

**Schweizerisches Talsperrenkomitee  
Comité suisse des barrages  
Comitato svizzero delle dighe  
Swiss Committee on Dams**



**Vergleich der Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen in der  
Schweiz mit denjenigen der Nachbarländer  
Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien**

**Arbeitsgruppe 'Erdbebensicherheit'**

Juni 2010

Sekretariat c/o STUCKY SA  
Rue du Lac 33  
1020 Renens 1

Tel.: 021 / 637 15 13  
Fax :021 / 637 15 08  
[swissdams@stucky.ch](mailto:swissdams@stucky.ch)

Die vorliegende Empfehlung wurde im Rahmen der Tätigkeiten der Arbeitsgruppe „Erbebensicherheit“ geschrieben.

Unter der Leitung von Dr. M. Wieland wirkten an ihrer Ausarbeitung mit :

Brenner, Peter, Dr. Ing.	Rosenstrasse 8, 8570 Weinfelden
Bodenmann, Hans, Dipl.Ing.	BKW FMB Energie AG, Viktoriaplatz 2, 3013 Bern
Bossoney, Claude, Dr. Ing.	Stucky SA, Rue du Lac 33, CP, 1020 Renens 1
Bremen, Roger, Dr. Ing.	Lombardi SA Ingegneri Consulenti, Via Rinaldo Simen 19, 6648 Minusio
Collet, G. L., Dipl.Ing.	Kraftwerke Oberhasli AG, KWO, Grimselstrasse 19, 3862 Innertkirchen
Darbre, Georges, Dr. Ing.	Bundesamt für Energie, Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen
Giardini, D., Prof. Dr.	Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Hönggerberg, 8049 Zürich
Moor, Ch., Dipl. Ing.	Axpo Holding AG, Parkstrasse 23, 5400 Baden
Studer, Jost, Dr. Ing.	Studer Engineering, Tujastrasse 4, 8038 Zürich
Wieland, Martin, Dr. Ing.	Pöyry Energy AG, Hardturmstrasse 161, 8037 Zürich

#### *Titelbild*

*Die Shapai Bogenmauer ist mit einer Höhe von 132 m die weltweit höchste Bogenmauer aus ‚roller compacted concrete‘ und war während dem Wenchuan Erdbeben vom 12 Mai 2008 starken Bodenerschütterungen ausgesetzt. Die Mauer wies keine Schäden auf, das Liftgebäude aus Stahlbeton in der Mitte der Mauerkrone wurde jedoch beschädigt.*

## **Vorwort**

Die Erdbebensicherheit von Talsperren ist von zentraler Bedeutung bei der Erarbeitung von neuen Projekten oder der Überprüfung von bestehenden Anlagen. Die Arbeitsgruppe "Erdbebensicherheit" des Schweizerischen Talsperrenkomitees wurde im Jahre 2004 gegründet. Unter der Leitung von Dr. Martin Wieland gab sie sich vorerst die Aufgabe, die Erdbebenrichtlinie für die Stauanlagen in der Schweiz mit denjenigen der Nachbarländer zu vergleichen.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse dieses ersten Arbeitsschrittes zusammen. Dabei zeigt sich, dass der Stand der Erdbebennormen und Richtlinien für Talsperren in den Nachbarländern Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien sehr unterschiedlich ist. In der Schweiz wurden die geltenden SIA-Normen mit den Richtlinien des Bundesamtes für Energie (BFE) verglichen. Dabei schneidet die BFE Richtlinie im Vergleich zu denjenigen der Nachbarländer sehr gut ab und entspricht dem internationalen Stand der Technik. Der Bericht der Arbeitsgruppe gibt einen reichhaltigen Überblick über die verschiedenen Erdbebenrichtlinien sowie zeigt die wesentlichen Unterschiede deutlich auf. Ich möchte der Arbeitsgruppe für die wertvolle Arbeit unter der Leitung von Dr. Martin Wieland danken, welche zum erfreulichen Resultat in Form des vorliegenden Berichtes geführt hat.

