



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Talsperren

SICHERHEIT DER STAUANLAGEN

BASISDOKUMENT ZUM NACHWEIS DER HOCHWASSERSICHERHEIT



Juni 2008



Impressum

Herausgeber:

Bundesamt für Energie
Sektion Talsperren

Mitglieder der Arbeitsgruppe:

| | |
|------------------------------|--|
| Bérod, Dominique, Dr. | Service des routes et des cours d'eau, Sion |
| Boillat, Jean-Louis, Dr. | Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL, Lausanne |
| Hammer, Jürg, Dr. (Sekretär) | Ehemals Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel |
| Hertig, Jaques-André, Dr. | Hertig & Lador SA, St. Livres, anciennement Laboratoire de mécanique des fluides de l'environnement, EPFL, Lausanne |
| Lafitte, Raymond, Prof. | Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL, Lausanne Anciennement Bureau Stucky Ingénieurs-conseils SA, Renens |
| Müller, Dieter, Dr. | Colenco Power Engineering AG, Baden |
| Oberholzer, Alexandre | Anciennement Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne |
| Pougatsch, Henri (Président) | Anciennement Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne |
| Viret, René | Anciennement Entreprise Electriques Fribourgeoises (EEF), Broc |

Überarbeitung

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Sonderegger, Theodor | Bundesamt für Energie, Ittigen |
| Darbre, Georges | Bundesamt für Energie, Ittigen |
| Panduri, Rocco | Bundesamt für Energie, Ittigen |

Version Juni 08

Adresse

Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen
Postfach
3003 Bern

+41 31 322 5611
<http://www.bfe.admin.ch/>



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| EINLEITUNG | 4 |
| 1 DEFINITIONEN | 5 |
| 1.1 Hochwasser..... | 5 |
| 1.2 Einzugsgebiet..... | 5 |
| 1.3 Hydrogramm..... | 5 |
| 1.4 Hochwasserereignisse für Stauanlagen..... | 6 |
| 1.5 Stauziel, Gefahrenkote und Sicherheitsfreibord..... | 6 |
| 1.6 Abgrenzung zum flussbaulichen Hochwasserschutz | 9 |
| 2 ABSCHÄTZUNG DES BEMESSUNGS- UND DES SICHERHEITSHOCHWASSERS | 10 |
| 2.1 Generelles | 10 |
| 2.2 Bemessungshochwasser | 10 |
| 2.2.1 Einführung | 10 |
| 2.2.2 Klimatische und hydrologische Daten | 11 |
| 2.2.3 Übersicht über gebräuchliche Methoden..... | 11 |
| 2.3 Sicherheitshochwasser | 13 |
| 3. ALLGEMEINE DIMENSIONIERUNGSKRITERIEN | 14 |
| 3.1 Grundsätze..... | 14 |
| 3.2 Anfangsbedingungen | 14 |
| 3.3 Ableitung des Bemessungshochwassers..... | 14 |
| 3.4 Ableitung des Sicherheitshochwassers..... | 15 |
| 4. ERGÄNZENDE DIMENSIONIERUNGSKRITERIEN FÜR SPEZIFISCHE FÄLLE | 16 |
| 4.1 Hydroelektrische Zentralen | 16 |
| 4.2 Pumpspeicherbecken..... | 16 |
| 4.3 Ausgleichsbecken | 17 |
| 4.4 Hochwasserrückhaltebecken | 17 |
| 4.5 Geschiebesperren, Murgangssperren, Lawinenauffangdämme | 19 |
| 4.6 In Kaskaden angeordnete Sperren | 19 |
| 5 KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN ZUR BEWÄLTIGUNG VON AUSSERORDENTLICHEN UND EXTREMEN EREIGNISSEN..... | 20 |
| 5.1 Hochwasserentlastung | 20 |
| 5.2 Grundablass | 20 |
| 5.3 Energieumwandlungsbauwerke (Tosbecken) | 21 |
| 5.4 Ausrüstung | 21 |
| 5.5 Massnahmen bei bestehenden Talsperren | 21 |
| 6 ÜBERWACHUNG WÄHREND EINES HOCHWASSERS | 22 |
| 7 ÜBERWACHUNG UND UNTERHALT VON EINRICHTUNGEN..... | 22 |
| 8 DOKUMENTATION IN BEZUG AUF HOCHWASSERSICHERHEIT | 23 |
| BIBLIOGRAFIE | 24 |



EINLEITUNG

Gesetzliche Grundlagen

Die Rechtsgrundlagen betreffend die Sicherheit von Stauanlagen ergeben sich aus dem Artikel 3bis des *Bundesgesetzes vom 22. Juni 1877 über die Wasserbaupolizei* (RS 721.10) und der *Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen vom 7. Dezember 1998* (StAV, RS 721.101).

Der Gültigkeitsbereich der StAV ist in ihrem Artikel 1 festgelegt. Danach gilt die Verordnung automatisch für Stauanlagen, deren Stauhöhe über Niederwasser oder dem natürlichen Terrain mindestens 10 m beträgt, oder bei wenigstens 5 m Stauhöhe und gleichzeitig mehr als 50'000 m³ Stauraum. Sie gilt aber auch für Stauanlagen mit geringeren Abmessungen, sofern diese eine besondere Gefahr für Personen und Sachen bedeuten. Hingegen kommt sie nicht zur Anwendung, wenn nachgewiesen wird, dass von der Stauanlage keine besondere Gefahr ausgeht. Die Verordnung überträgt die Aufsicht kleinerer Stauanlagen an die Kantone (Artikel 22 StAV).

Ziel und Inhalt des Basisdokuments « Hochwassersicherheit »

Gestützt auf Artikel 26 StAV kann die zuständige Aufsichtsbehörde Richtlinien erlassen in Zusammenarbeit mit Vertretern von kantonalen Aufsichtsbehörden, aus wissenschaftlichen Kreisen, von Fachorganisationen und der Wirtschaft. Mit dem Ziel, Grundlagen für die Beurteilung und Dimensionierung einer Anlage in Bezug auf die Hochwassersicherheit zu erarbeiten, wurde eine Arbeitsgruppe gebildet, die den Inhalt des vorliegenden Berichtes im Wesentlichen zusammengestellt hat. Er versteht sich als Kommentar wie auch als Ergänzung zur Richtlinie.

Ein Hochwasser kann bei einer Stauanlage gewaltige Schäden hervorrufen und diese im schlimmsten Fall zerstören. Unter diesem Szenario ist von entscheidender Bedeutung, dass alle notwendigen Dispositionen getroffen werden, um die Sicherheit der Anlage zu gewährleisten. Die Hochwassersicherheit muss periodisch überprüft werden, sei es aus Gründen einer Klimaänderung oder auch um der Weiterentwicklung von Erkenntnissen und Berechnungsmethoden Folge zu leisten. Die Hochwassersicherheit muss auch bei Nutzungsänderungen und Umbauten oder auch bei markanter Siedlungsentwicklung im betroffenen Einzugsgebiet überprüft werden.

In Kapitel 1 wird auf die Definition der massgebenden Hochwasser für den Sicherheitsnachweis von Stauanlagen eingegangen. Es sind dies das Bemessungshochwasser (aussergewöhnliches Ereignis) und das Sicherheitshochwasser (extremes Ereignis).

Kapitel 2 gibt Kriterien zur Herleitung und Festlegung des Bemessungs- und Sicherheitshochwassers, während in Kapitel 3 die Kriterien zur Ableitung dieser Hochwässer beschrieben sind.

Ergänzende Dimensionierungskriterien für spezifische Fälle sind in Kapitel 4 enthalten.

Kapitel 5 zeigt auf, welche konstruktiven Massnahmen zur Gewährleistung der Bauwerkssicherheit ergriffen werden müssen.

Das Kapitel 6 ist den Instruktionen zur Überwachung an Ort während eines Hochwassers gewidmet.

Überwachung und Unterhalt der Anlage sind entscheidend für ein tadelloses Funktionieren der Einrichtungen. Entsprechende Empfehlungen befinden sich in Kapitel 7.

Kapitel 8 listet die erforderlichen Dokumente in Bezug auf Hochwassersicherheit zuhanden der Aktensammlung der Stauanlage auf.

1 DEFINITIONEN

1.1 Hochwasser

Als **Hochwasser** wird hier der Zustand bei Gewässern verstanden, bei dem der Wasserstand deutlich über dem langjährigen Pegelstand liegt.

1.2 Einzugsgebiet

Das **Einzugsgebiet** einer Stauanlage versteht sich als drainierte Fläche oberhalb der Sperre, gebildet aus dem Haupt- und Nebenzuflüssen, begrenzt durch Wasserscheiden.

Aus topografischer Sicht kann es durch die Verteilung seiner Oberfläche entlang den Wasserläufen in Funktion der Höhe beschrieben werden (hypsometrische Kurven). Ebenso müssen auch Grösse und Anteil von Fels-, Gletscher-, Grünflächen wie auch bebaute und befestigte Flächen berücksichtigt werden. Konstante Zuleitungen aus benachbarten Einzugsgebieten (indirekte Einzugsgebiete) sind ebenfalls einzubeziehen.

Das Verständnis des hydrologischen Verhaltens eines Einzugsgebiets setzt ausreichende Kenntnis über dessen geologischen, topografischen und pedologischen Eigenschaften voraus.

