



# WEHRANLAGEN AN FLÜSSEN: SICHERHEITS- & ÜBERWACHUNGSKONZEPT

Ergänzende Massnahmen zu kleinen Gewichtsmauern



Endbericht

---

Verfasser



Pöry Energy AG  
Marco Peter  
Hardturmstrasse 161, Postfach  
CH-8037 Zürich/ Schweiz

---

## **Impressum**

**Datum:**

Mai 2008

**Auftragsgeber:**

Bundesamt für Energie, Sektion Talsperren, 3000 Bern

**Auftragsnehmer:**

Pöyry Energy AG, Hardturmstrasse 161, Postfach, CH-8037 Zürich

**Autor:**

Hr. Marco Peter

**Begleitung:**

Herren Rudolf Müller und Rocco Panduri, Bundesamt für Energie, Sektion Talsperren,  
3003 Bern

Diese Studie wurde im Rahmen der dem Bundesamt für Energie BFE zugewiesenen Aufgaben als Aufsichtsbehörde für die Sicherheit der Talsperren erstellt. Für den Inhalt ist allein der Studienverfasser verantwortlich.

## **Inhalt**

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN VON FLUSSWEHREN</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>MÖGLICHE VERSAGENSSZENARIEN UND BESONDERE SCHÄDEN</b>	<b>7</b>
3.1	Allgemein	7
3.2	Überstau	7
3.3	Schäden durch strömendes Wasser	10
<b>4</b>	<b>SPEZIFISCHE SICHERHEITSMÄSSIGE ANFORDERUNGEN AN WEHRE</b>	<b>16</b>
4.1	Nachweiskonzept im Hinblick auf das Gefährdungspotential	16
4.2	Automatisierung und Handeingriff	17
4.3	Darstellung der Sicherheit der Ausrüstung und Betrieb	17
<b>5</b>	<b>KONTROLLEN, MESSUNGEN UND TESTS</b>	<b>20</b>
5.1	Echolotvermessungen	20
5.2	Taucherkundungen	21
5.3	Verformungsmessungen	23
5.4	Wasserstands- und Auftriebsmessungen	24
5.5	Sickerwassermessungen	25
5.6	Visuelle Kontrollen über Wasser	25
5.7	Regelmässig durchzuführende Tests / Funktionsproben	26
<b>6</b>	<b>ZUTEILUNG DER DURCHZUFÜHRENDE ÜBERPRÜFUNGEN ZU DEN ÜBERWACHUNGSNIVEAUS</b>	<b>29</b>
6.1	Niveau 1: Betreiber	29
6.2	Niveau 2: Jährliche Kontrolle	30
6.3	Niveau 3: Periodische Sicherheitsüberprüfung	31
<b>7</b>	<b>VORBEREITUNG EINES MUSTER-ÜBERWACHUNGSREGLEMENTS</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>35</b>

## **Anhang**

### **BEISPIEL EINES MUSTER- ÜBERWACHUNGSREGLEMENTS**

## 1 EINLEITUNG

Die am 1. Januar 1999 in der Schweiz in Kraft getretene Stauanlagenverordnung 721.102 erweiterte den Geltungsbereich der klassischen Talsperren auf viele kleinere Stauanlagen und somit auch auf Wehranlagen, sofern sie die Unterstellungskriterien erfüllen.

Das Schweizer Sicherheitskonzept besteht aus den drei Pfeilern

- (1) konstruktive Sicherheit,
- (2) Überwachung & Unterhalt und
- (3) Notfallplanung.

Stauwehre weisen gegenüber anderen Stauanlagen gewisse Besonderheiten auf, die eine entsprechende Erweiterung / Anpassung der für die alpinen Talsperren geltenden Überwachungsprozeduren erfordern. Insbesondere erzielen Stauwehre den Stau zur Hauptsache durch bewegliche Verschlüsse und müssen den Zufluss unmittelbar weiterleiten.

Mit Vertrag vom 25. Januar 2008 wurde Pöyry Energy AG (PE) durch das Bundesamt für Energie (BFE) beauftragt, folgende Themen für die Grundlegendokumentation der Stauanlagen zu bearbeiten:

- Aufzeichnung der konstruktiven Besonderheiten von Flusswehren und ihrer Nebenanlagen, insbesondere im Bezug auf
  - mögliche Konsequenzen von Erfassungs-, Steuerungs- und Regelungsfehlern;
  - mögliche konstruktive und betriebliche Massnahmen zur Minimierung des Auftretens von Erfassungs-, Steuerungs- und Regelungsfehlern;
  - mögliche Versagensszenarien (Teilbrüche oder Totalversagen).
- Aufzeichnung der spezifischen sicherheitsmässigen Anforderungen an Wehre, in Bezug auf:
  - Die konstruktive Gestaltung inklusive Erfassungs- und Steuerorgane;
  - Die durchzuführenden visuellen Kontrollen (Umfang und Kontrollfrequenz);
  - Die durchzuführenden Messungen (Instrumentarium und Messfrequenz);
  - Die regelmässig durchzuführenden Funktionsproben / Tests (Steuerungselement, Verschlussorgane, ... samt Frequenz).
- Zuteilung der durchzuführenden Überprüfungen zu den Überwachungsniveaus (mit jeweiliger Angabe der Frequenz):
  - Niveau 1: Betreiber
  - Niveau 2: Erfahrene Fachperson (mit jährlicher Kontrolle)
  - Niveau 3: Experte (mit 10-jährlicher vertiefter Sicherheitsüberprüfung)
- Vorbereitung eines Muster-Überwachungsreglements

In Vordergrund stehen grössere Wehranlagen von Wasserkraftwerken an Flüssen mit beweglichen Verschlüssen.

Am ehesten sind Wehranlagen mit kleinen Gewichtsmauern zu vergleichen, da sie statisch ähnlich wirken. Neben den Anforderungen, die kleine Gewichtsmauern zu erfüllen haben, gilt es aber gründlich zu überlegen, welche zusätzlichen Besonderheiten und Problemstellungen bei einer Wehranlage zu beachten sind. Nachstehend werden vor allem diejenigen Aspekte behandelt, die sowohl in den einschlägigen Schriften des Bundesamtes für Energie als auch in der DIN 19700 nur kurz gestreift werden.

Im Zuge der länderübergreifenden technischen Harmonisierung und insbesondere auch im Hinblick auf eine Umsetzung am Hochrhein wird auch auf die DIN 19700 [10,11,12] eingegangen.

Als Zielpublikum werden Bauingenieure aus dem Kraftwerks-/ Talsperrenbau und die Verantwortlichen von Leittechnik und Betrieb angesprochen. Die stark variierenden Betriebsbedingungen und möglichen Störungen von Wehranlagen werden aufgezeigt. Wiederholungen von allgemein Gültigem aus den einschlägigen Publikationen (Literaturverzeichnis im Kapitel 8) werden weitgehend vermieden.



Gleiche Wehranlage (Dachwehr) im kalten Winter (oben) und bei Hochwasser (unten)

## 2 KONSTRUKTIVE BESONDERHEITEN VON FLUSSWEHREN

Wehranlagen heben den Wasserspiegel eines Flusses oder Bachs auf ein erhöhtes Niveau und leiten die an der Wehrstruktur angreifenden Kräfte ins Fundament. Neben starren Wehrkörpern sind auch meist bewegliche Verschlüsse vorhanden, um variable Wassermengen durch die Anlage leiten zu können.

Eine Wehranlage hat **grundsätzlich alle Anforderungen einer kleinen Gewichtsmauer zu erfüllen**, da die angreifenden Wasserdruckkräfte über das Eigengewicht von Pfeiler und Sohlplatte in den Untergrund geleitet werden. Da sie wesentlich komplexer gebaut sind, durch strömendes Wasser beansprucht werden und die „richtigen“ Durchflussmengen durch einen Betrieb sichergestellt werden müssen, sind zusätzliche Anforderungen zu stellen.

Die wesentlichen Unterschiede einer Wehranlage zu einer kleinen aufgelösten alpinen Gewichtsmauer sind:

1. Aufgrund der **geringen Höhendifferenz** des Stauraumes zu einem möglichem Überschwemmungsgebiet (meist rund 5 bis 15 m) gibt es grundsätzlich kaum Wehranlagen mit einem sehr hohen Potential an möglichen Drittschäden, wie dies bei der einen oder andern Stauanlage denkbar ist.  
Folgerung: Diese günstigeren Verhältnisse könnten möglicherweise bei den Anforderungen angemessen berücksichtigt werden.
2. Ein wesentlicher Teil des potentiellen Gefährdungsbereiches ist das Flussbett und liegt somit bereits im Bereich des Gewässers. Die **Anzahl der Personen, die sich im potentiellen Gefährdungsbereich** aufhalten können, sind einem wesentlich grösseren Schwankungsbereich (Schönwettersonntag im Sommer) unterworfen, als bei üblichen Sperren.  
Folgerung: Das Gefährdungskriterium sollte möglicherweise angepasst werden.
3. Ein grosser **Teil der Sperrenkonstruktion ist meist beweglich**. Wenn die einwandfreie Funktionsweise der beweglichen Verschlüsse nicht gewährleistet ist, können sehr schnell Stauspiegelschwankungen auftreten.  
Folgerung: Es müssen Massnahmen bei der Ausrüstung ergriffen werden, um ungeplanten Überstau mit Sicherheit zu vermeiden, oder der Überstau ist bei der Auslegung der Anlage zu berücksichtigen.
4. Die **Wasserzuflüsse sind unvergleichlich grösser** als bei alpinen Sperren, und die Zuflüsse müssen jederzeit weitgehend korrekt nach unten abgegeben werden. Durch die grossen Durchflussmengen, die minutengenau richtig abgeleitet werden müssen, ist das Risiko von ernststen Zwischenfällen aber unvergleichlich grösser als bei üblichen Stauanlagen. Je nach Dimensionierung einer Wehranlage kann dies unbedeutende oder erhebliche Gefährdungen für Dritte auslösen. Die Wasserdruckkräfte (Überstau, Unterstau) können sich durch betriebliche Eingriffe sehr schnell ändern.  
Folgerung: ungeplanten Überstau vermeiden resp. in der Auslegung berücksichtigen.

5. Durch betriebliche Störungen können auch **Schwall- und Sunkwellen** ausgelöst werden.  
Folgerung: Der Anlagenbetreiber hat einerseits die erforderlichen Vorkehrungen zur Minimierung von Schwall und Sunk zu ergreifen. Andererseits müssen die Uferverbauungen im Ober- und Unterwasser darauf ausgelegt werden und die Nutzer in diesen Gewässerabschnitten müssen sich auf seltene Störfälle ausrichten.
6. In der Regel ist kein oder nur ein **unbedeutendes Nutz- oder Hochwasservolumen** vorhanden.  
Folgerung: Dies hat zur Folge, dass die Alarmkonzepte in Notfällen / Gefahrenstufen (wie bei alpinen Speichern), aus zeitlichen Gründen nicht umgesetzt werden können.
7. Die Sperrenkonstruktion **liegt oft erheblich stärker unter Wasser** als eine alpine Sperre, was Beobachtungen erschwert.  
Folgerung: Kontrollen können über weite Bereiche nur mit Echolot und Taucher erfolgen.
8. **Stauabsenkungen** können bei grösseren Anlagen in der Regel **nicht einmal ausnahmsweise** erfolgen, da das Bewilligungsverfahren viel zu komplex ist.  
Folgerung: Die Praxis des Vermeidens von Stauabsenkungen ist zu hinterfragen. Eine periodische, vorbereitete und überlegte (teilweise) Absenkung
  - würde Kontrollen und Reparaturen (auch im Stauraum) vereinfachen,
  - könnte den Geschiebe- und Sedimenttransport teilweise ermöglichen und
  - wäre auch eine ausgezeichnete Vorbereitung auf eventuelle Notfälle.Dies hat aber Einflüsse auf Bootshäfen, Grundwasserbrunnen, eingestaute Deponien, Uferbefestigungen, etc.
9. Eine Wehranlage ist im Gegensatz zu einer Talsperre nicht nur statischen Kräften ausgesetzt, sondern wird beim Betrieb **auch der Strömung des Wassers ausgesetzt**, was **Erosionsschäden** durch Unterdruck, **Abrasion** infolge des Geschiebetriebes oder auch **Anprall** durch Baumstämme, Boote oder Arbeitspontons zur Folge haben kann.  
Folgerung: Das Schadenspotential ist stark vom der Grösse und Dauer der Hochwasser abhängig. Diesbezügliche Kontrollen sollten eher mit Bezug auf die Hochwasserfracht als zeitabhängig festgelegt werden.
10. Die **Erfassung und Auswertung von Messwerten ist problematischer** als bei einer Talsperre, da die Deformationen so klein sind, dass sie nicht mehr gemessen werden können, und infolge des Einstaus sind Sickerwassermengen kaum zu erfassen.  
Folgerung: Ähnlich wie bei einer Sperre von geringer Höhe kann nur das Normalverhalten bestätigt oder ausserordentliches Verhalten kann frühzeitig erkannt werden.
11. Wehranlagen liegen oft in relativ flachem Gelände.  
Folgerung: Bei Wehranlagen können **auch Umgelände** (Widerlagerbereiche des Wehres) **und Seitendämme** zu Problemen führen.

