



Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen

Teil C1 : Planung und Bau

Hinweis: Dieses Dokument ist ein Vorabdruck des Teils C1 der Richtlinie über die Sicherheit der Stauanlagen, Revision 2014 – 2016.

Die letzte Fassung ersetzt die früheren Fassungen

Version	Abänderung	Datum
2.0	Totalrevision der BWG Richtlinie 2002	15.1.2017
2.1	Korrektur der Formel in Abschnitt 4.6.6.3	28.8.2017



Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Energie, Sektion Aufsicht Talsperren, 3003 Bern

Erarbeitung

Arbeitsgruppe Revision Richtlinie Teil C1:

M. Conrad	AF Consult, Schweizerisches Talsperrenkomitee STK
G. R. Darbre	Bundesamt für Energie BFE
A. Fankhauser	Kraftwerke Oberhasli AG, KWO
J. M. Fasel	Norbert S.A.
R. M. Gunn	Bundesamt für Energie BFE
M. Hoonakker	Bureau d'Etude Technique et de Contrôle des Grands Barrages, BETCGB, France
R. Panduri	Bundesamt für Energie BFE
F. Vuilleumier	BG Ingénieurs Conseils S.A.

Abnahme

Kerngruppe Revision Richtlinie:

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

Durch die Geschäftsleitung des BFE am 13. Dezember 2016 verabschiedet.

Datum

Ersterscheinung (Version 2.0) : 15. Januar 2017



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
2. Vorgehensweise	5
2.1. Plangenehmigung (Art. 6 StAG).....	5
2.2. Einfluss von Untertagebauten	6
2.3. Sicherheitsüberprüfung einer bestehenden Stauanlage	6
3. Nutzungsvereinbarung, Projektbasis und Plangenehmigungsgesuch	7
3.1. Nutzungsvereinbarung	7
3.2. Projektbasis	7
3.3. Unterlagen für die Plangenehmigung eines Bau- oder Umbauprojektes	8
3.4. Aufgaben der Aufsichtsbehörde im Rahmen der Genehmigung eines Bau- oder Umbauprojektes.....	10
3.5. Abnahme der Bauarbeiten durch die Aufsichtsbehörde (Art. 9 Abs. 3 StAV).....	11
4. Konstruktive Sicherheit	11
4.1. Gegenstand der konstruktiven Sicherheit.....	11
4.2. Nachweis der strukturellen Integrität	12
4.3. Lastfälle	12
4.4. Beschreibung der Einzeleinwirkungen	15
4.4.1. Eigengewicht	15
4.4.2. Wasserdruck.....	15
4.4.3. Auftrieb	16
4.4.4. Porenwasserspannungen	16
4.4.5. Variationen der Betontemperatur	16
4.4.6. Erddruck und talseitige Auffüllungen	17
4.4.7. Sedimentbelastung	17
4.4.8. Erdbeben	17
4.4.9. Eisdruck.....	17
4.4.10. Lawinen	18
4.4.11. Murgänge.....	18
4.5. Weitere Einzeleinwirkungen	19
4.5.1. Anker	19
4.5.2. Verkehrslasten.....	19
4.5.3. Schiffsanprall	19
4.5.4. Quellen des Betons mit chemischer Ursache.....	19
4.5.5. Kriechen, Schwinden, Relaxation und Setzungen	20
4.5.6. Flugzeugabsturz auf eine Sperre	20
4.5.7. Aufbauten	20
4.6. Kriterien der strukturellen Integrität	20
4.6.1. Grundprinzipien.....	20
4.6.2. Stauanlagenklassen.....	21
4.6.3. Bestimmung der Materialeigenschaften	22
4.6.4. Elemente der Modellierung	23
4.6.5. Partielle Widerstandsfaktoren	25
4.6.6. Gesamtstabilität	26
4.6.7. Innere Tragfähigkeit des Absperrbauwerkes	28
4.6.8. Fundationsbereich	29
4.6.9. Stabilität der Hänge im Stauraumbereich	29
5. Spezielle konstruktive Belange	30
5.1. Vegetation auf Schüttdämmen	30
5.2. Bauten auf Schüttdämmen.....	30
6. Schutz vor Sabotageakten (Art. 6 Abs. 7 StAG).....	31
7. Rückbau einer Stauanlage.....	31



8. Literaturverzeichnis.....	32
------------------------------	----

Liste der Beilagen

Beilage 1 Vorgehen zur Verhinderung einer nachteiligen Auswirkung auf die Sicherheit einer Stauanlage durch einen Untertagebau in der Nähe	33
Beilage 2 Typische zu erfüllende Anforderungen ("Auflagen") vor, während und am Ende der Bauarbeiten	34
Beilage 3 Übliche Formen der Druckverteilung des Auftriebs.....	35
Beilage 4 Definition der drei Klassen von Stauanlagen	36



1. Einleitung

Der vorliegende Teil C1 der Richtlinie behandelt alle Belange der konstruktiven Sicherheit der Stauanlagen (Artikel 5 und 6 StAG sowie Kapitel 2 Abschnitt 1 StAV) mit Ausnahme der speziellen Lastfälle betreffend Hochwasser und Entlastungsorgane (vgl. Teil C2 der Richtlinie) sowie Erdbebensicherheit (vgl. Teil C3 der Richtlinie). Teil C1 gilt für alle Stauanlagentypen unabhängig von ihren Abmessungen, ihrem Zweck und ihrem Betreiber im Rahmen

- der Ausarbeitung eines neuen Projektes und des Baus einer neuen Stauanlage;
- des Umbaus einer bestehenden Stauanlage;
- der Sicherheitsüberprüfung einer bestehenden Stauanlage.

Die Umsetzung der in diesem Teil der Richtlinie gegebenen Hinweise muss innerhalb der gesetzlichen Vorgaben des StAG und der StAV den Besonderheiten der betrachteten Stauanlage Rechnung tragen.

2. Vorgehensweise

2.1. Plangenehmigung (Art. 6 StAG)

Der Bau einer neuen Stauanlage, der Umbau einer bestehenden und die Ausführung von Revisionsarbeiten¹ benötigen eine vorgängige Genehmigung durch die Aufsichtsbehörde für die sicherheitsrelevanten Aspekte. Die vom Gesuchsteller einzureichenden sicherheitsrelevanten Unterlagen werden im Kapitel 3.3 erläutert.

Wenn eine Genehmigung nach einem anderen Gesetz als dem StAG erforderlich ist (zum Beispiel kantonales Baubewilligungsverfahren), ist im Sinne einer Verfahrenskoordination die eigentliche Genehmigung („Plangenehmigung“) durch die zuständige kantonale oder eidgenössische Behörde zu erteilen. Der Gesuchsteller fügt alle zur technischen Sicherheitsbeurteilung notwendigen Unterlagen seinem Gesuch an die Genehmigungsbehörde² bei. Es liegt in der Verantwortung der Genehmigungsbehörde, von der Aufsichtsbehörde eine Stellungnahme zu den sicherheitsrelevanten Aspekten zu verlangen und in ihrer globalen Verfügung („Plangenehmigung“) die von der Aufsichtsbehörde gezogenen Schlussfolgerungen und die sich daraus ergebenden Auflagen einzubauen.

Falls keine weitere Genehmigung aufgrund einer anderen Gesetzgebung ausser dem StAG erforderlich ist, übermittelt der Gesuchsteller seinen Antrag direkt der Aufsichtsbehörde, welche, nach Prüfung der Unterlagen, die Plangenehmigung direkt erteilt, sofern die technischen Sicherheitsanforderungen erfüllt sind.

¹ Kapitel 6.1 des Teils D der Richtlinie spezifiziert die betroffenen Revisionsarbeiten.

² Es wird unterschieden zwischen der „Aufsichtsbehörde“, welche einzig für die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen gemäss StAG und StAV zuständig ist, und der „Genehmigungsbehörde“, die eine Baubewilligung erteilt („Plangenehmigung“), welche alle dabei zu berücksichtigenden Bereiche behandelt (zum Beispiel auch Umweltbelange); das Ergebnis der sicherheitstechnischen Prüfung durch die Aufsichtsbehörde gehört dazu.



Es empfiehlt sich für den Gesuchsteller, bereits in einem frühzeitigen Projektstadium mit der Aufsichtsbehörde Kontakt aufzunehmen, um mit ihr die Grundanforderungen für das Projekt festzulegen, sowie eine Planung mit direkter Einreichung der technischen Unterlagen zur Prüfung durchzuführen, was eine rasche Bearbeitung des Gesuches ermöglicht, sobald ein formelles Genehmigungsgesuch eingereicht worden ist.

2.2. Einfluss von Untertagebauten

Ein Untertagebau (insbesondere ein Tunnel) im Untergrund einer bestehenden Stauanlage kann durch den Drainageeffekt Verformungen der Widerlager erzeugen, welche ihrerseits innere Spannungen in der Sperre bewirken. Dadurch kann die Sicherheit der Stauanlage gefährdet werden, je nach vorherrschender Situation (Art der Untertagebaute, hydrogeologische Bedingungen, Sperrtyp).

Bevor eine Behörde über eine solche Untertagebaute entscheidet, muss sie die Aufsichtsbehörde konsultieren (Art. 9 StAG). Diese muss von Fall zu Fall darüber entscheiden, ob die Beeinflussung der Sicherheit der betroffenen Stauanlage durch die vorgesehene Untertagebaute zu untersuchen ist, sowie ob es nötig ist, Massnahmen zur Verhinderung eines unkontrollierten Wasserabflusses aus der Stauanlage zu ergreifen. Das Vorgehen gemäss **Beilage 1** dient als Leitlinie dafür.

2.3. Sicherheitsüberprüfung einer bestehenden Stauanlage

Die Betreiberin hat eine technische Sicherheitsüberprüfung durchzuführen von Teilen oder der gesamten Stauanlage (Sperre und ihre Foundation, Stauraum, sicherheitsrelevante Nebenanlagen), insbesondere:

- um Änderungen des Stands von Wissenschaft und Technik in diesem Bereich Rechnung zu tragen;
- um Änderungen bei den Annahmen einer früheren Sicherheitsüberprüfung Rechnung zu tragen, ebenfalls bei Nutzungsänderungen der Stauhaltung;
- auf Anordnung der Aufsichtsbehörde³.

Die erfahrene Fachperson und die Experten machen in ihren Sicherheitsberichten einen Hinweis, wenn sie der Ansicht sind, dass eine der oben erwähnten Bedingungen erfüllt und eine entsprechende Sicherheitsüberprüfung notwendig ist.

Die nach dem *Basisdokument Konstruktive Sicherheit 2002* und dem entsprechenden Teil der *Richtlinien 2002* erfolgreich durchgeführten Sicherheitsüberprüfungen bleiben gültig; sie müssen aufgrund der Herausgabe der vorliegenden Revision nicht wiederholt werden.

³ Die Betreiberin, welche die Anordnungen oder Schlussfolgerungen der Aufsichtsbehörde bestreitet, kann einen begründeten Entscheid unter Angabe der Rechtsmittel verlangen.