1.3 Hydrogramm

Der natürliche Zufluss in ein Staubecken einer Stauanlage in Funktion der Zeit wird in diesem Dokument mit $Q(t)$ bezeichnet. Der entsprechende Abfluss aus dem Staubecken, wie auch die Änderung der Staukote im Staubecken, wird durch eine Retentionsrechnung ermittelt.

Die Funktion $Q(t)$ ist das charakteristische **Hydrogramm** (Hochwasserganglinie) des entsprechenden Hochwassers.

Aus der Zuflussganglinie $Q(t)$ abgeleitet werden:

- Das Zuflussvolumen $V = \int Q(t) dt$
- Der Maximalwert des Zuflusses Q_{\max} bei einer gewissen Zeit t_{\max}

1.4 Hochwasserereignisse für Stauanlagen

Für die Sicherheitsanalyse von Stauanlagen werden zwei Hochwasserereignisse betrachtet (Tabelle 1):

- **Bemessungshochwasser**, entsprechend einem aussergewöhnlichen Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren; die Zuflussganglinie eines solchen Ereignisses wird speziell mit $Q_B(t)$ bezeichnet.
- **Sicherheitshochwasser**, entsprechend einem extremen Ereignis; die Zuflussganglinie eines solchen Ereignisses wird speziell mit $Q_S(t)$ bezeichnet.

| Ereignis | häufig | selten | aussergewöhnlich | extrem |
|---|--------|--------|------------------|-----------------------|
| Wiederkehrperiode ¹ (Jahre) | 30 | 100 | 1'000 | >> 1'000 |

Tabelle 1: Hochwasserereignisse und deren Jährlichkeit

1.5 Stauziel, Gefahrenkote und Sicherheitsfreibord

Für ein Speicherbecken kann das **Stauziel** gegeben sein durch (Figur 1):

- a) die Schwellenkote eines ungesteuerten Überfalls
- b) die unter Normalbetrieb zulässige Staukote eines Speicherbeckens, dessen Stau gesteuert wird oder
- c) die durch bewegliche Organe vorgegebene Überlaufkote unter Normalbetrieb.

Das Stauziel kann Gegenstand einer Konzessionsbestimmung sein.

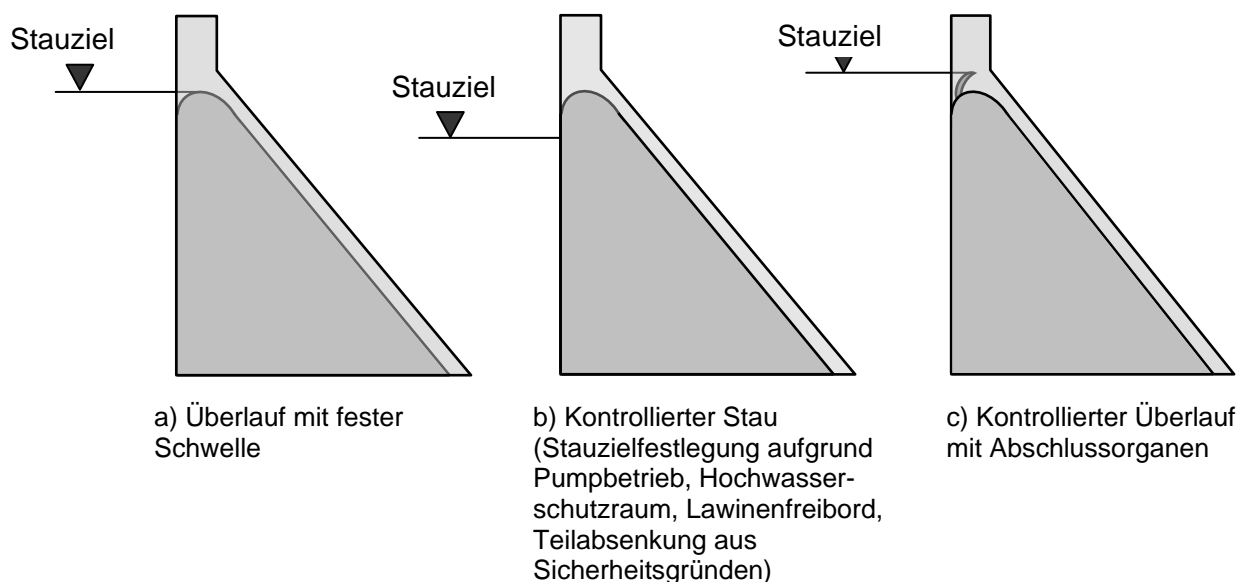


Fig. 1 : Definition des Stauziels

¹ Die Wiederkehrperiode ist der Reziprokwert der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Ereignisses (Zeitlicher Abstand, in dem ein Ereignis im Mittel einmal erreicht oder überschritten wird).

Die **Gefahrenkote** entspricht derjenigen Wasserspiegelkote, ab welcher die Sicherheit der Anlage gefährdet ist. Dies aufgrund ungenügender Stabilität, auftretender Schäden (wie Erosionserscheinungen an der Krone und Widerlagern oder Kolkbildung am Talsperrenfuss), erhöhtem Auftrieb oder durch erhöhten Wasserdruck verursachter innerer Erosion.

Sie wird wie folgt festgelegt:

- Bei homogenen Dämmen liegt die Gefahrenkote auf Kronenhöhe (Figur 2), bei den übrigen Dämmen auf Oberkante des dichtenden Elements (Figur 3).
- Bei Mauern liegt die Gefahrenkote auf Kronenhöhe (Figuren 4 und 5).

Für Einzelfälle ist eine abweichende Festlegung der Gefahrenkote unter gewissen Voraussetzungen möglich oder notwendig (vgl. Kapitel 3.4).

Als **Sicherheitsfreibord** wird der Abstand zwischen dem höchsten, beim Ableiten des Bemessungshochwassers erreichten Wasserspiegel und der Gefahrenkote verstanden. Es hat zum Zweck, den Durchfluss des Sicherheitshochwassers zu gewährleisten sowie das Überschwappen von Wellen zu vermeiden.

Lediglich als „Freibord“ wird der Abstand zwischen dem Stauziel (bzw. der Kote des Hochwasserrückhaltes gemäss Figur 5) und der niedrigsten Kronenkote verstanden.

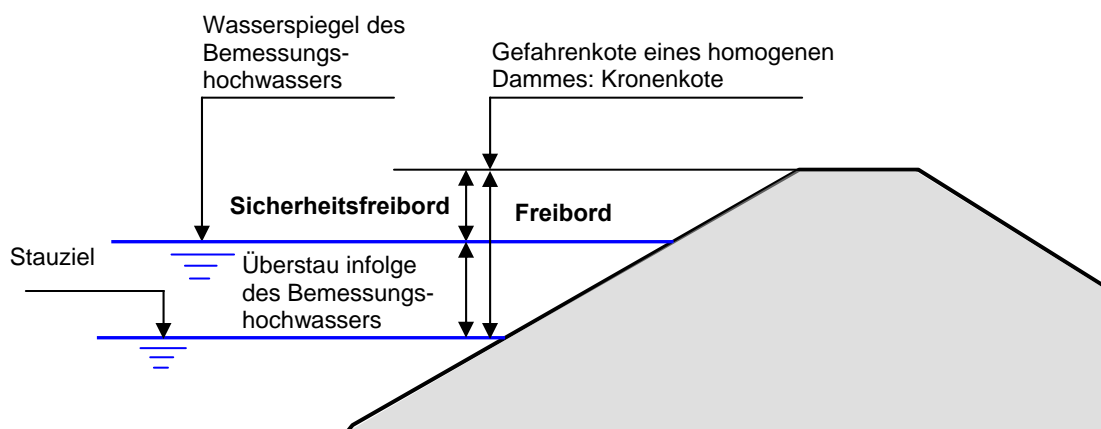


Fig. 2 : Definition von Koten für den Nachweis der Hochwassersicherheit bei homogenen Schüttdämmen

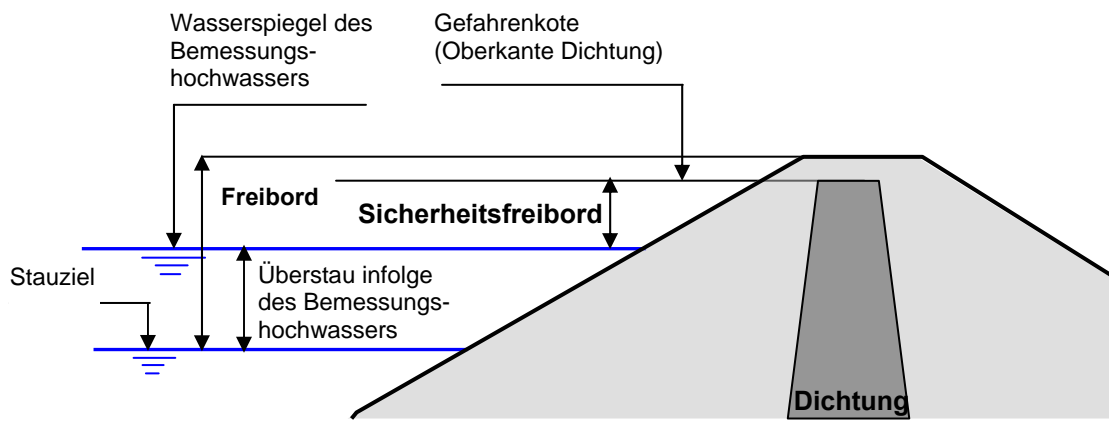


Fig. 3 : Definition von Koten für den Nachweis der Hochwassersicherheit bei inhomogenen Schüttdämmen