12. Im Zuge des letzten Jahrhunderts wurde eine Vielzahl an Bauweisen, Schützenkonstruktionen und statischen Konzepten bei Wehranlagen realisiert. Auch die Bewehrungsgehalte schwanken je nach Alter und Konstruktionsart sehr stark.

Folgerung: Bei Wehranlagen müssen die konstruktiven Besonderheiten und die verschiedenen statischen Systeme je nach Anlage genau analysiert werden.



Stampfbeton mit meist tiefen Spannungen

### 3 MÖGLICHE VERSAGENSSZENARIOEN UND BESONDERE SCHÄDEN

#### 3.1 Allgemein

Neben den üblichen Gefährdungsbildern einer alpinen Stauanlage wie Gleiten, Kippen, zu grosser Spannungen in der Struktur oder Fundationsversagen unter Normallast(en) und Erdbeben kommen bei einer Wehranlage noch folgende Lastfälle dazu:

- **Wehrfeld entleert** (Dambalken gesetzt und Zwischenraum ausgepumpt), dabei werden jeweils zwei Pfeiler sowohl längs als auch quer zur Fliessrichtung beansprucht und die Wehrsohle kommt meist unter Beanspruchung durch die Auftriebskraft (und würde ohne seitliche Verbindung aufschwimmen).
- **Überstau:** Bei einer Wehranlage ist die Gefahr eines Überstaus ganz erheblich grösser und aufgrund der geringen Höhe sind die Folgen auch viel bedeutender.
- **Erosionsschäden** durch den Wehrbetrieb.
- Eventuell zusätzliche Last durch **Sedimentation**.

In der Regel ist nicht klar, welche Kombinationen von Oberwasser- und Unterwasserspiegelkoten massgebend werden, was den Umfang der Nachweise erhöht (ein tiefer Unterwasserspiegel reduziert die rückhaltenden Kräfte, gleichzeitig werden aber die Auftriebskräfte reduziert).

Neben den üblichen Problemen, die Untergrundparameter mit ausreichender Genauigkeit in den Griff zu kriegen, stellt sich auch die entscheidende Frage, wie viel Überstau angesetzt werden soll.

#### 3.2 Überstau

Die meisten Wehranlagen an den Flüssen wurden vor mehreren Jahrzehnten erstellt und erst in den letzten 5 bis 15 Jahren automatisiert, nachdem die viel zahlreicheren, alpinen Wasserkraftwerke (mit wesentlich höherem Gefährdungspotential) automatisiert wurden. Die meisten Schweizerischen Kraftwerke gehen aber mit erheblich kleineren Wassermengen um als Flusskraftwerke. Konzepte von alpinen Anlagen haben bei Flusskraftwerken nur einen beschränkten Wert.

Bei Flusskraftwerken ist dem absolut sicheren Vermeiden eines zu hohen Überstaus die erste Priorität einzuräumen.

Dabei sind 3 Fälle zu beachten:

- **Störung mit Abschaltung der Turbinen:**  
Im Vordergrund steht hier der gefürchtete Fall des Netzausfalles, was zum automatischen Abschalten aller Maschinengruppen führt. Das Stauwehr muss innert Minuten öffnen.  
Auch moderne Turbinen können nur begrenzte Zeit den belastungsfreien Durchfluss mit extremen Stellungen von Leitapparat und Schaufeln ermöglichen. Diese Zeit reicht oft nur zum Öffnen des Wehres.
- **Störung ohne Abschaltung der Turbinen:**  
Da die Wassermenge am Stauwehr nur durch die natürliche Schwankung ändert, ist

dieser Fall eher von untergeordneter Bedeutung. Dafür steht wesentlich mehr Zeit zur Verfügung.

- Fehlbetrieb des Reglers wie z.B Schliessen der Schützen, obwohl dafür kein Grund besteht.

Der **Überstau** kann bei Lastabwurf der Maschinen, je nach Wasserführung **sehr schnell erfolgen**. Dies kann gerade bei Stauanlagen geringer Höhe rasch zu ernststen Problemen führen; da

- **das Kippmoment mit der 3. Potenz der Stauhöhe zunimmt**
- **die treibenden Kräfte im Quadrat der Stauhöhe zunehmen (Gleiten)**
- **beim Überströmen von seitlichen Abschlussdämmen rasch eine Lockermaterialserosion eintritt**



Kleinkraftwerk (Teil des Wehres rechts im Bild) nach dem Überströmen des seitlichen Bereichs, nachdem die Entlastungsschütze bei Hochwasser nicht öffnete

Meist ist die Höhe des Freibordes massgebend. Bei Überschreiten des Freibordes kann oft das zugehörige Kraftwerk durch Öffnungen (z.B. Türen) überschwemmt werden, oder es kann eine Erosion des Lockermaterials eintreten. Sobald ein Schüttdamm oder Widerlagerbereich überströmt wird, muss rasch mit einem Teilbruch durch Erosion gerechnet werden.

Aber auch Umkippen der Wehrstruktur oder Versagen durch Gleiten sind nicht ausser Acht zu lassen. Insbesondere alte Wehrkonstruktionen mit wenig Bewehrung und ungenügendem Verbund mit dem Tosbecken können geringe Reserven bei der Kipsicherheit aufweisen. Neue Konstruktionen mit mächtigen Tosbecken sind weniger empfindlich auf unplanmässige Überbelastungen.

**Ein Überstau kann durch Fehler entstehen bei:**

- manueller Betriebsführung
- falschen Messwerten
- Leittechnik (Automatik)
- elektrische Anspeisung
- mechanischen Antrieben
- zu geringer Hochwasserauslegung resp. einer Verklausung der Wehröffnungen durch Baumstämme bei Hochwasser
- einer Blockierung der Schützenkonstruktion durch Vereisung (oder Sedimentation bei schlechter Konstruktion)
- Sabotage



Dammbruch durch Überpumpen infolge falscher Messwertanzeige bei ungenügend befestigten Sonden (Taum Sauk, USA, Dez. 2005)

Die elektrische Anspeisung und mechanische Sicherheit kann weitgehend durch entsprechende Redundanzen gewährleistet werden. Dies gilt es aber auch sicher zu stellen.

Komplexer ist das Zusammenspiel von Automatik und manueller Eingriffe. Es ist allgemein üblich, dass bei Störungen in der Datenerfassung oder Leittechnik automatisch ein Pikettdienst aufgeboden wird, der dann von Hand eingreifen kann.

Besonderes Augenmerk ist auf folgende Störungen und Aspekte zu legen:

- **Netzausfall des zugehörigen Flusskraftwerkes:**  
Beim Wegfallen des Netzes bei einem Flusskraftwerk müssen die Turbinen innert Minuten weitgehend abgestellt werden. Die Betriebswassermenge des Kraftwerkes muss unverzüglich durch das Stauwehr kompensiert werden.
- **Erdbeben beim Flusskraftwerk:**  
Es ist kaum ausreichend, nur die Wehranlage auf das Bemessungsbeben auszule-

gen. Es müssen auch die Ausrüstungskomponenten (und deren Räume), die für den Wehrbetrieb erforderlich sind, auf das Bemessungsbeben ausgelegt sein.

Nach einem grösseren Beben kann kaum damit gerechnet werden, dass das Stromnetz noch intakt ist, was zu einer Abschaltung des Kraftwerkes führt. Die Betriebswassermenge des Kraftwerkes muss unverzüglich durch das Stauwehr kompensiert werden.

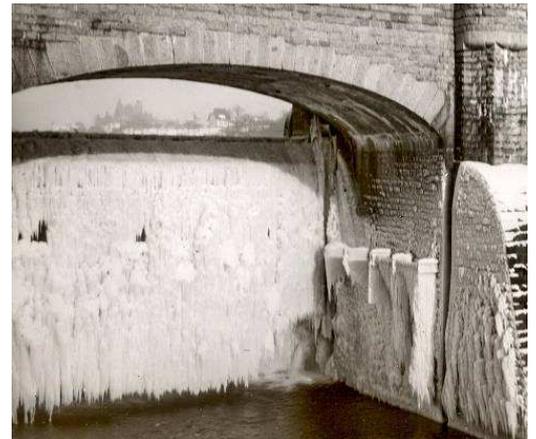
- **Trennung der Hauptleitungen**

Eine Unterbrechung von Steuer- und Energieleitungen ist sicher nicht die Regel, kann jedoch nie ganz ausgeschlossen werden. Falls ein grosser Baumstamm, Boot oder Arbeitsponton in die Anlage prallt, so wird man die lokal auftretenden Schäden akzeptieren, doch darf dadurch nicht die ganze Wehrsteuerung, die Energieversorgung des Wehres oder der Zugang zur Anlage unterbrochen werden.

- **Verkleben der Schützen durch Eisbildung, erhöhte Last durch Eis**

Dieser selten vorkommende Fall tritt nur bei lange anhaltenden, sehr tiefen Temperaturen auf und kann bei uns mit gutem Recht nur in einer Niederwasserperiode angenommen werden.

Um dies zu verhindern reicht es, einen kleinen Teil der Schützenkapazität mit heizbaren Schützensnuten oder einer Luftperlanlage auszurüsten.



gleiche Wehrschütze, einmal im Sommer und einmal im Extremwinter

### 3.3 Schäden durch strömendes Wasser

Bei den üblicherweise verwendeten Baumaterialien aus Beton, Stahl und Naturstein erfolgt eine zeitabhängige Alterung durch Korrosion des Stahls bei ungenügender Betondeckung oder dem Einsatz von Streusalz. Frostschäden am Beton sind das Resultat ungenügender Betonqualitäten und selten erfolgen auch chemische Angriffe. Wie bei andern Bauwerken erfolgen diese üblichen Alterungserscheinungen langsam und können über die Jahre verfolgt werden.

Bei Wehranlagen kommt zusätzlich noch die Beanspruchung durch das strömende Wasser dazu. Dies kann je nach Wehrbetrieb über lange Perioden nur unbedeutende Schäden verursachen. Bei lange anhaltendem Hochwasser können sich aber auch über wenige Wochen erhebliche Schäden einstellen.

Besonderes Augenmerk ist auf folgende möglichen Schadensbilder bei Hochwasserabfluss zu legen:

- **Anprall von schwimmenden Baumstämmen** an den Schützen und ihren Armaturen.
  - Strom-, Steuerungs- und Hydraulikleitungen sollten auf jeden Fall so verlegt sein, dass sie durch Baumstämmen nicht beschädigt werden können. Baumstämmen, die in einen Wirbel geraten, können sich aufstellen und mehr als einen Meter aus dem Wasser ragen.
  - Dies erfordert auch einen ausreichend hohen Schützenhub, damit bei voll gezogenen Schützen ein ausreichend grosses Lichtraumprofil zwischen Wasserspiegel und Schützenunterkante verbleibt.
  - Analoges gilt natürlich für Bedienungsstege (Es ist schon vorgekommen, dass ein Dienststeg, der auch alle Steuerungs- und Stromkabel enthielt, beim Hochwasser durch einen Baumstamm weggerissen wurde).



Schwemmholz bei Hochwasser unmittelbar vor einer Wehröffnung



Aufbäumender Baumstamm in der Nähe eines Wirbels

- **Erosionsschäden im Unterwasser**

Besonders gefährdet ist hier der an die Baustruktur anschliessende natürliche Untergrund, der oft deutlich kleinere Festigkeiten aufweist als die Wehrsohle. Auch hydraulisch unschön geformte Strukturen sind besonders gefährdet, wenn an ihnen Unterdruck entsteht.



Erosion an hochwertigen Granitsteinen durch Unterdruck nach einer Kante

Bei Natursteinbauwerken sind diejenigen Steine besonders gefährdet, die keine mehrseitige Verspannung aufweisen.

