



Sicherheit der Stauanlagen

Basisdokument zur konstruktiven Sicherheit

Berichte des BWG, Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, série Eaux -
Rapporti dell'UFAG, serie Acqua
Biel, 2002

Version 1.0 (August 2002)



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**



Mitglieder der Arbeitsgruppe

| | |
|-----------------------------|--|
| Ammann Eduard | IM Ingegneria Maggia SA, Locarno |
| Hauenstein Walter, Dr. | Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Baden |
| Loosli Daniel | Colenco Power Engineering AG, Baden |
| Mouvet Laurent | EPFL-Laboratoire de constructions hydrauliques, Lausanne |
| Müller Rudolf W. (Sekretär) | Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel |
| Pougatsch Henri (Präsident) | Office fédéral des eaux et de la géologie, Bienne |
| Rechsteiner Gian | Énergie Ouest Suisse, Lausanne |



INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|-------------------------------------|--------------|
| EINLEITUNG | 4 |
| TEIL 1 - NUTZUNGSPLAN | 5 |
| 1. Ziel des Nutzungsplans | 5 |
| 2. Gliederung des Nutzungsplans | 5 |
| 3. Elemente des Nutzungsplans | 6 |
| A) Nutzung | 6 |
| B) Grundlagen und allgemeine Regeln | 9 |
| C) Örtliche Gegebenheiten | 10 |
| D) Auslegungsgrundlagen | 12 |
| E) Beschreibung der Anlage | 16 |
| TEIL II - SICHERHEITSPLAN | 21 |
| 1. Ziel des Sicherheitsplans | 21 |
| 2. Gliederung des Sicherheitsplans | 21 |
| 3. Elemente des Sicherheitsplans | 22 |
| A) Einwirkungen | 22 |
| B) Gefährdungsbilder | 25 |
| C) Ursachen | 30 |
| D) Massnahmen | 31 |
| E) Restrisiko | 34 |
| LITERATUR | 35 |



EINLEITUNG

Gesetzliche Grundlagen

Die gesetzlichen Grundlagen bezüglich der Sicherheit der Stauanlagen sind in Artikel 3^{bis} des Bundesgesetzes vom 22. Juni 1877 betreffend die Wasserbaupolizei (SR 721.10) sowie in der Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen (StAV) vom 7. Dezember 1998 (SR 721.102) festgelegt.

Der Anwendungsbereich der Stauanlagenverordnung (StAV) ist in ihrem Artikel 1 festgelegt. Gemäss diesem kommt die Verordnung für Stauanlagen zur Anwendung, bei denen die Stauhöhe über Niederwasser des Gewässers oder über Geländehöhe mindestens 10 m beträgt oder die bei mindestens 5 m Stauhöhe einen Stauraum von mehr als 50'000 m³ aufweisen. Die Verordnung gilt auch für Stauanlagen mit geringeren Ausmassen, sofern sie eine besondere Gefahr für Personen oder Sachen darstellen. Sie gilt hingegen nicht für Stauanlagen, welche im Bruchfall keine besondere Gefahr für Personen und Sachen darstellen. Die Verordnung überträgt gemäss ihrem Artikel 22 den Kantonen die Aufsicht über die kleineren Stauanlagen.

Ziele des Basisdokuments zur konstruktiven Sicherheit

Zur Anwendung der Stauanlagenverordnung kann laut deren Artikel 26 das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) in Zusammenarbeit mit den kantonalen Aufsichtsbehörden, der Wissenschaft, den Fachorganisationen und der Wirtschaft, Richtlinien erlassen. Um in den Richtlinien die wesentlichen Punkte der konstruktiven Sicherheit darzulegen, bildete das BWG eine Arbeitsgruppe, welche das vorliegende Basisdokument erarbeitete. Dieses kann als erläuternde und ergänzende Unterlage zu den Richtlinien dienen.

Es ist zu beachten, dass die Arbeitsgruppe "Talsperrenbeobachtung" des Schweizerischen Talsperrenkomitees (STK) im Dezember 2000 eine Publikation *Konstruktive Sicherheit der Talsperren, Nutzungsplan und Sicherheitsplan* [6] veröffentlicht hat. Dieses Dokument wurde in Hinblick darauf erstellt, dass es als Grundlage für das vorliegende Basisdokument und die Richtlinien des BWG dienen kann. Aus diesem Grund hat das BWG die gleiche Arbeitsgruppe für die Erstellung dieses Basisdokuments beibehalten.

Das vorliegende Dokument enthält Angaben, welche das Aufstellen eines Nutzungs- und Sicherheitsplans - entsprechend der Darstellung in der oben erwähnten Publikation des STK - erlauben; es kann hingegen nicht als abschliessende Checkliste betrachtet werden. Sein Inhalt soll das Vorgehen für den Betreiber, den Ingenieur sowie die Aufsichtsbehörden erleichtern, wenn es darum geht,

- ein neues Projekt auszuarbeiten,
- eine bestehende Stauanlage umzubauen,
- eine Sicherheitsanalyse einer bestehenden Stauanlage vorzunehmen oder
- Bedienungs- und Überwachungsvorschriften für den Betriebszustand zu erstellen.

Das Konzept dieses Basisdokuments gilt für alle Arten von Stauanlagen, unabhängig von ihrem Verwendungszweck (insbesondere aber für Anlagen zur Speicherung von Wasser sowie für Schutz- und Rückhaltebauwerke). Es ist dabei hinzuweisen, dass eine Stauanlage ein Absperrbauwerk (Talsperre) und einen Stauraum (bzw. ein Staubecken) umfasst. Der Begriff Stauanlage soll darlegen, dass die Beschäftigung mit ihrer Sicherheit sich nicht allein auf die Talsperre beschränkt, sondern dass auch ihr Untergrund und ihre Umgebung sowie ihre Nebenanlagen (Hochwasserentlastung, Grundablass, etc.) einzubeziehen sind. Talsperren können als Betonmauern, Schüttdämme oder Wehranlagen ausgebildet sein.

Es ist klar, dass jede Stauanlage ein Einzelfall darstellt, weshalb auch die Nutzungs- und Sicherheitspläne jedem spezifischen Fall anzupassen sind.

TEIL 1 NUTZUNGSPLAN

1. Ziel des Nutzungsplans

Der durch den beauftragten Ingenieur in Absprache mit der Bauherrschaft ausgearbeitete Nutzungsplan¹ erlaubt, die Projektvorgaben zu formulieren (Nutzung und kennzeichnende Angaben zur Stauanlage, Betriebsbedingungen). Er beinhaltet die Beschreibung der Auslegungsgrundlagen, welche bei der Ausarbeitung und Realisierung eines Projektes zu berücksichtigen sind. Zudem gestattet er die Festlegung von Anforderungen der Aufsichtsbehörden und von besonderen Betriebsbedingungen, welche sich aus der Konzession ergeben. In dieser Phase ist es möglich, die allgemeinen Dimensionierungsannahmen festzulegen.

Es ist wichtig, im Nutzungsplan auch Aspekte der Sicherheit der beweglichen Entlastungsorgane zu berücksichtigen.

Der Nutzungsplan ist stufengerecht bei der Ausführung des Projekts und während des Betriebs der Stauanlage nachzuführen, so dass er stets auf dem aktuellen Stand ist.

2. Gliederung des Nutzungsplans

Es ist dem Ingenieur überlassen, die für jeden Einzelfall am besten geeignete Gliederung des Nutzungsplans festzulegen. Im Allgemeinen werden im Nutzungsplan wenigstens die folgenden Themen behandelt:

- A) Nutzung
- B) Grundlagen und allgemeine Regeln
- C) Örtliche Gegebenheiten
- D) Auslegungsgrundlagen
- E) Beschreibung der Anlage

In Kapitel 3 werden für die oben erwähnten Themen diejenigen Elemente aufgelistet, welche speziell für Talsperren von Bedeutung sind. Die Auflistung ist nicht abschliessend, sollte aber das Aufstellen eines Nutzungsplans erleichtern.

Anwendungsbeispiele dazu finden sich in der Publikation des Schweizerischen Talsperrenkomitees *Konstruktive Sicherheit der Talsperren, Nutzungsplan und Sicherheitsplan* vom Dezember 2000 [6].

¹ Der Nutzungsplan lässt sich gleichermassen auf ein neues Projekt oder eine bestehende Stauanlage anwenden.



3. Elemente des Nutzungsplans

A) Nutzung

A1 Hauptnutzung

Darauf hinzuweisen ist, dass eine Stauanlage mehrere Hauptnutzungen aufweisen kann, welche bestimmend für die Dimensionen der Anlage, der Ablassorgane und der Betriebsweise sind. Nachfolgend sind verschiedene dieser Nutzungen aufgelistet.

Speicherung von Wasser für

- Stromproduktion
- Wasserversorgung
- Bewässerung
- Beschneigung
- Fischzucht
- Löschreserve
- Schifffahrt

Schutzbauten

- Hochwasserrückhaltebecken
- Hochwasserschutzdamm
- Geschiebesperre
- Wildbachsperre
- Lawinenauffangdamm
- Seeregulierung

Andere Nutzungen

- Biotop
- Freizeitnutzung, Tourismus
- Rest einer alten Anlage (Relikt, manchmal ohne Nutzung)

A2 Nebennutzungen

Die Nebennutzungen können Geometrie und Dimensionierung der Stauanlage direkt beeinflussen (zum Beispiel infolge des Einbaus von Stützen für eine Brücke), oder aber Sicherheits- und Personenschutzmassnahmen erfordern. Details dazu können in eigenen Nutzungs- und Sicherheitsplänen aufgeführt werden. Angaben zu den Nebennutzungen finden sich in diesem Kapitel, ohne jedoch im Sicherheitsplan auf die sich daraus ergebenden Massnahmen einzugehen.

- Verkehrsverbindungen

Zur Gewährleistung von Verkehrsverbindungen kann die Krone der Talsperre als Strasse dienen oder als Brücke oder Steg, welche sich auf die Talsperre abstützen, ausgebildet werden. Die Dimensionen der Fahrbahnen richten sich nach der Art des Verkehrs. Für die Bemessung der Bauwerke, wie Brücken oder Stege, gelangen die einschlägigen Normen, Richtlinien und Empfehlungen (SIA, SNV) zur Anwendung.

- Werkleitungs-Trassen (Gas, Öl, Wasser, Telekommunikation, Strom)

Solche Leitungen können sich auf der Oberfläche, im Innern oder in der Nähe der Talsperre befinden. Im Sicherheitsplan ist anzugeben, welche Folgen bei einem Bruch solcher Leitungen für die Stauanlage entstehen. Bei einer Explosion (z.B. einer Hochdruckgasleitung) sind die entstehenden Drücke nicht vernachlässigbar und der Einfluss der plötzlichen, einem Erdbeben vergleichbaren Einwirkung auf die Talsperre ist zu prüfen.