3. Nutzungsvereinbarung, Projektbasis und Plangenehmigungsgesuch

3.1. Nutzungsvereinbarung

Die Nutzungsvereinbarung beschreibt die von der Bauherrschaft vorgegebenen Nutzungsziele, sowie die Bedingungen, Anforderungen und grundlegenden Vorschriften bezüglich der Projektierung, des Baus und der Nutzung der Stauanlage. Die für das Verständnis der Ziele und Betriebsbedingungen der Stauanlage notwendigen Elemente, sowie diejenigen, welche in die Sicherheitsüberprüfung eingehen, sind der Aufsichtsbehörde zur Kenntnis zu bringen. Die Nutzungsvereinbarung sowie ihre Aktualisierungen sind Teil der Aktensammlung, die von der Betreiberin spätestens bis zur Inbetriebnahme der Stauanlage zu erstellen ist (Art. 22, Abs. 2, Bst. b StAV). Für bestehende Stauanlagen können diese Elemente in andere technische Unterlagen eingefügt werden (zum Beispiel in die Stauanlagenmonographie).

Es handelt sich insbesondere um folgende Elemente:

- die Zweckbestimmung der Stauanlage (Hauptnutzung und Nebennutzung mit betrieblichen Zielen⁴);
- den Standort (auf Situationsplänen und mit Beschreibung: Sperre und Nebenanlagen, Stauraum, Einzugsgebiet);
- die Standortbedingungen (Gegebenheiten bezüglich Topographie, Geologie, Hydrologie, Naturgefahren);
- die Auslegungsgrundlagen (Typ und Abmessungen der Sperre);
- die besonderen gesetzlichen Anforderungen und technischen Grundlagendokumente (insbesondere die Anforderungen gemäss der Gesetzgebung über die Stauanlagen und der erteilten Konzession).

3.2. Projektbasis

Die Projektbasis legt die spezifischen technischen Daten für die Stauanlage fest. Sie ist die technische Beschreibung für die Umsetzung der Nutzungsvereinbarung mit speziellem Bezug auf die betreffende Stauanlage. Die Elemente, welche für die technische Sicherheit von Bedeutung sind, sind als integrierender Teil der Pläne, statischen und hydraulischen Berechnungen und weiteren Sicherheitskontrollen in das der Aufsichtsbehörde zuzustellende Plangenehmigungsdossiers aufzunehmen. Es wird empfohlen, dass der Gesuchsteller diese Elemente von der Aufsichtsbehörde bestätigen lässt, bevor die detaillierten Pläne und Sicherheitsuntersuchungen ausgearbeitet werden. Es handelt sich dabei insbesondere um:

- die hydrologischen Grundlagen und die Methodologie für den Nachweis der Hochwassersicherheit;
- die Erdbebengefährdung und die Methodologie für den Nachweis der Erdbebensicherheit;
- spezielle, auf den Standort und die Stauanlage bezogene Sicherheitsuntersuchungen.

⁴ Zum Beispiel Wiederkehrperiode von Naturgefahren, gegen die die Stauanlage zum Schutz der Bevölkerung ausgelegt ist, oder Nutzwassermenge und installierte Leistung eines Wasserkraftwerks.



3.3. Unterlagen für die Plangenehmigung eines Bau- oder Umbauprojektes

Die für die Plangenehmigung eines Bau- oder Umbauprojektes bei der Aufsichtsbehörde einzureichenden Unterlagen müssen alle technischen Angaben aufweisen, die belegen, dass die vorgesehene Anlage nach dem Stand von Wissenschaft und Technik so bemessen und gebaut wird, dass seine Sicherheit für alle vorhersehbaren Last- und Betriebsfälle gewährleistet ist. Alle nachträglichen, sicherheitsrelevanten Änderungen des genehmigten Projektes müssen von der Aufsichtsbehörde bzw. der Genehmigungsbehörde genehmigt werden.

Die vom Gesuchsteller im Allgemeinen vorzulegenden Angaben folgen aus den Elementen in Tabelle 3-1, mit Anpassung an die Besonderheiten und die Grösse des eingereichten Projektes:

1. Technischer Bericht (Elemente der Nutzungsvereinbarung und der Projektbasis)
1.1 Grundelemente
1.1.1 Beschreibung des Bau- oder Umbauprojektes (Absperrbauwerk, Stauraum, Nebenanlagen)
1.1.2 Ziel (Zweck und Art der Nutzung, vorgesehene Nutzungsdauer)
1.2 Lage und Rahmenbedingungen
1.2.1 Bauwerke und bestehende Infrastruktur
1.2.2 Topographie, geomorphologischer Rahmen
1.2.3 Untergrundverhältnisse (Foundation, Stauraum): Geologie, Tektonik, Geotechnik, Hydrogeologie
1.2.4 Allgemeine Seismizität des Standortes
1.2.5 Naturgefahren (insbesondere Rutschungen, Bergstürze, Murgänge, Lawinen, Eisabbrüche, Ausbruch von Gletscherseen, Sedimenteintrag, Risiko von Bodensenkung in Karstgebieten)
1.2.6 Hydrologie (Einzugsgebiete, Wasserfassungen, Niederschlagsintensitäten, Abflüsse)
1.2.7 Füllkurve des Stausees, Stauzielkote, Stauhöhe, Stauraumvolumen
1.2.8 Geschiebe, Konzept der Sedimentbewirtschaftung, sofern die Sicherheit der Stauanlage dadurch beeinträchtigt wird
1.2.9 Probeentnahmen (Materialentnahmen und Steinbrüche, Materialeigenschaften)
1.2.10 Weitere projektbezogenen Anforderungen und Einschränkungen (zum Beispiel nahegelegene Bauwerke, auch solche im Untergrund)
2. Strukturanalyse und Sicherheitsüberprüfung
2.1 Elemente des Tragsystems
2.1.1 Tragsystem (einschliesslich Aspekte der Foundation, der Nebenanlagen und der Ränder): Typ, Abmessungen, wichtige konstruktive Details
2.1.2 Konstruktive Gestaltung (Fugen, Kontakt Beton-Fels) *)
2.1.3 Materialeigenschaften der Sperre (Versuchsergebnisse, einschliesslich Eigenschaften, die in die Nachweise einfließen *)
2.1.4 Materialeigenschaften der Foundation, vorgesehene Injektionen, Drainagen
2.1.5 Bauweise
2.1.6 Sicherheitsrelevante Nebenanlagen



2.2 Nachweise der konstruktiven Sicherheit
2.2.1 Berechnungsgrundlagen; individuelle Einwirkungen, kombinierte Einwirkungen
2.2.2 Modellierung, Berechnungen
2.2.3 Statische Nachweise der Stauanlage (Gesamtstabilität und innere Tragfähigkeit, einschliesslich Fundation)
2.2.4 Uferstabilität, Impulswellen *)
2.2.5 Erdbebensicherheit (Sperrung, Stauraum, Nebenanlagen)
2.3 Nachweis der Hochwassersicherheit und der Sicherheit der Entlastungs- und Ablassorgane
2.3.1 Hydrograph der Zuflüsse und Abflüsse (Retention), Festlegung des Bemessungs- und des Sicherheits-hochwassers
2.3.2 Bemessung der Entlastungs- und Ablassorgane (Kapazität, Freibord, Hydraulik), Gefahrenkote
2.3.3 Festlegung des Hochwassers für Revisions- und Bauzustände
2.4 Notfallplanung
2.4.1 Flutwellenkarte im Falle des Bruchs der Sperrung
2.4.2 Elemente des Alarmierungssystems
2.5 Instrumentierung, Überwachungskonzept, Kontrollen
2.5.1 Instrumentierung und Überwachungskonzept während des Betriebs der Stauanlage *) und während den Bauarbeiten (Beschreibung, Schemas)
2.5.2 Programm für die Materialkontrollen während der Bauarbeiten
3. Zusätzliche Elemente für den besonderen Fall des Umbaus einer Stauanlage
3.1 Verbindung mit der bestehenden Baustruktur, konstruktive Massnahmen im Kontaktbereich „alt-neu“
3.2 Überwachung der bestehenden Stauanlage während der Bauarbeiten
3.3 Hochwassersicherheit während der Bauarbeiten
3.4 Betriebseinschränkungen während der Bauarbeiten
4 Pläne und Bauprogramm
4.1 Situation, Grundriss, Ansichten, Schnitte, konstruktive Details
4.2 Vorgesehenes Bauprogramm

*) Die Aufsichtsbehörde kann im Allgemeinen akzeptieren, dass ihr die Angaben aus diesen Elementen nach er-
teilter Genehmigung zugestellt werden, jedoch vor dem Beginn der Bauarbeiten.

*Tabelle 3-1: Für die technische Sicherheit relevante Elemente, die im Allgemeinen dem Plan-
genehmigungsgesuch beizulegen sind*



3.4. Aufgaben der Aufsichtsbehörde im Rahmen der Genehmigung eines Bau- oder Umbauprojektes

Die Aufsichtsbehörde prüft die ihr vorgelegten Unterlagen hinsichtlich der technischen Sicherheit (Vermeidung eines unkontrollierten Wasserabflusses sowie Management des Restrisikos) unter Ausschluss aller anderen Aspekte⁵. Sie prüft insbesondere dass:

- das eingereichte Dossier alle Unterlagen und Angaben enthält, die sie für die Prüfung der technischen Sicherheit benötigt. Sie kann sich dazu auf Kapitel 3.3 beziehen;
- die notwendigen konstruktiven Massnahmen zur Gewährleistung der technischen Sicherheit vorgesehen sind, insbesondere
 - o die Ausrüstung mit einem Grundablass oder einer Tiefschütze von genügender Abflusskapazität (vgl. Richtlinie Teil C2);
 - o die Schutzmassnahmen gegen Sabotageakte (vgl. Kapitel 6);
- die Dimensionierung, die Sicherheitsanalysen und die vorgesehene Bauweise dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen (sie kann sich dabei auf die verschiedenen Teile der vorliegenden Richtlinie beziehen). Zu diesem Zweck überprüft sie insbesondere
 - o die Zweckmässigkeit des gewählten Untersuchungsansatzes;
 - o die Richtigkeit der Grundannahmen;
 - o die Plausibilität der erhaltenen Resultate;
- die Anordnung der Instrumentierung (inklusive des geodätischen Netzes) geeignet ist;
- der Einbau eines Wasseralarmsystems geplant ist (sofern erforderlich);
- die Abgabe zusätzlicher, vor Baubeginn bzw. während der Bauarbeiten einzureichender Unterlagen eingeplant ist.

Die Aufsichtsbehörde muss das Projekt gemäss Kapitel 2.1 genehmigen, wenn die Unterlagen vollständig und die technischen Sicherheitsanforderungen erfüllt sind.

Falls hinsichtlich der technischen Sicherheit erforderlich, formuliert die Aufsichtsbehörde in ihrer Plangenehmigung die vom Gesuchsteller zu erfüllenden Bedingungen („Auflagen“). Sie betreffen typischerweise die in **Beilage 2** aufgeführten Elemente.