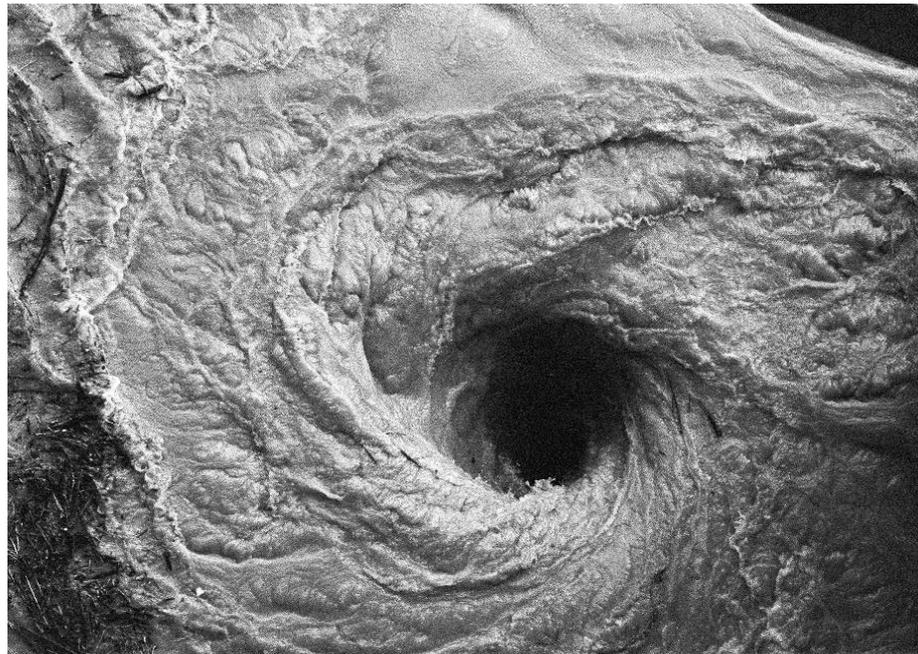


ungleichmässiger Wehrabfluss von über 100 MW Leistung durch n-1 Wehröffnungen

- **Erosionsschäden im Oberwasser**

Durch ungleichmäßige Beaufschlagung der Wehrfelder, bei unterschiedlich stark geöffneten Wehrfeldern oder einem vollständig verschlossenen Wehrfeld (n-1) treten im Oberwasser teilweise erhebliche Wirbel auf, die in unmittelbarer Nähe der Pfeilerköpfe zu einem Pfeilerkolk führen.

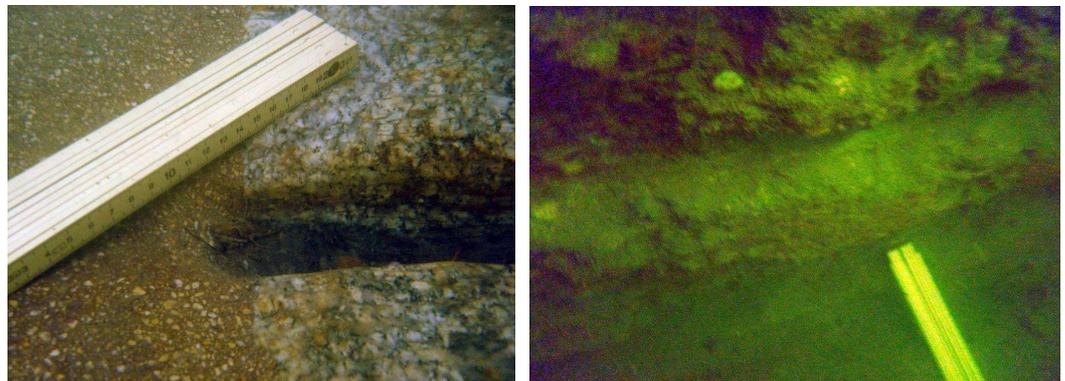
Gut konstruierte Wehranlagen haben deshalb einen kurzen Vorboden auf der Oberwasserseite. Besonders heikel ist dieser Pfeilerkolk, wenn Wehrpfeiler und Wehrschwelle unabhängig erstellt wurden.



Wirbel im Oberwasser verursacht durch ungleiche Schützenöffnungen

- **Abrasionsschäden**

Die Schäden durch schleifende oder springende Steine (Geschiebe) entwickeln sich langsam, aber stetig mit jedem Hochwasserabfluss. Besonders gefährdet sind die tiefst liegenden Bereiche (Sohle) und die Zonen von eventuellen Walzen / Wirbeln.



Ausgeschliffener Fugenmörtel und zerschlagene Stirnwand aus Beton

- **Zusatzlasten durch Sedimente an Schützen (oder Dammbalken)**  
Bei gut konstruierten Stahlwasserbauten ist dies von geringer Bedeutung. Bei alten Schützen oder Dammbalken, die eine erhebliche Sedimentation auf liegenden Stahlträgern zulassen, kann das Zusatzgewicht aber erheblich werden.



Sedimente auf einem Dammbalken



Sedimentation vor einem Kraftwerkseinlauf

Sedimente, die nicht weggeschwemmt werden (z.B. in Randbereichen von Wehranlagen), können auch die Belastung auf die Struktur vergrößern.

- **Verkleben der Schützen durch Baumstämme**  
Je nach Konstruktionsart können sich möglicherweise Baumstämme in den Schützenkonstruktionen verfangen. Besonderes Augenmerk ist auf ein eventuelles Schleifen von Baumstämmen an den Pfeilern bei Schützenbetätigung zu legen. Bei alten Fachwerkkonstruktionen kann diese Problematik erheblich sein. Bei neuen Segmentschützen tritt diese Problematik aber kaum auf.



Verklemmter Baumstamm in aufgelöster Schützenkonstruktion

Die meisten potentiellen Gefährdungen / Schäden entstehen langsam und können in der Regel durch Beobachtungen rechtzeitig erkannt werden.

Besonderes Augenmerk ist auf diejenigen Aspekte zu legen, die plötzlich entstehen oder die sich rasch ausbreiten können. Dies sind:

- Anprallschäden
- Erosionsschäden bei alten, mit Naturstein verkleideten Stampfbeton-Bauwerken. Wenn ein einziger Steinblock verloren gehen sollte, so könnte sich die Erosion im Stampfbeton sehr schnell ausbreiten.

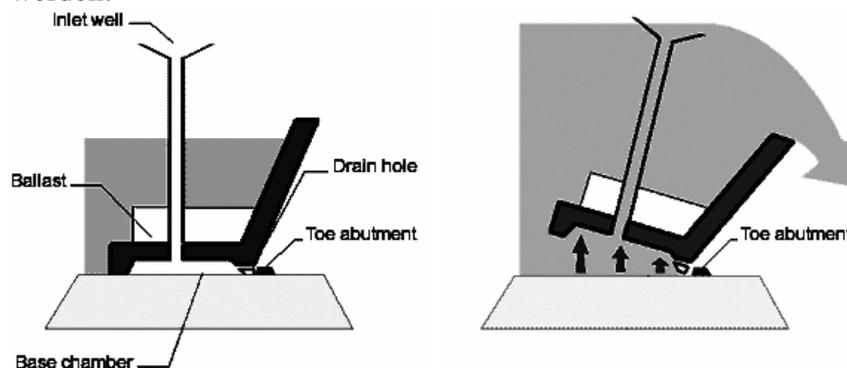
## 4 SPEZIFISCHE SICHERHEITSMÄSSIGE ANFORDERUNGEN AN WEHRE

Mögliche konstruktive und betriebliche Massnahmen zur Minimierung des Auftretens von Steuerungs- und Kontrollfehlern

### 4.1 Nachweiskonzept im Hinblick auf das Gefährdungspotential

Für bestehende Wehranlagen an Flüssen, die meist vor mehreren Jahrzehnten erstellt wurden und in den letzten 5 bis 15 Jahren meistens automatisiert wurden, um nur noch während den Normalarbeitszeiten mit Personal vor Ort zu sein, wird folgendes Nachweiskonzept zur Erhöhung der Sicherheit empfohlen:

1. Im Hinblick auf das Gefährdungspotential an Dritten, ist es in der Schweiz üblich, die **Flutwellen bei einem Bruch** der Stauanlage zu ermitteln.
2. Falls bei den Flutwellenausbreitungen Gefährdungen Dritter erfolgen, so sollte der Anlagenbetreiber aufzeigen, dass die Anlage nicht schlagartig brechen und nur in ungefährlichen Etappen das Wasser abgeben kann. Dies wird voraussichtlich nur in Ausnahmefällen möglich sein. Es könnte z.B. mit einem Fusegate System erreicht werden:



Fusegate System von Hydroplus ([www.hydroplus.com](http://www.hydroplus.com))

Die Installation des oben dargestellten Systems erfordert Platz, der bei bestehenden Anlagen meistens nicht vorhanden ist. Ein Fusegate System basierend auf erodierendem Sand dürfte in Zentraleuropa aufgrund der zu erwartenden intensiven Vegetation kaum in Frage kommen.

3. Wenn die beiden vorstehend beschriebenen Schritte nicht aufzeigen können, dass keine nennenswerte Gefährdung Dritter erfolgen kann, **so ist der Lastfall Überstau und seine zeitliche Entwicklung genauer zu untersuchen** und folgendes darzustellen:
  - Wie ist der **zeitliche Verlauf des Wasserspiegelanstieges** für folgende ausgewählte Fälle:
    - Notabschaltung des Kraftwerks bei einem Abfluss im Gewässer, der gerade der Ausbauwassermenge des Kraftwerks entspricht (mutmasslicher ungünstigster Fall)
    - bei 50% tieferen und 50% höheren Abflüssen

- Wie ist der Verlauf des Sicherheitsfaktors bei steigendem Überstau
  - Auf welcher Kote liegt der höchst „mögliche“ Oberwasserstand, bei der die Wehranlage ausser Kontrolle gerät, d.h.
    - Statisches Versagen der Hauptstruktur (rechnerische Sicherheit 1)
    - Überströmen des seitlichen Umgeländes vom Oberwasser zum Unterwasser
    - Überströmen von seitlichen Dämmen
    - Einströmen von Wasser ins Krafthaus (z.B. durch Türöffnungen)
4. Basierend auf den Ergebnissen von Punkt 3 ist ein darauf abgestimmtes Notfallkonzept zu erarbeiten, das gewährleistet, dass
- Die Alarmierung unter allen Umständen funktioniert
  - Die erforderlichen Pikettleute ausreichend schnell vor Ort sind, die Situation in nützlicher Frist erfassen und die erforderlichen Massnahmen einleiten können
  - Die entsprechenden Redundanzen und Mittel zur Verfügung stehen, damit jederzeit die Wehrschützen geöffnet werden können

Dies erfordert eine ähnliche Organisation wie dies im Hinblick auf die Vermeidung und Bekämpfung von Bränden üblich ist (siehe dazu auch Kapitel 4.3).

## 4.2 Automatisierung und Handeingriff

Im Gegensatz zu vollständig automatisierten Systemen, die mindestens 3 unabhängige Systeme von Erfassung und Verarbeitung erfordern (2 Systeme entscheiden über dasjenige mit einer Abweichung/ Fehler) ist es bei der Kraftwerksleittechnik meist üblich, bei Störungen den Pikettdienst aufzubieten, der von Hand die richtige Entscheidungen trifft.

## 4.3 Darstellung der Sicherheit der Ausrüstung und Betrieb

Es ist Aufgabe des Wehr- / Kraftwerksbetreibers, die entsprechenden Sicherheiten gegen grobe Abweichungen des Staupegels aufzuzeigen und darzustellen, dass

- **mindestens eine Wehrschütze ausser Betrieb** sein kann (n-1 Kriterium). Das allgemein gültige n-1 Kriterium ist aber auch zu hinterfragen:
  - Bei grossen Anlagen mit vielen Wehröffnungen, schlecht unterhaltenen oder alten Anlagen kann es durchaus angemessen sein, das n-1 Kriterium zu erhöhen. Siehe dazu [13].
  - Bei kleinen Anlagen im Gebirge mit ausgeprägten Niederwasserperioden im Winter und wenig Breite (Verklaunungsgefahr) kann es aber durchaus sinnvoll sein, Revisionen nur auf die Winterperiode zu verlegen, die eine Hauptschütze mit zwei unabhängigen Antrieben zu versehen und diese Schütze auch so auszulegen.

- Besonderes Augenmerk ist auf Flüsse geringer Breite zu legen, die eine hohe Holzfracht führen können. Um Baumstämme durch ein Wehrfeld leiten zu können, sind lichte Öffnungen von rund 20 m Breite erforderlich. In solchen Fällen kann es ratsam sein, nur eine einzige breite Schützenkonstruktion einzubauen, die mit dem Wasserdruck (und eventuell sogar ohne Fremdenenergie) geöffnet werden kann.
- die **Energieversorgung** bei der Steuerung durch eine USV- Anlage (**Unterbruchsfreie Strom Versorgung**) abgesichert ist und als Kraftreserve für den Wehrbetrieb kräftigere Mittel (z.B. Notstromgruppe) zur Verfügung stehen. Handpumpen reichen bei Flusswehren nicht mehr (mehrere kräftige Männer können zur Not noch einen Schütz von rund 30 m<sup>2</sup> Fläche mit Handpumpen gerade noch anheben).
- die **Energie- und Steuerkabel** auf zwei verschiedenen Wegen abgesichert sind und dass mindestens ein Kabelweg nicht mit dem Zugangsweg kombiniert ist. Bei Versagen eines möglicherweise gefährdeten Zugangsweges dürfen keinesfalls gleichzeitig auch alle Steuer- und Energiekabel unterbrochen werden.
- **mehrere unabhängige Pegelsonden** installiert sind, die z.B. mit Messwertverarbeitung und einer Plausibilitätsprüfung ausgerüstet sind.
- bei ungewöhnlichen Messungen unverzüglich **Alarm** ausgelöst wird.
- bei **Ausfall von Redundanzen** Alarm ausgelöst wird (obwohl die Anlage noch einwandfrei funktioniert); resp. wie die Systemtests erfolgen.
- die **Alarmierung auf verschiedenen Wegen** automatisch erfolgt (auch bei Ausfall des Leitrechners oder der USV- Anlage). Empfehlenswert ist eine Zweitalarmierung mit relativ grossen Toleranzwerten, die von allen anderen Systemen unabhängig ist.
- die sicherheitsrelevanten Systeme möglichst **einfach** verständlich sind.