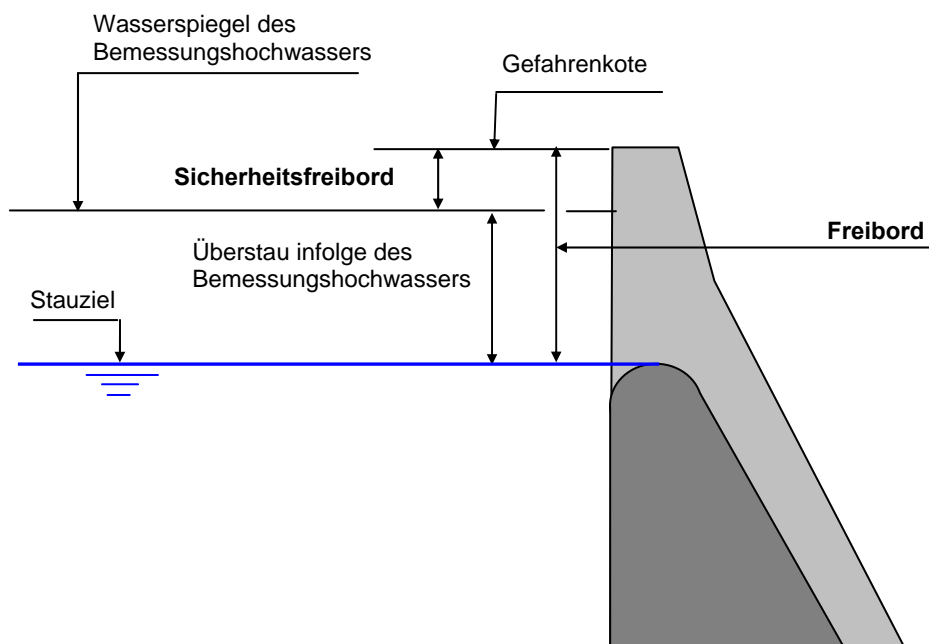


Fig. 4 : Definition von Koten für den Nachweis der Hochwassersicherheit bei Betonsperren, Stauziel bei Überfallkote

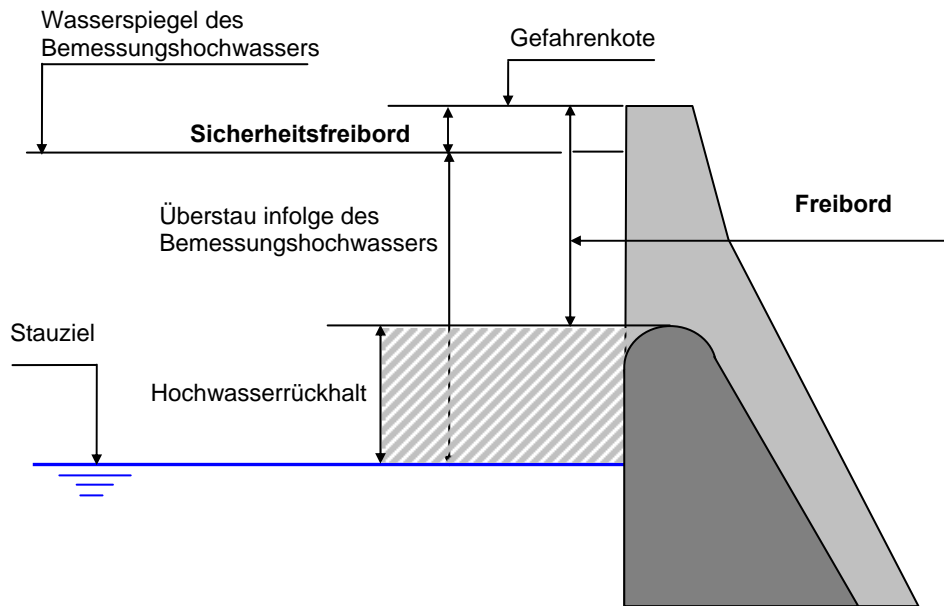


Fig. 5 : Definition von Koten für den Nachweis der Hochwassersicherheit bei Betonsperren, Stauziel unter Überfallkote

Der Hochwasserrückhalt (Retentionsvolumen) ist das zur Brechung einer Hochwasserspitze zur Verfügung stehende Volumen des Speichers.

Der Überstau infolge des Bemessungshochwassers entspricht der Speicherschicht zwischen dem Stauziel und dem höchsten Niveau des Bemessungshochwassers. Der Überstau verbleibt nach dem Hochwasser nicht im Staubecken, sondern wird durch die Hochwasserentlastung und durch weitere Entlastungsorgane bis auf das Niveau des Stauziels abgeführt.

1.6 Abgrenzung zum flussbaulichen Hochwasserschutz

Seitendämme oder Hochwasserschutzdämme von Gewässern, die der Stauanlage zufließen, aber ausserhalb des Bereichs der Stauanlage gemäss Figur 6 liegen, sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Die Grenze ergibt sich aus dem geometrischen Schnittpunkt des Niederwasserspiegels des Zuflusses Q_{347} mit einer Horizontalen auf Kote Stauziel erhöht um einen Meter.

Q_{347} entspricht dabei derjenigen Wassermenge, die im Jahr im Mittel mindestens an 347 Tagen erreicht wird.

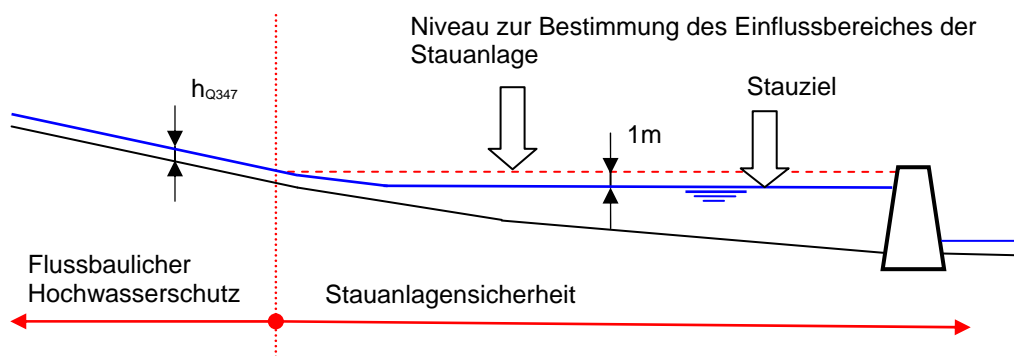


Fig. 6: Abgrenzung Hochwasserschutz-Stauanlagensicherheit

2 ABSCHÄTZUNG DES BEMESSUNGS- UND DES SICHERHEITSHOCHWASSERS

2.1 Generelles

Für die Bemessung der Hochwassersicherheit werden in der Regel die Abflussganglinien benötigt. Es muss demnach vom Niederschlag ausgegangen werden, und für Blockregen unterschiedlicher Dauer die jeweils zugehörige Ganglinie des effektiven² Niederschlags bestimmt werden. Eine Serie von Ganglinien ist erforderlich, weil zum Voraus nicht bekannt ist, welche Regendauer im Speicher die ungünstigsten Wasserstände verursacht.

Die hier betrachteten Hochwasserereignisse sind aussergewöhnliche oder sogar extreme Ereignisse mit Wiederkehrperioden von 1'000 Jahren oder mehr. Es wird deshalb generell die Forderung gestellt, dass bei einem solchen Ereignis das **entsprechende gesamte Niederschlagsvolumen zum Zuflussvolumen V beiträgt**. Davon abweichende Phänomene, wie sie für kleinere Wiederkehrperioden auftreten können, werden für die hier betrachteten Nachweise in der Regel nicht betrachtet.

Aussagen über den **Maximalwert** Q_{\max} der betrachteten Ganglinien sind von obiger Forderung zu unterscheiden. Dieser Maximalwert hängt von der Form der Ganglinie ab, welche ihrerseits vom Einzugsgebiet und dem Regenereignis abhängt, und ist im Allgemeinen kleiner als der Spitzenwert des effektiven Niederschlags Q_N . Für kleine Einzugsgebiete allerdings wird sich für die betrachteten extremen Ereignisse der Maximalwert der Zuflussganglinie dem Spitzenwert des effektiven Niederschlags annähern. Es wird darauf hingewiesen, dass in besonderen Situationen (z.B. Schneeschmelze) Q_{\max} sogar grösser als Q_N sein kann.

Werden Annahmen über die Form der Ganglinie $Q(t)$ gemacht, so dürfen, falls keine weiteren spezifischen Abklärungen vorliegen, Funktionen $Q(t)$ der Form

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

verwendet werden, mit einem Standardwert von 6 für den Exponenten n . Bei Vorhandensein entsprechender Abklärungen kann der Exponent n zwischen 1 und 6 gewählt werden³, in Abhängigkeit der Charakteristiken des Einzugsgebietes.