Ferner sei daran erinnert, dass (vgl. Teil D der Richtlinie):

- die Plangenehmigung keine Bewilligung zu Inbetriebnahme und Betrieb darstellt;
- die Betreiberin ein Inbetriebnahmeprogramm, ein Wehreglement und ein Notfallreglement vorlegen muss, welche von der Aufsichtsbehörde zu genehmigen sind. Diese Genehmigungen sind Grundvoraussetzung für die Erteilung der Inbetriebnahmebewilligung;
- ein von der Betreiberin erstelltes und von der Aufsichtsbehörde genehmigtes Überwachungsreglement Grundvoraussetzung für den Betrieb ist.

⁵ Fragen, insbesondere bezüglich der Wahl von Varianten des Bauprojektes (insofern diese Varianten den Sicherheitsanforderungen genügen), der Umwelt, der Rest- und Dotierwassermengen, des Betriebs des Kraftwerkes und der Arbeitssicherheit gehören nicht in den Zuständigkeitsbereich der Aufsichtsbehörde.



3.5. Abnahme der Bauarbeiten durch die Aufsichtsbehörde (Art. 9 Abs. 3 StAV)

Nach Abschluss der Bauarbeiten prüft die Aufsichtsbehörde, ob

- der Gesuchsteller ihr alle die technische Sicherheit betreffenden Unterlagen abgegeben hat, welche in der Plangenehmigung festgelegt worden sind bzw. die vor, während oder nach der Bauausführung verlangt wurden;
- alle angeordneten sicherheitsrelevanten Anforderungen („Auflagen“) erfüllt sind;
- die Bauarbeiten gemäss den genehmigten Plänen oder allenfalls den genehmigten Projektänderungen ausgeführt worden sind ⁶.

Die Aufsichtsbehörde hält den Befund ihrer Kontrolle in einem Abnahmeprotokoll fest. Dies ist eine Voraussetzung für die Erteilung der Inbetriebnahmebewilligung (vgl. Kapitel 2.2 des Teiles D der Richtlinie).

Falls die ausgeführten Bauarbeiten nicht den genehmigten Plänen (bzw. den genehmigten Projektänderungen) entsprechen, entscheidet die Aufsichtsbehörde über die Eröffnung eines nachträglichen Genehmigungsverfahrens zu den Unstimmigkeiten. In diesem Falle, wie auch bei fehlenden Unterlagen oder nichterfüllten Auflagen, kann die Aufsichtsbehörde die Erstellung des Abnahmeprotokolls aufschieben, bis die Lage bereinigt ist, oder sie kann im Protokoll Termine für die Abgabe der fehlenden Unterlagen setzen.

4. Konstruktive Sicherheit

4.1. Gegenstand der konstruktiven Sicherheit

Gegenstand der konstruktiven Sicherheit ist es sicherzustellen, dass die Stauanlage für alle voraussehbaren Last- und Betriebsfälle standsicher ist, mit dem Ziel, einen unkontrollierten und schadenverursachenden Ausfluss von grossen Wassermassen zu verhindern. Es liegt in der Verantwortung von Gesuchsteller und Betreiber, hierfür die konstruktiven Massnahmen zu ergreifen und die notwendigen Nachweise zu erstellen. Diese bestehen im Allgemeinen im Nachweis der folgenden Elemente:

- a) Ableitung der Hochwasser und ausreichende Abflusskapazität der Entlastungs- und Ablassorgane;
- b) Strukturelle Integrität der Sperre, der sicherheitsrelevanten Nebenanlagen und deren Foundationen, sowie des Stauraumes während des normalen Betriebs und nach einem ausserordentlichen oder extremen Ereignis (Erdbeben, etc.).

Der Nachweis der Hochwassersicherheit und die Anforderungen an die Abflusskapazität der Entlastungs- und Grundablassorgane sind Gegenstand des Teiles C2 der Richtlinie und werden in diesem Teil C1 der Richtlinie nicht behandelt

⁶ Die Aufsichtsbehörde beschränkt sich auf eine grobe Beurteilung ohne Detailkontrollen (zum Beispiel ohne genaue Nachmessungen)



4.2. Nachweis der strukturellen Integrität

Der Nachweis der strukturellen Integrität ist im Allgemeinen für die Grenzzustände der Tragfähigkeit vorzunehmen, in Übereinstimmung mit dem Stand von Wissenschaft und Technik⁷:

- Gesamtstabilität des ganzen oder von Teilen der Sperre oder von sicherheitsrelevanten Nebenanlagen (vgl. Kapitel 4.6.6);
- Tragwiderstand der ganzen oder von Teilen der Sperre oder von sicherheitsrelevanten Nebenanlagen (innere Tragfähigkeit; vgl. Kapitel 4.6.7);
- Tragwiderstand des Fundamentbereichs (innere Tragfähigkeit; vgl. Kapitel 4.6.8);
- Stabilität der Hänge im Bereich des Stauraumes (vgl. Kapitel 4.6.9).

Für bestehende Anlagen sind die Umstände, welche die Sicherheit der Stauanlage tangieren, bei diesen Nachweisen zu berücksichtigen (Setzungen, Risse, Kolmatierung von Drainagen, etc.), im Allgemeinen in Form von Anfangsbedingungen für den Nachweis der strukturellen Integrität der Anlage.

4.3. Lastfälle

Die nachstehend einzeln aufgeführten Lastfälle sind im Allgemeinen beim Nachweis der strukturellen Integrität einer Stauanlage zu berücksichtigen, sofern sie massgebend für die Anlage und den untersuchten Standort sind. Sie müssen so kombiniert werden, dass sich die ungünstigste Beanspruchung ergibt. Wenn weitere Einwirkungen die Stabilität einer Anlage in nicht zu vernachlässigender Weise beanspruchen können, oder andere Lastfälle zu ungünstigeren Ergebnissen im Nachweis der konstruktiven Sicherheit führen, sind diese nach den gleichen Grundsätzen zu berücksichtigen.

Die Lastfalltypen werden gemäss den nachstehenden Tabellen klassifiziert und definiert:

Normal (Typ 1)	Betrifft Einwirkungen, welche die Anlage regelmässig beanspruchen.
Ausserordentlich (Typ 2)	Betrifft die Einwirkungen, welche auftreten können, jedoch nicht unbedingt während der Lebensdauer der Anlage. In solchen Fällen können leichte Schäden toleriert werden. Die Entlastungsorgane (insbesondere die Hochwasserentlastung und Abflüsse) müssen operationell bleiben.
Extrem (Typ 3)	Betrifft die ungünstigsten Einwirkungen, für welche die konstruktive Sicherheit gewährleistet sein muss (wobei angenommen wird, dass weder 2 einzelne extreme Einwirkungen gleichzeitig noch eine einzelne extreme zusammen mit einer ausserordentlichen auftreten). In diesen Fällen können Schäden auftreten, die jedoch keinen unkontrollierten und schadenverursachenden Wasserabfluss aus dem Stausee verursachen dürfen (es sind hingegen im Allgemeinen vertiefte Kontrollen und konstruktive Eingriffe nötig, damit ein angemessenes Sicherheitsniveau wieder hergestellt wird).

Tabelle 4-1: Lastfalltypen

⁷ Für die Definition: vgl. Teil A der Richtlinie.



Einzeleinwirkungen	Lastfälle für Gewichtsmauern (Beton und Mauerwerk), Wehre und Bogenmauern, inklusive Widerlager und Foundation						
	Normale Lastfälle (Typ 1)		Ausserordentliche Lastfälle (Typ 2)			Extreme Lastfälle (Typ 3)	
	See leer	See voll	Bemessungshochwasser	Eis	Lawine oder Murgang	Statisch Sicherheits- hochwasser	Dynamisch Erdbebenein- wirkung
Eigengewicht ⁱⁱ⁾	X	X	X	X	X	X	X
Wasserdruck, See bei Stauziel ⁱ⁾		X		X	(X)		X
Wasserdruck entsprechend Hochwasserkote			X			X	
Wasserdruck luftseitig (eventuell) ^{v)}	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Sedimentbelastung wasserseitig (eventuell)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Erddruck luftseitig (eventuell)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Erdbebenbeanspruchung							X
Eisdruck				X			(X)
Druck aus Lawine oder Murgang					X		
Weitere Einwirkungen, die bei Gewichtsmauern (Beton und Mauerwerk) und Wehren zu berücksichtigen sind ⁱⁱⁱ⁾							
Auftrieb, See auf Stauzielniveau ⁱⁱⁱ⁾		X		X	(X)		X
Auftrieb, See auf Hochwasser-niveau ⁱⁱⁱ⁾			X			X	
Weitere Einwirkungen, die bei Bogenmauern zu berücksichtigen sind ^{iv)}							
Temperaturänderungen ^{iv)}	X	X	X	X	X	X	X
Bemerkungen	<p>i) Stauziel: maximaler Betriebswasserstand bei Stauanlagen mit aktiver Bewirtschaftung, bei den anderen Anlagen massgebende Kote für die Bestimmung der Stauhöhe gemäss Teil A der Richtlinie. Ein zwischenliegender See-stand ist ebenfalls zu berücksichtigen, sofern dieser zu höheren Beanspruchungen führt.</p> <p>ii) Eigengewicht: bei Bogenmauern sind die Bauetappen und der Fugenschluss in angemessener Weise zu berücksichtigen.</p> <p>iii) Die Auftriebsdrücke können beim Nachweis der Gesamtstabilität von Bogenmauern im Allgemeinen vernachlässigt werden. Wenn dies nicht der Fall ist, sind sie analog zu den Gewichtsmauern zu berücksichtigen.</p> <p>iv) Die Temperaturänderungen können allgemein beim Stabilitätsnachweis von Gewichtsmauern vernachlässigt werden wegen fehlender Überbestimmung des globalen statischen Systems; im gegenteiligen Fall ist wie für Bogenmauern zu verfahren. Die thermischen Effekte können ausserdem Spannungen zweiten Grades hervorrufen, insbesondere bei Stollenwänden sowie in der Nähe des Kontaktes Beton-Fels.</p> <p>v) Der luftseitige Wasserdruck ist in ungünstigster Weise mit dem wasserseitigen Wasserdruck zu kombinieren.</p> <p>X Einzeleinwirkung, die beim Lastfall zu berücksichtigen ist.</p> <p>(X) Gegebenenfalls zu berücksichtigen.</p>						
Hinweis	a) Die weiteren Einzeleinwirkungen (vgl. Kapitel 0) sind nach Bedarf in ungünstigster Weise zu berücksichtigen.						