Weiter soll der Wehr- / Kraftwerksbetreiber auch darlegen

- in welchen **Zeiten der Pikettdienst** auf der Anlage sein kann und wie eventuell weiteres Personal aufgeboden werden kann.
- wie **aussergewöhnliche Fälle** geregelt sind, wenn die üblichen Wegzeiten nicht mehr gelten, z.B. bei:
  - Eisregen oder extremen Schneefällen
  - Extremem Sturm
  - Starkem Erdbeben mit Personenschäden und eventuellen Schäden in der Kraftwerksanlage oder der Ausrüstungskomponenten
- wie die Funktionsweise des Wehres **bei Brand** in Teilen des Kraftwerkes sichergestellt ist (insbesondere Leitstand oder USV- Anlage)
- wie die **Betriebsmannschaft vor Überforderung geschützt** wird, wenn in Extremsituationen zu viele Alarme gleichzeitig ausgegeben werden. Wie sind die Alarme des Überstaus (event auch Schwall, Sunk und erheblicher Unterstau) von den Alarmen des Kraftwerkes abgehoben (z.B. Blinklichtanzeige oder sprechende Alarme).

- wie der Handbetrieb von **mehr als einem Standort** aus erfolgen kann.
- welche Vorkehrungen gegen **vollständig falsches Handeln des Rechners** getroffen wurden.
- welche Vorkehrungen gegen **grobe Bedienerfehler** getroffen wurden.
- wie die **Personalschulung** im Hinblick auf aussergewöhnliche Fälle erfolgt und wie dies kontrolliert wird.
- wie weit bei den sicherheitsrelevanten Ausrüstungskomponenten **Vorkehrungen gegen Vandalismus und Sabotage** getroffen wurden.
- Weitere Aspekte: .....

Bei dieser Art von Arbeit ist die Vollständigkeit wesentlich wichtiger als die Genauigkeit in Detailfragen.

Es ist möglich, im Normalfall die Staukote auf einen cm genau einzuhalten, was die Abflussregulierung der Unterstufen vereinfacht. Ab und zu gelingt dies aber nicht. Es ist aber viel wichtiger mit absoluter Sicherheit zu vermeiden, dass der Pegel auch in ausserordentlichen Fällen nie eine mit akzeptierten Schäden vereinbarte Kote übersteigt.

## **5 KONTROLLEN, MESSUNGEN UND TESTS**

### **5.1 Echolotvermessungen**

#### **5.1.1 Allgemeine Anforderungen und Darstellung**

##### **Vermessung des Stauraums alle 10 Jahre:**

Die Stauräume von Flusswehren werden alle 10 Jahre mit Echolot vermessen um Veränderungen (Auflandungen durch Sedimentation oder Erosion) erkennen zu können. Im Vordergrund steht dabei die Sedimentation, die sich sehr flach ausbreitet. Es genügt somit, Profile in einem Abstand von 100 zu 200 m zu erfassen, wenn sich keine nennenswerte Veränderungen zeigen.

Die Darstellungsart erfolgt am besten in Profilzeichnungen von je einem Ort. Dabei sind die neuen und die alten Profile übereinander darzustellen.

Falls grössere Veränderungen auftreten sollten, so sind die Auflandungs- und Abtragszonen auch in einem Grundriss darzustellen. Gegebenenfalls ist der Erfassungsraster zu verkleinern.

##### **Nahbereich alle 5 Jahre:**

Zusätzlich wird der Nahbereich im Ober- und Unterwasser einer Wehranlage alle 5 Jahre in einem engeren Raster erfasst. Dabei gilt es, vor allem eventuelle Erosionen im direkt an das Bauwerk anschliessenden Untergrund oder allenfalls am Bauwerk selbst zu erfassen. Damit dies möglich ist, muss der Raster der Erfassung auf rund 5 m verkleinert werden und die Erfassung sollte kreuzweise erfolgen.

Als Darstellungsart haben sich Höhenkurven bewährt. Einmal ist die aktuelle Höhenlage in einem Grundriss mit Höhenlinien darzustellen und einmal sind die Auflandungen und Abtragungen zur letzten Messung in Form von Höhenkurven darzustellen. Empfehlenswert ist auch die Darstellung der Auflandungen und Abtragungen in Bezug auf eine möglichst alte Messung.

#### **5.1.2 Probleme der Echolotvermessungen**

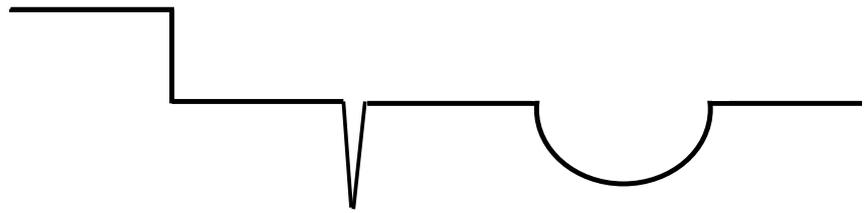
Das Echolot misst an einem bestimmten Standort die Distanz bis zum Untergrund. Im Gegensatz zu einer Messstange oder einem Senklot an einem Seil wird ein Schallkegel ausgesendet, der von der Untergrundfläche reflektiert wird.

Zusammen mit einer GPS- Positionierung ist dieses System sehr leistungsfähig und liefert bei flachem Untergrund sehr gute Ergebnisse.

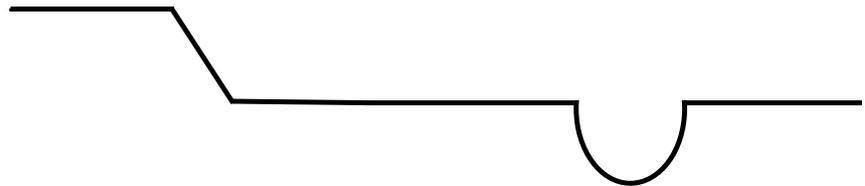
Man muss sich aber bewusst sein: Das Echolot misst die Distanz zu einer Fläche, die vom Kegel des Echolotschwingers erfasst wird. Bei der Messung von Sedimentationen ist dies ohne Bedeutung, bei der Erfassung von Unstetigkeiten wie ausgebrochenem Fels, Klüften, senkrechten Absätzen, etc. führt dies aber zu teilweise ungenügenden Ergebnissen.

Die nachstehende Skizze zeigt schematisch den systembedingten Fehler durch die kegelförmige Schallausbreitung:

Geländeprofil in der Natur:



Mögliches Echolot:



Der Schallkegel des Echolots ist oft zu breit, um ausgebrochenen Fels in einer Flusssohle genau erfassen zu können. Im Nahbereich einer Wehranlage ist dies unbefriedigend, auch wenn ein Schwinger mit einem möglichst engen Schallkegel eingesetzt wird.

Es empfehlen sich somit folgende ergänzenden Untersuchungen:

- Tauchererkundungen in unmittelbarer Bauwerksnähe
- Messungen mit dem Senklot
- 3-D Echolotscanner (diese Multibeamscanner werden in Zukunft vermutlich eine hohe Bedeutung gewinnen)

Die Darstellung der Echolotvermessungen im Nahbereich der Wehranlage erfolgt am zweckmässigsten mit einem eingefärbten Höhenkurvenplan, einem zusätzlichen Höhenkurvenplan der die Veränderung zur letzten Messung und eventuell noch einer der die Veränderung zu einer möglichst alten Messung darstellt. Ein paar repräsentative Profile mit den Konturen der Wehrkonstruktion und deren Foundation runden das Bild ab.

Zur sicherheitsmässigen Durchführung von Echoloterkundungen wird auf [15] verwiesen.

## 5.2 Taucherkundungen

Taucherkundungen sind ein unerlässliches Mittel, um die Wehrstruktur unter Wasser zu kontrollieren. Da in der Regel der beurteilende Ingenieur nicht selbst taucht und die Sichtbedingungen meist bei höchstens ein paar Metern liegen, ist die Durchführung nicht ganz einfach. Nachstehend werden einige Probleme geschildert, die sich aus den spezifischen Problemen unter Wasser ergeben:

- Die beschränkte Sichtweite erlaubt keinen Überblick über das Ganze. Einzelne Details können aber sehr gut festgestellt werden. Es muss somit ein klares Ziel vorhanden sein, was genau oder welche Zonen kontrolliert werden sollen.
- Die beschränkte Sichtweite führt oft zu erheblichen Orientierungsproblemen, und das Risiko falscher Ortsangaben ist nicht zu unterschätzen.

- Die Lichtbrechung zwischen Wasser und Luft bei den Maskengläsern führt zu einem Röhrenblick und einer leichten Vergrößerung des wahrgenommenen Bildes. Von besonderer Bedeutung ist die grosse Gefahr des Übersehens durch das eingeschränkte Blickfeld, das subjektiv durch den Taucher nicht wahrgenommen wird.
- Farben werden im Wasser unterschiedlich stark absorbiert. Je nach Distanz von der Lichtquelle - Objekt - Auge resp. Kamera ändern sich die Farben stark und die Kameraautomatik „korrigiert“ dies irgendwie aus. Unterwasserbilder können aufgrund falscher Farben auch falsch interpretiert werden (z.B. Algen auf Stahl mit Rotstich im Bild erscheinen als Rost und umgekehrt)
- Die Atmung von komprimierter Luft führt zu einer Stickstoffaufsättigung des Körpers, was die zulässigen Tauchzeiten je nach Tiefe und Dekompressionszeit beschränkt. Liegt die Tauchtiefe bei maximal rund 10 m, so können mehrere Stunden in dieser Tiefe verbracht werden. Mit grösserer Tiefe nehmen die Tauchzeiten sehr schnell ab.

Nachstehend kurz ein paar Hinweise zur Durchführung von Tauchkontrollen:

- Es muss eine klare Absicht bestehen, was kontrolliert werden soll, und es muss eine möglichst gute Planübersicht über die Situation unter Wasser in den Köpfen der Durchführenden sein. Aufgrund mangelnder Sichtweite können überraschende Abweichungen, kaum aber eine komplexe Situation als Ganzes erfasst werden.
- Im Gegensatz zur allgemeinen Praxis, dass unter Wasser ein Videofilm aufgenommen wird, der anschliessend nur schwer zu interpretieren ist, wird alternativ auch empfohlen, dass der verantwortliche Ingenieur den Taucher begleitet und über eine Gegensprechanlage mit ihm kommuniziert, bis der Ingenieur die Situation verstanden hat. Der begleitende Ingenieur hat den Bericht zu verfassen.
- Bezüglich der Sicherheitsaspekte für Arbeiten am Wasser und das Tauchen wird auf die einschlägigen Schriften verwiesen. Selbstverständlich müssen auch Wehranlage / Kraftwerk gegen unbeabsichtigte gefährliche Manipulationen gesichert werden.

- Besonders hervorzuheben ist das grundsätzlich ganz unterschiedliche Gefährdungspotential von Taucharbeiten im Ober- oder Unterwasser, das immer wieder unterschätzt wird. Kleine Schützenöffnungen oder sonstige Durchströmungen an einer Staustufe treten als konzentrierter Strahl ins Unterwasser und verhindern allenfalls das Tauchen an diesen Stellen.

Ganz anders ist die Situation im Oberwasser: Ansaugen erfolgt mit einer kugelförmigen Ausbreitung, was zu einem plötzlichen Anziehen an die Öffnung führt (ist jedermann vom Haushaltstaubsauger bekannt). Die dabei auftretenden Kräfte müssen einem Ingenieur kaum erläutert werden. Aus diesem Grunde werden für Taucharbeiten im Oberwasser von Stauanlagen folgende Massnahmen dringend empfohlen:

- Vorgängige Kontrolle des Unterwassers auf grosse Wasseraustritte, möglichst durch den gleichen Taucher, der anschliessend oder am Folgetag im Oberwasser taucht
- Tauchen mit Halteseil und Gegensprechanlage, wenn das Seil während des Tauchens verlängert oder verschoben werden muss
- Der Taucher hat den Weg der Schwebstoffe im Wasser zu beobachten

- Es wäre klug, wenn man beim Bau von Anlagen im Wasser Orientierungsmarken setzen würde, da der Taucher lediglich die Wassertiefe (Genauigkeit 10 bis 20 cm) und allenfalls die Nordrichtung einfach erfassen kann. Je nach Aufgabenstellung kann es zweckmässig sein, Orientierungsseile oder feste Orientierungsmarken unter Wasser zu installieren.