Es ist auch darauf hinzuweisen, dass häufig in Flussbetten Kabel (speziell Glasfaserkabel) verlegt werden. Beim Durchqueren von Wehranlagen (insbesondere von Dämmen) sind mögliche Schwächungen durch Sickerwegbildungen zu vermeiden. Werden Kabel flussabwärts von Stauanlagen im Flussbett verlegt, sind sie gegen mögliche Beschädigung durch Hochwasser zu schützen.

- Auflager für andere Bauten (z.B. Masten)

Werden Fundamente auf Schüttdämmen erstellt, ist darauf zu achten, dass keine lokalen Instabilitäten der Böschungen erzeugt werden (Tragfähigkeitsnachweise erbringen), und dass die dauernde Wirkung von Abdichtungssystemen und Drainagen erhalten bleibt.

- Schifffahrt

Im Bedarfsfall ist die erforderliche, normierte Signalisation vorzusehen.

Für Unterlagen mit Angaben zur Schifffahrt wird auf das Literaturverzeichnis am Schluss verwiesen.

- Fischeaufstieg

Fischtreppe werden oft in das Absperrbauwerk integriert, insbesondere bei Wehranlagen an Flüssen.

Für Unterlagen mit Angaben zur Erstellung von Fischeaufstiegsanlagen wird auf das Literaturverzeichnis am Schluss verwiesen.

- Freizeitnutzung

Bei der Freizeitnutzung ist hauptsächlich der Schutz von Personen sicherzustellen (Überwachung, Erstellung von Abschränkungen, Wege oberhalb des Hochwasserniveaus, angepasste Signalisation, Warntafeln etc.). Gelegentlich kann es notwendig werden, dass die Erstellung einer Anlage zur Freizeitnutzung eine spezielle Abklärung erfordert (z.B. der Einfluss, den eine auf der Dammböschung erstellte Langlaufpiste auf die Stabilität des Dammes ausübt).

Unter dem Begriff der Freizeitnutzung fallen weitere Aktivitäten wie:

- Fischerei
- Baden
- Tauchen
- Wandern
- Bungee Jumping
- Klettern
- Vergnügungsschifffahrt
- Langlauf



A3 Nutzungsdauern

Nutzungsdauern können nicht gleichgesetzt werden mit der Amortisationsdauer der Anlagenteile; die Lebensdauer ist grösser als die Amortisationsdauer. Eine Nutzungsgrenze bedeutet noch nicht das Unbrauchbarwerden oder den Zerfall der Anlage bzw. eines Teils davon; aber es bedeutet, dass erhebliche Mittel für die Erneuerung, den Umbau oder den Ersatz aufzuwenden sein dürften, damit der Weiterbetrieb sichergestellt werden kann. Es ist auch zu betonen, dass mit geeignetem Unterhalt die Nutzungsdauer verlängert werden kann.

Nutzungsdauern können für die nachstehenden Anlagenteile abgeschätzt werden. Mit den dabei festgelegten Werten können die entsprechenden Vorschriften für die Überwachung und den Unterhalt erstellt werden.

- Staumauer und Staudamm (Struktur)
- Verkleidung
- mechanische Ausrüstung
- Stahlwasserbau
- Überwachungsanlage

Die Erfahrung zeigt, dass die Nutzungsdauern für identische oder vergleichbare Materialien, Einrichtungen oder Ausrüstungen stark variieren können. Aus diesem Grund werden in diesem Dokument keine systematischen Angaben zu Nutzungsdauern gemacht. Man beschränkt sich hier auf einige Erwägungen, welche im Bedarfsfalle die Bestimmung oder Festlegung einer Nutzungsdauer erlauben.

In erster Linie ist zu berücksichtigen, dass Stauanlagen oft Teile von Kraftwerken bilden, für die Konzessionen von unterschiedlicher Dauer erteilt werden, die aber heute 80 Jahre nicht übersteigen. Sie können jedoch verlängert werden. Es ist klar, dass gewisse Teile einer Stauanlage (Abdichtung, Verkleidung, Verankerungen, etc.) eine geringere Nutzungsdauer als der Sperrkörper haben und daher innerhalb der Betriebsdauer zu erneuern sind.

Dasselbe gilt für mechanische Ausrüstungen, für die der Ersatz von Einzelteilen während der Nutzungsdauer nötig werden kann. Sie sollten während 40 bis 50 Jahren ohne ersetzt zu werden im Einsatz stehen können. Stahlwasserbau und Panzerungen sollten auch 50 Jahre überschreiten können.

Spezielle Aufmerksamkeit ist dem Überwachungssystem zu schenken, für welches die technische Entwicklung eine wichtige Rolle spielt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den Messinstrumenten, den Datenverarbeitungsanlagen, den automatischen Messwertaufnehmern und den Messpunkten.

Es ist zudem auch auf die Angaben von Lieferanten zu achten.

Für Unterlagen mit Richtwerten von Nutzungsdauern wird auf das Literaturverzeichnis am Schluss verwiesen.

A4 Generelle Betriebsbedingungen²

Es ist Sache des Stauanlagenbesitzers die Beckenbewirtschaftung festzulegen. Gewöhnlich erfolgt dies aufgrund einer Optimierung. Der Betrieb des Beckens umfasst folgende Punkte:

- Nutz- und Totalvolumen des Beckens
- Beckenbewirtschaftung (Staukoten etc.)
- Hochwasserschutzraum
- Brauchwasserabgabe
- Dotierregime, Restwassermengen³
- Zugänglichkeit

² Die Definitionen von Begriffen betreffend die Stauanlagen sind in der entsprechenden Publikation der Internationalen Talsperrenkommission (ICOLD) sowie in der Terminologiedatenbank TERMDAT zu finden.

³ Im 2. Kapitel des Gewässerschutzgesetzes werden die Angaben betreffend die Sicherung angemessener Restwassermengen gegeben.



B) Grundlagen und allgemeine Regeln

- Bundesgesetzgebung (Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Empfehlungen) zu Stauanlagen, Wasserbau, Gewässerschutz, Fischerei, Wald, Zivilschutz
- Kantonale Gesetzgebung
- Konzession
- Normen, Richtlinien, Empfehlungen von Verbänden (SIA, SUVA, SN, ...)
- Topographisches Kartenmaterial
- Meteorologische und hydrologische Jahrbücher
- Publikationen des Schweizerischen Talsperrenkomitees (STK) und der Internationalen Talsperrenkommission (ICOLD)
- Technische Literatur
- Dokumentation aus der Bauzeit
- Dokumentation aus dem Betrieb
- Technische Berichte



C) Örtliche Gegebenheiten

C1 Topographische Gegebenheiten

- Geländeaufnahmen

Um eine Talsperre und ihre Nebenanlagen zu konstruieren empfiehlt es sich, Aufnahmen im Massstab 1 : 500 und für Details 1 : 200 zu benutzen. Für den Stauraum werden, je nach Oberfläche des Sees, Aufnahmen im Massstab 1 : 1000, 1 : 2000 oder sogar 1 : 5000 verwendet. Sie müssen auch die Hänge, welche ins Staubecken abfallen, bis in ausreichende Höhe umfassen.

C2 Geologie / Geotechnik

Im Kapitel betreffend Geologie und Geotechnik ist es wichtig, dass ein Grundlegendokument erstellt und nach und nach ergänzt wird, entsprechend den anfallenden Untersuchungsergebnissen, den Beobachtungen während den Bauarbeiten (Aushübe, Stollen, Bohrungen, Injektionen) sowie speziellen Beobachtungen oder Untersuchungen während der Betriebsphase. Es umfasst unter anderem den geologischen Befund, die Beschreibung der anstehenden Gesteine und Deckschichten, die Beschreibung der Strukturen (Kluftrichtungen, Verwerfungen etc.), die Angaben zur Hydrogeologie (Grundwasserspiegel, Quellen etc.), die Detailgeologie der Sperrstelle, die Angaben über das Staubecken (Dichtigkeit, potenzielle Rutschzonen des Terrains und/oder Felssturzgebiete).

Die Entnahmestellen für die Baumaterialien sind ebenfalls anzugeben.

Aufgrund einer ersten Beurteilung der geologischen und geotechnischen Bedingungen wird die Sondierkampagne festgelegt (Lage der Sondierbohrungen, Bestimmung von Versuchen an Fels und Lockergestein, etc.).

Die Eigenschaften von Fels und Lockergestein sind ebenfalls zu dokumentieren.

Geologische Aufnahmen

- Geologie im näheren und weiteren Bereich
- Fundationsverhältnisse
 - Aufstandsfläche
 - Widerlager
- Geologie des Beckenbereiches
 - Beckendichtigkeit
 - Hangstabilität (Rutschungen, Massenstürze)
- Materialvorkommen (Schüttmaterialien, Betonzuschlagstoffe)
- Erdbebenaktivität

C3 Hydrologie

Zahlreiches Datenmaterial zur Hydrologie kann aus Veröffentlichungen der MeteoSchweiz (früher SMA) oder der dem BWG angegliederten Landeshydrologie und –geologie bezogen werden. Weiteres Material wird ebenfalls von den Kantonen veröffentlicht.

- Meteorologische und hydrologische Verhältnisse

Diese Daten werden für die Projektierung benötigt und dienen unter Verwendung der laufend anfallenden weiteren Daten für spätere Überprüfungen.

 - Niederschläge
 - Abflussregime
 - Hochwasser
 - Feststofftransporte

- Lawinen und Gletscherabbrüche

Für die Abklärung, ob eine Gefährdung der Stauanlage durch Lawinen und/oder Gletscher vorliegt, ist der Beizug von Spezialisten vorzusehen. Bei Vorliegen einer Gefährdung sind Massnahmen zur Verhinderung des Überschwappens der Stauanlage infolge hineinstürzender Schnee- und Eismassen zu ergreifen. Diese können entweder in einem zusätzlichen Freibord oder in einer temporären Begrenzung des maximalen Stauspiegels bestehen, was das vollständige Auffangen dieser Massen im Staubecken erlaubt.⁴

C4 Umwelt

Für die Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit finden sich alle nützlichen Angaben in einschlägigen Publikationen (Mitteilungen, Handbücher etc.) des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).

- Geschützte Objekte
- Ausgleichsmassnahmen, Ersatzmassnahmen

⁴ Andere Massnahmen, wie eine rasche Absenkung, können ergriffen werden, um die Gefahr abzuwenden. Diese Massnahmen müssen im Sicherheitsplan festgelegt werden.



D) Auslegungsgrundlagen

D1 Lage und Höhe der Sperre

Die geologischen und topographischen Randbedingungen bestimmen in erster Linie die Wahl der Sperrstelle für die Talsperre. Die Höhe der Talsperre wird wesentlich von den Erfordernissen des Projekts und den technisch-wirtschaftlichen Abklärungen bestimmt.

D2 Talsperrentyp

Die Talform, die Bodenbeschaffenheit und die am Ort der Stauanlage oder in ihrer Nähe verfügbaren Baumaterialien sind bestimmend für die Festlegung des Sperrentyps sowie der Möglichkeiten zur Integration der Nebenanlagen in diesen. Die Staumauern bestehen aus Beton oder Mauerwerk, die Dämme aus Erd- und Steinmaterialien.