Tabelle 4-2: Lastfälle für Betonsperren



Einzeleinwirkungen	Lastfälle für Dämme, inklusive Widerlager und Foundation							
	Normale Lastfälle (Typ 1)		Ausserordentliche Lastfälle (Typ 2)				Extreme Lastfälle (Typ 3)	
	See leer (drainierte Schüttung)	See voll	See leer Bauende	Bemesungshochwasser	Rasche Absenkung	Lawine oder Murgang	Statisch	Dynamisch
							Sicherheits-hochwasser	Erdbeben-einwirkung
Eigengewicht	X	X	X	X	X	X	X	X
Wasserdruck, See bei Stauziel ⁱ⁾		X				(X)		X
Porenwasserdrücke, See bei Stauziel ⁱ⁾		X			X ^{iv)}	(X)		X ⁱⁱⁱ⁾
Wasserdruck, entsprechend Hochwasserkote				X			X	
Porenwasserdrücke entsprechend Hochwasserkote ⁱⁱ⁾				X ⁱⁱ⁾			X ⁱⁱ⁾	
Porenwasserdrücke vor Konsolidation		(X)	X					
Erdbebeneinwirkung								X
Druck aus Lawine oder Murgang						X		
<u>Bemerkungen</u>	<p>i) Stauziel: maximaler Betriebswasserstand bei Stauanlagen mit aktiver Bewirtschaftung, bei den anderen Anlagen massgebende Kote für die Bestimmung der Stauhöhe gemäss Teil A der Richtlinie. Ein zwischenliegender See-stand ist ebenfalls zu berücksichtigen, sofern dieser zu höheren Beanspruchungen führt.</p> <p>ii) Porenwasserdrücke im Hochwasserfall: Eine Anpassung ist möglich entsprechend der Dauer des Hochwassers und der Wirksamkeit der Drainagen.</p> <p>iii) Porenwasserdrücke im Erdbebenfall: beziehungsweise nach den Angaben in Teil C3 der Richtlinie.</p> <p>iv) Porenwasserdrücke bei rascher Absenkung: Eine Abminderung der Porenwasserdrücke ist zulässig für Schüttungen aus gut drainierendem Material.</p> <p>X Einzeleinwirkung, die beim Lastfall zu berücksichtigen ist.</p> <p>(X) Gegebenenfalls zu berücksichtigen.</p>							
<u>Hinweise</u>	<p>a) Die Lastfälle hängen auch vom Dammtyp ab.</p> <p>b) Der Eisdruck spielt im Allgemeinen keine Rolle für den Stabilitätsnachweis bei Schüttdämmen.</p> <p>c) Die weiteren Einzeleinwirkungen (vgl. Kapitel 0) sind nach Bedarf in ungünstigster Weise zu berücksichtigen.</p>							

Tabelle 4-3: Lastfälle für Dämme (inklusive Widerlager und Foundation)



Ausserdem sind für die **Ufer und Hänge des Stauraumes** die nachstehenden Lastfälle zu berücksichtigen, sofern eine Instabilität nicht ausgeschlossen werden kann (im Allgemeinen durch einen Geologen zu identifizieren).

- Normale Lastfälle (Typ 1) : Eigengewicht **und** Wasserdruck (See voll), Auftriebsdruck (auf die Gleitflächen, Klüfte, Verwerfungen, etc. wirkend) sowie die entsprechenden Porenwasserdrücke für die unter Wasser liegenden Bereiche (Beibehaltung des Porenwasserdruckes bei Abwesenheit des äusseren Wasserdruckes im Falle von raschem Wasserstandswechsel).
- Ausserordentliche Lastfälle (Typ 2) : Eigengewicht **und** Wasserdruck (Seeniveau bei Bemessungshochwasser), Auftriebsdruck (auf die Gleitflächen, Klüfte, Verwerfungen, etc. wirkend) sowie die entsprechenden Porenwasserdrücke für die unter Wasser liegenden Bereiche (Beibehaltung des Porenwasserdruckes bei Abwesenheit des äusseren Wasserdruckes im Falle von raschem Wasserstandswechsel).
- Extreme Lastfälle (Typ 3) : Eigengewicht **und**
 - (a) Wasserdruck (See voll), Auftriebsdruck (auf die Gleitflächen, Klüfte, Verwerfungen, etc. wirkend) sowie die entsprechenden Porenwasserdrücke, **Erdbebenbeanspruchung, oder**
 - (b) Wasserdruck (Seeniveau bei **Sicherheits**hochwasser), Auftriebsdruck (auf die Gleitflächen, Klüfte, Verwerfungen, etc. wirkend) sowie die entsprechenden Porenwasserdrücke.

4.4. Beschreibung der Einzeleinwirkungen

4.4.1. Eigengewicht

Die Mittelwerte des mit Laborversuchen ermittelten Raumgewichtes sind für die Bestimmung des Eigengewichtes der Materialien zu berücksichtigen. Bei Fehlen von Laborversuchen können im Allgemeinen Standardwerte aus der Literatur angenommen werden.

4.4.2. Wasserdruck

Der Wasserdruck wird mit einem spezifischen Gewicht von 10 kN/m^3 berücksichtigt.



4.4.3. Auftrieb

Die Auftriebsdrücke gehen in den Stabilitätsnachweis von Gewichtsmauern sowie von Felskeilen ein.

Es wird empfohlen, den Auftrieb aufgrund einer Strömungsberechnung zu bestimmen, wobei die Gültigkeit der gewählten Hypothesen durch Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den gemessenen Auftriebswerten überprüft werden kann. Besondere Beachtung ist Situationen zu schenken, wo der Auftrieb durch Wasserzirkulation in den Talflanken beeinflusst werden kann.

Sind keine entsprechenden Auftriebsmessungen vorhanden, oder befindet man sich in der Projektierungsphase, können alternativ die nachstehenden Auftriebsverteilungen angenommen werden (siehe **Beilage 3**):

- Bei Abwesenheit von Injektionsschirm und Drainagen : Dreiecksverteilung (ohne Wasser auf der Luftseite) oder Trapezverteilung (mit Wasser auf der Luftseite), mit Auftriebsdrücken an der Wasser- und Luftseite entsprechend dem jeweiligen hydrostatischen Druck;
- Bei Vorhandensein eines wasserseitigen Injektionsschirmes ist eine Abminderung des Auftriebsdruckes im Bereich des Injektionsschirmes nur dann zulässig, wenn dessen Wirksamkeit nachgewiesen wird und wenn dies von der Aufsichtsbehörde vorgängig bestätigt worden ist. Im gegenteiligen Fall darf keine Abminderung berücksichtigt werden;
- Bei Vorhandensein eines Drainagesystems (Drainagegestollen, Drainagebohrungen): eine Abminderung des Auftriebsdrucks bis maximal 50% im Bereich der Drainage [Oberhuber 2014, US Army Corps of Engineers 2000] (für einwandfrei funktionierende Drainagen).

4.4.4. Porenwasserspannungen

Die Intensität und Verteilung der Porenwasserspannungen im Inneren von Schüttdämmen, eventuell auch von Sperren aus Mauerwerk oder aus stärker durchlässigem Beton (Betonierfugen etc.), sind anhand einer Berechnung der Strömungs- und Equipotentiallinien zu bestimmen, unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften der Schüttung (insbesondere der Porosität und der Durchlässigkeit unter Einbezug der Anisotropie). Die Berechnungsannahmen sind bei bestehenden Stauanlagen durch Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den gemessenen Werten zu überprüfen.

4.4.5. Variationen der Betontemperatur

Die Variationen der mittleren Betontemperatur und des Temperaturgradienten im Querschnitt von Bogenmauern sind für die Spannungsanalysen zu berücksichtigen. Zwei Zustände sind im Allgemeinen zu betrachten: ein Zustand « Sommer » und ein Zustand « Winter », jedes Mal als Differenz zum ursprünglichen Temperaturzustand der Sperre beim Fugenschluss⁸. Die mit diesen Zuständen verbundenen Temperaturen entsprechen im Allgemeinen den langfristigen Mehrjahresmitteln der betrachteten Saison. Entsprechend dem Verhalten der Sperre (zum Beispiel bei einer Freilegung des wasserseitigen Fusses der Sperre in einem sehr kalten Winter oder bei Druck auf die Widerlager in einem sehr heissen Sommer) sind Temperaturen, die von den Mehrjahresmitteln weiter entfernt sind, zu berücksichtigen.

⁸ Bei Unkenntnis dieser Angabe für bestehende Sperren kann die in der Sperre vorherrschende mittlere Langzeittemperatur verwendet werden.



4.4.6. Erddruck und talseitige Auffüllungen

Erddrücke, die bei der Analyse zu berücksichtigen sind (aktiv, passiv, Ruhedruck), müssen von Fall zu Fall ermittelt werden.

4.4.7. Sedimentbelastung

Den Auswirkungen einer Sedimentbelastung kann im Allgemeinen unter statischer Belastung durch eine Erhöhung des Raumgewichtes des Wassers um 4 kN/m^3 Rechnung getragen werden. Dieser Wert kann aufgrund des Sedimenttyps und der Einwirkungsgeschwindigkeit (dynamische Einwirkung) geändert werden. Die zusätzliche Sedimentbelastung kann im Allgemeinen vernachlässigt werden, wenn die Sedimentmächtigkeit gering ist gegenüber der für die Berechnung massgebenden Höhe der hydrostatischen Belastung.⁹

4.4.8. Erdbeben

Der Erdbebenfall ist gemäss den Angaben in Teil C3 der Richtlinie zu behandeln, ergänzend zu den Angaben im vorliegenden Teil C1.¹⁰

4.4.9. Eisdruck

Die Auswirkungen des Eisdruckes sind für Betonsperren zu berücksichtigen, sofern kein aktives System ein Haften des Eises an der Maueroberfläche verhindert (zum Beispiel durch Luftperlanlagen); starke Wasserspiegelschwankungen (zum Beispiel tägliche Füllzyklen) haben den gleichen Effekt. Der Eisdruck spielt im Allgemeinen für die obere Partie von kleineren Sperren eine erhebliche Rolle, ist jedoch vernachlässigbar bei den grossen Stauanlagen. Der Eisdruck kann für die Sperren mit vertikaler oder leicht geneigter Oberfläche wie folgt abgeschätzt werden [ETH 2003], [Oberhuber 2014]:

- 1) Abschätzung der Eisdicke nach

$$h = 0.035 \sqrt{|T_L| t_w} \quad [\text{m}], \text{ mindestens } 0,3 \text{ m bis zur Höhe von } 500 \text{ m.ü.M und } 0,8 \text{ m}$$

oberhalb von 2'300 m.ü.M. (lineare Extrapolation dazwischen).

$|T_L|$ ist der Absolutwert des Mittels der Negativtemperaturen während der betrachteten Kälteperiode (in °C) und t_w die dazugehörige Dauer (in Tagen). Temperaturen und Dauer der Kälteperiode stellen mittlere Mehrjahreswerte dar, ermittelt aufgrund einer Auswertung von Meteorodaten einer nahe gelegenen Messstation (auf ähnlicher Höhenlage).

- 2) Abschätzung des totalen Eisdruckes durch Multiplikation der Eisdicke mit einem Druck von 200 kN/m^2 .

⁹ Zum Beispiel erzeugt eine Sedimentmächtigkeit von 25% der Stauhöhe im 2-dimensionalen Fall eine Erhöhung der gesamten horizontalen statischen Belastung um 2,5%.

¹⁰ Ein vereinfachter Erdbebennachweis kann für die kleinen Stauanlagen der Klasse III erfolgen gemäss den Kapiteln 7.1 und 7.2 des Teiles C3 der Richtlinie. Der in diesen vereinfachten Erdbebennachweis einflussende statische Sicherheitsfaktor wird erhalten durch Analogie zur Formel in Kapitel 4.6.6.1, entsprechend $FS = \frac{\tan \varphi \sum N + cA}{\sum T}$ für den Normallastfall (See voll).