Prof. Dr. Anton Schleiss

Präsident des Schweizerischen Talsperrenkomitees



# SCHWEIZERISCHES TALSPERRENKOMITEE

## BERICHT DER ARBEITSGRUPPE ERDBEBENSICHERHEIT

### Vergleich der Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen in der Schweiz mit denjenigen der Nachbarländer Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien

#### ZUSAMMENFASSUNG

Der Stand der Erdbebennormen und Richtlinien für Stauanlagen in den Nachbarländern ist sehr unterschiedlich.

**Deutschland:** Die deutsche Vorschrift für Stauanlagen ist die DIN 19700, die aus zahlreichen Teilen besteht und auch das Thema Erdbeben umfasst. Die Norm datiert vom Juli 2004.

**Österreich:** Bei der österreichische Richtlinie handelt es sich um eine eher allgemein gehaltene Empfehlung. Sie kann als Stand der Praxis zur Berechnung von Talsperren unter Erdbebenwirkung betrachtet werden.

**Frankreich:** Der Entwurf einer neuen Erdbebenrichtlinie "Classification des barrages vis-à-vis des séismes", datiert vom Dezember 2003. Dieses Dokument ist weder eine Richtlinie noch ein Code; die französische Praxis wählt einen pragmatischen Weg und verlässt sich stark auf Experten.

**Italien:** Die existierende Norm aus dem Jahre 1982 gilt nur für Bau und Unterhalt von Talsperren und wird zurzeit überarbeitet. Der Entwurf einer neuen Richtlinie für die Erdbebensicherheit von Talsperren existiert, muss jedoch zuerst von den zuständigen Behörden genehmigt werden.

In der **Schweiz** gibt es folgende Dokumente, die zur Bemessung und Ueberprüfung von Stauanlagen verwendet werden können.

**BWG Erdbebenrichtlinie** (Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit, Version 1.2 (März 2003), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG)): Diese Richtlinie gilt als Basisdokument für den Nachweis der Erdbebensicherheit der Stauanlagen in der Schweiz und diente in der vorliegenden Studie als Referenz für den Vergleich mit den Richtlinien der Nachbarländer.

**SIA Normen** (Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein): Diese Normen sind seit 2004 in Kraft. Darin ist auch die Erdbebeneinwirkung enthalten. Ein Vergleich mit der BWG Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen wurde für Staumauern durchgeführt. Es gibt Fälle, wo die SIA Normen schärfer sind als die BWG Erdbebenrichtlinie.

Für den Vergleich der verschiedenen Erdbebenrichtlinien wurden folgenden Themen betrachtet:

- (i) Allgemeines (Behörde, Klassifizierung der Talsperren nach Gefahrenpotential, etc.),



- (ii) Einwirkungen (Erdbebenbemessungskonzept (Betriebsbeben: OBE, Sicherheitsbeben: SSE, ‚Maximum Credible Earthquake‘: MCE etc.), Wiederkehrperioden für verschiedene Erdbeben, etc.),
- (iii) Nachweise (Schüttdämme, Stau Mauern und Wehre, Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Betriebsbeben), Sicherheitsnachweis (Sicherheitsbeben), etc.),
- (iv) Kontrollen nach einem Beben (Kriterien für die Durchführung von Kontrollen nach einem Beben),
- (v) Starkbebeninstrumentierung (Anzahl Geräte, Verantwortung für Installation und Unterhalt).

Generell darf festgehalten werden, dass die BWG Richtlinie für die Erdbebensicherheit der Stauanlagen im Vergleich zu denjenigen der Nachbarländer sehr gut abschneidet und dem internationalen Stand der Technik entspricht. Die systematische Anwendung dieser Richtlinie erlaubt eine realistische Beurteilung sämtlicher Stauanlagen. Mit Ausnahme von Deutschland (DIN 19700) gibt es keine modernen Erdbebenrichtlinien in den Nachbarstaaten, die in Kraft sind.

Im Vergleich zu den Erdbebenrichtlinien in den Nachbarländern besteht kein unmittelbarer Handlungsbedarf bei der BWG Erdbebenrichtlinie. In Zukunft ist jedoch mit Verbesserungen in der Bestimmung der Erdbebengefährdung an den Standorten der Stauanlagen zu rechnen. Die bestehenden Erdbebengefährdungskarten für die verschiedenen Nachweisbeben sind deshalb durch die neuen Karten zu ersetzen, wenn diese vorliegen.