## 5.3 Verformungsmessungen

### 5.3.1 Allgemein

Grundsätzlich können bei Wehranlagen die gleichen Instrumente wie bei Talsperren eingesetzt werden, sofern die baulichen Gegebenheiten wie fehlende Kontrollgänge / Schächte dies zulassen. Eine ausführliche Darstellung der Messmöglichkeiten befindet sich in [7].

Aufgrund der geringen Höhe und die im Vergleich mit Speicherseen wenig variierenden Wasserspiegel haben Wehranlagen nur sehr kleine Verformungen.

Von besonderen Problemfällen abgesehen, bei denen sich der Einsatz von Gleitmikrometer oder ähnlichen nachrüstbaren Geräten aufdrängt, stehen aufgrund der kleinen Deformationen und den fehlenden Kontrollgalerien die geodätischen Vermessungen im Vordergrund.

Geodätische Vermessungen sind aber teuer und bis zum Vorliegen von ein paar Folgemessungen vergehen einige Jahre. Je nach Grösse und Bedeutung der Anlage, sowie zur langfristigen Sicherung des Vertrauens in die Anlage sind sie aber durchaus ein zweckmässiges Mittel.

### 5.3.2 Geodätische Vermessung

Bei Normalverhalten der Anlage sind somit lediglich wenige, aber sehr genaue Messungen in periodischen Abständen angezeigt, die bestätigen, dass sich die Anlage ruhig verhält.

Am besten wird zu diesem Zweck ein geodätisches Netz aufgezogen, um die Wehrpfeiler so genau als möglich zu erfassen. Das geodätische Netz ist vergleichbar mit demjenigen von Talsperren.

Als minimale Messungen sollten mindestens erfasst werden:

- Ein Punkt auf jedem Wehrpfeiler und den Widerlagern, möglichst weit in Richtung Ober- oder Unterwasser liegend. Diese Punkte sind sowohl in der Lage (längs und quer zur Fliessrichtung) und den Höhen zu erfassen. Dafür sind die genauest möglichen Messgeräte einzusetzen.
- Auf der gegenüberliegenden Seite der Wehrpfeiler sollten mindestens die Höhen erfasst werden.

Durch die Messung von je einem Punkt mit allen 3 Koordinatenwerten und einem zweiten möglichst weit entfernten Punkt in der Höhe können Translation und Rotation von jedem Wehrpfeiler erfasst werden.

Da die Messergebnisse wesentlich von Temperatureinflüssen beeinflusst werden, empfiehlt es sich, bei Beginn der Messungen zuerst abwechslungsweise Sommer- und Wintermessungen durchzuführen um die Bandbreite der Temperatureinflüsse zu erfassen und erst nach je 2 bis 3 Sommer- & Wintermessungen (z.B. durch ein anfängliches Messintervall von 1.5 Jahren) auf den üblichen regelmässigen Messzyklus von 5 Jahren zu wechseln.

Beim Rhein im Grenzbereich zu Deutschland sind geodätische Messungen nach DIN 19'700-13 Art 9.3.1 vorzusehen.

Bei kleineren Anlagen kann alternativ auch ein Alignement oder Nivellment über einige Punkte zur Anwendung kommen.

### 5.3.3 Nivellement auf den Seitendämmen und den Wehrbrücken

Mit ihnen können unterschiedliche Setzungen in Seitendämmen und die langfristigen Verformungen in Wehrbrücken billig erfasst werden.

Bei alten Seitendämmen sind unstetige Setzungen deutliche Anzeichen für Veränderungen im nicht sichtbaren Bereich wie Schäden an Uferverbauungen, kleine Rutschungen oder innere Erosion.

Bei bewehrten Betonbrücken geben Nivellements zwischen Feldmitte und Widerlager Hinweise auf erfolgte Überbelastungen und eine grossflächige Querschnittsverminderung der Bewehrung durch Korrosion.

## 5.4 Wasserstands- und Auftriebsmessungen

Durch die Auftriebsmessungen können die meist nicht eindeutig klaren Druckverhältnisse im Untergrund punktuell erfasst werden. Neben der Erfassung der an der Struktur wirkenden Kräfte sind sie aber auch ein guter Indikator für eventuelle Änderungen im Untergrund der Struktur, da sie oft empfindlich auf äussere Veränderungen reagieren. Bei grossen und bedeutenden Anlagen ist es somit empfehlenswert, Auftriebsmessungen durchzuführen.

Die Nachrüstung bestehender Anlagen ist durch Bohrungen in den Wehrpfeilern im Bereich der Wehrbrücke oder den Vorköpfen möglich. Es ist aber nicht billig.

Als Instrumentarium stehen dabei folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Handmessungen mit Lichtlot, regelmässig alle Wochen oder alle Monate:  
Dies erfordert die kleinsten Investitionen, führt aber zu erhöhtem Erfassungsaufwand.
- Ausrüstung der Bohrlöcher mit Messsonden und Datenlogger:  
Die Datenlogger können dann 1- bis 3-mal jährlich ausgelesen werden. Dies ist dann empfohlen, wenn durch die Auftriebsmessungen lediglich das Normalverhalten nachgewiesen werden soll.
- Ausrüstung der Bohrlöcher mit Messsonden und Fernübertragung:  
Diese eher teure Ausrüstung kommt teilweise bei Talsperren zum Einsatz. Für Wehranlagen dürfte dies nur in Ausnahmefällen erforderlich sein.

Bei elektronisch erfassten Auftriebskräften spielt die Messfrequenz kaum eine Rolle. Es empfiehlt sich eine Anpassung an die eventuelle Frequenz von Schwankungen bei den äusseren Wasserspiegeln.

Die Auftriebsmessungen sind zusammen mit den veränderlichen äusseren Wasserspiegeln graphisch darzustellen (Diagramm Wasserspiegellagen und Zeit).

Hinweise auf mögliche Einflüsse, welche die Auftriebskräfte beeinflussen:

- Durch schiessenden Wehrabfluss sinkt der Unterwasserspiegel im Bereich der Wehrpfeiler oft markant, was sich in tieferen Auftriebskräften zeigen kann
- Bei entleerten Wehrfeldern können die Piezometer sinken

- Durch hochwasserfreie Zeiten (Kolmatierung im Oberwasser) können die Auftriebskräfte sinken

Beim Rhein im Grenzbereich zu Deutschland sind Porenwasserdruckmessungen nach DIN 19'700-13 Art 9.3.1 erforderlich.

## 5.5 Sickerwassermessungen

Eventuellem Sickerwasser durch ein Absperrbauwerk ist selbstverständlich grösste Beachtung zu schenken, doch wird es bei den meisten Flusswehren kaum zu erfassen sein, da die Wehranlagen in der Regel unterwasserseitig eingestaut sind.

Bei guten Sichtbedingungen im Wasser kann ein Taucher Sickerwassermengen an den fehlenden Sedimenten relativ gut beobachten. Bei guten Verhältnissen (klare Sicht und Sedimente am Boden) können kaum spürbare Strömungen gesichtet werden.

Beim Rhein im Grenzbereich zu Deutschland sollten Sickerwassermessungen und Quellschüttungen nach DIN 19'700-13 Art 9.3.1 gemessen werden, sofern diese Möglichkeit überhaupt besteht.

## 5.6 Visuelle Kontrollen über Wasser

Die wesentlichen zu beobachtenden Punkte sind:

- Schäden und Verformungen an den Schützen und ihrer Hilfsbetriebe
- Verbogene Fachwerkstäbe
- Korrosion an Stahlstrukturen und eventuell an Armierungsstählen
- Risse, Wasseraustritte, Kalziumkarbonatausscheidungen
- Frostschäden, Abplatzungen, Verdachtsanzeichen auf AAR (Alkali-Aggregat-Reaktion)
- Fugenschäden
- Quellen oder Setzungen im Widerlagerbereich, resp. Seitendämmen
- Unterhaltsstand, Ölleckagen
- Sonstige Unregelmässigkeiten
- Tief liegende Quellen im Bereich der Widerlager oder von eventuellen seitlichen Dämmen

Ausführliche Checklisten für die visuellen Kontrollen resp. deren Klassierung sind in [9], [15] und [16].



erhebliche Frostschäden im Auflager einer Wehrbrücke



Pegelanlage aus Niro und Stahl nach rund 10 Jahren Betrieb

## 5.7 Regelmässig durchzuführende Tests / Funktionsproben

### 5.7.1 Test der Wehrschützen

Jährliche Erfassung und Auswertung von:

- Öldruck und dem konstant Halten des Öldruckes über eine gewisse Zeit bei hydraulischen Antrieben
- Stromstärken bei Direktantrieben
- Geschwindigkeiten

beim Anheben und eventuell beim Senken.

Die Ergebnisse sind graphisch über die Jahre darzustellen und gleichartige Schützen sind untereinander zu vergleichen.

Eventuelle Überfallklappen sollten immer in der gleichen Stellung sein.

Stauklappen mit relativ geringer relativer Abflusskapazität, die vorwiegend der Feinregulierung und Geschwemmselabfuhr dienen und ohnehin oft im Einsatz stehen, müssen nicht getestet werden. Dies können z.B. die aufgesetzten Klappen von grossen Schützen sein.

Für grosse und bedeutende Schützen kann es auch sinnvoll sein, den Verlauf der einzelnen Parameter ab Steuerbefehl aufzuzeichnen um auch die anfänglichen höheren Werte zu erfassen.

### 5.7.2 Test der Kraftreserve

Notstromgruppen oder Direktantriebe, die für den Wehrbetrieb benötigt werden, sind regelmässig, z.B. einmal monatlich warm laufen zu lassen. Der Füllstand des Treibstofftanks ist zu überwachen, schriftlich zu protokollieren und regelmässig nachzufüllen.

Nach Möglichkeit sollten die Notstromgruppen beim Testlauf Last ins Netz abgeben oder, wenn dies nicht möglich ist, mindestens einmal jährlich zusammen mit den Schützen getestet werden.

Eigenbedarfsturbinen, die der Notstromversorgung dienen und auch ohne Spannung des Netzes angefahren werden können, sind einmal jährlich zu testen.

Bei den Blasenspeichern von kleinen Anlagen sind regelmässige Druckkontrollen und deren Protokollierung erforderlich.

### 5.7.3 Batteriekapazität der USV Anlage

Die Batterien sind regelmässig zu beanspruchen. Über die Batteriebeanspruchung und Wartung ist Buch zu führen.

### 5.7.4 Eventuelle weitere Tests/ Funktionsproben

Normalerweise kann auf das **regelmässige** austesten der nachstehenden Aspekte verzichtet werden:

- **Funktionskontrolle der USV Anlage**

Üblicherweise hängen diejenigen Verbraucher, die auf eine USV- Versorgung angewiesen sind, permanent am USV- Netz. Eine diesbezügliche Kontrolle kann somit entfallen.

In eventuellen andern Fällen sind entsprechende Funktionskontrollen durchzuführen.

- **Selbständige Funktionskontrolle von Messwertgebern, Leittechnik und Alarmsystem**

Die Leittechnik sollte grundsätzlich so konzipiert sein, dass selbständig Funktionskontrollen durchgeführt werden. Das System ist bei Inbetriebnahme ausführlich bei mehreren massgeblichen Wasserverhältnissen und Störfallszenarien zu testen. Die

Inbetriebnahmetests müssen nicht nur nach Programm, sondern auch ereignisbezogen in Etappen erfolgen.

- **Pikettorganisation**

Ein Testen der Pikettorganisation kann in der Regel entfallen, da sie ausreichend oft durch kleinere Störungen alarmiert werden. Diese Fälle auszuwerten genügt.

## 6 ZUTEILUNG DER DURCHZUFÜHRENDEN ÜBERPRÜFUNGEN ZU DEN ÜBERWACHUNGSNIVEAUS

### 6.1 Niveau 1: Betreiber

Unter der weitgehend gültigen Voraussetzung, dass die Wehranlage nicht neu ist, keine besonderen Probleme aufweist, keinen wesentlichen chemischen Angriffen (Sulfatwasser, AAR, etc) ausgesetzt ist und nicht auf setzungsempfindlichem Lockermaterial gegründet ist, empfiehlt es sich, die Kontrollen nicht in zeitlichen Perioden, sondern **ereignisbezogen** durchzuführen.