Staumauer

- Gewichtsmauer aus Beton oder Walzbeton (RCC) (bzw. bei älteren Talsperren aus Mauerwerk)
Die Gewichtsmauer hat eine dreieckige Form. Ihr Eigengewicht reicht aus, um die Wasserlast zu übernehmen.
- Pfeilmauer
Dieser Sperrentyp wird gebildet aus Pfeilern mit materialsparenden Zwischenräumen. Die Pfeiler stützen die relativ dünnen Zwischenwände und leiten die Kräfte in den Untergrund ab. Von dieser Konstruktionsart unterscheidet man die Untertypen Pfeilerkopfmauer, Plattenmauer und Mehrfachbogenmauer.
- Bogenmauer
Dieser Staumauertyp hat eine gekrümmte Form. Die Kraft des gespeicherten Wassers wird zum grössten Teil auf die beiden Talflanken übertragen. Die Bogenmauer eignet sich nur dort, wo der Felsuntergrund geeignet ist, um starke Beanspruchungen zu übernehmen.

Damm

Der Damm, bestehend aus Erd- und Steinmaterialien, hat eine dreieckige Form und wird je nach Art der Abdichtung eingeteilt in:

- homogener Erddamm
- gezonter Damm mit Innendichtung (toniger Kern, Schlitzwand, Betondiaphragma, Bitumenbetonkern)
- Damm mit Oberflächendichtung (Betonplatten, Asphaltbelag, Kunststoffmembranen)

Wehr und Seitendamm

Dieser Stauanlagentyp findet sich hauptsächlich bei Flusskraftwerken und bei Seeregulierungswerken. Die Stauanlage umfasst die Wehranlage sowie eventuelle Seitendämme, die längs des Flussufers verlaufen können und so den Stauraum seitlich begrenzen.

Unter einem Wehr wird eine Stauanlage verstanden, bei der mehr als die Hälfte der benetzten Oberfläche aus beweglichen Organen (Schützen, Schlauchwehre) besteht.

D3 Bemessungskriterien

- Stabilität

Für Betonmauern (Gewichtsmauer, Pfeilermauer, Wehr) sind die Sicherheiten gegen Gleiten, Kippen, gegebenenfalls Aufschwimmen, Grundbruch (Tragfähigkeit) sowie der Spannungszustand im Innern und auf Fundationsniveau nachzuweisen.

Für Bogenmauern sind die Tragfähigkeit der Widerlager und der innere Spannungszustand der Struktur zu prüfen.

Für Dämme sind die Böschungsstabilitäten und die Tragfähigkeit der Fundation zu untersuchen.

Die verschiedenen Lasten (Einwirkungen) und ihre Lastkombinationen sowie die anzusetzenden Sicherheitsfaktoren werden unter B) „Gefährdungsbilder“ in Teil 2 „Sicherheitsplan“ festgelegt.

- Hochwasserableitung⁵

Hochwasser sind Naturereignisse, welche Sachschäden und Verluste an Menschenleben verursachen können. Daraus folgt, dass die Stauanlagen so zu bemessen sind, dass Hochwasser unter bestimmten Bedingungen und mit genügender Sicherheitsreserve abgeleitet werden müssen.

Für die Untersuchung der Hochwassersicherheit einer Stauanlage werden 2 Hochwassertypen berücksichtigt:

- Bemessungshochwasser
- Sicherheitshochwasser

- Erdbeben⁶

Für die Überprüfung der Erdbebensicherheit werden die Stauanlagen in 3 Klassen mit unterschiedlichen Anforderungen eingeteilt. Die Klasseneinteilung erfolgt aufgrund der geometrischen Verhältnisse (Höhe, Volumen) entsprechend Artikel 14, 21 und 22 StAV.

| KLASSE | BESCHREIBUNG | KRITERIEN |
|--------|---|---|
| 1 | Stauanlagen, welche alle 5 Jahre einer Sicherheitsüberprüfung unterzogen werden | $H > 40 \text{ m}$, oder $H > 10 \text{ m}$ und $V > 1'000'000 \text{ m}^3$ |
| 2 | Stauanlagen unter der Aufsicht durch den Bund aber ohne Fünfjahreskontrolle | $H > 25 \text{ m}$, oder $H > 15 \text{ m}$ und $V > 50'000 \text{ m}^3$, oder $H > 10 \text{ m}$ und $V > 100'000 \text{ m}^3$, oder $H > 5 \text{ m}$ und $V > 500'000 \text{ m}^3$ |
| 3 | Alle übrigen Anlagen, welche nicht den Klassen 1 und 2 angehören, sowie die Rückhaltebecken | |

Tabelle 1: Einteilungskriterien für die Überprüfung der Erdbebensicherheit

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit wird insbesondere verlangt für ein neues Projekt, ein Umbauprojekt, bei einem anomalen Verhalten, bei wesentlichen neueren Erkenntnissen oder im Falle einer bedeutenden Änderung der Betriebsbedingungen.

⁵ Im Basisdokument zur Hochwassersicherheit werden die Dimensionierungskriterien, die Ableitbedingungen und die baulichen Anforderungen festgelegt.

⁶ Das Basisdokument für den Nachweis der Erdbebensicherheit von Stauanlagen liefert alle Angaben bezüglich der Annahmen und Berechnungsverfahren.



- Absenkung des Wasserspiegels

Gemäss Artikel 4 StAV müssen Stauanlagen «bei drohender Gefahr abgesenkt und zur Vornahme von Kontroll- und Unterhaltsarbeiten entleert werden können. Zu diesem Zweck müssen sie wenigstens über einen ausreichend dimensionierten Grundablass oder eine ausreichend dimensionierte Tiefschütze verfügen.»⁷

Bei mittleren und grösseren Stauhaltungen kann keine allgemein festgelegte Absenkdauer verlangt werden; immerhin ist von Fall zu Fall darauf zu achten, dass eine dem Stauanlagentyp und der Abflusskapazität des Vorfluters angepasste Absenkdauer fixiert werden kann⁸. Bezüglich der Absenkdauer kleinerer Anlagen sollte die Entleerung bis zum Niveau der Ablassorgane innert 1 bis 3 Tagen erfolgen können, wobei ein dem Jahresmittel entsprechender Zufluss zu berücksichtigen ist.

Die Dimensionen des Grundablasses oder der Tiefschütze sind so zu wählen, dass eine Absenkung der Stauanlage für die Ausführung von Arbeiten oder im Falle eines ausserordentlichen Ereignisses beibehalten werden kann. Falls sich Sedimente vor dem Einlauf des Grundablasses ablagern können, ist darauf zu achten, dass die Querschnittsfläche des Grundablassorgans genügend gross gewählt ist, damit das Abschwemmen der Sedimente und die Ausbildung eines sedimentfreien Einlauftrichters gewährleistet sind.

Eine Tiefschütze gestattet die Öffnung des unteren Teils eines Wehrdurchlasses. Wehrschützen, wie z.B. Rollschützen mit mehreren Tafeln, weisen diese Möglichkeit auf. Eine unterströmte Segmentschütze erfüllt die gleiche Funktion. Es ist darauf zu achten, dass die Durchflussbreite von Wehröffnungen genügend gross gewählt sind, damit Geschwemmsel und Geschiebe bei Hochwasser durchgeleitet werden können.

Hinzuweisen ist, darauf, dass bei Schwellen, die in Fliessgewässern erstellt werden, aufgrund von deren geringen Dimensionen allenfalls auf den Einbau eines Grundablasses verzichtet werden kann.

Für die Entleerung von Staubecken sind die gesetzlichen Grundlagen im Artikel 40 des Bundesgesetzes vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer und in der Gewässerschutzverordnung vom 19. Juni 1992, modifiziert vom 27. November 1994 geregelt (GSchG, SR 814.20; GSchV, SR 814.201). Artikel 42 GSchV regelt die Modalitäten für die Durchführung von Spülungen und Entleerungen von Stauräumen.

- Ersteinstauüberwachung

In der Regel erfolgt der Ersteinstau einer Stauanlage in wenigstens 2 Etappen (ausser bei Flusstauhaltungen und Rückhaltebecken). Dazu ist ein Programm erforderlich, welches die Abwicklung des Einstaus, die Organisation der Überwachung und die vorzunehmenden Messungen und Beobachtungen zur Verhaltensbeurteilung regelt. Der Einstau darf erst vorgenommen werden, wenn die Ablassvorrichtungen und die Hochwasserentlastung sowie die Messeinrichtungen zur Überwachung betriebsstüchtig sind.

- Ausserbetriebnahme

Wird eine Stauanlage ausser Betrieb genommen, so ist sie so umzugestalten, dass dauerhaft kein Aufstau erfolgen kann, und dass sie - ausser des normalen Gewässerunterhalts - keines weiteren Unterhalts mehr bedarf.

Eine Lösungsmöglichkeit besteht dabei in der Erstellung einer Bresche bzw. einer Öffnung in der Talsperre, die so gross ist, dass ein Hochwasser (z.B. ein HQ100) ohne Gefahr abgeleitet werden kann.

⁷ Angaben zu den Ablassorganen finden sich im Kapitel *E2 Grundablass* des Teils 1 "Nutzungsplan".

⁸ Eine gebräuchliche Regel verlangt, dass die Absenkung innert 8 Tagen auf die halbe hydraulische Belastung erfolgen kann.

D4 Bevölkerungsschutz

In den folgenden Abschnitten werden die vorhandenen Mittel sowie die zu ergreifenden Massnahmen für die Sicherstellung des Bevölkerungsschutzes beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die vorgesehenen Massnahmen im Sicherheitsplan aufzuführen sind.

- **Alarmeinrichtung**

Im Falle, wo ein sicherer Betrieb der Stauanlage aufgrund eines anomalen Verhaltens oder den Folgen eines Naturereignisses (extremes Hochwasser, Erdbeben) nicht mehr gewährleistet ist, hat die Inhaberin der Stauanlage die erforderlichen Massnahmen zur Abwendung der Gefährdung von Personen und Sachen zu treffen. Zu diesem Zweck sind Vorkehrungen für den Notfall vorzubereiten, bestehend aus der Organisation der Überwachung der Stauanlage vor Ort, den vorsorglichen Massnahmen (z.B. der Absenkung des Wasserspiegels), den Übermittlungsmitteln für die unverzügliche Benachrichtigung der Aufsichtsbehörden und der Pikettstelle der Kantonspolizei (Artikel 17, Absatz 1 und 2 sowie Artikel 18 StAV). Die Kantone und die Gemeinden sind in der Lage mit Hilfe der Mittel der Bevölkerungsschutzes (Sirenen des Allgemeinen Alarms, Nationale Alarmzentrale) die Bevölkerung zu alarmieren und gegebenenfalls deren Evakuierung sicherzustellen. Die Gemeinden haben dazu einen Evakuierungsplan aufzustellen aufgrund einer Überflutungskarte, in welcher die Begrenzung der überfluteten Zone eingezeichnet ist.