## **EINLEITUNG**

An der Generalversammlung des Schweizerischen Talsperrenkomitees (STK) vom März 2004 wurde eine Arbeitsgruppe eingesetzt mit dem Ziel, Empfehlungen für die Untersuchung sowie für die Wahl baulicher Massnahmen im Zusammenhang mit der Erdbebensicherheit schweizerischer Talsperren zu erstellen.

Die beiden Hauptaufgaben der Arbeitsgruppe umfassten folgende Themen:

- Derzeitiger Normenstand und Richtlinien zur Bemessung der Erdbebensicherheit von Talsperren in den Nachbarstaaten (Deutschland, Österreich, Italien, Frankreich) im Vergleich mit den Schweizer Richtlinien (SIA Normen und BWG Richtlinie).
- Massnahmen zur Bemessung und eventuellen Verbesserung der Erdbebensicherheit. Auch in diesem Fall ist vorerst der Stand in den Nachbarstaaten zu untersuchen. Insbesondere ist zu dokumentieren, welche generellen sowie spezifischen Massnahmen vorgesehen sind, um die Erdbebensicherheit der bestehenden Talsperren zu verbessern bzw. welche Massnahmen und Nachweise für den Bau neuer Talsperren gefordert werden.

Die Resultate dieser Untersuchungen sollen als ergänzende Grundlagen für die weitere Verbesserung der Erdbebensicherheit schweizerischer Talsperren dienen.

Die Arbeitsgruppe bestand aus folgenden Mitgliedern:

- Dr. M. Wieland (Präsident), Pöyry Energy AG, Zürich
- Dr. P. Brenner (Sekretär), Weinfeldern
- H. Bodenmann, BKW FMB Energie AG, Bern
- Dr. C. Bossoney, Stucky SA, Renens
- Dr. R. Bremen, Lombardi SA, Minusio
- G.L. Collet, Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen
- Dr. G. Darbre, Bundesamt für Energie, Ittigen
- Prof. Dr. D. Giardini, Schweizerischer Erdbebendienst, Zürich
- Ch. Moor, Nordostschweizerische Kraftwerke AG, Baden
- Dr. J. Studer, Studer Engineering, Zürich

Im Hinblick auf die Tatsache, dass es mit Ausnahme der deutschen DIN 19700 in den Nachbarländern keine verbindlichen bzw. genehmigten Erdbebenrichtlinien für Stauanlagen gibt, ist der Vergleich der Erdbebenrichtlinien sehr beschränkt aussagekräftig.

In den letzten Jahren wurden in verschiedenen Ländern Anstrengungen unternommen, die Erdbebenrichtlinien für Stauanlagen zu revidieren oder zu ergänzen und auch dem Umstand Rechnung zu tragen, dass die meisten bestehenden Talsperren in der Schweiz und in den angrenzenden Ländern nach aus heutiger Sicht veralteten Bemessungskonzepten und Berechnungsmethoden auf Erdbeben ausgelegt wurden. Diese Arbeiten sind zurzeit noch im Gange.

Seit der Schaffung der Erdbebenarbeitsgruppe im Jahre 2004 sind bis Anfang 2008 in den Nachbarländern keine der Arbeitsgruppe bekannten neuen Erdbebenrichtlinien erarbeitet und/oder genehmigt worden.

Es müsste deshalb abgewartet werden bis derartige Dokumente auch in den Nachbarländern vorliegen.



Für die Bemessung von Stauanlagen gegen Erdbeben unterscheidet man im Prinzip zwei verschiedene Lastfälle, nämlich (1) ein Sicherheitserdbeben und (2) ein Betriebserdbeben. Die Bezeichnung dieser beiden Lastfälle ist aber weltweit in den verschiedenen Richtlinien, Empfehlungen und Normen nicht einheitlich geregelt, vor allem was die häufig verwendeten englischsprachigen Bezeichnungen betrifft.

Das Sicherheitserdbeben, abgekürzt SE, wird in der BWG Richtlinie als Nachweisbeben bezeichnet. Im Bulletin 72 der Internationalen Talsperrenkommission (International Commission on Large Dams (ICOLD)) wird es Safety Evaluation Earthquake (SEE) genannt. In der Nuklearindustrie spricht man vom Safe Shutdown Earthquake (SSE). Schliesslich wird als Sicherheitserdbeben auch das Maximum Credible Earthquake (MCE) oder das Maximum Design Earthquake (MDE) verwendet. Die Definitionen für diese verschiedenen Bezeichnungen weichen leicht voneinander ab, führen aber in der Praxis zu sehr ähnlichen Resultaten.