2.2 Bemessungshochwasser

2.2.1 Einführung

Die Abschätzung des Bemessungshochwassers $Q_B(t)$ darf nicht auf nur eine einzige Formel oder Methode abgestellt werden. Vielmehr müssen verschiedene geeignete Verfahren, jeweils angepasst an die verfügbaren Datenquellen und regionalen Gegebenheiten, herangezogen werden. Der Menge und Qualität der hydrologischen Daten (Pluviometer, Abflussmessungen) kommt dabei eine massgebliche Bedeutung zu. Die Resultate aus verschiedenen Berechnungen erlauben eine bessere Abstützung der gewählten Bemessungswerte. Die hydrologischen Studien sollen von Fachleuten, die mit der Materie vertraut sind, geleitet werden.

² d.h. abflusswirksamen

³ In Funktion des Exponenten n entspricht das Zuflussvolumen $V = Q_{\max} \cdot t_{\max} \cdot \frac{e^n \cdot n!}{n^{n+1}}$

Die unterschiedlichen Methoden ermöglichen sowohl die direkte Abschätzung der Hochwasserspitze $Q_{B,max}$ und des Volumens (empirische Formeln, probabilistische Methoden) als auch die Bestimmung von Hochwasserabflüssen $Q_B(t)$ aus Niederschlagsdaten mittels Niederschlags-Abflussmodellen.

Die Berechnungen sollten spezifischen Erfahrungen angepasst und die Resultate periodisch überprüft werden, indem neuere Erkenntnisse und Entwicklungen berücksichtigt werden.

2.2.2 Klimatische und hydrologische Daten

Als wichtige Grundlage für die hydrologische Beurteilung einer Region dienen die Klimadaten (Regenmengen, Lufttemperatur) wie auch die gemessenen Abflüsse entlang eines Wasserlaufs.

In der Schweiz betreibt die MeteoSchweiz (früher Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA)) zahlreiche Wetterstationen. Die entsprechenden Messdaten sind abrufbar. Aus diesen Daten sind bereits verschiedene statistische Regenanalysen durchgeführt worden und stehen als IDF-Grafen (Intensität-Dauer-Frequenz) für viele Orte mit Pluviografen zur Verfügung [33]⁴.

Im Rahmen einer Studie [2] über regionale Extremniederschläge sind Isohyetenkarten der Regen mit einer Wiederkehrperiode von 2.33 und 100 Jahren für die Dauer von 1 und 24 Stunden veröffentlicht worden. Neuere und etwas detailliertere Karten sind in [3] dargestellt.

Für die meisten Einzugsgebiete kann der Hochwasserabfluss aus einem Regenereignis gleicher Jährlichkeit abgeleitet werden.

Als wichtige Datenquellen dienen die Hochwasserabflüsse der durch die Landeshydrologie (LHG, beziehungsweise neu Bundesamt für Umwelt, Abt. Hydrologie) betriebenen hydrometrischen Stationen. Sie sind in den hydrologischen Jahrbüchern dokumentiert [26] und auch statistisch ausgewertet [25]. Eine weitere Quelle bilden die durch kantonale Amtsstellen oder auch durch private Beobachter (in der Regel Kraftwerksbetreiber) durchgeführten Messungen.

Die Extremwerte müssen mangels genügend langer Messreihen mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion z. B. nach Gumbel extrapoliert werden.

2.2.3 Übersicht über gebräuchliche Methoden

Die nachfolgende Zusammenstellung der Methoden zur Bestimmung des Bemessungshochwassers gibt einen Überblick über die gängigsten Verfahren, erhebt aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die angeführten Kurzbeschreibungen ersetzen das Literaturstudium nicht. Es wird auf die Bibliographie am Schluss des Dokuments verwiesen.

Welche Methoden für eine gegebene Situation anzuwenden sind, ist vom Hydrologen im Einzelfall abzuklären. Die generellen Kriterien in Abschnitt 2.1 sind dabei zu berücksichtigen.

⁴ Der Bezeichner [] bezieht sich auf die Bibliografie am Ende des Textes

In den folgenden Absätzen wird eine gestraffte Beschreibung der verschiedenen Methoden wiedergegeben:

I. Historische Methoden

Sie stützen sich in erster Linie auf das Studium von historischen Aufzeichnungen aber auch auf die Befragung der Bevölkerung und auf die Information aus vorhandenen Wasserstandsmarkierungen.

II. Empirische Methoden

Es handelt sich hier um empirische und regionale Formeln und Hüllkurven, die eine Beziehung zwischen Abfluss und Einzugsgebietsfläche und weiterer Parameter wie Niederschlag, Bodenbeschaffenheit oder Steilheit herstellen oder es werden gemessene Extremwerte gegen die Einzugsgebietesfläche aufgetragen. Die gewonnene Hüllkurve lässt sich durch eine Formel beschreiben.

In [32] sind hierzu die wichtigsten, in der Schweiz anwendbaren Methoden erläutert und bezüglich ihrer Stärken und Schwächen kommentiert.

III. Probabilistische Methoden

a) Methoden auf Basis von Pegelmessreihen: Spitzenwerte oder Mittelwerte innerhalb eines Zeitintervalls (Tag, Woche, Monat, Jahr) werden statistisch zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung analysiert (Gesetze von Gumbel, LogNormal, LogPearson III, Weibull, GEV u. a.).

b) Methoden auf Basis von Niederschlagsdaten

- Ausgehend von Niederschlagsmessreihen werden Regenereignisse geringer Wahrscheinlichkeit durch statistische Analyse bestimmt und mit deterministischen Methoden zu Abflüssen transformiert. Zu dieser Kategorie zählen auch Verfahren, die auf der Laufzeit und der entsprechenden Niederschlagsintensität basieren.
- Die Gradex-Methode basiert auf der Hypothese, dass während eines Hochwassers und bei praktisch gesättigtem Boden ein Anstieg des Niederschlages eine äquivalente Erhöhung des Abfluss nach sich zieht. Folglich verlaufen, auf einem Gumbel-Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragen, die Extrapolationsgeraden der Niederschlagsintensitäten und der Abflussspitzen parallel.

IV. Stochastische Methoden

Diese Methoden erlauben, die aleatorische Natur von hydrometeorologischen Phänomenen zu berücksichtigen, indem nicht mit punktuellen Werten, sondern mit statistischen Verteilungen gearbeitet wird, gemäss einem Neyman-Scott Schema. Namentlich wird eine Vielzahl von Serien von Niederschlägen generiert, welche mit Hilfe eines Niederschlags-Abfluss-Modells in eine Serie von Hochwasser-Abflüssen umgewandelt wird. Diese künstlichen Hochwasser-Serien werden anschliessend analog wie in Punkt III a) behandelt [21].

2.3 Sicherheitshochwasser

Für die Abschätzung des Sicherheitshochwassers $Q_S(t)$ sind zwei unterschiedliche Vorgehensweisen möglich:

1. Abschätzung auf der Grundlage des Bemessungshochwassers:

In der Schweiz hat sich eine angenäherte Abschätzung des Sicherheitshochwassers gestützt auf die Ganglinie des Bemessungshochwassers etabliert.

Es gelten folgende Bestimmungen für die Abschätzung des Sicherheitshochwassers:

a) Für bestehende Anlagen: $Q_S(t) = 1.5 \cdot Q_B(t)$

b) Für neu projektierte Anlagen oder Projektänderungen: $Q_S(t) = 1.5 \cdot Q_B\left(\frac{2t}{3}\right)$

In der Vergangenheit wurde im Allgemeinen generell nur die Abschätzung gemäss a) angewandt. Die neue Abschätzung gemäss b) hat nur dort einen Einfluss, wo die Retentionswirkung zentral zur Erbringung der entsprechenden Nachweise ist. Insbesondere entspricht $Q_{S,max}$ in jedem Fall $1.5 \cdot Q_{B,max}$.

2. Deterministische Methode (PMP-PMF)

Die Methode besteht aus der Systematisierung von Hochwasserabflüssen durch die Simulation und Steuerung physischer Prozesse für die Produktion wie für den Abfluss des Niederschlags in einem Einzugsgebietssystem. Der PMF (Probable Maximum Flood), ist das Hochwasser, welches für die ungünstigsten Kombinationen von meteorologischen, physikalisch möglichen Bedingungen (PMP, Probable Maximum Precipitation) in einer bestimmten Region erwartet werden kann und dessen Zufluss zum voll angenommenen Stausee mit allen Hochwasserentlastungsorganen im Betrieb zum maximalen Seestand führt.

Im Rahmen von Forschungsaufträgen haben das „Laboratoire des systèmes énergétiques“ (LASEN, EPFL) und nachfolgend das „Laboratoire de mécanique de l'environnement“ (EFLUM, EPFL) in Zusammenarbeit mit Hertig & Lador SA, PMP-Karten (Probable Maximum Precipitation) für die ganze Schweiz ausgearbeitet [24]. Sie dienen als Grundlage zur Berechnung des PMF.

3. ALLGEMEINE DIMENSIONIERUNGSKRITERIEN

3.1 Grundsätze

Bei der Bemessung der Hochwassersicherheit geht es letztlich darum, das Freibord sowie die Leistung der Entlastungsorgane festzulegen.

Die ungünstigste Situation für die Ableitung eines Hochwassers bei einer Stauanlage wird mit Hydrogramm-Analysen (Satz von Hydrogrammen $Q_B(t)$ und $Q_S(t)$) unter Berücksichtigung von Retentions- und Entlastungskapazität gefunden.