4.4.10. Lawinen

Es wird unterschieden zwischen dem direkten Aufprall einer Lawine auf eine zu diesem Zweck erstellte Sperre (Lawinenauffangdamm) und einer durch das Eindringen der Lawine in den Speicher erzeugten Impulswelle.

Lawinenstoss auf eine Sperre

Wenn Lawinen auf eine Sperre stossen können, entspricht der auf die Sperre ausgeübte und den Nachweisen zugrunde zu legende Druck einem Lawinenereignis mit Wiederkehrperiode von 300 Jahren. Der Druck q_f ist gemäss den Angaben in der spezialisierten Literatur festzulegen, zum Beispiel nach [Salm et al. 1987, Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen 1999, Schleiss und Pougatsch 2011] für eine Grundlawine

$$q_f = 0.5c_d\rho_f v_f^2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit v_f = Geschwindigkeit der Lawine [m/s], c_d = 2 bis 3 (Widerstandskoeffizient) und ρ_f = 0.3 [t/m³].

Ist zudem das Risiko eines Aufpralls von Einzelobjekten vorhanden (zum Beispiel von Bäumen), ist der entsprechende Druck zum Druck q_f zu addieren.

Impulswelle

Wenn Lawinen den Stauraum erreichen können, ist die entstehende Impulswelle infolge eines Lawinenereignisses mit Wiederkehrperiode von 300 Jahren und das entsprechende Überströmungsrisiko für die Sperre abzuschätzen. Wenn dabei die Gefahrenkote gemäss Teil C2 der Richtlinie überschritten werden kann, sind konstruktive oder betriebliche Massnahmen zu ergreifen (zum Beispiel durch Erstellen einer Brüstungsmauer oder durch temporäre oder dauerhafte Vergrösserung des Freibords).

Das Verfahren nach [Heller et al. 2009] erlaubt die Berechnung der Wellenhöhe bei der Sperre (inklusive Bestimmung des Auftreffgebietes, der Wassermenge und der Dauer des Überschwappens) sowie ebenfalls die für statische Berechnungen anzuwendende Krafteinwirkung.

4.4.11. Murgänge

Für Murgänge gelten die gleichen Betrachtungen wie für die Lawinen, vgl. [Salm et al. 1987, Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen 1999, Heller et al. 2009, Rickenmann 1995, 1999, 2008, 2016, Bergmeister et al. 2009, Schleiss und Pougatsch 2011]. Der Druck kann nach folgender Formel berechnet werden

$$q_f = 0.5c_d\rho_f v_f^2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

mit v_f = Geschwindigkeit des Murganges [m/s], c_d = 1.5 bis 2.0 (Widerstandskoeffizient) und ρ_f = 1.8 [t/m³].



4.5. Weitere Einzeleinwirkungen

4.5.1. Anker

Verankerungen (vorgespannte und passive) ermöglichen es, zusätzliche, stabilitätsverbessernde Verstärkungen einzubringen, wenn die Sicherheitsanforderungen ungenügend erfüllt sind. Ihre Einwirkung ist entsprechend der geltenden SIA-Norm 267 [SIA 2013a, 2013b] zu berücksichtigen.

Neu zu erstellende Verankerungen (grundsätzlich vorgespannte Anker) sind so zu planen und zu installieren, dass die Ankerkraft gemessen und ihr Zustand kontrolliert werden können.

Bei neuen Sperren darf der Sicherheitsfaktor ohne Verankerung (Sperre und Widerlager) für normale Lastfalltypen nicht kleiner als 1.0 sein.

Die Verwendung von Ankern für die Stabilisierung von Böschungen hat entsprechend der üblichen Praxis von Boden- und Felsmechanik zu erfolgen. Besondere Beachtung ist dabei dem Kriechen und der Relaxation zu widmen [SIA 2013a].

4.5.2. Verkehrslasten

Verkehrslasten sind für die Spannungsanalyse von Sperren im Allgemeinen nicht massgebend und können vernachlässigt werden. Andernfalls können die Verkehrslasten der SIA-Norm 261 [SIA 2014] entnommen und - je nach Fall – als normale oder ausserordentliche Einwirkung eingeführt werden (vgl. Kapitel 4.3).

4.5.3. Schiffsanprall

Unfallsituationen mit Schiffsanprall können eine Rolle bei Wehren mit Schiffsschleusen spielen. Ist dies der Fall, wird der Schiffsanprall als ausserordentliche Einwirkung berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.3).

4.5.4. Quellen des Betons mit chemischer Ursache

Bei nachgewiesenem Vorhandensein des infolge chemischer Ursachen erzeugten Quellens des Betons einer bestehenden Sperre (vor allem aufgrund einer Alkali-Aggregat-Reaktion) sind fallweise die damit verbundenen inneren Spannungen infolge der statischen Überbestimmung der Struktur (Bogenmauern) und die eventuelle Schädigung des Betons (fortgeschrittenes Stadium der Reaktion) sowie deren Einfluss auf die Sicherheit zu untersuchen.



4.5.5. Kriechen, Schwinden, Relaxation und Setzungen

Die verzögert auftretenden Wirkungen wie Kriechen, Schwinden und Relaxation des Betons entwickeln sich allmählich mit der Zeit, was zu einer Veränderung der Materialeigenschaften führt. Diese Effekte sind zu berücksichtigen, sofern sie den Spannungszustand der Sperre beeinflussen können, einerseits auf explizite Weise (Verhaltensgesetz) oder andererseits auf implizite Weise (gesamthaft Änderung des Elastizitätsmoduls von Beton, Fels, Schüttung, etc.).

Bei Schüttdämmen ist im Projekt eine Überhöhung längs der Krone zur Sicherstellung eines ausreichenden Freibords auch bei auftretenden Setzungen vorzusehen.

4.5.6. Flugzeugabsturz auf eine Sperre

Es wird kein Nachweis für diese Beanspruchung verlangt (bildet Teil des Restrisikos).

4.5.7. Aufbauten

Aufbauten, wie Antennenmasten, gehören im Allgemeinen nicht zu den sicherheitsrelevanten Nebenanlagen und fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser Richtlinie. Es ist jedoch darauf zu achten, dass sie im Bereich ihrer Fundamente keine lokalen Instabilitäten erzeugen.

4.6. Kriterien der strukturellen Integrität

4.6.1. Grundprinzipien

Die Kriterien für den Nachweis der Integrität der Struktur sind abhängig vom Grenzzustand, für welchen der Nachweis durchgeführt wird, sowie vom Lastfalltyp nach Kapitel 4.3. Im Rahmen der Nachweisführung sind Sensibilitätsanalysen insbesondere bezüglich der verwendeten geotechnischen Eigenschaftswerte und der Auftriebsannahmen vorzunehmen. Dies, um die massgebenden Parameter hervorzuheben und das tatsächliche Verhalten der betrachteten Sperre aufgrund des Kenntnisstands dieser Parameter besser zu erfassen.

Die Nachweise für die Beanspruchungen und Widerstände sind entsprechend dem Konzept der partiellen Sicherheitsfaktoren wie folgt zu führen:

- **Beanspruchungen:** Als beste Schätzung ("best estimate"), bzw. als Mittelwert, wenn die Ermittlung aufgrund einer statistischen Analyse erfolgte, oder als Medianwert, wenn die Ermittlung auf der Grundlage mehrerer möglicher Abschätzungsmodelle erfolgte. Es werden keine partiellen Lastfaktoren eingeführt.
- **Widerstände:** Abminderung des charakteristischen Widerstands mit partiellen Faktoren gemäss Kapitel 4.6.5.



4.6.2. Stauanlagenklassen

Für den Nachweis ihrer strukturellen Integrität unter statischer Belastung werden die Stauanlagen in drei Klassen mit verschiedenen Anforderungen hinsichtlich des Umfangs der Nachweise und der vorzunehmenden Untersuchungen eingeteilt. Es handelt sich um dieselbe Klassifizierung wie sie für den Erdbebennachweis verwendet wird, vgl. Teil C3 der Richtlinie.

Die Kriterien für die Einteilung in die Klassen sind wie folgt:

- die Stauanlagen der **Klasse I** sind diejenigen, welche die Kriterien gemäss Art. 18, Abs. 1, Bst. a oder Bst. b StAV erfüllen;
- die Stauanlagen der **Klasse II** sind diejenigen, welche eine Stauhöhe von 5 m oder mehr aufweisen, welche die Grössenkriterien von Art. 3, Abs. 2 StAG erfüllen und die nicht der Klasse I zugeordnet sind;
- die Stauanlagen der **Klasse III** sind diejenigen, welche die Grössenkriterien gemäss Art. 3, Abs. 2 StAG nicht erfüllen oder die eine Stauhöhe bis 5 m aufweisen.

Die Stauanlagenklassen sind grafisch dargestellt in **Beilage 4** in Funktion von Stauhöhe und Stauvolumen, entsprechend der in Teil A der Richtlinie gegebenen Definition.

Stauanlagen, die dem Schutz vor Naturgefahren dienen und die nur ausnahmsweise eingestaut werden, sind unabhängig von ihrer Stauhöhe und ihres Stauvolumens der Klasse III zugeordnet.

Die Seitendämme einer Flussstauhaltung werden der Klasse III zugeordnet, vorbehaltlich anderer, strengerer Anforderungen der Aufsichtsbehörde, des Konzessionsgebers oder von Drittbehörden.



4.6.3. Bestimmung der Materialeigenschaften

Die erforderlichen Materialparameter sind im Allgemeinen durch repräsentative Feld- und Laborversuche zu bestimmen. Eine 5%-Fraktile¹¹ ist für die Widerstandswerte zu berücksichtigen. Bei bestehenden Stauanlagen können die während des Baues ermittelten Versuchsergebnisse verwendet werden. In jedem Fall ist Vorsicht geboten bei der Wahl der Parameter angesichts der Unsicherheiten, die mit der Bestimmung der Materialeigenschaften verbunden sind.

Die Materialeigenschaften können ebenfalls aus Analysen der Messungen des Sperrenverhaltens ermittelt werden, wenn gezeigt werden kann, dass die Rückrechnung (Retro-Analyse) zur Bestimmung der erforderlichen Parameter geeignet ist.

Die einaxiale, statische Druckfestigkeit des Betons f_{cs} (ermittelt aus Zylinderproben, deren Dimensionen von der Korngrösse der Betonzuschlagstoffe abhängt) und die einaxiale Zugfestigkeit f_{ts} (ermittelt mit dem sog. Brasilianerversuch an Zylinderproben, deren Dimensionen ebenfalls von der Korngrösse der Betonzuschlagstoffe abhängt) sind für ein Alter des Betons zu bestimmen, das dem Zeitpunkt der tatsächlichen oder hypothetischen Einwirkung entspricht, für die der Nachweis erfolgt. Andernfalls ist ein konservativer Ansatz zu verwenden.