- **Vorsorgliche Absenkung**

Eine teilweise oder vollständige vorsorgliche Absenkung ist eine Massnahme, die angeordnet werden kann, wenn bei einem ausserordentlichen Ereignis ein sicherer Betrieb der Stauanlage nicht mehr gewährleistet ist, und wenn eine damit verbundene Bedrohung für Personen und Sachen vorliegt. Die Aufsichtsbehörden von Bund und Kanton sind umgehend darüber zu benachrichtigen.

In Fällen von drohenden Lawinen, Erdbeben, Felsstürzen oder Gletscherabbrüchen ist der Wasserspiegel soweit abzusenken, dass die Talsperrenkrone nicht überflutet werden kann. Die Absenkung ist bis zum Ende der Gefahr beizubehalten. Solche speziellen Betriebsbedingungen sind in den Betriebs- und Überwachungsvorschriften festzuhalten.

- **Militärische Anforderungen**

Das Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) und dabei seine spezialisierten Stellen sind zuständig für die Genehmigung des technischen Konzepts und der Einrichtungen des Wasseralarmsystems. Die technischen Spezifikationen sind im Dokument *Wasseralarm 2000* [7] niedergelegt.

D5 Anforderungen Dritter

- Beeinflussung von Quellen
- Zugangswege



E) Beschreibung der Anlage

E1 Kenndaten der Stauanlage

Die Kenndaten für Stauanlagen sind in der nachstehenden Tabelle 2 aufgeführt.

| | |
|----------------------|--|
| Stauanlage | Nutzung Bewirtschaftung Jahr der Inbetriebnahme |
| Absperrbauwerk | Typ Geometrische Angaben (Höhe der Sperre, Stauhöhe, Kronenlänge, Kronenbreite, Fussbreite, Neigungen der Paramente, Volumen des Sperrkörpers, etc.) |
| Stauraum | Staukoten (Stauziel, Absenkziel) Seestandskoten bei Hochwasser Geometrische Angaben (Oberfläche, Volumen) Freibord |
| Ablassorgane | Grundablass, Mittelablass Typ (im Stollen, durch die Talsperre geführt) Schwellenkote des Einlaufs, der Schützen Querschnittsdimensionen Ableitungskapazität |
| Hochwasserentlastung | Typ Anzahl und Breite der Öffnungen Schwellenkote Typ und Dimensionen der Schützen Ableitkapazität |
| Wasserfassung | Schwellenkote Querschnittsdimensionen Fassungsvermögen |
| Hydrologie | Einzugsgebietsfläche Wassermenge und Volumen des Bemessungs- und des Sicherheitshochwassers |
| Geologie | Beschreibung der Geologie des Stauraums und der Sperrstelle Eigenschaften von Fels und Lockergestein der Foundation Bekannt Instabilitäten |
| Zugang | Beschreibung der Zugangsmöglichkeiten sowohl während des Sommers als auch im Winter (Strasse, Weg, Seilbahn, etc.) Zeitaufwand Hubschrauberlandeplatz |

Tabelle 2: Zusammenstellung der hauptsächlichlichen Kenndaten für Stauanlagen

E2 Grundablass

Der Grundablass ist in erster Linie ein Sicherheitsorgan und dient hauptsächlich

- (1) zur Steuerung des Seeanstiegs beim Ersteinstau,
- (2) zur Absenkung oder Entleerung des Staubeckens im Falle einer Bedrohung der Sicherheit der Stauanlage oder nötigenfalls
- (3) zur Tiefhaltung des Stauspiegels für die Vornahme von Arbeiten oder infolge eines ausserordentlichen Ereignisses.

Der Grundablass befindet sich im untersten Bereich der Talsperre. Er kann als den Talsperrenkörper durchquerende Öffnung oder in einem den Widerlagerbereich durchörternden Stollen angeordnet sein. Die Wahl der Höhenlage des Grundablasses hängt von der zugelassenen Verlandung ab. Stauanlagen von grosser Höhe können auch 2 Abflüsse auf verschiedener Höhenlage aufweisen.

Der Grundablass kann bei Hochwasser auch als zusätzliches Entlastungsorgan benützt werden. In speziellen Fällen und unter bestimmten Voraussetzungen kann der Grundablass zur Ableitung von Sedimenten eingesetzt werden.

Aus Gründen der Betriebssicherheit sind die Grundablässe in der Regel mit 2 Schützen auszurüsten, wobei die eine als Sicherheitsorgan (Reserveschütze, Revisionsschütze) und die andere als Regulierorgan (Betriebsschütze) dient. Wird ein oberwasserseitiger Damm-balkenverschluss vorgesehen, kann der gesamte Grundablass verschlossen werden (zur Vornahme von Kontrollen und Revisionsarbeiten).

Wird der Antrieb der Schützen durch das elektrische Netz gespeist, so ist eine redundante Stromversorgung erforderlich. Diese Notstromversorgung (Notstromgruppe mit Diesel oder Benzinmotor, Batterien, Öllakuanlagen) dient zur Überbrückung eventueller Stromausfälle. Darüber hinaus muss die Betätigung mittels Handantrieb ebenfalls möglich sein.

Eine Fernbedienung der Schützen kann vorgesehen werden; ihr Einsatz ist dem Ermessen des Betreibers überlassen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Schützenöffnung stufenweise erfolgt, um eine unbeabsichtigte Totalöffnung zu vermeiden. Die Fernbedienung ist so einzurichten, dass nach einer Stufe die Schütze anhält und für die folgende Stufe jeweils ein erneuter Befehl zu geben ist.

Rein manuell bediente Grundablässe kommen lediglich bei kleineren Stauanlagen vor.

Die Betriebstüchtigkeit der Ablassorgane ist mit jährlichen Funktionsproben bei hohem Wasserspiegel und mit Wasserablass zu überprüfen. Angaben über die Durchführung der Funktionsproben werden in den Richtlinien und im Basisdokument zu Überwachung und Unterhalt gegeben.

Der Zugang zu den Steuerungseinrichtungen der Ablassorgane vor Ort muss stets gewährleistet sein.

E3 Hochwasserentlastung

Hochwasserentlastungen können als freier Überfall mit fester Schwelle oder als Überfall mit Schützen (Tafelschützen, Klappen, Segmentschützen, Sektorschützen, Schlauchwehre) ausgebildet sein. Wegspülbare Einrichtungen (Kippelemente, erordierbarer Damm) sind ergänzende Lösungen.

Bezüglich der Formgebung der Hochwasserentlastungen werden unterschieden:

- Stirnüberfall mit oder ohne anschliessende Schusseinne
 - Seitenüberfall mit Sammelrinne
 - Kelchüberfall (Tulpe, Trompete)
 - Labyrinthwehr
- sowie weitere Formen.

Bei der konstruktiven Ausbildung sollen die Öffnungen genügend breit sein, damit deren Verstopfung durch Bäume und Geschwemmsel vermieden wird. Eine Breite von 10 m kann (sofern es die topographischen Bedingungen gestatten) als ausreichend betrachtet werden.



Aufgrund der Beobachtungen anlässlich der Hochwasser von 1987⁹ werden mitgeführte Baumstämme rasch auf maximale Längen von 10 m gekürzt. Bei Wehren an grösseren Flüssen und im Flachland soll die Breite wesentlich mehr als 10 m betragen. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Form des Stausees einen Einfluss auf den Transport von Schwemholz haben kann.

Ausreichend freier Raum ist unter einer Brücke oder einem Steg vorzusehen. Bei Stauseen soll dieser wenigstens 1.5 bis 2 m betragen; bei Wehren an Flüssen kann auch weniger toleriert werden. Ein Steg sollte gegebenenfalls so konzipiert sein, dass er notfalls bei ausserordentlichen Hochwassern fortgespült werden kann.

Für Hochwasserüberfälle mit Schützen gelten bezüglich der Schützenbetätigung die gleichen Anforderungen wie bei den Grundablässen (siehe E2). Es ist dabei unbedingt zu beachten, dass der Zugang zur Steuerung vor Ort sichergestellt ist, und es ist zu vermeiden, dass Bedienungsposten, Stromversorgungseinrichtungen und Kabelführungen innerhalb von überflutunggefährdeten Gebieten installiert werden.

Je nach den winterlichen Bedingungen ist es angebracht, ein Luftblasen-System bzw. ein Heizsystem der Schützenwangen einzurichten, welche die Eisentwicklung bei den beweglichen Organen verhindern können.

E4 Wasserfassung

Wasserfassungen sind Nebenanlagen, deren Dimensionen und Entnahmekapazität vom Nutzungszweck der Stauanlage abhängen (Stromproduktion, Wasserversorgung, Bewässerung, Beschneigung, etc.). Die charakteristischen Daten der Wasserfassung werden im Einvernehmen mit der Bauherrschaft aufgrund einer technisch-wirtschaftlichen Studie festgelegt. Der Einlauf der Wasserfassung wird gewöhnlich mit einem Rechen oder Korb ausgerüstet. Im Bedarfsfall kann die Wasserfassung für die vorsorgliche Absenkung des Stauspiegels hinzugezogen werden.

E5 Verschiedenes

- Provisorische Umleitung

Während der Bauzeit ist eine provisorische Umleitung vorzusehen, welche aufgrund der vorgesehenen Bauzeit, des Talsperrentyps sowie der Schadensrisiken, die zu berücksichtigen sind, dimensioniert wird (Überschwemmung der Baustelle, Unterbruch der Bauarbeiten, Gefährdung von Unterliegern). Die umzuleitende Wassermenge kann einem Hochwasser mit einer Wiederkehrperiode von 20 bis 50 Jahren für Betonmauern und von 80 bis 100 Jahren für Schüttdämme entsprechen. Je nach Schadensrisiko sind höhere Wiederkehrperioden zu wählen.

- Betriebseinschränkung

Betriebseinschränkungen können im Falle von ausserordentlichen Ereignissen verfügt werden. (z.B. wenn eine Geländerutschung, ein Felssturz, ein Gletscherabbruch oder ein Lawinnenniedergang in das Staubecken einzudringen drohen). Dabei ist ein temporärer oder permanenter Schutzraum durch Absenken des Stauspiegels zu erzeugen.

- Einschränkung bei Seeabsenkung

Falls beim (raschen) Abstauen des Sees das Risiko einer Hangrutschung oder eines Massensturzes besteht, sind spezielle Vorschriften zu machen (zulässige Absenkgeschwindigkeit, Stauspiegelrestriktionen).

⁹ Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen, Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. 4, Mai 1991

- Spülung

Artikel 40 des Bundesgesetzes vom 24. Januar 1991 über den Gewässerschutz (GSchG) regelt die Modalitäten für die Spülung und Entleerung von Staubecken. Es wird insbesondere darin verlangt, darauf zu achten, dass möglichst keine Schädigungen an der Tier- und Pflanzenwelt im Unterlauf des Gewässers während der Durchführung entstehen. Die Bewilligungen für die Durchführung von Spülungen und Entleerungen werden durch die Kantone erteilt. Die Ausführungsmodalitäten sind in Artikel 42 der Gewässerschutzverordnung des Bundes vom 19. Juni 1992, geändert am 27. November 1994 geregelt.