Dabei müssen Begleiterscheinungen eines Hochwasserereignisses wie Erosion, Sedimentation, Geschiebefracht und Treibholz und weitere Erschwernisse wie Stromunterbruch oder Unzugänglichkeit infolge extremer meteorologischer Bedingungen (Gewitter, Stürme) berücksichtigt werden.

Auf die Berücksichtigung von **Zuleitungen** in den Staubecken kann sowohl beim aussergewöhnlichen wie auch beim extremen Ereignis nur dann verzichtet werden, wenn deren Ausleitung oder Absperrung auch in extremen Situationen sichergestellt werden kann. Sonst werden sie dem Bemessungs- bzw. Sicherheitshochwassers aus natürlichem Zufluss addiert.

3.2 Anfangsbedingungen

Für den Nachweis der Ableitung des Bemessungs- wie auch des Sicherheitshochwassers wird in der Regel angenommen, der initiale Wasserspiegel entspreche dem Stauziel.

Spezielle Bedingungen sind in Kapitel 4 zusammengestellt.

3.3 Ableitung des Bemessungshochwassers

Das Bemessungshochwasser muss mit einer durch die Höhe des Sicherheitsfreibords bestimmten Sicherheitsmarge abgeführt werden können, ohne Schäden (weder an der Stauanlage selbst noch an den Entlastungsorganen) zu hinterlassen. Es entspricht einem aussergewöhnlichen Ereignis. Die Kriterien zur Ableitung des Bemessungshochwassers führen zur ausreichender **Dimensionierung der Hochwasserentlastung** und weiterer im Hochwasserfall zur Verfügung stehender Entlastungsorgane.

Das Resultat der Berechnungen, ausgehend vom Hochwasser-Hydrogramm des Beckenzuflusses $Q_B(t)$ und den Anfangsbedingungen ergibt Informationen über den

- (1) maximalen Abfluss aus dem Staubecken,
- (2) maximalen Wasserspiegel während der Ableitung des Hochwassers (Figuren 2 bis 5),
- (3) Hochwasserrückhalt (Figur 5).

Es gelten die folgenden Kriterien:

- Die Kapazität der Hochwasserentlastung kann durch Inbetriebnahme des Grundablasses ergänzt werden, unter Vorbehalt der untenstehenden « n - 1 » - Regel.
- Für alle Staumauern und Staudämme wird der Nachweis unter der Annahme getroffen, dass das leistungsfähigste unter den « n » beweglichen Entlastungsorganen ausser Betrieb sei (« n - 1 » - Regel).

- Die Möglichkeit der Verklausung der für die Hochwasserableitung erforderlichen Ablassorgane mit den entsprechenden Auswirkungen deren Ausfalls ist zu untersuchen.
- Zuleitungen werden gemäss Abschnitt 3.1 berücksichtigt.

Tabelle 2 zeigt einige Richtwerte für das minimale Sicherheitsfreibord beim Bemessungshochwasser.

| Höhe der Talsperre | $H < 10 \text{ m}$ | $10 \text{ m} \leq H < 40 \text{ m}$ | $H \geq 40 \text{ m}$ |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Staumauer | 0.50 m | 1.00 m | 1.00 m |
| Staudamm | 1.00 m | 2.00 m | 3.00 m |
| mit wasserseitiger Rollierung | 1.00 m | 1.50 m | 2.50 m |

Tabelle 2: Richtwerte für das Sicherheitsfreibord

3.4 Ableitung des Sicherheitshochwassers

Das Sicherheitshochwasser entspricht demjenigen Hochwasser, welches die Stauanlage unter extremen Bedingungen aufzunehmen und abzuleiten in der Lage sein muss. Es muss beim Nachweis der Ableitung des Sicherheitshochwassers sichergestellt sein, dass der Wasserstand im Speicher die Gefahrenkote nicht übersteigt.

Es gelten die folgenden Kriterien:

- Mit dem Hydrogramm des Sicherheitshochwassers $Q_S(t)$ ist nachzuweisen, dass die Gefahrenkote auch während eines extremen Ereignisses nicht überschritten wird.
- Bei entsprechend ausgestalteten Stauanlagen (Mauern sowie Dämme) ist die Festlegung der Gefahrenkote in Abweichung zu Kapitel 1.5 möglich. Es ist dann Aufgabe des spezialisierten Ingenieurs nachzuweisen, dass bis zu dieser Kote keine Instabilität des Absperrbauwerks oder Erosion des Widerlagers oder Fuss auftritt (auch mit Berücksichtigung von durch Sturm gebildeten Wellen). Kleinere Schäden werden in Kauf genommen, ein totaler oder partieller Bruch der Talsperre darf nicht stattfinden.
- Bei Staumauern kann der Nachweis des Abflusses des Sicherheitshochwassers unter der Annahme geführt werden, dass alle betriebsfähigen Entlastungsorgane eingesetzt werden können.
- Bei Staudämmen ist der Nachweis unter der Annahme zu führen, dass das leistungsfähigste unter den « n » beweglichen Entlastungsorganen ausser Betrieb sei (« n - 1 » - Regel).
- Zuleitungen werden gemäss Abschnitt 3.1 berücksichtigt.



4. ERGÄNZENDE DIMENSIONIERUNGSKRITERIEN FÜR SPEZIFISCHE FÄLLE

4.1 Hydroelektrische Zentralen

Bei Stauanlagen mit einer hydroelektrischen Zentrale darf die turbinierete Wassermenge im Allgemeinen nicht für den Nachweis des ausserordentlichen Ereignisses verwendet werden. Ausnahmen bilden überflutungssichere Zentralen falls die Turbinenwassermenge abgeführt werden kann (z.B. Rohrturbinen in Segelstellung) oder mindestens zwei unabhängige Hochspannungsleitungen zur Energieabfuhr vorhanden sind. In jedem Fall dürfen höchstens $n - 1$ Turbinen für den Nachweis berücksichtigt werden.

Für den Nachweis des extremen Ereignisses darf die turbinierete Wassermenge im Allgemeinen nicht verwendet werden.

4.2 Pumpspeicherbecken

Für den Nachweis der Kapazität der Entlastungsorgane bei einem aussergewöhnlichen Ereignis und der Ableitung des extremen Ereignisses unter die Gefahrenkote werden die beiden Fälle einer redundanten und einer nicht redundanten Steuerung des Pumpbetriebes unterschieden.

Im Falle einer nicht redundanten Steuerung des Pumpbetriebes wird definiert:

- a) Aussergewöhnliches Ereignis: Als Bemessungsgrundlage wird der massgebende Fall zwischen dem natürlichem Zufluss $Q_B(t)$ nach Kapitel 2.2 und der maximalen Pumpwassermenge Q_{Pmax} genommen.
- b) Die dem Extremereignis massgebende Kombination ergibt sich als Summe von $Q_S(t)$ und der maximalen Pumpwassermenge Q_{Pmax} .

Im Falle einer redundanten Steuerung des Pumpbetriebes wird definiert:

- a) Das aussergewöhnliche Ereignis entspricht dem $Q_B(t)$ nach Kapitel 2.2 aus natürlichem Zufluss.
- b) Das Extremereignis entspricht dem ungünstigsten Fall zwischen dem natürlichem Zufluss $Q_S(t)$ und der maximalen Pumpwassermenge Q_{Pmax} .

4.3 Ausgleichsbecken

Die Bemessung der Entlastungsorgane basiert (vgl. Figur 7) auf der Summe des natürlichen Zuflusses (Q_{direkt}) und der Kapazität der Zuleitungen in das Becken wie Fassungen (Q_F), Turbinenwasser aus oben liegenden Zentralen (Q_{T_o}) und eventuell auch aus Wasser (Q_R), das aus einem Wasserschloss einer untenliegenden Zentrale bei einer plötzlichen Abschaltung in das Ausgleichsbecken zurückfliesst.

Falls Q_{direkt} vernachlässigbar ist, sind die Nachweise für das aussergewöhnliche Ereignis mit den Kriterien in Kapitel 3.3 zu führen. Sonst sind sowohl das aussergewöhnliche wie auch das extreme Ereignis mit den Kriterien in den Kapiteln 3.3 und 3.4 zu betrachten.