Das in ausländischen Richtlinien verwendete Betriebserdbeben entspricht nach ICOLD Bulletin 72 einer Wiederkehrperiode von 145 Jahren. Dieses Beben ist auch als Operation Basis Earthquake (OBE) bekannt. In der BWG Richtlinie wird das Betriebserdbeben nicht verwendet.



## ZUR ERDBEBENSICHERHEITSBEURTEILUNG VON TALSPERREN

Die Erdbebensicherheitsbeurteilung einer Talsperre hängt im wesentlichen von folgenden Elementen ab:

- (i) Erdbebengefährdung am Standort (Bodenerschütterung in Form eines Antwortspektrums oder eines Zeitverlaufs für verschiedene Nachweisbeben)
- (ii) Dynamischen Materialkennwerten der Talsperre und Foundation
- (iii) Modellierung der Talsperre, Foundation und Stausee sowie der verwendeten dynamischen Berechnungsmethode (Antwortspektrenmethode, Methoden im Zeitbereich)
- (iv) Beurteilungskriterien für das dynamische Verhalten der Talsperre (Spannungen, Deformationen etc.)

In obiger Aufzählung wurden der Erdbebenkoeffizient bzw. pseudostatische Berechnungsmethoden absichtlich weggelassen, da aus heutiger Sicht diese Methoden in den meisten Fällen überholt, unzuverlässig und veraltet sind.

In den Erdbebenrichtlinien finden sich Angaben zu allen vier oben genannten Punkten. Da die Erdbebensicherheitsbeurteilung ein integraler Prozess darstellt, ist es oft nicht möglich, die einzelnen Elemente separat mit denjenigen anderer Richtlinien zu vergleichen. Dazu müssten ein paar typische Talsperrentypen in einer Vergleichsstudie bei gleichem Erdbeben-gefährdungsniveau miteinander verglichen werden. Das war jedoch aufgrund des damit verbundenen beträchtlichen Aufwandes im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich.

Die Vergleiche der verschiedenen oben genannten Elemente der Richtlinien der Nachbarländer sind dementsprechend zu werten. Die Vergleiche verlieren deshalb an Aussagekraft.

Die Erdbebengefährdung ist das einzige Element in der Kette der integralen Erdbebensicherheitsbeurteilung, das separat behandelt werden kann, da die Gefährdung (im freien Feld) unabhängig von der Stauanlage ist. Die Vorgehensweise in der Erdbebengefährdungsanalyse wird beim Vergleich der Richtlinien ebenfalls ausgeklammert, da dies die Aufgabe von Seismologen, Geologen, Tektonikern und anderen Erdwissenschaftlern ist (vgl. hierzu auch das Kapitel zur Erdbebengefährdung).

Ein wichtiger Punkt stellt auch die dynamische Berechnungsmethode einer Talsperre dar. Bis anhin wurden bei Staumauern vor allem linear-elastische dynamische Berechnungen durchgeführt (das entspricht auch den Minimalanforderungen der BWG Richtlinie). Beim Nachweisbeben ist jedoch mit nichtlinearen Effekten (Risse, Fugenöffnungen etc.) zu rechnen. Um das dynamische Verhalten einer Talsperre einigermaßen realistisch vorhersagen zu können, sind deshalb nichtlineare Berechnungsmethoden zu verwenden. Diese Methoden werden in Zukunft bei bestehenden Mauern verstärkt zum Einsatz kommen.

Bei Schüttdämmen wird das nichtlineare Materialverhalten durch ein linear-äquivalentes Rechenmodell approximiert, das sich aufgrund seiner Einfachheit und den umfangreichen publizierten Daten in der Praxis durchgesetzt hat. Diese Methode stammt aus den 1970er Jahren.