Für die Stauanlagen der **Klassen I und II** ist die Betonzugfestigkeit aus Zugversuchen zu bestimmen. Sind keine solchen Versuche vorhanden, ist eine Zugfestigkeit von Null in die Berechnungen und Nachweise einzuführen.

Für die Stauanlagen der **Klasse III** kann die statische Zugfestigkeit des Betons f_{ts} (in MPa) aufgrund der statischen Druckfestigkeit f_{cs} (in MPa) abgeschätzt werden, anhand der Beziehung in [Arioglu et al. 2006] :

$$f_{ts} = 3 / 8 \cdot f_{cs}^{2/3}, \text{ im Maximum 3 MPa}$$

Für bestehende Stauanlagen der **Klasse III**, können die Materialparameter der Literatur entnommen oder aus den Werten vergleichbarer Bauten abgeleitet werden. Wenn die Widerstandswerte auf diese Weise ermittelt wurden, sind sie mit einem Abminderungsfaktor von 1.2 zu behaften (inklusive Reibungswinkel). Die Kohäsion ihrerseits ist mit einem Faktor von 2.0 zu reduzieren. Zu dieser Reduktion kommen noch die partiellen Widerstandsfaktoren nach Kapitel 4.6.5 hinzu.

¹¹ Bei nichtlinearen Finite Element Analysen kann ein mittlerer Widerstandswert in die Modellierung (Verhaltensgesetz) eingeführt werden.



4.6.4. Elemente der Modellierung

Für die statischen Lastfälle gelten die Minimalanforderungen an die Modellierung gemäss Tabelle 4-4:

Thema	Stauanlagenklasse		
	I	II	III
Bestimmung der Porenwasserdrücke (Dämme)	2D Finite Elemente oder Finite Differenzen Modell	2D Finite Elemente oder Finite Differenzen Modell	2D Modell, empirisch
Bestimmung der inneren Temperaturen (Bogenmauern)	2D Finite Elemente oder Finite Differenzen Modell	2D Finite Elemente oder Finite Differenzen Modell	2D Modell, empirisch
Bestimmung der Gesamtstabilität, Sperren mit grundsätzlich zweidimensionalem Verhalten	2D Modell	2D Modell	2D Modell
Bestimmung der Gesamtstabilität, andere Sperren	3D Finite Elemente Modell	3D Finite Elemente Modell	2D Modell für jeden Block
Bestimmung der inneren Tragfähigkeit, Sperren mit grundsätzlich zweidimensionalem Verhalten	2D Finite Elemente Modell der Sperre und der Foundation	2D Finite Elemente Modell der Sperre, summarische Modellierung der Foundation	Modellierung als einfacher Balken (Gewichtsmauern) oder Analyse der Gleitstabilität (Schüttdämme); summarische Modellierung der Foundation
Bestimmung der inneren Tragfähigkeit, andere Sperren	3D Finite Elemente Modell der Sperre und der Foundation	3D Finite Elemente Modell der Sperre, summarische Modellierung der Foundation	Modellierung als Trägerrost ohne Torsion (Bogenmauern) oder Analyse der Gleitstabilität (Schüttdämme); summarische Modellierung der Foundation

Tabelle 4-4: Minimalanforderungen an die Modellierung



Wird der Untergrund mit einer 3-dimensionalen Finite Element Analyse modelliert, hat die Ausdehnung des Untergrundbereichs den folgenden minimalen Dimensionen in Abhängigkeit der Steifigkeiten des Sperrbetons und des Untergrundes zu genügen [Fok K-L, Chopra A. K. 1985]:

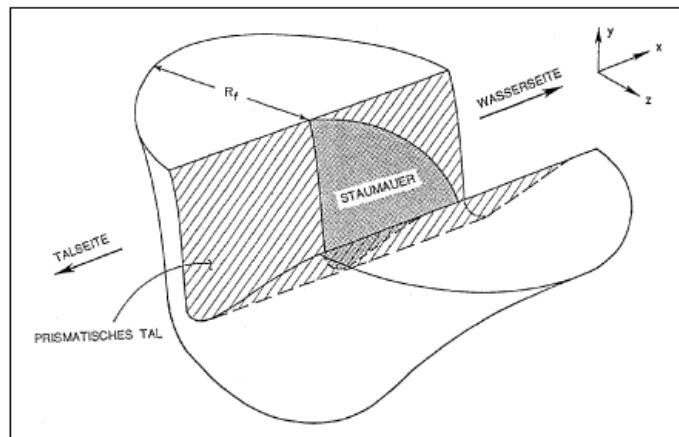
$$R_f > 1.0 \cdot H \text{ für } E_s / E_b = 1.0$$
$$R_f > 1.5 \cdot H \text{ für } E_s / E_b = 0.5$$
$$R_f > 2.0 \cdot H \text{ für } E_s / E_b = 0.25$$

E_b : Elastizitätsmodul
des Betons

E_s : Elastizitätsmodul
des Untergrundes

H : Höhe des
Absperrbauwerkes

R_f : räumliche Modellausdehnung
des Untergrundes



Figur 4-1: Abgrenzung des 3D Untergrundmodells [Fok und Chopra, 1985]



4.6.5. Partielle Widerstandsfaktoren

Die einschlägigen partiellen Faktoren sind den Tabellen 4-5 und 4-6 zu entnehmen. Diese sind wie in den folgenden Kapiteln angegeben einzuführen.

Lastfalltyp	Gesamtstabilität (Mauern und Dämme)		
	Gleiten		Aufschwimmen **)
	Kohäsion	Reibungswinkel	
	γ_{mc}	$\gamma_{m\phi}$	γ_{sf}
Normal	3,0	1,5	1,15
Ausserordentlich	2,0	1,3	1,05
Extrem statisch *)	1,1	1,1	1,00

*) Ein Lastfall vom Typ «extrem dynamisch» muss den Anforderungen bezüglich Verhinderung von unkontrolliertem Wasserabfluss gemäss Teil C3 der Richtlinie genügen.

**) Kurzfristig, nach einer Erdbebeneinwirkung bis zur Ausführung von allfällig notwendigen Massnahmen (siehe Teil C3, § 7.3 Absatz 2), muss der partielle Faktor für den Fall des Aufschwimmens grösser oder gleich 1.0 sein.

Tabelle 4-5: Partielle Widerstandsfaktoren für die Gesamtstabilität (§ 4.6.6.)

Lastfalltyp	Stabilität von Dämmen, Gleiten		Stabilität von Mauern, Spannungen	
	γ_{mc}	$\gamma_{m\phi}$	γ_{sc} *)	γ_{st} *)
Normal	3,0	1,5	3,0	2,0
Ausserordentlich	2,0	1,3	2,0	1,5
Extrem statisch **)	1,1	1,1	1,1	1,1

*) γ_{st} , Zugfestigkeit (Brasilianerversuch) und γ_{sc} , Druckfestigkeit von Zylinderproben, deren Dimension aufgrund der Korngrösse der Betonzuschlagstoffe festzulegen ist [Schleiss Anton J., Pougatsch Henri, 2011].

**) Ein Lastfall vom Typ «extrem dynamisch» muss den Anforderungen bezüglich Verhinderung von unkontrolliertem Wasserabfluss gemäss Teil C3 der Richtlinie genügen.

Hinweise:

- In der Regel darf keine Erhöhung der Druckfestigkeit für den Fall des zweiachsigen Spannungszustandes angenommen werden.
- In der Regel ist die Zugfestigkeit im Kontakt Beton-Fels Null und beträgt 55% der Betonzugfestigkeit in den Vertikal- und Horizontalfugen. Wenn die Betonierfugen nicht sorgfältig behandelt wurden, ist ihre Zugfestigkeit in den Berechnungen und Nachweisen mit etwa 40% der Betonzugfestigkeit einzusetzen [Oberhuber, P. 2014] und [ICOLD-EC, 2004a]

Tabelle 4-6: Partielle Widerstandsfaktoren für die innere Tragfähigkeit (§ 4.6.7)



4.6.6. Gesamtstabilität

4.6.6.1. Gleitsicherheit

Der Nachweis der Gleitsicherheit ist für die ungünstigste potentielle Gleitfläche zu führen unter Berücksichtigung der Geologie der Fundation und der Neigung der potentiellen Gleitflächen. Die Gleitsicherheit ist erfüllt, wenn:

$$\sum T \leq \left[(tg \varphi \sum N) / \gamma_{m\emptyset} \right] + \left[(cA) / \gamma_{mc} \right]$$

Mit :

$\sum N$	=	Summe der Normalkräfte in der Gleitfläche ¹²	A	=	Aufstandsfläche
$\sum T$	=	Summe der Scherkräfte in der Gleitfläche	φ	=	Interner Reibungswinkel (Restfestigkeit)
γ_{mc}	=	Partieller Widerstandsfaktor für die Kohäsion	c	=	Kohäsion (Restfestigkeit)
$\gamma_{m\emptyset}$	=	Partieller Widerstandsfaktor für den Reibungswinkel			

Die Kohäsion darf nur angesetzt werden, wenn sie tatsächlich mobilisierbar ist. Um die Unsicherheiten und das Risiko einer Abminderung oder eines Verlustes der Kohäsion infolge einer Verschiebung abzudecken, ist lediglich der Residualwert zu verwenden. Für die Werte von φ und c muss auch die Beschaffenheit der Gleitfläche berücksichtigt werden.

Falls Unsicherheit besteht über die mögliche Mobilisierung der Kohäsion oder über ihre Grösse, ist für die Nachweise ein Wert von Null einzusetzen.

Diese Erwägungen gelten ebenfalls für den Nachweis der Gleitsicherheit innerhalb des Körpers von Sperrern aus Mauerwerk und aus Beton, zum Beispiel längs von Betonierfugen.

¹² Inklusive Abzug infolge Auftriebsdrucks



4.6.6.2. Kippsicherheit

Es ist zu gewährleisten, dass längs des Kontaktes Beton-Fels beim Lastfall vom Typ „Normal“ keine durch ein Kippen verursachten Zugkräfte entstehen, und dass sie für die Lastfälle des Typs ausserordentlich und extrem gemäss folgenden Kriterien begrenzt bleiben:

Normale Lastfälle (Typ 1):	Die Resultierende der Kräfte liegt im zentralen Drittel des Querschnittes (einschliesslich Reduktion durch Auftrieb)
Ausserordentliche Lastfälle (Typ 2):	Die Resultierende der Kräfte liegt innerhalb der zentralen zwei Drittel des Querschnittes (je ein Drittel beiderseits des Zentrums) (einschliesslich Reduktion durch Auftrieb)
Lastfall des Typs extrem statisch (Typ 3):	Die Resultierende der Kräfte liegt innerhalb des Querschnittes (einschliesslich Reduktion durch Auftrieb)

In Fällen, in denen diese Kriterien nicht erfüllt sind, ist eine detaillierte Stabilitätsanalyse unter Berücksichtigung der Klaffung in der Kontaktzone durchzuführen. Es sind dabei auch konstruktive Massnahmen zu erwägen, zum Beispiel zur Verhinderung des Wassereintritts in die Kontaktzone beim Lastfalltyp „Normal“.

Die ungerissene Zone muss in der Lage sein, die Kräfte mit den partiellen Faktoren nach Tabelle 4-5 aufzunehmen.