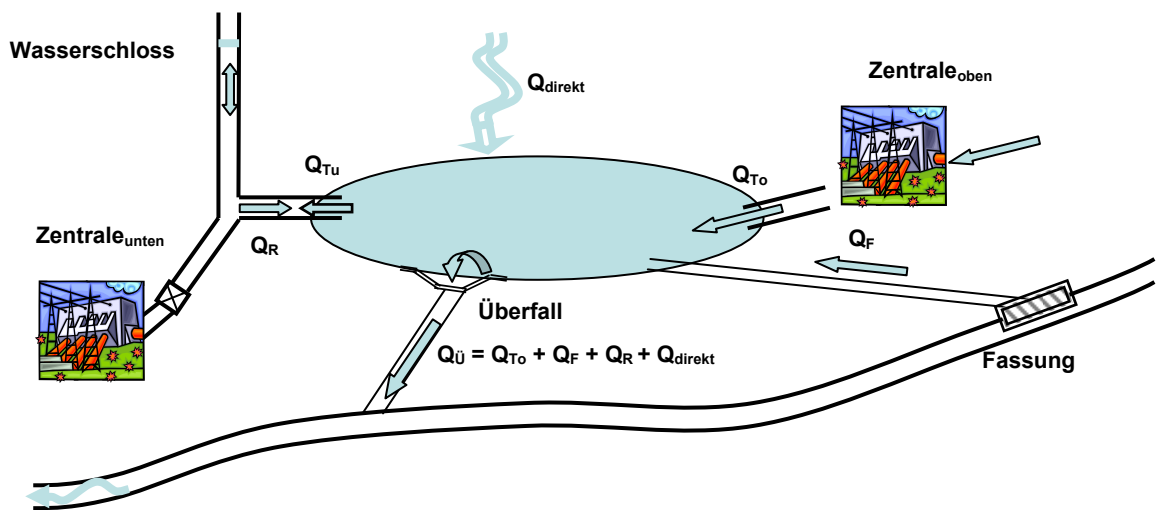


Fig. 7 : Zuflüsse in ein Ausgleichsbecken

4.4 Hochwasserrückhaltebecken

Bei Hochwasserrückhaltebecken sind Beckeninhalt und Durchlasskapazität Grössen der Projektauslegung (Schutzziel und Drosselung der Hochwasserspitze). Sie bestimmen das Niveau der Überfallkante der Hochwasserentlastung.

Für den Nachweis der Hochwassersicherheit werden die folgenden zwei Fälle betrachtet (Figuren 8a und 8b)⁵:

- Das Bemessungshochwasser trifft auf das gefüllte Becken. Der Grundablass ist ausser Betrieb oder verstopft (Pannenfall). Dieser Fall bestimmt die Dimensionen der Hochwasserentlastung und des erforderlichen Sicherheitsfreibordes.
- Das Sicherheitshochwasser trifft auf das leere Becken oder, bei dauernd Wasser führenden Becken, auf den planmässigen Wasserspiegel. Der Grundablass ist zum Zeitpunkt des Eintreffens des Sicherheitshochwassers ausser Betrieb oder verstopft. Damit wird nachgewiesen, dass die Gefahrenkote nicht überschritten wird.

⁵ Der Fall, dass das Bemessungshochwasser auf das leere Becken trifft, dient der wasserbaulichen Risikobetrachtung des Unterliegerbereichs (Überlastfall). Mit diesem hier nicht massgebenden Fall wird das normale hydraulische Verhalten der Anlage überprüft.

a) Ableitung des Bemessungshochwassers: Das Hochwasser trifft auf das gefüllte Becken, der Grundablass ist ausser Betrieb

Hydrogramm $Q_B(t)$

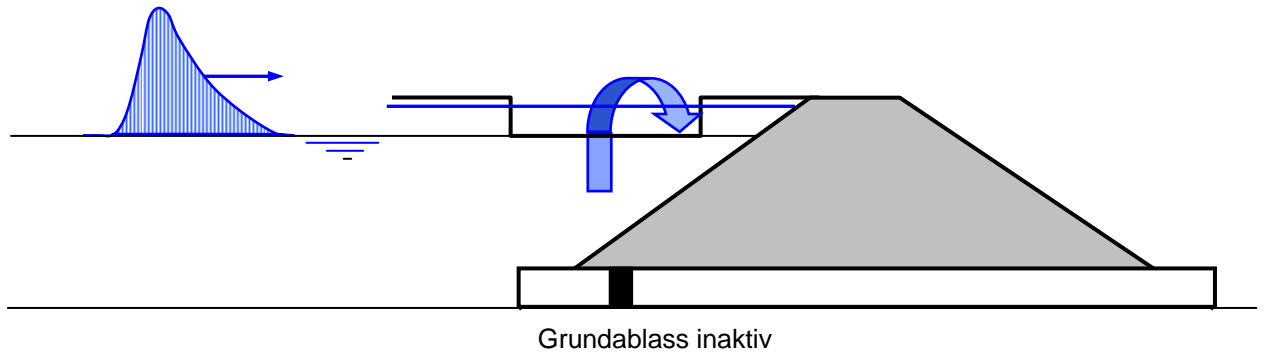


Fig. 8a : Fall a) Ableitung des Bemessungshochwassers

b) Ableitung des Sicherheitshochwassers: Das Hochwasser trifft auf das leere Becken oder auf die initiale Wasserkote, der Grundablass ist ausser Betrieb

Hydrogramm $Q_S(t)$

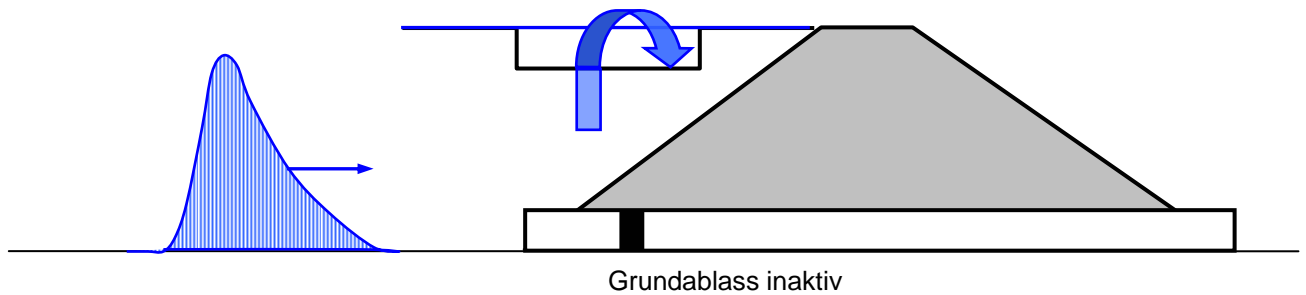


Fig. 8b : Fall b) Ableitung des Sicherheitshochwassers

4.5 Geschiebesperren, Murgangsperrern, Lawinenauffangdämme

Das Bemessungs- wie auch das Sicherheitshochwasser trifft in diesem Fall auf das bis zur Überfallschwelle mit Material gefüllte Becken. Allfällige Öffnungen (mit oder ohne Rechen oder Bohlen-Verschlüsse) sind als verstopft anzunehmen (Figur 9), ausser es werden ausreichende konstruktive Massnahmen getroffen, welche eine Verstopfung verhindern.

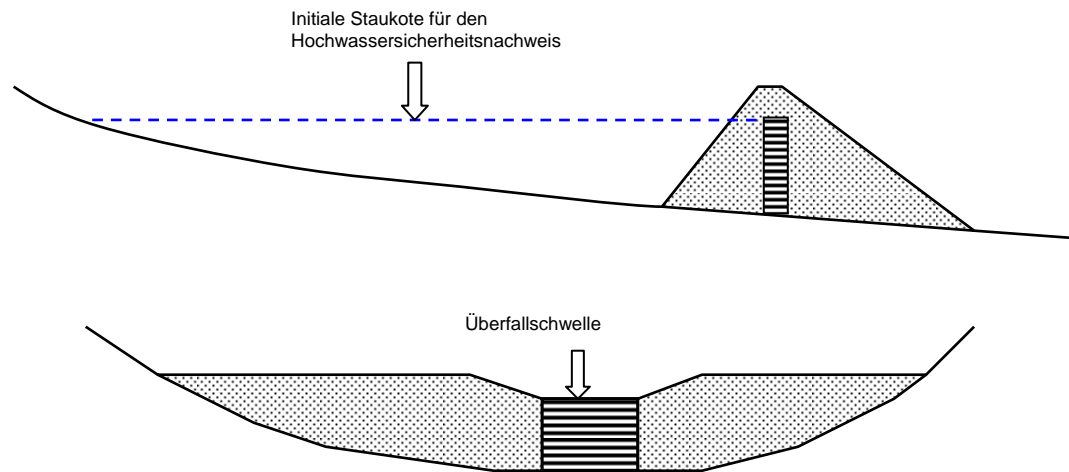


Fig. 9: Auffangschwelle für Geschiebe und Murgänge

4.6 In Kaskaden angeordnete Sperren

In diesem Fall berechnet sich das Bemessungs- wie auch das Sicherheitshochwasser aus dem Abfluss der oben liegenden Sperre zusätzlich der natürlichen Zuflüsse wie auch den Zuleitungen des Zwischeneinzugsgebiets (Figur 10).