## ZUR ERDBEBENGEFÄHRDUNG

Die Bestimmung der Bodenbewegung am Standort von Stauanlagen ist eines der Kernprobleme für die Beurteilung der Erdbebensicherheit. Erdbeben können bei Talsperren durch folgende Phänomene Schäden verursachen:

- (i) Bodenverschiebungen, die in einer Talsperre, im Untergrund, in Nebenanlagen und Einrichtungen etc. Erschütterungen verursachen.
- (ii) Verschiebungen entlang von Verwerfungen in der Talsperrenfundation oder im Stausee, die direkte strukturelle Schäden an einer Sperre verursachen oder zu einem Verlust an Freibord führen können.
- (iii) Massenbewegungen (z.B. Geländebrüche) in den Stausee. Diese verursachen Impulswellen und können den Grundablass verstopfen, etc.

Normalerweise befassen sich Erdbebenvorschriften nur mit Erdbebenerschütterungen. Diese verursachen Spannungen, Deformationen, Risse, Gleitbewegungen von Böschungen bzw. Kippen von schlanken Bauteilen, Bodenverflüssigung, etc.

Die erdbebenbedingte Gefährdung durch Felsstürze und Rutschungen wird in bergigen Gegenden oft unterschätzt. Diese Massenbewegungen können den Zugang zu einer Stauanlage und allfällige Rettungseinsätze stark verzögern. Grosse Felsstürze können auch selber zur Bildung von Stauseen führen.

Falls sich ein starkes Beben ereignet, das eine nach dem heutigen Stand der Technik dimensionierte Talsperre beschädigen kann, welche dem Sicherheitsbeben (SE) oder Nachweisbeben gemäss BWG Erdbebenrichtlinie widerstehen kann, dann ist zu erwarten, dass die Gebäude und Infrastrukturbauten im Bereich der Sperre und des Stausees noch stärker beschädigt sein werden und dass der Zugang zur Stauanlage stark beeinträchtigt sein wird. Ein eindrückliches Beispiel liefert das Erdbeben von Wenchuan, Sichuan, China vom 12. Mai, 2008, wo über 2600 Stauanlagen durch dieses Erdbeben mit einer Magnitude von 8 betroffen wurden. Auch fünf Monate nach dem Beben waren die Zufahrtsstrassen zu mehreren Talsperren wegen Erdbeben immer noch unpassierbar.

Die folgende Diskussion beschränkt sich auf die erdbebenbedingten Erschütterungen am Standort einer Stauanlage. Bei einer zukünftigen Revision der BWG Erdbebenrichtlinie ist jedoch dem Aspekt der Massenbewegungen vermehrt Rechnung zu tragen.

In der Schweiz wurden seit 2004 vor allem im Zusammenhang mit der Erdbebensicherheit der Kernkraftwerke Studien zur probabilistischen Ermittlung der Erdbebengefährdung durchgeführt und ergänzende Studien sind geplant. Die probabilistischen Methoden zur Ermittlung der Erdbebengefährdung sind in den letzten Jahren stark weiterentwickelt worden und es gibt auch neue Erdbebendaten für die Schweiz sowie sog. 'New Generation Attenuation Models' (Abminderungsgesetze), die eine zuverlässigere Beurteilung der erdbebenbedingten Bodenbewegungen für Standorte mit verschiedenen Felseigenschaften erlauben. Eine kurze Diskussion über die Unsicherheiten bei der probabilistischen Gefährdungsanalyse befindet sich im Anhang 6. In einer zukünftigen Gefährdungskarte sind die Unsicherheiten zu spezifizieren und auch die Methoden sind zu beschreiben, wie aus einem sogenannten 'Uniform Hazard' Spektrum (Beschleunigungsantwortspektrum) für repräsentative Erdbebenszenarien (Nachweisbeben) die entsprechenden Zeitverläufe der Bodenbewegung generiert werden können.

Wenn neue abgesicherte Erdbebengefährdungskarten für die verschiedenen Wiederkehrperioden der Nachweisbeben (Tabelle 1) vorliegen, dann ist die BWG Erdbebenrichtlinie zu ergänzen.



