
- den Sperrenfuss.

Der Ablauf der Prüfung der Funktionstüchtigkeit ist im Überwachungsreglement festzulegen. Die Prüfung ist nach Möglichkeit durch diejenigen Personen durchzuführen, welche gemäss dem Wehr- und Notfallreglement die beweglichen Verschlüsse im Ereignisfall betätigen.

Die Prüfung der Funktionstüchtigkeit der beweglichen Verschlüsse der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen soll unter ähnlichen Bedingungen erfolgen, wie sie im Falle einer Ausnahmesituation, die eine Betätigung dieser Verschlüsse erfordert, auftreten können. Insbesondere hat die Prüfung mit Wasserablass (als „Nassprüfung“) und bei hohem Stauspiegel zu erfolgen. Der für die Prüfung minimale Stauspiegel ist im Überwachungsreglement festzulegen.

Vor Beginn der Funktionsprüfung soll der Zustand der Entlastungsbauwerke (einschliesslich der Stollen und der Schussrinne) überprüft werden. Hindernisse wie Schnee oder Ablagerungen sind zu entfernen. Zudem ist sicherzustellen, dass sich keine Personen im durch die Prüfung betroffenen Fliessgewässer oder in seiner unmittelbaren Nähe befinden.

4.2. Prüfung der beweglichen Verschlüsse der Ablassvorrichtungen

Zur Prüfung der beweglichen Verschlüsse der Ablassvorrichtungen mit Wasserablass ist es ausreichend, den Betriebsverschluss teilweise zu öffnen. Die Öffnungsweite ist im Überwachungsreglement festzulegen; diese beträgt in der Regel 10 cm. Der Verschluss kann unmittelbar darauf folgend wieder geschlossen werden, so dass die abfliessende Wassermenge gering bleibt. Nach dieser Teilöffnung des Betriebsverschlusses kann dieser im Schutze des geschlossenen Revisionsverschlusses oder eines Dammbalkens vollständig geöffnet werden. Das Standardvorgehen ist im Anhang 2 dargelegt.



4.3. Prüfung der beweglichen Verschlüsse der Entlastungsvorrichtungen (Hochwasserentlastungen)

Die beweglichen Verschlüsse der Entlastungsvorrichtungen (wie Tafelschützen, Segment-schützen und Klappen) sind ebenfalls einer Funktionsprüfung zu unterziehen. Sofern es die Abflussverhältnisse zulassen, sind die Verschlüsse mit Wasserablass zu prüfen. Andernfalls ist eine detaillierte Kontrolle der Antriebe vorzunehmen und nach Möglichkeit eine vollständige Öffnung (im Trockenem) durchzuführen.

4.4. Prüfung der beweglichen Verschlüsse von Flusswehren

Die beweglichen Verschlüsse der Entlastungsvorrichtungen von Flusstauhaltungen sind, sofern die Verschlüsse nicht im Laufe des Jahres in Betrieb waren, ebenfalls einer Funktionsprüfung zu unterziehen. Die jährliche Funktionsprüfung beschränkt sich auf eine teilweise Öffnung.

Prüfungen der Funktionstüchtigkeit durch ein vollständiges Öffnen sind gemäss einer mehr-jährigen Planung für die einzelnen Verschlüsse vorzusehen, sofern die Betriebsbedingungen dies erlauben und dadurch keine Gefährdung für die Unterlieger entsteht.

4.5. Prüfung der beweglichen Verschlüsse von Rückhaltebecken

Die beweglichen Verschlüsse der Ablassvorrichtungen von Rückhaltebecken und von Bauwerken zur Sohlenstabilisierung können trocken geprüft werden.

4.6. Protokoll der Prüfung

Die Prüfung der Funktionstüchtigkeit ist zu protokollieren. Das Protokoll umfasst insbesondere den Ablauf der Prüfung, die Öffnungsweite, die Dauer der Öffnungs- und Schliessvorgänge, die Hydraulikdrücke, Vermerk zur manuellen Betätigung, allfällige Vorkommnisse, Abweichungen vom Vorgehen gemäss dem Überwachungsreglement.