Damit die Betriebsfähigkeit des Grundablasses sichergestellt ist, muss sein Einlauf von Sedimenten freigehalten werden. Die Bildung eines sedimentfreien Einlauftrichters muss mindestens gewährleistet sein. Neigen die Sedimente dazu den Einlauf zu verstopfen oder sich vor den Schützen abzulagern (und dadurch den Abfluss zu behindern), sind unverzüglich Massnahmen zur Entfernung solcher Ablagerungen zu ergreifen. Dabei sind Spülungen des Grundablasses, gegebenenfalls andere Verfahren vorzusehen. Es ist empfehlenswert, solche Operationen so häufig wie möglich durchzuführen, was die Ansammlung von grossen Sedimentmengen zu vermeiden hilft.

- Geschwemmselentfernung

Im Artikel 41 des Bundesgesetzes vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (GSchG) werden die Modalitäten betreffend die Behandlung von Geschwemmsel bei Stauhaltungen geregelt. Dieser Artikel besagt, dass derjenige, welcher eine Stauanlage betreibt, das sich im Oberwasser ansammelnde Geschwemmsel nicht an das Unterwasser übergeben darf. Er muss dieses periodisch einsammeln. Ausnahmen sind mit dem Einverständnis der zuständige Behörden möglich.

- Zugänglichkeit

Für die Zwecke von Betrieb und Unterhalt sowie bei oder nach einem ausserordentlichen Ereignis (anomales Verhalten der Stauanlage, Hochwasser, Erdbeben) ist die Anwesenheit von Personal vor Ort erforderlich. Die Zugänglichkeit zur Talsperre ist daher sicherzustellen. Die verschiedenen Zugangsmöglichkeiten sind zu beschreiben und die Marschzeiten, auch unter erschwerten Bedingungen, anzugeben.

- Alarminrichtungen

Stauanlagen mit mehr als 2 Mio. m³ Stauraum sind durch die Inhaberin mit einem Wasseralarmsystem auszurüsten¹⁰. Dabei sind in der Nahzone (Gebiet, das bei plötzlichem totalen Bruch der Stauanlage innert maximal 2 Stunden überflutet wird) spezielle Wasseralarm sirenen zu installieren (Artikel 19 StAV)¹¹.

Zum Wasseralarmsystem gehören ausser den Sirenen auch die Einrichtungen wie Wasseralarmzentralen, Beobachtungsposten, nahe gelegene Unterkünfte (Artikel 19, Absatz 2 StAV). Zudem sind wenigstens 2 unabhängige Verbindungen zwischen Wasseralarmzentrale und Pikett- und Alarmstelle des Standortkantons vorzusehen.

Die Befugnis zum Auslösen des Alarms hat gemäss Artikel 20, Absatz 2 StAV

- die Inhaberin der Stauanlage, wenn es sich um ein anomales Verhalten der Stauanlage, ein Naturereignis oder einen Sabotageakt handelt,
- das Armeekommando bei militärischer Bedrohung.

¹⁰ Bei Stauräumen von annähernd 2 Mio. m³ kann die Oberaufsichtsbehörde die Ausrüstung mit einem Wasseralarmsystem verlangen, wenn ein erhöhtes Gefahrenpotential besteht.

¹¹ Aus Redundanzgründen werden in der Nahzone auch die Sirenen des Allgemeinen Alarms aktiviert.



Bei Stauanlagen mit weniger als 2 Mio. m³ Stauraum erfolgt die Alarmierung der Bevölkerung mit Hilfe der Sirenen des Allgemeinen Alarms oder anderer akustischer Mittels bzw. dem Einsatz von mobilen Alarmierungsmitteln.

TEIL 2 SICHERHEITSPLAN

1 Ziel des Sicherheitsplans

Die Ausarbeitung des Sicherheitsplans verlangt die Ermittlung aller möglichen Zustände, welche ein Risiko bedeuten, sowie die Festlegung entsprechender Massnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit des Bauwerks. Die akzeptierbaren Risiken (Art der tolerierbaren Schäden) haben einen direkten Einfluss auf die bauliche Auslegung. Im Sicherheitsplan muss man sich Rechenschaft geben über die Voraussetzungen, welche das korrekte Verhalten des Bauwerks und Funktionieren der Organe sicherstellen.

Aufgrund dieser Gegebenheiten ist es möglich, alle Annahmen für die Dimensionierung und Prüfungen (auszuführende Untersuchungen, Baukontrollprogramm) der Stauanlage festzulegen. Zudem müssen im Sicherheitsplan die besonderen Vorschriften aufgeführt werden, welche in Betriebs- und Überwachungsreglemente einfließen sollen.

Obwohl dieses Dokument eher auf die Sicherheit des Bauwerks und seiner Nebenanlagen selbst ausgerichtet ist, sollen die Sicherheit von Personal, Besuchern und Passanten sowie die Zugänglichkeit nicht aus den Augen verloren werden. Schutzmassnahmen müssen mit dem Betreiber besprochen werden.

2 Gliederung des Sicherheitsplans

Der Sicherheitsplan stellt die hauptsächliche Grundlage für die Dimensionierung der Bauten dar. Zur Festlegung der mit dem Sicherheitsplan zu erreichenden Ziele sind verschiedene Vorgehensweisen möglich. Es ist dem Ingenieur überlassen, die für jeden Einzelfall bestgeeignete Gliederung des Sicherheitsplans festzulegen. Im Allgemeinen werden im Sicherheitsplan wenigstens die folgenden Themen behandelt:

- A) Einwirkungen
- B) Gefährdungsbilder
- C) Ursachen
- D) Massnahmen
- E) Restrisiko

Anwendungsbeispiele dazu finden sich in der Publikation des Schweizerischen Talsperrenkomitees *Konstruktive Sicherheit der Talsperren, Nutzungsplan und Sicherheitsplan* vom Dezember 2000 [6].



3 Elemente des Sicherheitsplans

A) Einwirkungen

Ständige Lasten

- *Eigengewicht* (Struktur, Verschlussorgane)

Die nachstehenden Angaben für Eigengewichte sind Richtwerte.

Staumauern:

Das Raumgewicht hängt ab von der Materialqualität (Steine, Zuschlagstoffe) und der Verarbeitung.

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| - Mauerwerk | 22 bis 23 kN/m ³ . |
| - Gussbeton | 23 kN/m ³ |
| - Massenbeton, vibriert | 24 bis 24.5 kN/m ³ |
| - armierter Beton | 25 kN/m ³ |

Staudämme:

Das Raumgewicht von Schüttmaterial variiert meist zwischen 16 und 22 kN/m³. Die entsprechenden Werte sind mit Laborversuchen zu bestimmen.

- *Erddruck*

Der Erddruck ist im Allgemeinen als Ruhedruck zu berücksichtigen. Es ist auch zu beachten, dass der Erddruck sich mit der Zeit verändern kann und nicht zwingend als stabilisierende Kraft wirkt.

- *Verankerungen*

Bezüglich der Verankerungen kann das SIA-Normenwerk (SIA V 191) herangezogen werden. Zu beachten ist, dass sie Anker zur Verbesserung der Stabilität dienen, wenn die üblichen Sicherheitskriterien nicht erfüllt werden können. Dabei dürfen die Sicherheitsfaktoren ohne Berücksichtigung der Anker nicht unter 1.0 fallen. Während der Betriebsdauer sind die Anker regelmässig zu kontrollieren.

Veränderliche Lasten

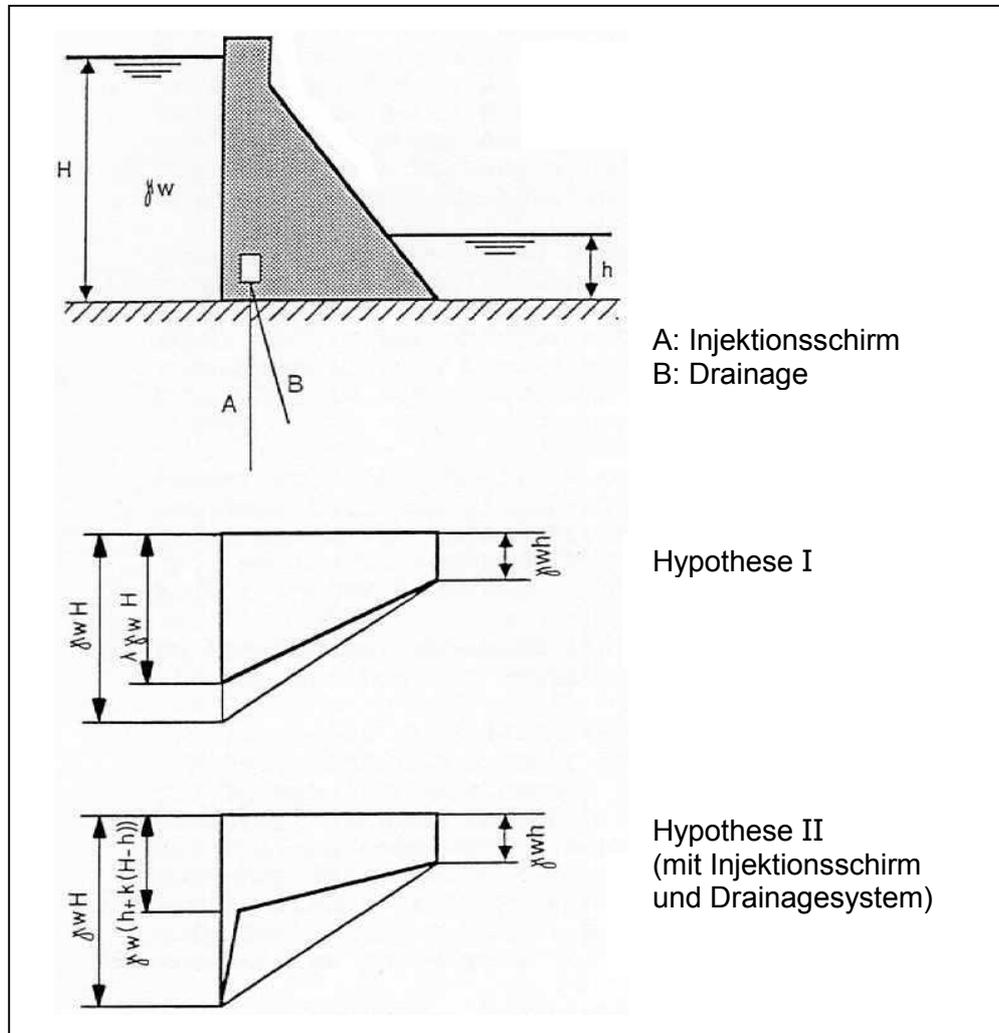
- *Wasserdruck*

Das Raumgewicht von sauberem Wasser beträgt 1000 kg/m³; während es bei Suspension mit Sedimenten 1050 bis 1100 kg/m³ oder mehr betragen kann.