- **Starkes Erdbeben mit Bau- und Personenschäden:**  
Alle verfügbaren Kraftwerksangestellten haben sich unverzüglich bei der Anlage einzufinden, die Situation zu analysieren und den sicheren Wehrabfluss mit erster Priorität sicherzustellen
- **Gut wahrnehmbares Erdbeben:**  
Der Pikettdienst hat unverzüglich auszurücken und die Wehranlage auf Schäden zu kontrollieren:
  - Visuelle Kontrolle der Staukote anhand eines Blickes in den Stauraum
  - Kontrolle der Energieversorgung und der Anzeigen der Messsonden
  - Kontrolle der Kommunikationsmittel
  - Kontrolle der Schützenantriebe auf eventuelle Verschiebungen oder Verformungen
  - Kontrolle der Schützen auf neue Wasserverluste oder Verformungen
  - Kontrolle des Unterwasserbereiches auf eventuelle ungewöhnliche Strömungen oder Quellen in den beiden Widerlagerbereichen unten, und Kontrolle eventueller Seitendämme auf Quellen
  - Kontrolle der Baustrukturen auf neue Risse oder Fugenverformungen
  - Kontrolle des Stauraumes auf eventuelle Rutschungen, sobald es die Zeit ermöglicht
- **Hochwasser:**  
Die Anlage ist mindestens einmal täglich zu kontrollieren. Dabei ist folgendes zu kontrollieren:
  - Verformungen an den Schützenkonstruktionen, Beschädigungen an den Antrieben, eventuell Schäden an tief liegenden Dienststegen
  - Kontrolle der Wehranlage auf Vibrationen
  - Beurteilung des Strömungsbildes im Ober- und Unterwasser auf eventuelle Anomalien
  - Kontrolle der unterstrom liegenden seitlichen Abschlussbauwerke
  - Erfassen eines eventuellen Geschwemmselteppichs und des Strömungsbildes, um die Schützen eventuell anders zu stellen
  - Zusätzlich ist im Leitstand sicherzustellen, dass eventuelle Pegelausfälle unverzüglich erfasst werden

- Kontrolle der Widerlagerbereiche und eventueller Seitendämme auf Quellen
- Angemessene Kontrolle des Stauraumes
  
- **Normaler Betrieb:**  
Die Anlage ist rund einmal wöchentlich zu kontrollieren. Dabei gelten grundsätzlich die gleichen Kontrollpunkte wie beim Hochwasser.
  
- **Nach Abschluss eines Wehrbetriebes:**  
Es wird empfohlen, folgendes zu kontrollieren:
  - Schützenleckagen über Wasser und eventuelle leichte Strömungen im Unterwasser als Indiz für undichte Schützen
  - verklemmte Baumstämme, Holzstücke
  - mögliche Schäden wie unter dem vorstehenden Stichwort „Hochwasser“, insbesondere in den tiefer liegenden Zonen, die bei tieferem Unterwasserstand sichtbar werden
  
- **Bei anhaltendem Frost:**  
Je nach Schützenleckage und Temperaturen sind die Schützen alle paar Tage / täglich auf Vereisung zu kontrollieren.  
Notfalls ist das Eis abzuschlagen, falls Gefahr bestehen sollte, dass die Schützenkapazität des aktuellen Kraftwerksbetriebs durch zu grosse Eislast oder durch Eisblockaden nicht jederzeit durch die Wehranlage kompensiert werden könnte.
  
- **Bei Windstille und keinem Wehrbetrieb:**  
Bei Windstille und keinem Wehrbetrieb sind eventuelle Strömungen im Unterwasser durch Unterläufigkeiten am besten erkennbar.
  
- **Bei aussergewöhnlichen Sichtbedingungen im Wasser:**  
Selten gute Sichtbedingungen sind für Kontrollblicke durch das Wasser oder zur Aufbietung von Tauchern für anstehende Kontrollen oder Reparaturen zu nutzen.

## 6.2 Niveau 2: Jährliche Kontrolle

Die jährliche Kontrolle hat durch einen spezialisierten Bauingenieur zu erfolgen.

Aufgrund der vorgegeben Jährlichkeit liegt das Schwergewicht dieser visuellen Kontrollen bei den Schäden, die sich zeitlich entwickeln (siehe Kapitel 5.6 resp. [9]). Schäden, die durch Hochwasser oder andere Ereignisse erfolgen, sollten nicht erst bei der Jahreskontrolle zum Vorschein kommen.

Grundsätzlich gilt es, die gleichen baulichen Veränderungen zu erfassen wie bei alpinen Stauanlagen. Zusätzlich sind aber noch die Schützen, deren Antriebe und die Wehrbrücke(n) auf visuelle Veränderungen zu kontrollieren.

Es ist empfehlenswert, auch Besonderheiten und Änderungen am Konzept von „Ausrüstung und Betrieb“ (siehe Kapitel 4.3), die Kontrollen des Kraftwerkes (siehe Kapitel 5.7), jährlich unregelmässige Kontrollen wie Echolotaufnahmen, Tauchuntersuchungen, geodätische Vermessung, etc. in den Jahresbereich zu integrieren.

### 6.3 Niveau 3: Periodische Sicherheitsüberprüfung

Für Wehranlagen erfolgten bis jetzt in der Schweiz keine Fünfjahrexpertisen wie bei den grossen Talsperren. In Deutschland fordert DIN 19700 rund alle 10 Jahre eine vertiefte Sicherheitsüberprüfung.

In [1] „Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokumentation zu Überwachung und Unterhalt“ sind die Vorgaben des BFE zur 5-jahres Expertise wie folgt definiert:

„Die Berichte über die Sicherheitsüberprüfung sind von den ausgewiesenen Experten im Rahmen ihres Auftrages zu verfassen.

Der Bericht über die bautechnischen Bereiche umfasst mindestens die folgenden drei Kapitel:

- a) Eine Beurteilung des Zustandes der Stauanlage, ihrer Nebenanlagen und ihrer Instrumentierung;
- b) Eine Auswertung des Verhaltens der Sperre und ihrer Foundation während der letzten fünf Jahre (Synthese der Messergebnisse der Fünfjahresperiode und Vergleich mit den vorhergegangenen Perioden, Auswertung von besonderem Bewegungsverhalten, usw.);
- c) Überprüfung der Messinstrumentierung und des Messprogrammes.

Der Bericht kann im Bedarfsfall durch eine besondere Sicherheitsanalyse des Bauwerks ergänzt werden.

Wie unter a) angegeben, muss der Experte (Bauingenieur) seine Beurteilung des Zustandes der Stauanlage und ihrer Einrichtungen abgeben. Er macht auch Empfehlungen hinsichtlich auszuführender Arbeiten.“

Dieser Text wäre auch für Wehranlagen anwendbar. Ein weiterer Abschnitt zum Geologie-Experten wird bei Wehranlagen kaum zur Anwendung kommen können, da nur selten geologische Aufschlüsse vorliegen.

In [10] „DIN 19700-10 Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen“ wird in Art 11, zweitletzter Abschnitt folgendes festgehalten:

„In der vertieften Überprüfung sind alle relevanten Sicherheitsnachweise, für die sich Veränderungen der Eingangsparameter ergeben haben, mit den aktuell gültigen Kennwerten und nach den jeweils gültigen technischen Vorschriften erneut zu führen.“

Der Leistungskatalog für die Sicherheitsüberprüfung ist im Einzelfall mit den Behörden abzustimmen. Nachstehend ist dazu ein umfassender möglicher Leistungskatalog dargestellt.

#### **Möglicher Leistungskatalog:**

Die vertiefte Sicherheitsüberprüfung soll durch zwei bis drei spezialisierte Ingenieure aus den Fachgebieten Bau, Stahlwasserbau, Elektromechanik und Leittechnik erfolgen.

Die bestehenden Dimensionierungsgrundlagen der Wehranlage sind zu studieren und aus aktueller Sicht zu beurteilen. Dies sind z.B:

- **Hochwasserstatistik und Bemessungshochwasser**  
Es gilt zu überprüfen, ob die aktuellen Bemessungshochwasser aufgrund der theoretischen Ansätze und der Ereignisse des letzten Jahrzehnts / der letzten Jahrzehnte Anlass für eine neue Beurteilung geben.  
Die entsprechende Veranlassung ist eine Aufgabe der Aufsichtsbehörde um sicherzustellen, dass Hochwasserstatistik und Bemessungshochwasser an Flüssen abschnittsweise mit einer einheitlichen Logik aktualisiert werden.
- **Hochwasserbeanspruchung der Anlage**  
Die Beanspruchung der Anlage im letzten Jahrzehnt ist zu analysieren.
- **Hydraulische Auslegung der Anlage**  
Aufgrund eventueller neuer Auslegungswassermengen muss möglicherweise auch die Abflusskapazität (resp. die Durchflusskapazität in Funktion der Stauhöhe) neu überprüft resp. berechnet werden. Die Retentionswirkung des Stauraums ist bei Flüssen in der Regel von so geringer Bedeutung, dass sie vernachlässigt werden kann.
- **Auslegungskriterien**  
Die Auslegungskriterien eines Bauwerkes sollten in einem Dokument zusammengefasst sein und alle wesentlichen Einflüsse der Dimensionierung im Hinblick auf die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit zusammenfassen. Sie werden oft auch als Bemessungsgrundlagen oder Sicherheits- und Nutzungsplan bezeichnet.  
Diese Auslegungskriterien sind im Hinblick auf das aktuelle Gefährdungsbild und die betrieblichen Bedürfnissen zu überprüfen und mit neuen normativen Regelungen zu vergleichen.
- **Statische Bemessung**  
Unter den massgebenden Wasserspiegeln bei Normalbetrieb, bei Überstau und Erdbeben gilt es primär die globalen Sicherheiten gegen Kippen und Gleiten zu überprüfen. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die angesetzten Auftriebskräfte in der Foundation (und deren Vergleich mit aktuellen Messungen) und die Untergrundparameter zu legen. Eine Verifizierung der Foundationsparameter wird in der Regel nicht möglich sein, da die Möglichkeiten für geologisch-geotechnische Erkundungen nach dem Bau der Anlage wesentlich schwieriger sind als während des Baus. Als Lastfälle sind insbesondere Erdbeben und Überstau zu beachten, denen in der Vergangenheit oft weniger Beachtung beigemessen wurde als heute. In Sonderfällen können aufgrund geänderter Beanspruchungen auch Spannungsnachweise einzelner Bauteile erforderlich werden.
- Nachführen der Unterlagen zur **Sicherheit von Ausrüstung und Betrieb**  
Siehe Kapitel 4.3
- **Auflistung aller ernststen Störungen** der vergangenen 10 Jahre, die Einfluss auf die Stauhaltung hatten oder hätten haben können.
- **Weitergehende Bauwerksuntersuchungen**, die über die visuellen Beurteilungen der Jahreskontrollen hinausgehen, z.B. mit aufwändigeren Untersuchungstechniken oder gründlicher visueller Klassierung wie z.B. in [15] und [16]. Dies kann insbesondere auch bei den Brückenkonstruktionen der Wehranlagen sinnvoll sein.
- **Auswertung des Verhaltens der Sperre** und ihrer Foundation während der letzten 10 Jahre (Synthese der Messergebnisse der Zehnjahresperiode und Vergleich mit den vorhergegangenen Perioden, Auswertung von besonderem Bewegungsverhalten, usw.)

- Überprüfung der **Messinstrumentierung** und des Messprogrammes
- **Eine Beurteilung des Zustandes der Wehranlage**, ihrer Nebenanlagen, ihrer Instrumentierung und der erforderlichen elektromechanischen Ausrüstung
- Nachführen von **Notfallkonzept und Wehrreglement**
- Nachführen der **Monographie**
- **Zusammenfassung** aller jährlichen beobachteten **kleinen Schäden und Besonderheiten**, sofern ein diesbezügliches umfassendes Dokument noch nicht besteht.

## 7 VORBEREITUNG EINES MUSTER-ÜBERWACHUNGSREGLEMENTS

In [1] „Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokumentation zu Überwachung und Unterhalt“ sind die Vorgaben des BFE wie folgt definiert:

„Die Organisation und Durchführung der Überwachung der Stauanlage durch den Betreiber wird in einem Überwachungsreglement festgehalten.

Dieses Dokument enthält insbesondere:

- Die Beschreibung aller Aufgaben unter Verantwortung des Betreibers.  
Diese Aufgaben umfassen:
  - die visuellen Kontrollen
  - die Durchführung der Messungen nach einem festgelegten Programm
  - die Vorauswertung und die Übermittlung der Ergebnisse
  - die Funktionsproben
  - das Verhalten im Falle einer Anomalie oder eines ausserordentlichen Ereignisses
  - das Aktualisieren der Aktensammlung.
- Ein Organigramm und eine Liste aller Beteiligten mit der Angabe ihrer Erreichbarkeit (Adresse, Telefon, Fax, Email). Dieser Teil muss ständig auf dem Laufenden gehalten werden.
- Eine Sammlung der Übersichtspläne in reduziertem, aber lesbarem Massstab (Situation, Ansichten, Schnitte, Plan der Überwachungseinrichtungen, usw.).“

Ein Beispiel für den Inhalt des Dokuments "Reglement für die Bedienung und Überwachung" wird in [1] im Anhang gegeben. Im nachstehenden Anhang 1 ist dieses Beispiel auf eine Wehranlage umgeschrieben.