Die Resultate der Prüfung der Funktionstüchtigkeit werden von der erfahrenen Fachperson ausgewertet und im Jahresbericht beurteilt. Hierzu sollen Sollwerte und frühere Messwerte herangezogen werden. Das Protokoll der Prüfung der Funktionstüchtigkeit ist dem Jahresbericht beizulegen.



5. Wehrreglement

5.1. Zweck und Inhalt des Wehrreglements

Für alle Stauanlagen, welche über Entlastungs- oder Ablassvorrichtungen mit beweglichen Verschlüssen verfügen, ist durch den Betreiber ein Wehrreglement zu erstellen und der Aufsichtsbehörde zur Genehmigung zu unterbreiten.

Im Wehrreglement sind Handlungsanweisungen darzulegen, wie bei Hochwasserereignissen die Bedienung der beweglichen Verschlüsse zu erfolgen hat. Das Wehrreglement legt ausschliesslich den sicherheitsrelevanten, jedoch nicht den betrieblichen Einsatz der beweglichen Verschlüsse fest. Insbesondere festzulegen sind

- die Stellung der beweglichen Verschlüsse in Abhängigkeit des Wasserstandes (in der Regel bis hin zu deren vollständigen Öffnung, jedoch mindestens bis hin zu derjenigen Öffnungshöhe, bei der das Sicherheitshochwasser abgeführt werden kann),
- die Voraussetzungen, unter welchen die Stauanlage zu bemannen ist (Wetterlage, Wasserstand),
- das Vorgehen zur manuellen Betätigung der Verschlüsse, falls die Steuerung ausfallen sollte.

Sollen die Zuflüsse bis hin zum Sicherheitshochwasser abgeleitet werden, ohne die beweglichen Verschlüsse zu öffnen, so ist im Wehrreglement festzuhalten, dass zur Bewältigung eines Hochwasserereignisses die beweglichen Verschlüsse nicht zu betätigen sind.

Zudem beinhaltet das Wehrreglement auch:

- die dem Nachweis zur Hochwassersicherheit zugrunde liegenden Annahmen (Bemessungshochwasser $Q_B(t)$, Sicherheitshochwasser $Q_S(t)$, initiale Staukote, Gefahrenkote, Sicherheitsfreibord, berücksichtigte Entlastungskapazitäten, Referenzen auf die entsprechenden hydrologischen Studien)
- das Volumen des Stauraums als Funktion der Staukote (Speicherinhaltsbeziehung)
- die Kapazität der Ablass- und Entlastungsvorrichtungen als Funktion der Staukote
- die Kapazität der Turbinen und die tiefstmögliche Staukote zur Turbinierung
- die technische Angaben und Skizzen der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen
- die Standorte zur Betätigung der beweglichen Verschlüsse der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen

Das Wehrreglement soll an allen Standorten abgelegt werden, an denen die beweglichen Verschlüsse der Entlastungs- und Ablassvorrichtungen betätigt werden können.



5.2. Erarbeitung des Wehrreglements

Bei der Erarbeitung des Wehrreglements ist Folgendes zu beachten:

- Der Einsatz der beweglichen Verschlüsse der Entlastung- und Ablassvorrichtungen bei Hochwasser ist so vorzusehen, dass der Spitzenabfluss den zu erwartenden Spitzenzufluss in den Stauraum nicht übersteigt¹⁴.
- Der Abfluss soll langsam erhöht werden; schnelle Abflussänderungen sind nach Möglichkeit zu vermeiden.

5.3. Prüfung und Genehmigung des Wehrreglements durch die Aufsichtsbehörde

Die Aufsichtsbehörde prüft, ob die im Reglement beschriebene Vorgehensweise es erlaubt, Hochwasserereignisse bis hin zum Sicherheitshochwasser zu bewältigen.