- *Auftrieb*

Die Auftriebskräfte werden durch das sickernde Wasser durch die Talsperre und ihre Foundation erzeugt. Aufgrund des Vorhandenseins oder der Absenz eines Injektionsschirms oder eines Drainagesystems (Stollen, Drainagebohrungen) kann die Auftriebsfigur unterschiedliche Form aufweisen. Die einfachste Form besteht in einem Dreieck (ohne Wasser auf der Luftseite) bzw. einem Trapez (mit Wasser auf der Luftseite). Mit dem Einbezug eines Abminderungsfaktors λ für den Auftrieb können die Eigenschaften des Fundationsfelsens, die Bedeutung und die Wirksamkeit des Injektionsschirms und des Drainagesystems berücksichtigt werden. Der Faktor λ kann zwischen 1 (kein Injektionsschirm, keine Drainagen) und (wenigstens) 0.75 bei Vorhandensein von Injektionsschirm und Drainagen (siehe Figur 1, Hypothese I) liegen. Bei Vorhandensein von Injektionsschirm und Drainagen sind in der Praxis verschiedene Auftriebsfiguren gebräuchlich. Als Beispiel dazu sei auf die beiden Fälle in Figur 1, Hypothese II hingewiesen. In beiden Fällen entspricht der wasserseitige Wert dem vollen Wasserdruck. Ausführlichere Angaben finden sich in der Publikation des Schweizerischen Talsperrenkomitees *Auftrieb bei Betonsperren* vom April 1992 [8].

Mit Hilfe eines Sickeretzes kann ebenfalls eine Auftriebsfigur konstruiert werden. Bei bestehenden Talsperren kann diese Figur aus Messwerten ermittelt werden. Schliesslich ist noch darauf hinzuweisen, dass infolge eines Erdbebens die Auftriebsfigur verändert werden kann. Tritt z.B. auf der Wasserseite ein Riss auf, so wird der maximale Wasserdruck in der gesamten Risstiefe wirksam.



Figur 2: Einige der üblichen Verteilungen des Auftriebs
 $\lambda, k =$ Abminderungskoeffizienten des Auftriebs

▪ **Strömungskräfte des Sickerwassers**

Sickerströmungen können in Schüttdämmen einen Transport von Bodenpartikeln erzeugen, wobei sich durch innere Erosion progressiv erweiternde Kanäle bilden können. Dieses Phänomen ist als Sickeröhrenbildung, "piping" bzw. "renard" bekannt und zu untersuchen. Eine allfällige durch Strömungskräfte (bzw. Auftriebsdrücke) erzeugte Hebung von Bauteilen ist ebenfalls abzuklären.

Porenwasserdrücke können sich mit der Zeit verändern infolge Änderungen der Durchlässigkeit, der hydrostatischen Belastung und des Drainagezustands. Mit einem Strömungsnetz kann die Intensität und Verteilung der Porenwasserdrücke bestimmt werden. Hinzuweisen ist auch darauf, dass die Porenwasserdrücke den für die Stabilität massgebenden Scherwiderstand vermindern können.



- **Betontemperatur**

Die Temperaturvariationen des Betons entstehen durch die Abbindewärme während des Erhärtens sowie durch die Einwirkungen der Umgebungsbedingungen (Insolation, Luft- und Wassertemperaturen). Die Temperaturen haben einen Einfluss auf die Spannungen und Deformationen des Bauwerks. Die Temperaturschwankungen sind bedeutend auf den Maueroberflächen. Im Innern der Mauer sind sie deutlich abgeschwächt und aufgrund der thermischen Eigenschaften des Betons phasenverschoben. Über den Mauerquerschnitt wird eine lineare Beziehung (in trapezoidaler Form) zwischen Wasser- und Luftseite angenommen. Sie setzt sich aus einer gleichmässigen Temperaturänderung bezüglich einer Referenztemperatur und einem Temperaturgradienten zwischen den beiden Maueroberflächen zusammen.

- **Verkehrslasten**

Die Annahmen für Verkehrslasten sind in der SIA-Norm 160 [1] niedergelegt.

Ausnahmebelastungen

- **Hochwasser**

Ein Hochwasser wird durch sein Hydrogramm definiert. Dieses ist charakterisiert durch eine oder mehrere Spitzen, das Volumen, die Dauer, die Anstiegszeit, die Anstiegsgeschwindigkeit und das Abklingen. Massgebend ist das Hydrogramm, welches unter Berücksichtigung der Entlastungsmöglichkeiten und der Retention die ungünstigste Situation für die Stauanlage ergibt. Wenn die Retention vernachlässigbar gering ist, wird einzig die Hochwasserspitze massgebend. Die Entlastungsbedingungen für das Bemessungs- und das Sicherheitshochwasser sind zu untersuchen. Das heisst, für die Bestimmung der Hochwassersicherheit der Stauanlage wird, ausgehend von verschiedenen Zuflusshydrogrammen, dasjenige gesucht, welches den maximalen Seespiegelanstieg erzeugt.

- **Erdbeben**

Der Erdbebennachweis erfolgt für ein Nachweisbeben, das auf einer probabilistischen Betrachtungsweise basiert. Dabei gelten die üblichen seismologischen Grundlagen.

Die seismische Gefährdung ist die Eintretenswahrscheinlichkeit einer erdbebeninduzierten Bodenbewegung einer bestimmten Stärke an einem bestimmten Standort. Jeder Talsperrenklasse wird ein Nachweisbeben zugeordnet.

- **Lawinen**

Bei Lawinen ist zu unterscheiden zwischen solchen, welche beim Eindringen in den Stausee eine Welle mit Überflutungen erzeugen können und solchen, die gegen ein zu ihrem Auffang erstelltes Bauwerk prallen (Lawinenauffangdamm). Das Bauwerk muss die Einwirkungen der aufprallenden Lawine auffangen können. Gemäss üblicher Praxis wird zur Dimensionierung eine Lawine mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren angenommen.

Für Unterlagen mit näheren Angaben dazu wird auf das Literaturverzeichnis am Schluss verwiesen.

- **Murgang**

Der Murgang ist zu berücksichtigen, wenn die totale Belastung auf die Talsperre grösser als die hydrostatische allein ist. Dieser Fall kann von allem bei Talsperren von kleinerer Höhe eintreten.

Für Unterlagen mit näheren Angaben dazu wird auf das Literaturverzeichnis am Schluss verwiesen.

- **Eisdruck**

Der Eisdruck ist eine aussergewöhnliche Belastung. Er wirkt sich bei erheblicher Wasserspiegelschwankung des Stausees jedoch nicht aus, da sich die Eisoberfläche nicht an der Talsperrenoberfläche festsetzen kann. Nichtsdestoweniger ist zu unterstreichen, dass der Eisdruck bei Talsperren von geringer oder mittlerer Höhe einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss haben kann. Entsprechend der Stauhöhe kann er so gross wie oder grösser als die hydrostatische Belastung werden.

Es muss beachtet werden, dass die Grösse des Eisdrucks schlecht bekannt ist und grosse Streuungen aufweist. In der Literatur werden Werte zwischen 20 und 300 kN/m¹ angegeben.

Für Unterlagen mit näheren Angaben dazu wird auf das Literaturverzeichnis am Schluss verwiesen.

B) Gefährdungsbilder

Die kritischen Zustände werden einerseits durch Lastkombinationen und andererseits durch die Beschreibung der möglichen Gefahren und Schäden angegeben.

B1 Lastkombinationen

Gemäss Artikel 3 Absatz 1 der Stauanlagenverordnung ist die Standsicherheit für alle voraussehbaren Betriebs- und Lastfälle zu gewährleisten. Die verschiedenen Lastfälle sind im obenstehenden Kapitel beschrieben. Unter den Betriebsfällen können zum Beispiel Begrenzungen des Stauspiegels, Ausserbetriebnahmen bei der Revision von hydro-mechanischen Anlagenteilen, Mängel am Betrieb der Ablassorgane, Unmöglichkeit zu turbinieren, Folgen einer eventuellen Panne (Stromausfall) genannt werden.

Lastfallkombinationen für die verschiedenen Talsperrentypen (Staumauern, Staudämme) sind in den Tabellen 3, 4 und 5 dargestellt. Es ist jedoch Sache des beauftragten Ingenieurs aufgrund des Sicherheitsplans die ungünstigsten der zu untersuchenden Lastfallkombinationen zu definieren.

Bei den Berechnungen sind die verschiedenen Bau- und Betriebsphasen zu berücksichtigen. Bei Bogenmauern sind speziell die einzelnen Konstruktionsetappen zu untersuchen. Bei Schüttdämmen sind Bauzustände (nichtkonsolidiertes Tonmaterial, provisorische Abdichtungen) sowie der Fall Bau-Ende zu untersuchen.

Bei im Betrieb stehenden Stauanlagen unterscheidet man die Lastfälle

- Typ 1 Normal
- Typ 2 Ausserordentlich
- Typ 3 Extrem

Bemerkungen:

Der Normalfall (Typ 1) betrifft die Belastungen, welche die Talsperre regelmässig beanspruchen.

Der ausserordentliche Fall (Typ 2) betrifft die seltenen Belastungen, welche vorkommen können, jedoch nicht notwendigerweise während der Lebensdauer des Bauwerks. In diesem Fall sind geringfügige Schäden zulässig.