Es ist dabei zu beachten, dass sein Inhalt jeder betreffenden Wehranlage individuell angepasst werden muss.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

### **Veröffentlichungen des (schweizerischen) Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) resp. neu des Bundesamtes für Energie (BFE)**

- [1] Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokumentation zu Überwachung und Unterhalt, Version 1.0 (Dezember 2002), resp. DRAFT- Version 2.0 (August 2004)
- [2] Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zu den Unterstellungskriterien, Version 1.0 (Juni 2002)
- [3] Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit, Version 1.0 (August 2002)
- [4] Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit, Version 1.2 (März 2003)
- [5] Sicherheit der Stauanlagen, Richtlinie zum Nachweis der Erdbebensicherheit: Anwendungsbeispiele an Sperren mit kleiner Stauhöhe, März 2003

### **Veröffentlichungen des "Schweizerischen Talsperrenkomitees" (STK)**

- [6] Aktensammlung über die Stauanlage [ehemals "Talsperrenbuch"], Empfehlungen, für die Führung der Aktensammlung einer Stauanlage, Mai 2005
- [7] Messanlagen zur Talsperrenüberwachung. Konzept Zuverlässigkeit und Redundanz, März 2005
- [8] Geodätische und photogrammetrische Deformationsmessung für die Überwachung der Stauanlagen. (1993) « Wasser Energie Luft », 85. Jahrgang, Heft 9, Seiten 181 – 242.
- [9] Zustandsüberwachung von Stauanlagen und Checklisten für die visuellen Kontrollen (1997)

### **Deutsche Unterlagen**

- [10] DIN 19700-10 Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, Juli 2004
- [11] DIN 19700-11 Stauanlagen – Teil 11: Talsperren (Dams), Juli 2004
- [12] DIN 19700-13 Stauanlagen – Teil 13: Staustufen (Weirs), Juli 2004
- [13] DVWK- Merkblatt 216, Betrachtungen zur (n-1)- Bedingung an Wehren, 1990
- [14] DVWK- Merkblatt 249, Betrieb von Verschlüssen im Stahlwasserbau, 1998
- [15] Bundesanstalt für Wasserbau, Merkblatt, Bauwerksinspektion Wehranlagen, Karlsruhe, August 1998
- [16] Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Hamburg, Ilmenau, Merkblatt, Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauten, MSV, Februar 2007

## Anhang

### **Beispiel eines Reglements für die Überwachung einer Wehranlage**

# MUSTER

..... Ort/Datum .....

Stauanlage .....(Koordinaten).....

## **REGLEMENT FÜR DIE ÜBERWACHUNG DER WEHRANLAGE**

Zielpublikum:

Betriebspersonal der Stauanlage

*Das Muster kann als Vorlage dienen. Je nach Typ und Grösse der Stauanlage sowie entsprechend den Umgebungsbedingungen sind einzelne Textpassagen anzupassen, zu ergänzen oder zu streichen.  
Kursivtexte sind lediglich Hinweise darauf, was entsprechend eingetragen werden sollte.*

# I N H A L T

## **1 ORGANISATION**

- 1.1 Regelmässige örtliche Überwachung der Stauanlage
- 1.2 Funktionsproben der Wehrschützen
- 1.3 Laufende fachtechnische Überwachung und Jahreskontrolle
- 1.4 Taucher
- 1.5 Geodätische Deformationsmessungen
- 1.6 Echolotvermessungen
- 1.7 10-jährige Sicherheitsüberprüfung

## **2 KONTROLLEN UND MESSUNGEN**

- 2.1 Örtliche Wehrüberwachung
  - 2.1.1 Elektrische Ausrüstung und Leittechnik zur Wehrsteuerung
  - 2.1.2 Visuelle Kontrollen der baulichen Anlagen, der Umgebung und des Stauraumes
    - 2.1.2.1 Ordentliche Kontrollgänge
    - 2.1.2.2 Ereignisbezogene Kontrollgänge
- 2.2 Messungen und Kontrollen

## **3. AUSWERTUNGEN UND RAPPORTIERUNG DER KONTROLLERGESBISSE**

- 3.1 Kontrollergebnisse
- 3.2 Messbericht
- 3.3 Zustandsbericht
- 3.4 Funktionsproben

## **4. AKTENSAMMLUNG ÜBER DIE STAUANLAGE**

## **5. AUSSERORDENTLICHES EREIGNIS**

- 5.1 Definition des ausserordentlichen Ereignisses
- 5.2 Anormale Messresultate
- 5.3 Benachrichtigung
- 5.4 Zusätzliche Kontrollen und Messungen
- 5.5 Ergreifen von Massnahmen

## **BEILAGEN <sup>a</sup>**

- B1 Organigramm Anlagenüberwachung
- B2 Kontrollgänge
- B3 Ausserordentliches Ereignis (Organigramm)

---

<sup>a</sup> sind nicht im vorliegenden Musterdokument; siehe Beilagen 4 und 5 von [1]

## 1 ORGANISATION

### 1.1 Regelmässige örtliche Überwachung der Stauanlage

Verantwortlich ist ..... (ev. Name/Stellung/Funktion) .....

(Organigramm gemäss Beilage).

Stellvertretung: .....

Aufgaben:

Einsatz des ihm unterstellten Personals für:

- Durchführung der visuellen Kontrollen und der Messungen
- erste Beurteilung und Rapportierung der Kontrollergebnisse
- Unterhalt der Kontrolleinrichtungen
- Kontrolle der Installationen für geodätische Messungen, Freihaltung der Visuren
- spezielle Aufgaben bei ausserordentlichen Ereignissen
- .....

### 1.2 Funktionsproben der Wehrschützen

Verantwortlich ist ..... (ev. Name/Stellung/Funktion) .....

Stellvertretung: .....

Aufgaben:

- Durchführung der Funktionsproben
- Rapportierung der Ergebnisse
- Wartung und Kontrolle der elektrischen und mechanischen Einrichtungen
- .....

Der Termin der Funktionsprobe ist den Aufsichtsbehörden und der erfahrenen Fachperson für die Jahreskontrolle durch ..... jeweils vorgängig mitzuteilen.

### 1.3 Laufende fachtechnische Überwachung und Jahreskontrolle

Beauftragt/verantwortlich ist .....(erfahrene Fachperson).....

Aufgaben:

- Aufsicht über die Durchführung der Kontrollen
- laufende Auswertung und Beurteilung der Kontrollergebnisse
- jährliche Zusammenfassung der Kontrollergebnisse und Berichterstattung (Messbericht).
- Ausführung der jährlichen Kontrollinspektionen
- Empfehlung allfällig notwendiger Massnahmen
- Berichterstattung über die Jahreskontrolle (Zustandsbericht)
- Beratung im Falle eines ausserordentlichen Ereignisses

Der Termin für die Jahreskontrolle wird ..... (von der erfahrenen Fachperson im Einvernehmen mit der Betriebsleitung) ..... festgelegt. Die Aufsichtsbehörden sind durch .....rechtzeitig zu informieren.

Die Kontrolle soll nicht immer in der gleichen Jahreszeit stattfinden.

(Falls viele Messwerte erfasst werden, so kann die Messwerterfassung und die Jahreskontrolle auf verschiedene Personen aufgeteilt werden)

### 1.4 Taucher

Zur Behebung von Störungen und zu Kontrollzwecken wird auf folgenden Tauchbetrieb zurückgegriffen: .....(Name und Tel No).....

Mit der Wehranlage gut vertraut sind folgende Taucher:

..... (Namen, Vornamen) .....

## 1.5 Geodätische Deformationsmessungen

Beauftragt ist .....

### Aufgabe:

- Durchführung der geodätischen Deformationsmessungen inklusive Berichterstattung.

Die geodätischen Deformationsmessungen werden gemäss Programm Ziffer 2.3 von ..... (der Betriebsleitung) ..... angeordnet.

Der Beauftragte kann zusätzlich Messungen beantragen.

## 1.6 Echolotvermessungen

Beauftragt ist .....

### Aufgabe:

- Durchführung der Echolotvermessungen inklusive Berichterstattung.

Die Echolotvermessungen werden gemäss Programm Ziffer 2.3 von ..... (der Betriebsleitung) ..... angeordnet.

Der Beauftragte kann zusätzlich Messungen beantragen.

## 1.7 10-jährige Sicherheitsüberprüfung

Die 10- jährige Sicherheitsüberprüfung findet statt in den Jahren: ....., etc

Sie ist jeweils durch die Betriebsleitung in Absprache mit den Aufsichtsbehörden und der erfahrenen Fachperson zu organisieren.

## 2 KONTROLLEN UND MESSUNGEN

### 2.1 Örtliche Wehrüberwachung

#### 2.1.1 Elektrische Ausrüstung und Leittechnik zur Wehrsteuerung

**Anzeige und Registrierung:** Das Betriebspersonal am Ort der Betriebsführung überprüft .....mal pro.....die automatisch aufgezeichneten Messwerte des Stauzieles, des Unterwasserstandes und der Durchflussmenge von Kraftwerk und Stauwehr auf Plausibilität. Verantwortlich dafür ist .....  
...( Name ) .....

**Test der Kraftreserve für den Wehrbetrieb:** Notstromgruppen oder Direktantriebe die für den Wehrbetrieb benötigt werden, sind regelmässig, z.B .....(Periodenangabe)..... warm laufen zu lassen und der Füllstand des Treibstofftanks ist zu überwachen, schriftlich zu protokollieren und regelmässig nachzufüllen. Nach Möglichkeit sollten die Notstromgruppen beim Testlauf Last ins Netz abgeben oder mindestens einmal jährlich zusammen mit den Schützen getestet werden.  
Verantwortlich dafür ist ..... ( Name ) .....

**Batteriekapazität der USV Anlage:** Die Batterien sind in Abständen von .....  
(Periodenangabe)..... zu beanspruchen. Über die Batteriebeanspruchung und  
Wartung ist Buch zu führen. Verantwortlich dafür ist ..... ( Name ) .....

**Störungen in der Wehrsteuerung:** Störungen bei der Wehrsteuerung die von der Automatik oder einem Betriebsmann verursacht werden, sind zu erfassen. Verantwortlich dafür ist ..... ( Name )  
.....

.....(event. weitere Aspekte).....

## 2.1.2 Visuelle Kontrollen der baulichen Anlagen und der Umgebung

### 2.1.2.1 Ordentliche Kontrollgänge

Die verantwortliche Betriebsmannschaft macht ..... (*mindestens wöchentlich einmal*) ..... einen Rundgang und zwar so, dass Kraftwerk, die Wehranlage inkl. deren Widerlager (und eventuelle Seitendämme wenigstens einmal pro Monat) visuell auf ihren allgemeinen Zustand überprüft werden.

Besonders zu beachten sind:

#### Schützenkonstruktion und Strömungen:

- Verformungen an den Schützenkonstruktionen, Beschädigungen an den Antrieben, eventuell Schäden an tief liegenden Dienststegen
- Kontrolle der Wehranlage auf Vibrationen
- Beurteilung des Strömungsbildes im Ober- und Unterwasser auf eventuelle Anomalien
- Erfassen eines eventuellen Geschwemmseleppichs und des Strömungsbildes

#### Baustruktur:

- Wasseraustritte und Sinterbildungen an der Luftseite der Struktur
- Rissbildungen, Ablätterungen, Absprengungen und Auswaschungen
- Veränderung bestehender Risse
- Kontrolle der unterstrom liegenden seitlichen Widerlagerbereiche
- Verformungen (Unebenheiten, Wölbungen, Einsenkungen, Ausbauchungen, Setzungen) auf der Oberfläche der Widerlagerbereiche resp. eventueller Seitendämme
- Veränderungen im Blockwurf (Abbruch von Blockkanten, Herausdrücken einzelner Blöcke, Vergrößerung des Zwischenraums)
- Feuchte Stellen oder Wasseraustritte auf der Luftseite eventueller Seitendämme, auffällige Vegetation
- Der Stauraum ist in regelmässigen Abständen auf potentielle Hangrutschungen, mögliche instabile Bäume am Ufer oder sonstige Auffälligkeiten zu kontrollieren
- .....