Weitere Aspekte, insbesondere ökologischer und betrieblicher Natur, sind nicht Bestandteil der Prüfung noch der Genehmigung des Reglements.

Die Aufsichtsbehörde stellt den kantonalen Behörden des Bevölkerungsschutzes auf Anfrage eine Kopie des genehmigten Wehrreglements zur Verfügung.

¹⁴ Mit den zuständigen kantonalen Behörden können z.B. zum Zwecke des Hochwasserschutzes abweichende Vereinbarungen getroffen werden.



6. Literaturverzeichnis

BAFU (2007). Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES.

Barben, M. (2001). Beurteilung von Verfahren zur Abschätzung seltener Hochwasserabflüsse in mesoskaligen Einzugsgebieten. Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern, Bern.

BFE (2008). Basisdokument zum Nachweis der Hochwassersicherheit, Sicherheit der Stauanlagen.

BFE (2015). Vollzugshilfe zur Stauanlagengesetzgebung betreffend den Bau und den Betrieb von Stauanlagen an der Aare unter direkter Bundesaufsicht.

BFE & RPF (2013). Sicherheitstechnische Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Stauanlagen am Hochrhein.

Biedermann, R., Delley, P., Flury, K., Hauenstein, W., Lafitte, R. & Lombardi, G. (1988). Safety of Swiss Dams against Floods; Design Criteria and Design Flood. *Trans. 16th ICOLD Congress*, San Francisco, CA, Question No. 63, R. 22, 345-369.

Burton, A., Kilsby, C. G., Moaven-Hashemi, A., & O'Connell, P. E. (2004). Neyman-Scott Rectangular Pulses Rainfall Simulation System. BETWIXT Technical Briefing Note 2.

BWG (2001). Hochwasserschutz an Fließgewässern, Wegleitung.

BWG (2003). Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Praxishilfe, Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 4.

CFBR (2013). Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages. Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR).

Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.

Davison, A. C. & R. L. Smith (1990). Models for Exceedances over High Thresholds. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)* **52**(3), 393-442.

Fréchet, M. (1927). Sur la loi de probabilité de l'écart maximum. *Annales de la société polonaise de mathématique (Rocznik polskiego tow. matematycznego)* **5**, 93-116.

Godtland, K., & Tesaker, E. (1994). Clogging of spillways by trash. *Proc. 18th ICOLD Kongress*, Durban, 543–557.

Guillot, P. & Duband, D. (1967). La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. *International Association of Hydrological Sciences Publications* **84**, 560-569.

Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. New York, Columbia University Press.

Hertig, J.-A., Fallot, J.-M. & Brena, A. (2007). Etablissement des cartes de précipitations extrêmes pour la Suisse, Méthode d'utilisation des cartes de PMP pour l'obtention de la PMF, Projet Cruex, Directives crues de l'OFEN.

Hingray, B., Picouet, C. & Musy, A. (2014). *Hydrology - a science for engineers*. Boca Raton, CRC Press.