4.6.6.3. Stabilität gegen Aufschwimmen

Die Stabilität gegen Aufschwimmen wird definiert als Verhältnis zwischen der Summe der nach unten gerichteten Vertikalkräfte V_b und der nach oben gerichteten Vertikalkräfte V_h und ist nachgewiesen falls

$$V_h \leq V_b / \gamma_{sf}$$

Die Stabilität gegen Aufschwimmen (zum Beispiel bei einer hydraulisch bedingten Hebung infolge Aufhebung der effektiven Spannungen) ist bei „leichten“ Absperrbauwerken, wie Wehren und Schüttdämmen zu überprüfen, falls luftseitig der Sperre geologische Schichten geringer oder verschwindend kleiner Durchlässigkeit vorhanden sind.



4.6.7. Innere Tragfähigkeit des Absperrbauwerkes

4.6.7.1. Dammschüttungen

Ziel des Nachweises bei Dämmen ist es sicherzustellen, dass die Stabilität der Sperre für alle betrachteten Lastfälle gewährleistet wird, und zwar mit einer Sicherheitsreserve gegen das Eintreten von eventuellen Schäden und unter Verwendung der partiellen Widerstandsfaktoren (Tabelle 4-6).

Ein Nachweis bezüglich des Risikos der inneren Erosion ist durchzuführen. Zu berücksichtigen sind dabei im Damm vorhandene verrottende Wurzeln, Nester oder Höhlen von Nagetieren, welche präferentielle Sickerwege erzeugen, sowie Dichtungssysteme oder Drainagen und Filterzonen etc. schädigen können. Das Gleiche gilt bezüglich Kolkbildung zum Beispiel bei Dämmen, deren talseitiger Fuss sich in unmittelbarer Nähe eines Wasserlaufs befindet, der sein Bett verlassen könnte, oder wenn überströmbare Dämme vorhanden sind.

4.6.7.2. Betonsperren

Ziel des Nachweises bei Betonsperren ist es sicherzustellen, dass keine Schädigung des Betons (Rissbildung) entsteht, die eine lokale oder globale Instabilität zur Folge haben kann, und zwar für alle betrachteten Lastfälle und mit einer Sicherheitsreserve unter Verwendung der partiellen Widerstandsfaktoren (Tabelle 4-6).

In Fällen in denen die Spannungen die Festigkeiten überschreiten, ist zu zeigen, dass eine Umverteilung der Spannungen möglich ist. Wenn dieser Nachweis aufgrund einer partiellen Stabilitätsberechnung erfolgt (zum Beispiel an einem Block), müssen die partiellen Widerstandsfaktoren den Anforderungen laut Tabelle 4-5 ("Gesamtstabilität") genügen.

Im Falle möglicher Rissbildungen ist sicherzustellen, dass weder Wassermassen unkontrolliert zum Abfluss kommen, noch Erosionen durch Abrasion an der Sperre erfolgen können.

4.6.7.3. Wehre

Wehre sind wie Betonsperren zu behandeln.



4.6.8. Fundationsbereich

Der Nachweis der Tragsicherheit des Fundamentbereichs beinhaltet:

- **Tragfähigkeit:** Nachweis des Spannungszustandes im Fundamentbereich entsprechend den üblichen Regeln der Geotechnik, insbesondere im Kontakt Beton-Fels und unter Berücksichtigung der partiellen Faktoren gemäss Tabelle 4-6;
- **Gleiten oder Bruch:** Entsprechend den üblichen Regeln der Geotechnik und Felsmechanik und unter Berücksichtigung der partiellen Faktoren gemäss Tabelle 4-5 (gültig für Gleitflächen und Felskeile);
- **Kolke:** Insbesondere talseitig von Wehren, verbunden mit der Betriebsweise der Anlage. Entsprechende Massnahmen (betrieblich und/oder konstruktiv) sind vorzusehen, wenn die Stabilität der Anlage gefährdet ist;
- **Erosion:** Vor allem bei vorhandenen Durchsickerungen, Schädigung des Injektionsschirmes, sowie Vorhandensein von Rissen.

4.6.9. Stabilität der Hänge im Stauraumbereich

Ziel des Nachweises bei Hängen im Stauraumbereich ist sicherzustellen, dass keine Rutschung, kein Absturz oder keine weitere Instabilität vorkommen kann, welche eine Impulswelle im See erzeugt, die die Sperre beschädigen oder überströmen könnte oder die durch direktes Auftreffen an der Sperre und ihren sicherheitsrelevanten Nebenanlagen (einschliesslich der Entlastungsorgane) einen Schaden verursachen könnte. Dabei gelten auch die partiellen Faktoren nach Tabelle 4-5. Spezielle Beachtung ist dem Lastfall „rasche Absenkung“ zu schenken.

Falls dieser Nachweis nicht erbracht werden kann, sind die Auswirkungen einer möglichen Instabilität und der dadurch erzeugten Impulswelle abzuschätzen. Darauf abgestützt sind nötigenfalls konstruktive Massnahmen (zum Beispiel Drainierung, Verankerungen oder Vernagelungen der instabilen Zone, etc.), Überwachungsmassnahmen (zum Erkennen einer unmittelbaren Gefahr) oder betriebliche Massnahmen (zusätzliches Freibord) vorzunehmen.



5. Spezielle konstruktive Belange

5.1. Vegetation auf Schüttdämmen

Böschungen und Kronen von **neuen** Schüttdämmen sind frei von jeglicher Vegetation wie Bäumen, Büschen und Sträuchern zu halten, zur Vermeidung von

- Beschädigungen der Dichtungselemente durch den Wuchs von Wurzeln;
- Verstopfungen des Drainagesystems;
- Behinderung der visuellen Kontrollen der Böschungen (Feststellung von Setzungen, Instabilitäten, Rissen und Wasseraustritten);
- Ansiedlung von Gängen und Höhlen grabenden Nagetieren, wodurch Dichtungselemente beschädigt und präferentielle Sickerwege erzeugt werden können;
- bedeutenden Schäden an der Dammoberfläche, die durch ausgerissenes Wurzelwerk (zum Beispiel bei Windwurf von Bäumen) verursacht werden.

Vegetation auf Dämmen ist nur für Pflanzen mit kurzen Wurzeln und in spärlicher Weise zulässig und sofern ein Überprofil vorhanden ist (keine Wurzeln innerhalb des statisch erforderlichen Profils).

Für **bestehende Dämme** und **Seitendämme** von Wehren gelten grundsätzlich dieselben Anforderungen wie für neue Dämme. Im Einvernehmen mit der Aufsichtsbehörde kann eine gewisse Flexibilität bei der Umsetzung dieser Anforderung akzeptiert werden, insbesondere ausserhalb des statisch erforderlichen Profils.

Gemäss der eidgenössischen Waldgesetzgebung (Waldgesetz vom 4. Oktober 1991, RS 921.0 und Waldverordnung vom 30. November 1992, RS 921.01) gelten Bäume und Sträucher auf Sperrern oder in ihrem Vorgelände (in der Regel einem Streifen von 10 m Breite) nicht als Wald und fallen nicht unter die Bestimmungen der Waldgesetzgebung.

5.2. Bauten auf Schüttdämmen

Die Böschungen und die Krone von Schüttdämmen, sowie deren Vorgelände (Streifen von ca. 10 Meter) müssen frei von jeglichen Bauten sein, damit die Ausführung der notwendigen visuellen Kontrollen und Messungen (insbesondere der geodätischen) nicht behindert wird.



6. Schutz vor Sabotageakten (Art. 6 Abs. 7 StAG)

Es handelt sich hierbei um die Vermeidung von Sabotageakten gegen Stauanlagen, auf deren Überflutungsfläche eine hohe Gefahr besteht (Art. 11 Abs. 2 StAG, Art. 26 Abs. 2 StAV). Dies betrifft alle Stauanlagen mit einem Wasseralarmsystem (vgl. Teil E der Richtlinie). Die Aufsichtsbehörde kann die Anordnung von Schutzmassnahmen wenn nötig auch auf andere Stauanlagen ausdehnen, sowie weitere Massnahmen verfügen, zum Beispiel aufgrund der im Rahmen der Ausarbeitung des Notfallreglementes durchgeführten Gefahrenanalyse. Sie kann ebenso auf die Anordnung der nachfolgenden Massnahmen verzichten, wenn diese nur geringfügig zur Vermeidung von Sabotageakten beitragen, oder wenn andere, gleichwertige Massnahmen ergriffen werden.

- Zugang zum Inneren der Sperre :
 - o Die Zugangstüren zum Inneren der Sperren haben den Anforderungen der Widerstandsklasse RC 4 nach EN 1627:2011 zu genügen ;
 - o Grundsätzlich dürfen nur die berechtigten Personen Zugang zum Inneren der Sperre haben. Die Messgeräte, die sich längs der Durchgangswege befinden, sind gegen ungewollte Manipulationen zu schützen.
- Zugang zu den Steuergeräten der Entlastungs- und Ablassorgane:
 - o Der Zugang zu den Steuerpulten für die Entlastungs- und Ablassorgane ist auf die berechtigten Personen zu beschränken. Zugänge zu Steuergeräten, die sich nicht innerhalb einer Sperre oder in einem Gebäude, das der Widerstandsklasse RC 4 nach EN 1627:2011 genügt, befinden, müssen ihrerseits diese Anforderung erfüllen.
- Zugang zu den Schützen:
 - o Falls es von der Talseite her leicht möglich ist, die Schützen der Ablassorgane zu erreichen, ist der Zugang zu überwachen (zum Beispiel mit Personendetektor und Überwachungskamera). Zur Vermeidung von Fehlalarmen können Schutznetze oder leichte Absperrgitter installiert werden, welche das Eindringen von Tieren in den Ablassstollen verhindern, ohne die Abflusskapazität einzuschränken.

7. Rückbau einer Stauanlage

Der Rückbau einer Stauanlage entspricht, verfahrenstechnisch gesehen, einer Änderung der Anlage. Wenn nach dem Rückbau die Unterstellungskriterien nach Art. 2 StAG nicht mehr erfüllt sind, kann die Betreiberin von der Aufsichtsbehörde die Feststellung dieses Sachverhaltes verlangen. Die Stauanlage fällt dann nicht mehr unter die Bestimmungen des StAG.

Eine Wiederherstellung der Stauanlage, nachdem sie rückgebaut wurde, entspricht dem Bau und der Inbetriebnahme einer neuen Stauanlage mit den damit verbundenen, vorgängig notwendigen Genehmigungen.