Der extreme Fall (Typ 3) betrifft die ungünstigsten Lastfälle, welchen die Talsperre ausgesetzt werden könnte. Sie sind hypothetisch und durch die physikalischen Grenzen bestimmt. In diesem Fall sind bedeutendere Schäden zulässig, ohne jedoch die Stauanlage zu gefährden.



| EINWIRKUNGEN | GEWICHTSMAUER, WEHR | | | | | | | |
|--|--|----------|-------------------------|-----|--------|---------------|---------------------------------|-------------------|
| | Typ 1 | | Typ 2 | | | Typ 3 | | |
| | Normalfall | | ausserordentlicher Fall | | | extremer Fall | | |
| | See leer | See voll | Hochwasser | Eis | Lawine | Hochwasser | Erdbeben See leer ²⁾ | Erdbeben See voll |
| Eigengewicht | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Wasserdruck See bei Stauziel ¹⁾ | | X | | X | (X) | | | X |
| Wasserdruck Seeniveau beim Bemessungshochwasser | | | X | | | | | |
| Wasserdruck Seeniveau beim Sicherheitshochwasser | | | | | | X | | |
| Wasserdruck auf der Luftseite | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) |
| Auftrieb Seeniveau bei Stauziel | | X | | X | X | | | X |
| Auftrieb Seeniveau beim Bemessungshochwasser | | | X | | | | | |
| Auftrieb Seeniveau beim Sicherheitshochwasser | | | | | | X | | |
| Sedimentbelastung (wasserseits) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) |
| Erddruck (luftseits) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) |
| Erdbeben | | | | | | | X | X |
| Eisdruck | | | | X | | | | (X) |
| Lawine / Murgang | | | | | X | | | |
| Bemerkungen | 1) Je nach dem ist auch ein Zwischenniveau zu berücksichtigen. 2) Optional (X) Zu beachten, falls vorhanden Die Temperaturen werden bei den Spannungs- und Deformationsberechnungen berücksichtigt. | | | | | | | |

Tabelle 3: Lastkombinationen für Gewichtsmauern, Wehre und Mauerwerkstalsperren

| EINWIRKUNGEN | BOGENMAUER | | | | | | | |
|--|--|----------|-------------------------|-----|--------|---------------|---------------------------------|-------------------|
| | Typ 1 | | Typ 2 | | | Typ 3 | | |
| | Normalfall | | ausserordentlicher Fall | | | extremer Fall | | |
| | See leer | See voll | Hochwasser | Eis | Lawine | Hochwasser | Erdbeben See leer ²⁾ | Erdbeben See voll |
| Eigengewicht | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Wasserdruck Seeniveau bei Stauziel ¹⁾ | | X | | X | (X) | | | X |
| Wasserdruck, Seeniveau beim Bemessungshochwasser | | | X | | | | | |
| Wasserdruck, Seeniveau beim Sicherheitshochwasser | | | | | | X | | |
| Wasserdruck auf der Luftseite (eventuell) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) |
| Temperaturgefälle | | X | X | X | X | X | X | X |
| Temperaturänderung | | X | X | X | X | X | X | X |
| Sedimentbelastung (wasserseits) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) |
| Erddruck (luftseits) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) | (X) |
| Erdbeben | | | | | | | X | X |
| Eisdruck | | | | X | | | | |
| Lawine / Murgang | | | | | X | | | |
| Bemerkungen | 1) Je nach dem ist auch ein Zwischenniveau zu berücksichtigen. 2) Optional (X) Zu beachten, falls vorhanden Je nach Situation sind die Auftriebe auch zu berücksichtigen. | | | | | | | |

Tabelle 4 : Lastkombinationen für Bogenmauern



| EINWIRKUNGEN | SCHÜTTDAMM | | | | | | | | |
|--|---|----------|------------|-------------------------|--------|------------|---------------------------------|-------------------|---|
| | Bau-Ende | | Betrieb | | | | | | |
| | Becken leer | | Typ 1 | Typ 2 | | | Typ 3 | | |
| | | | Normalfall | ausserordentlicher Fall | | | extremer Fall | | |
| ohne Erdbeben | mit Erdbeben | See voll | Hochwasser | rasche Absenkung | Lawine | Hochwasser | Erdbeben See leer ²⁾ | Erdbeben See voll | |
| Eigengewicht | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Wasserdruck Seeniveau bei Stauziel ¹⁾ | | | X | | | X | | | X |
| Wasserdruck, Seeniveau beim Bemessungshochwasser | | | | X | | | | | |
| Wasserdruck, Seeniveau beim Sicherheitshochwasser | | | | | | | X | | |
| Porenwasserdrücke vor der Konsolidation | X | X | | | | | | | |
| Porenwasserdrücke Seeniveau bei Stauziel ¹⁾ | | | X | | X | (X) | X | (X) | X |
| Erdbebeninduzierte Porenwasserdrücke | | | | | | | | (X) | X |
| Rasche Absenkung mit entsprechenden Porenwasserdrücken | | | | | X | | | | |
| Porenwasserdrücke Seeniveau beim Bemessungshochwasser | | | | X | | | | | |
| Porenwasserdrücke Seeniveau beim Sicherheitshochwasser | | | | | | | X | | |
| Erdbeben | | X | | | | | | X | X |
| Lawine / Murgang | | | | | | X | | | |
| Bemerkungen | 1) Je nach dem ist ein Zwischenniveau des Seestands zu berücksichtigen; für die Porenwasserdrücke muss diesem Zustand Rechnung getragen werden. 2) Optional (X) Zu beachten, falls vorhanden Die Lastfälle hängen auch vom Dammtyp ab. | | | | | | | | |

Tabelle 5: Lastkombinationen für Schüttdämme

B2 Mögliche Gefahren und Schadensbilder

Bei der Definition kritischer Zustände muss zwischen den Bauwerken aus Beton oder Mauerwerk (Staumauern, Wehre) und denjenigen aus Schüttmaterial (Dämme) unterschieden werden. Dabei sind die Zustände zu ermitteln, welche zu einer Verminderung der Sicherheit der Anlage oder sogar zu ihrem Bruch führen könnten.

Staumauern

- Verschiebung der Widerlager
- Gegenseitige Verschiebung der Blöcke
- Abgleiten
- Schaden am Mauerkörper
- Überströmen der Krone
- Durchsickerungen durch Bauwerk und Fundament (Risse)
- Innere Erosion im Untergrund
- Verstopfung von Ablassorganen
- blockierte Ablassorgane
- Kolkbildung am luftseitigen Fuss des Absperrbauwerks

Dämme

- Setzungen von Damm oder Fundament (Verminderung des Freibords)
- Interne Erosion (piping)
- Instabilität von Böschungen
- Schaden am Dammkörper (Risse)
- Überströmen der Krone
- Durchsickerungen durch Bauwerk und Fundament
- Verstopfung von Ablassorganen
- blockierte Ablassorgane
- Auswaschung des luftseitigen Dammfusses
- Erosion durch Baue von Tieren und infolge von Pflanzenwurzeln



C) Ursachen

C1 Hauptursachen¹²

Natürliche Ereignisse

- Hochwasser
- Erdbeben
- Lawinen
- Murgang
- Erdrutsch
- Steinschlag
- Sedimentablagerung

Ausgelöste Ereignisse (Folgen von menschlichen Einwirkungen)

- Untertagebauten
- Sabotage, Vandalismus
- Explosion
- Bombardierung
- Flugzeugabsturz, Satellitenabsturz

Andere Effekte

- Kolkbildung

C2 Aussergewöhnliche Ursachen

- Ausfall der Stromversorgung
- Ausfall der mechanischen Anlagen
- Ausfall der Telekommunikation

C3 Projektbedingte Ursachen

Mangelhaftes Projekt

- Unterdimensionierung
- Falsche Annahmen
- Ausführungsfehler
- Materialfehler

Sperrenzustand

- Schlechte Materialqualität
- Gravierende Rissbildung
- Alterung, Abnutzung (Stahlwasserbau)
- Alkali Aggregat Reaktion
- Auswaschung des Injektionsschirms

¹² Bei den angegebenen Ereignissen können einzelne zu tolerierbaren Schäden führen. Die Folgen können jedoch umso gravierender ausfallen, je mehr das Ereignis von der für die Dimensionierung getroffenen Hypothese abweicht.

D) Massnahmen

Die Massnahmen können unterschiedlicher Natur sein. Es ist jedoch zu unterscheiden zwischen den Massnahmen, die im Projektstadium (bzw. während der Bauausführung) und denjenigen, die während des Betriebs zur Verbesserung der konstruktiven Sicherheit ergriffen werden.

Es ist hier nicht der Platz zur Aufstellung eines Massnahmenkatalogs. Lediglich einige allgemeine Angaben können dazu gemacht werden. Bei den zu ergreifenden Massnahmen spielen verschiedene Gesichtspunkte eine Rolle: die Dimensionierung, die Ausführungskontrolle (z.B. Qualitätskontrolle der Baumaterialien und Einbaukontrollen von Schüttmaterialien), spezielle konstruktive Auslegungen (z.B. Planung eines Drainageschirms und/oder eines Abdichtungssystems, Wahl von speziellen Baumaterialien). Es ist dem Ingenieur aufgrund der besonderen Problemstellungen überlassen, die entsprechenden Massnahmen zu finden.

Zur Illustration des Gesagten werden nachstehend einige Hinweise gegeben:

D1 Dimensionierung der Bauwerke

- Festlegung der massgebenden Belastungen
- Stabilitätskriterien

Staumauern

In der Regel ist die Stabilität nachzuweisen bezüglich Gleiten, Kippen und gegebenenfalls Aufschwimmen.

- Die Gleitsicherheit bezogen auf eine kritische Gleitfläche wird durch das Verhältnis der Summe der Vertikalkräfte zu der Summe der Horizontalkräfte bestimmt. Als weiteres Beurteilungskriterium gelten auch die Lage der Resultierenden oder die Spannungen am wasserseitigen Rand des Bauwerks.
- Die Kippsicherheit ist nachgewiesen, wenn die Resultierende der zu berücksichtigenden Kräfte im Kern des Querschnitts liegt¹³.
- Die Sicherheit gegen Aufschwimmen wird definiert als Verhältnis der nach unten gerichteten zu den nach oben gerichteten Vertikalkräften. Diese Auftriebssicherheit spielt lediglich bei leichtgewichtigen Konstruktionen, wie Wehren eine Rolle.

Als Sicherheitsfaktoren können folgende Werte angenommen werden.

| LASTFALL | | |
|----------|------------------|--------|
| normal | ausserordentlich | extrem |
| 1.5 | 1.3 | 1.1 |

*Tabelle 6: Sicherheitsfaktoren für Staumauern
(ohne Berücksichtigung der Kohäsion)*

Bemerkung zur Gleitsicherheit:

In die Gleitsicherheitsberechnung wird der innere Reibungswinkel φ eingeführt sowie gegebenenfalls die Kohäsion c .

Die allgemein verwendete Formel für die Gleitsicherheit lautet:

$$FS = [(tg \varphi * \Sigma V) + (c * A)] / H$$

FS = Sicherheitsfaktor

ΣV = Summe der Vertikalkräfte

ΣH = Summe der Horizontalkräfte

A = Fundationsfläche

φ = innerer Reibungswinkel

c = Kohäsion

Die angegebenen Sicherheitsfaktoren in Tabelle 6 gelten für Berechnungsfälle ohne Berücksichtigung der Kohäsion.

¹³ Falls der Rotationspunkt klar definiert ist, kann die Kippsicherheit auch als Verhältnis der stabilisierenden zu den die Kippung provozierenden Momenten bestimmt werden.



Grundsätzlich kann die Kohäsion dort, wo sie vorhanden ist und der innere Reibungswinkel gleichzeitig tief angesetzt ist, berücksichtigt werden. Für die Festlegung der Kohäsion sollte auf Versuchsergebnisse, allenfalls auf publizierte Ergebnisse aus der Literatur zurückgegriffen werden. Die Sicherheitsfaktoren sind dann aber zu erhöhen, um den Unsicherheiten und dem Risiko, dass sich die Kohäsion infolge einer Bewegung vermindert oder verschwindet, Rechnung zu tragen. Als Werte sind dann für die 3 Lastfälle in der Tabelle 6 Sicherheitsfaktoren von 3, 4 und 5 zu wählen.