- Jenkinson, A. F. (1955). The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **81**(348), 158-171.
- Kan, C. (1995). Die höchsten in der Schweiz beobachteten Abflussmengen bis 1990. Diplomarbeit in der Gruppe für Hydrologie des Geographischen Instituts der Universität Bern, Publikation Gewässerkunde (169), Bern.
- Kölla, E. (1987). Estimating flood peaks from small rural catchments in Switzerland. *Journal of Hydrology* **95**, 203-225.
- Kürsteiner, L. (1917). Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur. *Schweiz. Bauzeitung* **1**, 4–8, Zürich.
- Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *Transactions, American Society of Civil Engineers* **20**, 1–56.
- Margoum, M., Oberlin, G., Lang, M., & Weingartner, R. (1994). Estimation des crues rares et extrêmes : principes du modèle Agregée. *Hydrologie Continentale* **9**(1), 85-100.
- Melli, E. (1924). Die Dimensionierung städtischer Kanäle, *Schweizerische Bauzeitung* **83/84**, 137-141.
- MeteoSchweiz (2016). Extremwertanalysen. <<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klima-extreme/extremwertanalysen.html>>.
- Meylan, P., Favre, A. C. & Musy, A. (2008). Hydrologie fréquentielle: une science prédictive. PPUR presses polytechniques.
- Müller, R. (1943). Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauung. *VAW-Mitteilung* 4 (Meier-Peter, ed.), Versuchsanstalt für Wasserbau, ETH Zürich..
- Sinniger, R. & Hager, W. H. (1984). Retentionsvorgänge in Speicherseen. *Schweizer Ingenieur und Architekt* **102**(26), 535-539.
- STK (2017). Schlussbericht Arbeitsgruppe Schwemmholz. Schweizerisches Talsperrenkomitee, www.swissdams.ch (*in Vorbereitung*).
- Weingartner, R. (1999). Regionalhydrologische Analyse - Grundlagen und Anwendungen. *Beiträge zur Hydrologie der Schweiz* **37**.
- WMO (2009). Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). Geneva, World Meteorological Organization.
- Würzer, S., Jonas, T., Wever, N. & Lehning, M. (2016). Influence of initial snowpack properties on runoff formation during rain-on-snow events. *Journal of Hydrometeorology* **17**(6), 1801–1815.
- Zeimetz, F. (2017). Development of a methodology for extreme flood estimations in alpine catchments for the verification of dam safety. In: Schleiss, A.J. (Ed.), Communication N° 68. Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland, ISSN 1661-1179.
- Zeller, J. (1975). Berechnung der Abflusswassermenge. Beilage zur Vorlesung "Wildbach- und Hangverbau", Abteilung VI, ETH Zürich.



Anhang 1 – Gängige Methoden zur Abschätzung von Hochwasserereignissen

	Methoden	Referenzen	Anwendungsbereich		
			Wiederkehrperiode [Jahre]	Grösse des Einzugsgebiets [km ²]	Beschaffenheit des Einzugsgebiets
M1	Statistische Extrapolation der Zuflüsse mit Hilfe von Extremwertverteilungen Verwendete Datengrundlage: „Annual flood series AFS“ oder „Peak over treshhold POT“	[Fréchet 1927, Gumbel 1958, Coles 2001] AFS: [Jenkinson 1955] POT: [Davison & Smith 1990]	bis zu 2-3 mal die Beobachtungsperiode (AFS)	-	Stationaritätstests sind durchzuführen. Dies gilt insbesondere für Einzugsgebiete mit Schnee, Gletscher oder Karst.
	Gradex	[Guillot & Duband 1967]	1000-10'000	bis 5'000	Für Einzugsgebiete ohne Schnee, Gletscher und Karst
	Agregee	[Margoum et al. 1994]	10-10'000	bis 5'000	Für Einzugsgebiete ohne Schnee, Gletscher und Karst
M2	Statistische Extrapolation der Niederschläge mit Hilfe von Extremwertverteilungen	[Coles 2001, Meylan et al. 2008]	bis 2-3 mal die Beobachtungsperiode	-	-
M4	PMP-PMF	[WMO 2009, Hertig et al. 2007, Zeimetz 2017]	-	5-200 (für die PMP-Karten der Schweiz)	-
Empirische und pseudo-empirische Methoden	BaD7	[Barben 2001, BWG 2003]	beliebig	10-200	Nicht geeignet für Einzugsgebiete mit extremen Charakteristiken (z. B. städtische Einzugsgebiete oder stark vergletscherte Gebiete)
	GIUB'96	[Kan 1995, Weingartner 1999, BWG 2003]	100 (sowie auch maximales Hochwasser)	10-500	-
	Müller-Zeller	[Müller 1943, Zeller 1975, BWG 2003]	ca. 100	2-100	In alpinen und stark überbauten Einzugsgebieten problematisch
	Kürsteiner	[Kürsteiner 1917, BWG 2003]	ca. 100	5-500	-
	Melli	[Melli 1924]	maximales Hochwasser	0.3-10'000	-
	Rational Formula	[Kuichling 1889, BWG 2003, Hingray et al. 2014]	-	-	-
	Kölla meso	[Kölla 1987, BWG 2003]	2.33, 20 oder 100	10-500	In alpinen und stark überbauten Einzugsgebieten problematisch; nicht geeignet für Einzugsgebiete mit extremen Charakteristiken (z.B. bei Gebieten mit sehr starker Vergletscherung oder grossen mittleren Höhen)