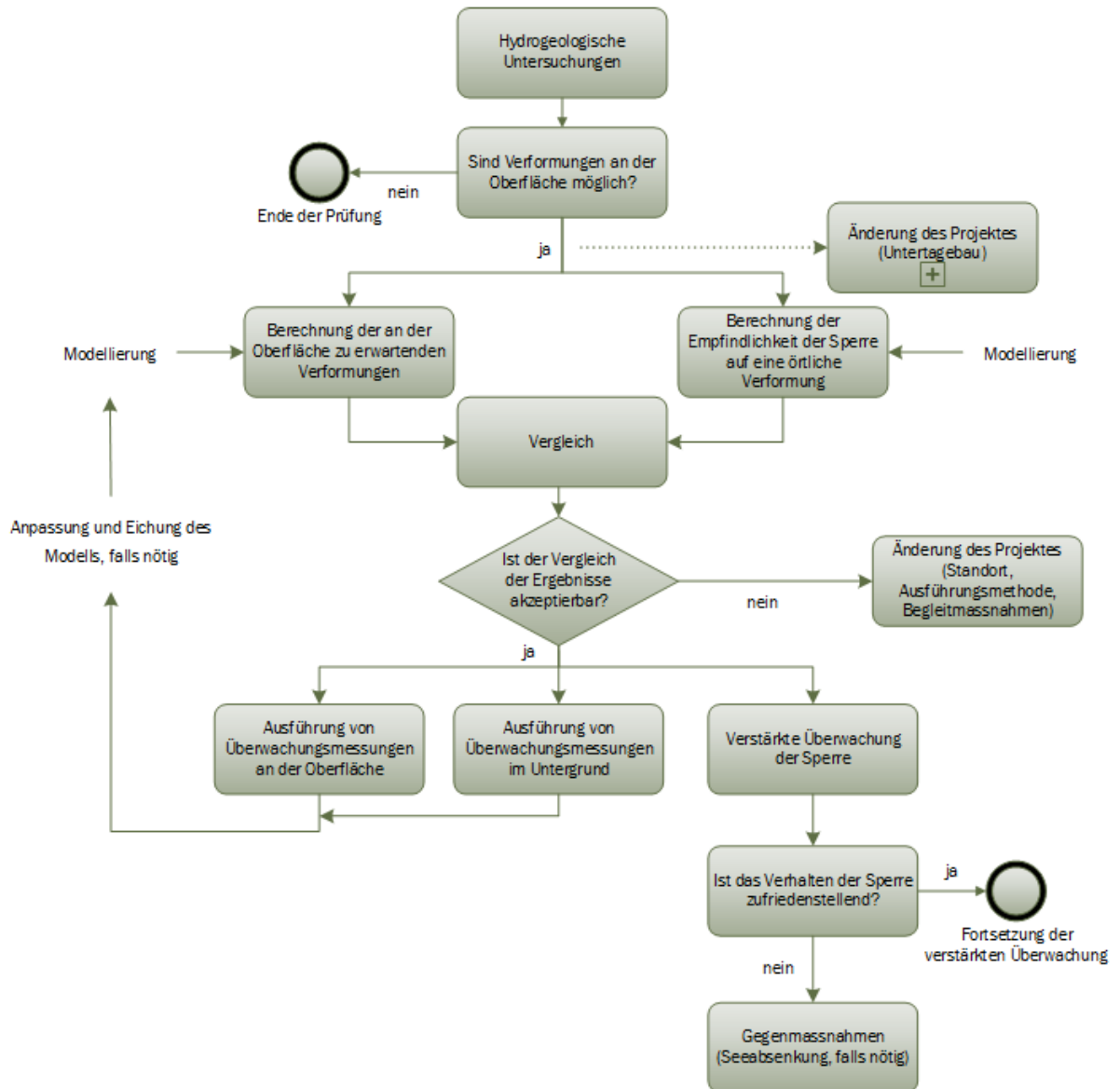


8. Literaturverzeichnis

- Arioglu, N., Canan Girin, Z., Arioglu, E. (2006). Evaluation of ratio between splitting tensile strength and compressive strength for concretes up to 120 MPa and its application in strength criterion. *ACI Materials Journal* 103(1), 18–24.
- Bergmeister, K., Suda, J., Hübl, J. & Miklau-Rudolf, F., 2009: *Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren, Grundlagen, Entwurf und Bemessung, Beispiele*. Ernst und Sohn .
- ETH Zürich, 2003. Einführung in die Physik aquatischer Systeme, Professur für Umweltphysik, Vorlesungsunterlagen Wintersemester 2003/2004.
- Fok K-L, Chopra A. K Earthquake Analysis and Response of Concrete Arch Dams, Earthquake Engineering research Center, Report N° UCB/EERC-85/07, pp. 20 - 33 July 1985.
- Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St.Gallen, 1999: Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren.
- Heller Valentin, Hager Willi H., Minor Hans-Erwin, 2009: Landslide generated impulse waves in reservoirs, Basics and computation, VAW_4257 EN, February 27th 2009.
- ICOLD-EC, 2004: ICOLD European Club, Working Group on Sliding Safety of Existing Gravity Dams, Final Report, 2004.
- Kupfer H. B., Gerstle K. H. Behaviour of Concrete under biaxial Stresses, *Journal of the Engineering Mechanics Division*, pp. 853-866, August 1973.
- Obernhuber, Pius, 2014: Internationale Übersicht über die Anforderungen an die Gleit- und Kippsicherheitsnachweise von Gewichtsmauern, BFE, April 2014.
- Rickenmann, D., 1995: Beurteilung von Murgängen. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, Nr. 48, pp. 1104-1108.
- Rickenmann, D., 1999: Empirical relationships for debris flows. *Natural Hazards*, 19(1), 47-77.
- Rickenmann, D., 2008: Lastfälle aus Murgangprozessen – Bemessungsgrundlagen. Herbstkurs der Fachleute für Naturgefahren (FAN), Bellinzona, Schweiz, 17.9.2008.
- Rickenmann, D. 2016: Methods for the quantitative assessment of channel processes in torrents (steep streams). *IAHR Monograph Series*, CRC Press/Balkema, ISBN: 978-1-138-02961-3 (Hbk), ISBN: 978-1-4987-7662-2 (eBook PDF).
- Salm, B., Zarn, B., Bigger, V., 1987: *Schnee, Lawinen und Lawinenschutz; Vorlesung*, ETHZ.
- Schleiss Anton J., Pougatsch Henri, 2011: *Les Barrages – Du projet à la mise en service, Traité de génie civil de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes*, Vol. 17.
- SIA, 2013a: Norm 267, Geotechnik.
- SIA, 2013b: Norm 267/1, Geotechnik – Ergänzende Festlegungen.
- SIA, 2014: Norm 261, Einwirkungen auf Tragwerke.
- US Army Corps of Engineers, 2000: "Evaluation and Comparison of Stability Analysis and Uplift Criteria for Concrete Gravity Dams by Three Federal Agencies", ERDC/ITL TR-00-1 January 2000.



Beilage 1 Vorgehen zur Verhinderung einer nachteiligen Auswirkung auf die Sicherheit einer Stauanlage durch einen Untertagebau in der Nähe



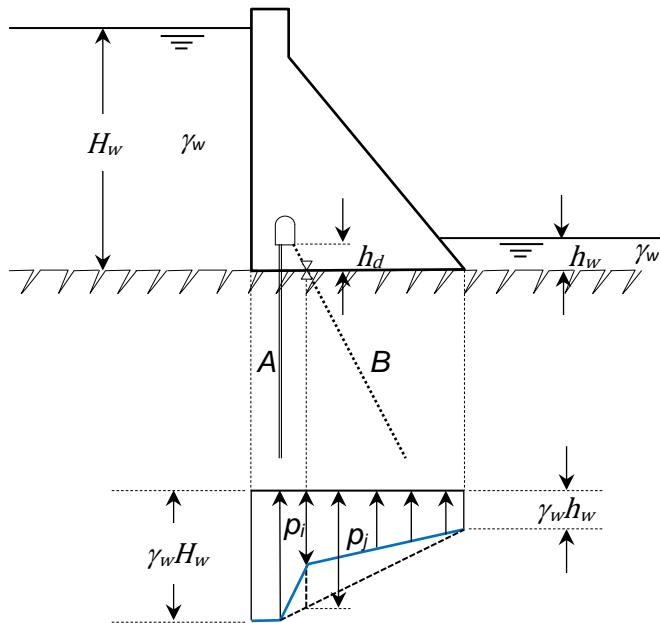


Beilage 2 Typische zu erfüllende Anforderungen ("Auflagen") vor, während und am Ende der Bauarbeiten

Anforderung (Auswahl)
Vor Beginn der Bauarbeiten
Schriftliche Mitteilung über den Beginn der Bauarbeiten
Bestätigung durch Versuche der für die Nachweise angenommenen Materialeigenschaften
Während der Bauausführung (siehe auch Art. 6 Abs. 2 StAV)
Aktualisierte Planung der Bauarbeiten und jeweiliger Stand des Baufortschritts
Begleitung der Bau- und Injektionsarbeiten durch eine Fachperson (z.B. Geologe, Geotechniker)
Eventuelle Betriebseinschränkungen (bei Umbau einer bestehenden Stauanlage)
Installation eines Wasseralarmsystems
Mitteilung der Ergebnisse der Baukontrollen und der Materialuntersuchungen
Mitteilung der Ergebnisse der Injektionsarbeiten
Mitteilung über besondere Ereignisse
Schriftliche Mitteilung über die Beendigung der Bauarbeiten
Nach Abschluss der Bauarbeiten (siehe auch Art. 6 Abs. 3 und Art. 9 StAV)
Abgabe eines Abschlussberichtes über die Bauarbeiten mit Fotodokumentation
Abgabe der Auswertung der Ergebnisse der Kontrollen und der Materialprüfungen
Abgabe der Pläne des ausgeführten Bauwerks
Abgabe der geologischen Aufnahmen und ihre Auswertung
Abgabe der Auswertung der während der Bauausführung durchgeführten Kontrollen
Bei Arbeiten an den Entlastungs- und Ablassorganen: Funktionskontrollen (mit Wasserabgabe)
Spezifisch bei Umbauten
Referenzmessung vor Beginn der Bauarbeiten (inklusive vollständige geodätische Messung)
Schutz der vorhandenen Messeinrichtungen während den Bauarbeiten (speziell der geodätischen Messeinrichtungen)
Weiterführung des Messprogrammes, eventuell in verstärkter Weise; Mitteilung der Ergebnisse (an wen, mit welcher Frequenz)



Beilage 3 Übliche Formen der Druckverteilung des Auftriebs



Legende

A Injektionsschirm

B Drainageschirm

⊗ Messpunkt in der Schnittstelle

p_j Druck ohne Drainageeffekt in der Schnittstelle

p_i Druck mit Drainageeffekt in der Schnittstelle : $p_i = p_j - k(p_j - p_m)$, wobei

p_m grösster Wert des Druckes zwischen $\gamma_w h_w$ und $\gamma_w h_d$ (entsprechend der Stollenkote)

k Abminderungskoeffizient (Drainageschirm)

Nota :

- i) Es ist mit in-situ Versuchen sicherzustellen, dass die Abstände zwischen den Drainagebohrungen sowie den Injektionsbohrungen angemessen sind, um die angestrebten Ziele zu erfüllen.
- ii) Die obigen Diagramme finden keine Anwendung bei Spezialfällen, wie Pfeilerkopfmauern, Gewichtsmauern mit erweiterten Fugen oder solchen mit Hohlräumen.



Beilage 4 Definition der drei Klassen von Stauanlagen