### 2.1.2.2 Ereignisbezogene Kontrollgänge

Die wesentlichen Kontrollen sind von der Betriebsmannschaft mit Bezug auf folgende Ereignisse auszuführen:

- **Gut wahrnehmbares Erdbeben**, resp von dritten Seite<sup>1</sup> gemeldeten Erdbeben: Der Piketdienst hat unverzüglich auszurücken und die Wehranlage auf Schäden zu kontrollieren:
  - Visuelle Kontrolle der Staukote anhand eines Blickes in den Stauraum
  - Kontrolle der Energieversorgung und der Anzeigen der Messsonden
  - Kontrolle der Kommunikationsmittel
  - Kontrolle der Schützenantriebe auf eventuelle Verschiebungen oder Verformungen
  - Kontrolle der Schützen auf neue Wasserverluste oder Verformungen

---

<sup>1</sup> Die Aufsichtsbehörden werden bei Erdbeben mit Magnitude M grösser als 3 durch den Schweizerischen Erdbebendienst benachrichtigt und informieren die betroffenen Stauanlagenbetreiber, sofern deren Anlage mit einer Intensität MSK grösser als 4 erschüttert wurde.

- Kontrolle des Unterwasserbereiches auf eventuelle ungewöhnliche Strömungen oder Quellen in den beiden Widerlagerbereichen unten, und Kontrolle eventueller Seitendämme auf Quellen
  - Kontrolle der Baustrukturen auf neue Risse oder Fugenverformungen
- **Hochwasser:**  
Die Anlage ist mindestens einmal täglich zu kontrollieren. Dabei ist folgendes zu beachten:
    - Verformungen an den Schützenkonstruktionen, Beschädigungen an den Antrieben, eventuell Schäden an tief liegenden Dienststegen
    - Kontrolle der Wehranlage auf Vibrationen
    - Beurteilung des Strömungsbildes im Ober- und Unterwasser auf eventuelle Anomalien
    - Kontrolle der unterstrom liegenden seitlichen Abschlussbauwerke
    - Erfassen eines eventuellen Geschwemmseleppichs und des Strömungsbildes um die Schützen eventuell anders zu stellen
    - Zusätzlich ist im Leitstand sicherzustellen, dass eventuelle Pegelausfälle unverzüglich erfasst werden
  - **Nach Abschluss eines Wehrbetriebes**  
Folgendes ist zu kontrollieren:
    - Schützenleckagen über Wasser und eventuelle leichte Strömungen im Unterwasser als Indiz für undichte Schützen
    - verklemmte Baumstämme, Holzstücke
    - mögliche Schäden wie unter dem vorstehenden Stichwort „Hochwasser“, insbesondere in den tiefer liegenden Zonen, die bei tieferem Unterwasserstand sichtbar werden
  - **Bei anhaltendem Frost**  
Je nach Schützenleckage und Temperaturen sind die Schützen alle paar Tage/ täglich auf Vereisung zu kontrollieren.  
Notfalls ist das Eis abzuschlagen, falls Gefahr bestehen sollte, dass die Schützenkapazität des aktuellen Kraftwerksbetriebs durch zu grosse Eislast oder durch Eisblockaden nicht jederzeit durch die Wehranlage kompensiert werden könnte.
  - **Bei Windstille und keinem Wehrbetrieb**  
Bei Windstille und keinem Wehrbetrieb sind eventuelle Strömungen durch Unterläufigkeiten am besten erkennbar. Dies ist periodisch zu prüfen.
  - **Bei aussergewöhnlichen Sichtbedingungen im Wasser**  
Selten gute Sichtbedingungen sind für Kontrollblicke durch das Wasser oder zur Aufbietung von Tauchern für anstehende Kontrollen oder Reparaturen zu nutzen.

## 2.2 Messungen und Kontrollen

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die durchzuführenden Messungen und Kontrollen:

Pos.	Überwachungs-Massnahme	Ort, was wird geprüft	Zuständigkeit	Durchführung, was/ wie wird geprüft	Periodizität
1.	<b>Auftriebsmessungen</b>	Je zwei Piezometerrohre in den Wehrpfeilern	Erfassung: KW Auswertung: Ing.	Messung der Wasserstände in den Piezometerrohren mittels Lichtlot (oder Sonden) Aufzeichnung der OW- und UW-Wsp.	erste paar Monate wöchentlich nach einigen Monaten monatlich
2.	<b>Geodätische Überwachung</b>	Jeder Pfeiler auf OW und UW-Seite	Spez. Vermesser	Erfassung von Translation und Rotation von jedem Wehrpfeiler	Wintermessung 1 Jahr 01 Nullmessung Sommermessung 1 Jahr 02 nach 1.5 Jahren Wintermessung 2 Jahr 04 nach 3 Jahren Sommermessung 2Jahr 05 nach 4.5 Jahren Sommermessung 3 Jahr 10 anschl. alle 5 Jahre
3.	<b>Nivellement Wehrbrücken</b>	Relativverschiebung von 2 Punkten in Feldmitte zu den Widerlagern	Vermesser	Erkennung eventueller Überbeanspruchungen und grossflächig wirkender Stahlkorrosion an Betonbrücken	alle 5 Jahre
4.	<b>Überwachung Pfeileranker</b>	Messanker Kontrollanker	KW Spez Tiefbau- Firma	Messung der Ankerkraft mittels eingebauter Messdose mittels Spanngerät auf Kontrollanker	jährlich alle 5 Jahre
5.	<b>Funktionskontrolle</b>	Wehrschützen und Schützenantriebe	Erfassung: KW Auswertung: Ing	Öffnungs-/ Schliessgeschwindigkeit, sowie Öldruck & Stromaufnahme bei Heben & Senken	jährlich
6.	<b>Jahreskontrolle</b>	Wehrpfeiler, Landpfeiler, Schützen elektromechanische Antriebe & Ausrüstung	Fachperson (spez. Bauing.)	Schäden (Verformungen) an den Schützen und ihrer Hilfsbetriebe, Korrosion an Stahlstrukturen und event. an Armierungsstahl, Risse, Wasseraustritte, neue Kalziumkarbonatausscheidungen, Frostschäden, Abplatzungen, Verdachtsanzeichen auf AAR, Fugenschäden, Quellen oder Setzungen im Widerlagerbereich, resp. Seitendämmen, Unterhaltsstand, Ölleckagen, Sonstige	jährlich
7.	<b>Echolotaufnahmen</b>	Verlandung im Stauraum & Erosion der Flusssohle	Spez. Vermesser	Aufnahme von Querprofilen (& event. Längsprofilen): im ganzen Stauraum oberhalb des Wehres	alle 10 Jahre
		Kolkerscheinungen im Nahbereich des Wehres	Spez. Vermesser	Erfassung eines engmaschigen Rasters von Quer- & Längsprofilen zur Darstellung der Höhenkurvenpläne im Nahbereich des Stauwehres	nach wesentlichem Hochwasser oder alle 5 Jahre
8.	<b>Tauchkontrollen</b>	Unterwasserseite vom Wehr	Taucher & Ing.	Sohle, Anschlussbereich zur Schütze, Unstetigkeitsstellen, Pfeilerende, Kolkschutz, anschliessender Fels	nach jedem Echolot im Nahbereich & guten Sichtbedingungen (Hochw. oder 5 Jahre)
		Oberwasserseite vom Wehr	Taucher & Ing.	Pfeilerkopf, Pfeilerkolk, Wehrschwelle, event. anschl. Fels	je nach Bed.

### **3. AUSWERTUNGEN UND RAPPORTIERUNG DER KONTROLLERGESBISSE**

#### **3.1 Kontrollergesbisse**

Über alle Kontrollen und Messungen, sowie über eventuelle Reparaturarbeiten sind Protokolle zu erstellen.

(Inhalt: - Name des Beobachters, Datum, Wetter, Abflussmenge des Gewässers und der Wehranlage, Pegelstände im OW und UW  
- Umfang der Kontrolle und Ergebnis)

Die Messergesbisse sind in übersichtlichen Tabellen nachzuführen und ausgewählte Messwerte sind graphisch aufzutragen.

Die Originale der Protokolle sind In der Aktensammlung über die Stauanlage abzulegen.

Eine Kopie ist umgehend nach der Kontrolle bzw. Messung der erfahrenen Fachperson (gemäss Ziffer 1.3) für die laufende Überwachung und die Jahreskontrolle weiterzuleiten.

#### **3.2 Messbericht**

Die Kontrollergesbisse sind von der erfahrenen Fachperson innert Wochenfrist nach Erhalt zu überprüfen und, jährlich zusammengefasst, in den Jahresbereich zu integrieren.

#### **3.3 Zustandsbericht**

Über die Jahreskontrolle ist von der erfahrenen Fachperson ein Bericht zu erstellen, der in den Jahresbereich zu integrieren ist.

#### **3.4 Funktionsproben**

Über die Funktionsproben an den Ablässen und den beweglichen Organen der Hochwasserentlastung ist vom Beauftragten (gemäss Ziffer 1.2) ein Kurzbericht zu erstellen.

Das Original ist in der Aktensammlung über die Stauanlage (Talsperrenbuch) abzulegen und je eine Kopie davon .....(den Aufsichtsbehörden).....und dem Beauftragten für die Jahreskontrolle zur Kenntnis zu bringen.

Die Berichterstattung gemäss Ziffer 3.2 Messbericht, 3.3 Zustandsbericht und 3.4 Funktionsproben und eventuelle weitere Untersuchungen sind in einem Jahresbereich zusammenzufassen und in ..... Exemplaren spätestens 3 Monate nach Abschluss des Berichtsjahres der ..... (Inhaberin der Stauanlage) ..... zuzustellen.

Ein Exemplar ist in der Aktensammlung über die Stauanlage (Talsperrenbuch) abzulegen und je ein weiteres durch ..... unverzüglich den Aufsichtsbehörden zur Kenntnis zu bringen.

#### 4. AKTENSAMMLUNG ÜBER DIE STAUANLAGE

Die Aktensammlung über die Stauanlage ist gemäss den Empfehlungen<sup>2</sup> des Schweizerischen Talsperrenkomitees zu führen.

Verantwortlich für die Vollständigkeit und die laufende Nachführung ist .....

Der Standort der Aktensammlung befindet sich .....(Ort).....

#### 5. AUSSERORDENTLICHES EREIGNIS

##### 5.1 Definition des ausserordentlichen Ereignisses

Ein ausserordentliches Ereignis liegt vor,

- wenn Kontrollen und Messungen Abweichungen vom normalen Verhalten der Anlage zeigen,
- bei extremen Hochwassern,
- bei Rutschungen im Uferbereich mit einem Gefährdungspotential für die Anlage oder Dritte
- nach stärker verspürten oder von dritten Seite gemeldeten Erdbeben,
- wenn ein Ablassorgan nicht mehr geschlossen werden kann.

In solchen Fällen hat derjenige, der das ausserordentliche Ereignis feststellt, sofort eine der nachstehenden Personen zu benachrichtigen:

..... oder, wenn nicht erreichbar,

....., die darüber befindet, ob es sich um ein ausserordentliches Ereignis handelt.

##### 5.2 Anormale Messresultate

Handelt es sich um anomale Messresultate, so hat das Betriebspersonal die Messung sofort zu wiederholen, und wenn das Ereignis bestätigt wird, die Messanlage auf ihr korrektes Funktionieren zu überprüfen. Ist der Mangel erkennbar, so hat er die Personen gemäss Ziffer 5.1 zu benachrichtigen.

##### 5.3 Benachrichtigung (Organigramm Beilage 3)

Ist ein ausserordentliches Ereignis festgestellt worden, sind durch ..... sofort zu benachrichtigen:

- Aufsichtsbehörden
- ..... (erfahrene Fachperson/Beauftragter für die Jahreskontrolle)

Bei unkontrolliertem Wasserabfluss – oder wenn ein solcher unmittelbar bevorsteht – ist die kantonale Polizeipikettstelle und ..... von der Betriebsleitung direkt und zuerst zu benachrichtigen.

---

<sup>2</sup> Literatur: *Empfehlungen der Schweizerischen Talsperrenkomitees STK für die Führung der Aktensammlung über die Stauanlage*; Schweizerisches Talsperrenkomitee, 2004.

#### 5.4 Zusätzliche Kontrollen und Messungen

Bei ausserordentlichen Ereignissen sind zusätzliche Kontrollen und Messungen durchzuführen:  
(spezifizieren, welche Kontrollen und Messungen)

- Bei Abweichungen vom normalen Verhalten der Anlage: .....
- Bei extremen Hochwassern: (*visuelle Kontrolle der Hochwasserentlastung, des Tosbeckens, des Auslaufs, ...; Stabilität der Talhänge, etc.*) .....
- Bei stärker verspürten oder von dritter Seite gemeldeten Erbeben: (*visuelle Kontrolle der Anlage und ihrer Umgebung, Messung der Gesamtsickerwassermenge, etc.*) .....
- .....

#### 5.5 Ergreifen von Massnahmen

Die im Falle eines ausserordentlichen Ereignisses zu ergreifenden Massnahmen werden von  
.....(*der Betriebsleitung/Direktion/ ...*) ..... angeordnet:

- ..... (*Betriebsleiter/ ....*)
- ..... (*Stellvertreter*)

Soweit möglich hat die Anordnung von Massnahmen im Einvernehmen mit .....(*den Aufsichtsbehörden*) . ..... zu erfolgen.

.....

..... Unterschrift .....