Anhang 2 – Üblicher Ablauf der Prüfung der Funktionstüchtigkeit der beweglichen Verschlüsse einer Ablassvorrichtung

Ablauf der Prüfung bei einem Verschluss:

Bei Ablassvorrichtungen, die nur mit einem beweglichen Verschluss ausgerüstet sind, wird der Verschluss teilweise (in der Regel um mindestens 10 cm) geöffnet.

Ablauf der Prüfung bei zwei hintereinander liegenden Verschlüssen:

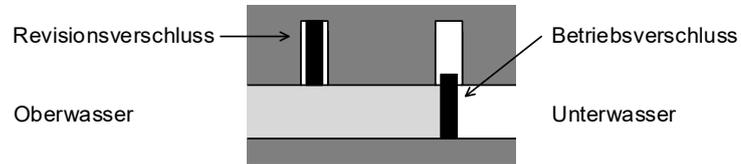
Die Prüfung der Funktionstüchtigkeit bei zwei hintereinander liegenden Verschlüssen erfolgt in der Regel nach Abbildung 7.

Ablauf der Prüfung bei drei hintereinander liegenden Verschlüssen:

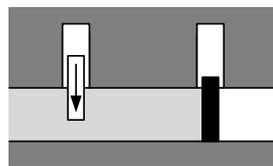
Die Betreiberin bezeichnet die Verschlüsse, welche als Betriebsverschluss und als Revisionsverschluss dienen. Die Prüfung der Funktionstüchtigkeit dieser beiden Verschlüsse erfolgt nach Abbildung 7. Der dritte Verschluss kann als zusätzlicher Revisionsverschluss betrachtet werden und wird ohne Wasserablass geprüft.



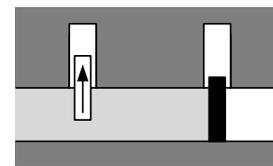
0) Ausgangssituation



1) Prüfung des Revisionsverschlusses

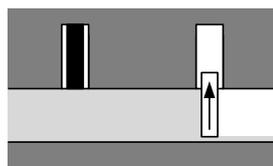


1a) vollständiges Schliessen

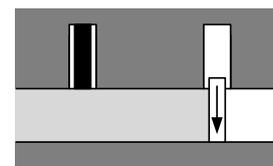


1b) vollständiges Öffnen

2) Nassprüfung des Betriebsverschlusses

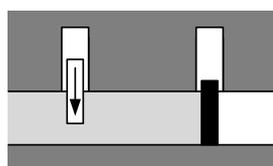


2a) teilweises Öffnen (mind. 10 cm)

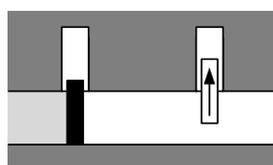


2b) Schliessen

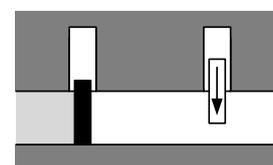
3) Schliessen des Revisionsverschlusses



4) Prüfung des Betriebsverschlusses



4a) vollständiges Öffnen



4b) vollständiges Schliessen

5) Öffnen des Revisionsverschlusses

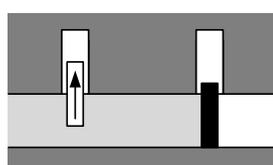


Abbildung 7: Vorgehen zur Prüfung der Funktionstüchtigkeit zweier hintereinander liegender beweglicher Verschlüsse.