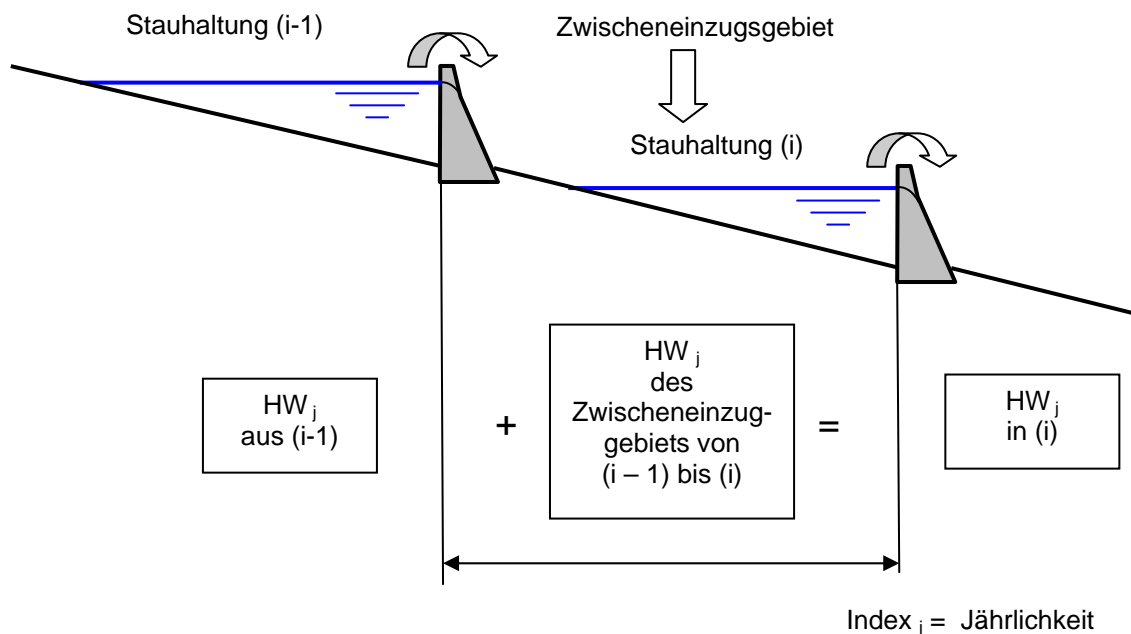


Fig. 10: Festlegung des Bemessungs- und Sicherheitshochwassers bei einer Sperrenkaskade

5 KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN ZUR BEWÄLTIGUNG VON AUSSERORDENTLICHEN UND EXTREMEN EREIGNISSEN

5.1 Hochwasserentlastung

Um Verklausungen infolge Schwemmholzes, Wurzelstöcken und dergleichen bei einem Hochwasser zu vermeiden, müssen die Durchlassquerschnitte ausreichend bemessen sein. Die anlässlich des Hochwassers 1987 gemachten Beobachtungen [15] führten zur Erkenntnis, dass Baumstämme im Laufe ihres Transports rasch auf eine Länge von 10 m verkleinert werden (in alpinen und voralpinen Gebieten). Bei Wehren und Entlastungsbauwerken grösserer Flüsse im Unterland soll die lichte Breite einer Öffnung jedoch weit mehr als 10 m betragen. Es ist zu beachten, dass die Form des Staubeckens den Transport von Treibholz beeinflusst. Die Wasserführung nach dem Entlastungsbauwerk sollte vorzugsweise nicht in einem Stollen, sondern nach Möglichkeit in einem offenen Kanal geschehen. Die Möglichkeit der Verklausung der für die Hochwasserableitung erforderlichen Ablassorgane mit den entsprechenden Auswirkungen deren Ausfalls ist zu untersuchen.

Bei Fussgängerstegen und Brücken sollte die lichte Durchflusshöhe bezogen auf den Wasserspiegel des Bemessungshochwassers 1.5 m bis 2 m betragen. Stege sollen so konzipiert sein, dass sie notfalls rasch demontiert werden können.

Anlagen ohne Grundablass (z.B. Wasserfassungen), die mit nur einem einzigen Organ (Schütze, Schlauchwehr) ausgestattet sind, müssen baulich so gestaltet werden, dass eine seitliche Erosion im Falle eines Ausfalls der Schütze verhindert wird. In der Regel dürfte es sich hier aber um Anlagen handeln, die wegen geringer Dimension und Schadenpotential im Bruchfall keiner öffentlichen Aufsicht unterstellt sind.

5.2 Grundablass

Der Grundablass ist in erster Linie ein Sicherheitsorgan mit den Hauptfunktionen

- (1) Steuerung der Wasserspiegellage beim Ersteinstau,
- (2) Absenkung oder Entleerung des Beckens im Falle einer die Sicherheit der Anlage bedrohenden Gefahr,
- (3) Gewährleistung der Tiefhaltung der abgesenkten Stauanlage im Bedarfsfall (Unterhalt oder Bauarbeiten infolge eines ausserordentlichen Ereignisses),
- (4) zusätzliches Entlastungsorgan für die Ableitung des Bemessungs- und Sicherheitshochwassers .

Eine weitere, wichtige Funktion des Grundablasses ist die periodische Spülung der Ablagerungen im Stauraum.

Der Grundablass sollte in der Regel mit zwei Schützen versehen sein, eine als Sicherheitsorgan (Reserveschütze, Revisionsschütze) und die andere als Regulierorgan (Betriebsschütze). Ein oberwasserseitig angeordneter Dammbalkenverschluss ermöglicht die Entleerung des Durchlasses zwecks Inspektion und Unterhalt.

Je nach Grösse der Stauanlage kann der Grundablass mit einem Mittelablass ergänzt werden.

5.3 Energieumwandlungsbauwerke (Tosbecken)

Der Damm- respektive Mauerfuss muss erosionssicher ausgeführt werden. Der Abfluss über die Hochwasserentlastungsanlage muss in einem Tosbecken beruhigt oder, wenn es die topografischen und geologischen Bedingungen erlauben, über eine Schanze ins Unterwasser abgeführt werden. Falls kein Tosbecken am Dammfuss vorgesehen ist, muss die Geometrie des sich bildenden Kolks berechnet und gegebenenfalls auch die Dammstabilität in diesem Bereich nachgewiesen werden. Bei Geschiebesperren ist die erhöhte Kolkwirkung infolge des Geschiebegemisches zu berücksichtigen.

5.4 Ausrüstung

Falls der Schützenbetrieb elektrisch erfolgt, muss eine davon unabhängige Reserveeinspeisung installiert werden (Notstromaggregate, Batterien, Öl-Akkuanlagen). Damit können allfällige Stromausfälle überbrückt werden. Notfalls müssen sich die Schützen auch im Handbetrieb bewegen lassen.

Die Fernbedienung des Schützenbetriebs ist zulässig und dem Ermessen des Betreibers überlassen. In diesem Fall muss sichergestellt werden, dass die Öffnung stufenweise erfolgt, um ein ungewolltes totales Öffnen zu vermeiden. Die Fernsteuerung muss so konzipiert sein, dass die Schütze nach jeder Stufe von selbst arretiert und für die darauf folgende ein neuer Befehl erforderlich ist. Eine lokale Steuerung muss auf jeden Fall vorhanden sein.

Bei kleinen Anlagen sind im Normalfall manuelle Schützenantriebe ausreichend.

Es ist wichtig, dass die installierten Steuerungen auch während eines Hochwassers zugänglich bleiben und sowohl die Energieversorgung wie auch die Leitungskanäle trocken bleiben.

Gegen winterliche Beeinträchtigungen wie Eisbildung auf den beweglichen Teilen ist der Einbau von Luftblasensystemen oder Heizungselementen hilfreich.

5.5 Massnahmen bei bestehenden Talsperren

Falls bestehende Staumauern oder Dämme den geforderten Kriterien nicht genügen, können die folgenden (nicht nach Dringlichkeit geordneten) Massnahmen ergriffen werden:

- Anpassung der Auslegungsdaten einer Anlage (zum Beispiel die Tieferlegung des Stauziels)
- Erhöhung der Kapazität der Entlastungsanlage (durch Absenkung der Überfallschwelle oder durch Einbau eines weiteren Auslasses)
- Aufbau einer Brüstungsmauer (welche den entsprechenden Wasserdruck aufnehmen kann)
- Erhöhung der Mauer- resp. Dammkrone
- Anwendung von Elementen nach dem Prinzip der Sollbruchdämme
- Erosionsschutz für den Fall des Überströmens
- Neubau einer Hochwasserentlastung

Falls Gefahr besteht, dass ein bestehender Staudamm während eines Hochwassers überströmt wird, kann man Krone und talseitiges Parament nachträglich zu einem Überlaufbauwerk umgestalten, sofern es sich um einen Damm geringer Höhe handelt und die Höhe der Überlaufwelle klein bleibt [1].

6 ÜBERWACHUNG WÄHREND EINES HOCHWASSERS

Die Ausarbeitung von Reglementen und einer Notfallstrategie ist Voraussetzung zur Bewältigung eines Hochwasserereignisses:

- Der Bemessung der Hochwassersicherheit wird eine bestimmte Einsatzstrategie der Ablassorgane zugrunde gelegt. Würde im Einsatzfall anders als entsprechend dieser Strategie gehandelt, könnte allfällig eine Einbusse an Sicherheit resultieren. Es ist deshalb unabdingbar, dass für den Einsatz der Ablassorgane verbindliche Instruktionen vorliegen. Diese Instruktionen müssen in einem „Wehrreglement“ festgehalten werden, eindeutig und einfach umsetzbar sein. Das Wehrreglement regelt das Verhalten sowohl im Normal- wie auch im Pannenfall.
- Eine Notfallstrategie im Hochwasserfall ist notwendig, um das Restrisiko bestmöglich zu beherrschen.

Je nach Wasserstand und hydrologischer Prognose ist eine lokale Präsenz des Überwachungspersonals erforderlich. Die Überwachung umfasst die Beobachtung von Wasserstandsänderungen (ein möglicher Ausfall der Messautomatik wird mit Markierungen oder Wasserstandspegeln kompensiert). Sie ermöglicht, dass die beweglichen Organe (Grund- oder Kronenverschlüsse) im Falle eines Stromunterbruchs oder wegen Ausfall einer Fernsteuerung betätigt werden können und dass unerwartete Wasseraustritte oder auch der Beginn einer Schadenentwicklung rechtzeitig entdeckt werden (Quellenbildung, Grundbrüche bei Dämmen).