Es ist auch möglich, partielle Sicherheitsfaktoren F_1 und F_2 einzuführen. Die Formel für die Gleitsicherheit lautet dann:

$$H < [(tg \varphi * \Sigma V) / FS1] + [(c * A) / FS2]$$

Zu beachten ist auch, dass die Form der Gleitfläche den geologischen Gegebenheiten Rechnung trägt. φ und c hängen auch von der Beschaffenheit der Gleitfläche ab.

Staudämme

Die Böschungstabilität von Staudämmen kann mit den klassischen Berechnungsmethoden nach Bishop, Janbu, etc. untersucht werden. Entsprechend dem Lastfall können folgende Sicherheitsfaktoren angenommen werden:

| | | | LASTFALL | SICHERHEITSFAKTOR |
|----------|------------------|---------------|------------------|-------------------|
| Bau-Ende | Becken leer | ohne Erdbeben | | 1.3 |
| | | mit Erdbeben | | 1.1 |
| Betrieb | Becken voll | ohne Erdbeben | normal | 1.5 |
| | rasche Absenkung | ohne Erdbeben | ausserordentlich | 1.3 |
| | Becken voll | mit Erdbeben | extrem | 1.1 |
| | Becken leer | mit Erdbeben | extrem | 1.1 |

Tabelle 7: Sicherheitsfaktoren für Staudämme

- Materialeigenschaften (Festigkeit, zulässige Spannungen)
- Geologische Grundlagen
- Zulässige Deformationen
- Spezifische geometrische Festlegungen (Kronenbreite, Freibord, Überfallbreiten)
- Eigenschaften der Dammfundation (Festigkeit, Durchlässigkeit, Löslichkeit, etc.)

D2 Konstruktive Massnahmen bei der Projektierung

- Entlastungsorgane
- Behandlung der Fugen (Injektionen, Verzahnungen)
- Drainagesystem
- Abdichtung
- Untergrundbehandlung (Injektionen)
- Widerlagerverstärkung (Verankerungen)
- Messeinrichtung

- **Bepflanzung**

Es ist wichtig, dass die Böschungen und die Dammkrone frei von Vegetation wie Bäumen, Büschen und Sträuchern gehalten werden, damit

- die visuelle Kontrolle des Bauwerkszustands nicht behindert wird (Feststellung von Setzungen, Deformationen, Instabilitäten, Rissen und Wasserdurchsickerungen);
- vermieden wird, dass sich grabende Tiere ansiedeln, welche durch ihre Höhlen und Baue gefährliche Sickerwege erzeugen können;
- verhindert wird, dass das Wurzelwerk Drainagen verstopft oder Dichtungselemente beschädigt;
- durch umstürzende Bäume keine Löcher in den Dammkörper gerissen werden.

Kein Baum, Busch oder Strauch sollte auf der Wasserseite in dauerndem Kontakt mit dem Wasser geduldet werden.

Die wasser- und luftseitigen Böschungen, welche nicht dauernd in Wasserkontakt sind, können mit Humus abgedeckt werden. Eine lockere Bepflanzung kann zugelassen werden, sofern die Wurzeln das Drainagesystem und die Dichtung nicht beschädigen und die Böschungsstabilität nicht beeinträchtigen können (wobei dazu ein Überprofil vorgesehen werden kann).

D3 Massnahmen vor und während der Bauausführung

- Sondierkampagnen und Versuche
- Eignungsversuche der Baumaterialien
- Versuchsschüttungen
- Kontrolle des Betons und der Zuschlagstoffe [9]
- Kontrolle der Eigenschaften des Schüttmaterials
- Nachführung der Planunterlagen

D4 Konstruktive Massnahmen in der Betriebsphase

- Unterhalt
- Verstärkung mit Ankern
- Ausführung oder Verbesserung des Drainagesystems
- Konsolidation mit Injektionen (Beton, Foundation)
- Verstärkung des Injektionsschirms
- Kontrollen, Messungen
- Massnahmen gegen Sabotage

Gewisse vorzusehende Massnahmen gegen Sabotage können lediglich konstruktiver Art sein und keine Ein- oder Auswirkungen auf das Bauwerk haben (und sind eventuell nicht bei den rechnerischen Nachweisen für die Gesamtstruktur zu berücksichtigen).

Zwei Beispiele mögen dies für den Schutz von Ablassorganen zeigen: die Überwachung der Zugänglichkeit (speziell von der Luftseite her) sowie die Anordnung der Schützen. Für die Zugangsüberwachung können Fernsehkameras, Bewegungsmelder oder ähnliches eingesetzt werden, die jedoch den Zugang nicht verhindern können. Wirkungsvoller sind dabei Gittertüren an den Stollenausgängen.

- Auflager für andere Bauten (Masten, ...)

Bei Schüttdämmen sind Vorkehrungen zu treffen, damit infolge der Erstellung von Auflagern für andere Bauten keine lokalen Instabilitäten erzeugt werden, und die Wirksamkeit von Dichtungen und Drainagen auf Dauer erhalten bleibt.



D5 Massnahmen in der Betriebsphase

- **Aufstellen von Warntafeln**
Zum Schutz von Personen vor Gefahren, die beim Ablassen von Wasser auftreten können, sind gegebenenfalls Warntafeln längs der Vorfluter aufzustellen, und nötigenfalls ist die normierte Signalisation für die Schifffahrt einzurichten.
- **Gefährdung durch Rutschung, Felssturz, Lawine, Gletscherabsturz**
Mögliche Massnahmen gegen die Gefährdung durch Massenstürze in den Stausee bestehen darin, diese Massen zu überwachen und bei Gefahr den Stau abzusenken, bzw. eine vorsorgliche Absenkung vorzunehmen (insbesondere im Winter, wenn ein Lawinenrisiko vorhanden ist).
- **Verlandung**
Die Einläufe von Grundablässen und anderen Wasserentnahmeeinrichtungen sind verlandungsfrei zu halten, damit ein sicherer Abfluss gewährleistet ist. Drohen Sedimente den Einlauf zu verstopfen oder sich vor den Schützen abzulagern, sind unverzüglich Massnahmen zur Entfernung dieser Ablagerungen zu ergreifen.
- **Ausserordentliches Ereignis**
Massnahmen bei der Feststellung eines ausserordentlichen Ereignisses sind die Verstärkung der Überwachung sowie die Vornahme von baulichen Massnahmen, sofern das Ereignis mit Sicherheit beherrschbar ist. Können der Betrieb und die Sicherheit der Stauanlage nicht mehr gewährleistet werden, ist eine teilweise oder totale vorsorgliche Absenkung vorzunehmen und allenfalls der Wasseralarm in Betrieb zu setzen.
- **Kriegerische Ereignisse**
Im Falle von kriegerischen Ereignissen kann eine vorsorgliche Absenkung von Stauseen durch das Armeekommando angeordnet werden. Bei einem Talsperrenbruch wird der Wasseralarm ausgelöst.

E) Restrisiko

Aufgrund ihrer äusserst geringen Eintretenswahrscheinlichkeit werden folgende Fälle nicht berücksichtigt:

- Flugzeugabsturz
- Satellitenabsturz

Darüber hinaus können toleriert werden:

- Unkritische Schäden beim Extremhochwasser oder Extremerebeben
- Annahme, dass Extremhochwasser und Extremerebeben nicht gleichzeitig vorkommen

LITERATUR

- [1] *Einwirkungen auf Tragwerke*; SIA-Norm 160 (1989)
- [2] *Sicherheit von Bauten und Anlagen*; SIA-Richtlinie 465 (1998)
- [3] *Erhaltung von Bauwerken*; SIA-Norm 469 (1997)
- [4] *Stauanlagenverordnung (StAV)*; Verordnung vom 7. Dezember 1998 über die Sicherheit der Stauanlagen, SR 721.102
- [5] *Dam failures, Statistical analysis / Rupture de barrages, analyse statistique*; Bulletin ICOLD Nr. 99 (1995)
- [6] *Konstruktive Sicherheit der Talsperren, Nutzungsplan und Sicherheitsplan*; Schweiz. Talsperrenkomitee, Arbeitsgruppe Talsperrenbeobachtung (2000)
- [7] *Wasseralarm 2000*; Dokumentation, DIK VBS, Abteilung Telekommunikation, 8600 Dübendorf
- [8] *Auftrieb bei Betontalsperren*; Schweiz. Talsperrenkomitee (STK), Arbeitsgruppe Auftrieb; (April 1992)
- [9] *Le béton des barrages suisses : expérience et synthèse / Concrete of Swiss Dams: Experience and Synthesis*; Schweiz. Talsperrenkomitee, Arbeitsgruppe Staumauerbeton. "wasser, energie, luft – eau, énergie, air", 92. Jahrgang, Heft 7/8, (2000)

Dokumente zu speziellen Themen

Schifffahrt

- Bundesgesetz vom 3. Oktober 1975 betreffend die Binnenschifffahrt (SR 741.201) sowie die Verordnung vom 8. November 1978 über die Schifffahrt auf schweizerischen Gewässern (SR 747.202.1)
- Rheinschifffahrtspolizeiverordnung vom 1. Dezember 1999
- Code européen des voies de navigation intérieure (CEVNI), recommandations des Nations Unies, Revision 2 (2002)

Fischtrepfen

- *Passe à poissons: expertise, conception des ouvrages de franchissement*; Larinier, M., Porcher, J.P., Travade, F., Gosset, C., Conseil Supérieur de la Pêche, éditeur; collection Mise au Point (1994)
- *Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles*; INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), Editeurs: Gerdeaux, D. et R. Billard, R. (1985)
- *Fischaufstiegsanlagen*; SIA-Norm 232 (1996)
- *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle*; Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK) Heft 232/1996 (1996)

Nutzungsdauern

- *Kalkulatorische Abschreibungen zur Ermittlung der Selbstkosten bei Elektrizitätswerken*; Domman, F., Bitterli, F., Bollhalder, O., Bucher, E.; (1975)
- *Evaluation technico-économique d'un aménagement hydro-électrique lors de l'exercice du droit de retour avec ou sans anticipation*; Cleusix, C., Favre, G., Zurbriggen, R., Jaccard, A., Etat du Valais, (1988)



Lawinen

- *Schnee, Lawinen und Lawinenschutz*; Salm, B., Zarn, B., Bigger, V., Vorlesung, ETH Zürich (1987)
- *Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren*; Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen (1999)

Murgänge

- *Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren*; Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen (1999)
- *Beitrag zur Untersuchung der Entstehungsmechanismen von Murgängen*; Tognasca, C., Mitteilungen VAW 164 (1999)

Eisdruck

- *Thrust exerted by expanding ice sheet*; Roes, E., American Society of Civil Engineers (ASCE). May 1946 (pp. 571 – 585) and December, 1946 (pp. 1301 –1400), (1964)
- *Barrages et ouvrages annexes dans les climats froids / Dams and related structures in cold climate*; ICOLD Bulletin Nr. 105 (1996),
- *Stahlwasserbau (Theorie – Konstruktive Lösungen – Spezielle Probleme)*; Wickert, G., Schmausser, G., S. 445 ff (1971)