Die Überwachungsequipe stellt an Ort die Verbindung zwischen Stauanlage und dem Bereitschaftsdienst sicher. Im Falle einer drohenden Gefahr für die unterliegende Bevölkerung ist sie in der Lage, einen Alarm auszulösen. Dabei muss sie damit rechnen, dass die Telefonverbindungen oft bei Unwetter und/oder starkem Hochwasser unterbrochen sind. Dies unterstreicht die Wichtigkeit eines zweiten, unabhängigen Verbindungsmittels.

7 ÜBERWACHUNG UND UNTERHALT VON EINRICHTUNGEN

Hinweise betreffend die visuellen Kontrollen und die Durchführung von periodischen Funktionskontrollen sind in der Richtlinie Kap. 11 (Überwachung und Unterhalt) aufgeführt.

Im Zuge einer Inspektion wird der Zustand des Betons von Pfeilern, Entlastungsbauwerken, Stollen und Schächten überprüft. Schadstellen sind nötigenfalls zu reparieren. Ebenso wird man sich, zur Gewährleistung eines ungehinderten Abflusses, vergewissern müssen, dass keine Anlagenteile durch Felsblöcke, Schnee oder Eis verstopft sind. Gegebenenfalls müssen solche Ablagerungen unverzüglich entfernt werden.

Falls sich am Fusse von Bauwerken die Bildung von Kolken abzeichnet, müssen regelmässig Aufnahmen gemacht werden. Dies mit dem Ziel, sicher zu sein, dass die Stabilität der Stauanlage nicht gefährdet ist. Das Gleiche gilt für jene Bereiche, die durch Gegenschwellen (z. B. Tosbecken) begrenzt werden.

Um jederzeit die Inbetriebsetzung der Schützen garantieren zu können sind vorzusehen:

- regelmässige Funktionskontrollen an beweglichen Organen,
- Installierung und Kontrolle von Notstromaggregaten



- regelmässige Zustandskontrollen sämtlicher Bestandteile (Schützen, Lager, Führungsprofile, Dichtungselemente, Hebeeinrichtungen, elektrische Einrichtungen etc.) sowie laufende Unterhaltsarbeiten,.

Nützlich ist die Ermittlung der Wasserstände für Hochwässer verschiedener Wiederkehrperioden (10, 20, 50, 100 Jahre), falls ein Staubecken im Falle von Bauarbeiten oder ausserordentlichen Ereignissen auf abgesenktem Niveau gehalten werden muss.

Für den Unterhalt des Vorfluters unterhalb der Sperre mit Augenmerk auf eine ausreichende hydraulische Kapazität, sind in der Regel kantonale Stellen zuständig.

8 DOKUMENTATION IN BEZUG AUF HOCHWASSERSICHERHEIT

Die folgenden Dokumente müssen neben weiteren in der Aktensammlung abgelegt sein:

- Die hydrologischen Studien (mit den Grundlagen und Berechnungshypothesen)
- Die hydraulischen Berechnungen
- Die Schemas der hydraulischen und elektrischen Installationen
- Die wesentlichen Anlagenpläne
- Die Pläne der beweglichen Organe
- Die Kapazitätskurven (Zulauf-Abfluss in Funktion der Zeit, Wasserspiegel in Funktion der Zeit)
- Das Wehrreglement
- Die Notfallstrategie im Hochwasserfall

BIBLIOGRAFIE

(Auswahl)

- [1] André S., 2004: High velocity aerated flows on stepped chutes with macro-roughness elements. Communication LCH N° 20, Ed. A. Schleiss, Lausanne.
- [2] ASF, 1974 : Les débits maximaux des cours d'eau suisses observés jusqu'en 1969 / Die grössten bis zum Jahr 1969 beobachteten Abflussmengen in schweizerischen Gewässern
- [3] Atlas Hydrologique de la Suisse / Hydrologischer Atlas der Schweiz;
http://hydrant.unibe.ch/hades/hades_dt.htm
- [4] Audouard A., Hertig J.-A., Fallot J.-M., 2006 : Modélisation des précipitations extrêmes pour la Suisse. Actes du 19ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC) à Epernay, France 6-9.9.2006, pp. 83-88.
- [5] Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie Nr. 33, 1986 : Abschätzung der Abflüsse in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessungen
- [6] Béroud D., et al.,1992: Calcul des crues extrêmes par des méthodes déterministes du type pluie maximale probable (PMP) / crue maximale probable (PMF), IATE/EPFL, Bonnard & Gardel (Lausanne), SA Ufficio d'Ingegneria Maggia (Locarno)
- [7] Biedermann R., et al., 1988 : Safety of swiss dams against floods: Design criteria and design flood, CNSGB, CIGB Q.63 R. 22
- [8] Boillat J.-L.; Schleiss A., 2002 : Détermination de la crue extrême pour les retenues alpines par une approche PMP-PMF, Wasser, energie, luft – eau, énergie, air, 94. Jahrgang, Heft 3/4, pages 107-116
- [9] Brena A., 2007: On the sensitivity analysis of the PMF to the space-time distribution of a PMP. Analysis of the hydrological response of a catchment. Analyse de la sensibilité de la PMF à la distribution spatiale et temporelle d'une PMP. Master of Advanced Studies Thesis, EPFL.
- [10] Bulletin ICOLD 108;1998 : Cost of flood control in dams, review and recommendations / Coût de la maîtrise des crues dans les barrages, synthèse et recommandations
- [11] Bulletin ICOLD 109, 1997 : Dams less than thirty meters high / Barrages de moins de 30 m de hauteur
- [12] Bulletin ICOLD 57, 1987 : Spillways for dams / Évacuateur des crues de barrages
- [13] Bulletin ICOLD 82, 1992 : Selection of design flood, current methods / Choix de la crue de projet, méthodes actuelles
- [14] Bulletin ICOLD 99, 1995 : Dam failures, statistical analysis / Rupture de barrages, analyse statistique
- [15] Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für. Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Landeshydrologie und -geologie LHG, 1991: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987: Ergebnisse der Untersuchungen. Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 4; Mitteilungen der Landeshydrologie und -geologie, 14, Bern.
- [16] Chow V. T.,1988 : Applied Hydrology, Civil Engineering Series, McGraw-Hill International Edition
- [17] CRSFA, 1993 : Intempéries du Haut-Valais: les précipitations des 22-25 septembre 1993 sur le massif du Simplon. CRSFA, CH-1950 Sion.
- [18] Dubois, J., Boillat, J.-L., 2000 : Routing System, Modélisation de routage de crues dans systèmes hydrauliques à surface libre, Communication 9, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- [19] Dubois, J., Piroton, M., 2002 : Génération et transfert des crues extrêmes, Communication 10, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- [20] Dubreuil P.,1974: Initiation à l'analyse hydrologique, Editions Masson et Cie (Paris)
- [21] Favre, A-C., 2000: Single and multi-site modeling of rainfall based on the Neyman-Scott process. Thèse EPFL, no 2320.



- [22] Hernandez, J. G. et al., 2007 : Routing System II, Modélisation d'écoulements dans des systèmes hydrauliques, Communication 32, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- [23] Hertig, J.-A., Fallot J.-M., Brena A., 2007 : Méthode d'utilisation des cartes de PMP pour l'obtention de la PMF
- [24] Hertig, J.-A., Audouard A., 2005 : Cartes des précipitations extrêmes pour la Suisse (PMP 2005). Rapport final EPFL-EFLUM, Lausanne; revidierte Karten 2008
- [25] Landeshydrologie und -geologie (LGH), 1986 / 1988 : Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern; Hydrologische Mitteilungen Nr. 7 und Nr. 8
- [26] Landeshydrologie und -geologie (LGH); Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz (Periodika)
- [27] Meylan P., Musy A., 1999 : Hydrologie Fréquentielle, Edition HGA Bucarest
- [28] Musy A. & Higy C.; 2004 : Hydrologie, une science de la nature, Presses polytechniques et universitaires romandes
- [29] Musy A. e-drologie Cours d'hydrologie générale, Site Web de l'Ecole polytechnique de Lausanne :<http://echo.epfl.ch/e-drologie/>
- [30] Réméniéras G., 1986 : l'hydrologie de l'ingénieur, Editions Eyrolles
- [31] Sinniger, R. et al., 1997 : Recherche dans le domaine des barrages, Crues extrêmes, Communication 5, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- [32] Spreafico M. Weingartner R. et al. 2003 : Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Berichte des BWG, Serie Wasser - Rapports de l'OFEG, Série Eaux - Rapporti dell'UFAEG, Serie Acque, Nr.4
- [33] Starkniederschläge des Alpen- und Alpenrandgebietes (EAFV 1977 und WSL 1992)
- [34] Vischer D., 1980 : Das höchstmögliche Hochwasser und der empirische Grenzabfluss, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 40 1980.
- [35] WMO, 1986 : Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. WMO- No. 332, WMO, Geneva
- [36] Zeller, J., Geiger, H., Roethlisberger, G., 1980 : Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrand-Gebiet', Institut Fédéral de Recherche Forestière (FNP: Birmensdorf)
- [37] Zellweger, F., Musy, A., 2000 : CRUEX, rapport de synthèse. Rapport IATE/HYDRAM, EPFL, Lausanne.