## ICOLD ERDBEBENRICHTLINIEN

Das Erdbebenkomitee der Internationalen Talsperrenkommission (ICOLD) hat während den letzten Jahren folgende Bulletins vorbereitet und veröffentlicht:

- (i) Bulletin 52 (1986), Earthquake analysis procedures for dams – State of the Art
- (ii) Bulletin 62 (1988): Inspection of dams following earthquake (Revision 2008)
- (iii) Bulletin 72 (1989): Selecting seismic parameters for large dams (Revision 2009)
- (iv) Bulletin 112 (1998): Neotectonics and dams (Talsperren auf Verwerfungen)
- (v) Bulletin 113 (1999): Seismic observation of dams
- (vi) Bulletin 120 (2001): Design features of dams to effectively resist seismic ground motion
- (vii) Bulletin 123 (2002): Earthquake design and evaluation of structures appurtenant to dams
- (viii) Bulletin 137: Reservoirs and seismicity: state of knowledge (Reservoir-triggered seismicity: Beben, die durch den Stausee ausgelöst werden)

Diese Bulletins widerspiegeln den Stand der Technik in den Ingenieurbüros, Organisationen und Behörden, die sich mit der Erdbebensicherheit von Stauanlagen befassen und werden in vielen Ländern, die keine eigenen Vorschriften haben, als Stand der Technik betrachtet. Das gilt auch für die Schweiz und die Nachbarländer.

Zurzeit wird Bulletin 72 revidiert. Dieses Bulletin ist gleichsam das Kerndokument für die Erdbebensicherheit der Talsperren. Hier wird festgehalten, dass die Talsperre den Bodenbewegungen des Sicherheitserdbebens bzw. Nachweisbebens (BWG Richtlinie) erfolgreich widerstehen muss.

Die Wiederkehrperioden der Nachweisbeben für die verschiedenen Talsperrenklassen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

**Tabelle 1: Wiederkehrperiode des Nachweisbebens für die verschiedenen Sperren-klassen (BWG Erdbebenrichtlinie, 2003)**

Sperren-klasse	Betrachteter Zeitraum	Mittlere Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	Mittlere Wiederkehrperiode
I	100 Jahre	1%	10'000 Jahre
II	100 Jahre	2%	5'000 Jahre
III	100 Jahre	10%	1000 Jahre

## ERDBEBENRICHTLINIEN FÜR STAUANLAGEN IN DER SCHWEIZ UND IN DEN NACHBARLÄNDERN

Als Basis für den Vergleich wurden folgende Erdbebenrichtlinien für Stauanlagen verwendet:

### Schweiz:

- (i) Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit, Berichte des BWG, Serie Wasser, Version 1.2 (März 2003), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), (Referenzdokument für Vergleich der Erdbebenrichtlinien für Stauanlagen)
- (ii) Normen SIA 260 (2004), Grundlagen der Projektierung; SIA 261 (2004), Einwirkungen auf Tragwerke; SIA 262 (2004), Betonbau, Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), Zürich

### Deutschland:

DIN 19700 „Stauanlagen“; Deutsche Norm, 2004.

### Österreich:

„Erdbebenberechnung von Talsperren, Band 3, Richtlinien“, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Österreichische Staubeckenkommission, 1996.

### Frankreich:

„Effets des séismes sur les barrages, Guide d'évaluation“, Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, Secrétariat d'état à l'industrie; Direction du gaz, de l'électricité et du charbon, Paris, 1997.

„Classification des barrages vis-à-vis des séismes“, Dezember 2003.

### Italien:

„Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento“, Decreto ministero dei lavori pubblici, Roma, 24 marzo 1982.

Der Wunsch nach dem Vergleich der verschiedenen Erdbebenvorschriften ist alt. Damit sind mehrere Hintergedanken verbunden. Entweder will man zeigen, dass entweder eine Vorschrift den internationalen Usanzen entspricht, dass die eigenen Vorschriften ungenügend sind oder dass die eigenen Vorschriften zu detailliert oder zu anforderungsreich sind.



Normenvergleiche sind in einer noch jungen Disziplin, wie dem Erdbebeningenieurwesen ein schwieriges Unterfangen, da sich die Vorschriften in kurzer Zeit und speziell nach einem Katastrophenerdbeben, das neue bisher unbeachtete Phänomene an den Tag bringt, stark ändern können.

Die ICOLD Erdbebenrichtlinien und Empfehlungen sollten bei Stauanlagen als Benchmark verwendet werden. Der Vergleich der eigenen Vorschriften mit denjenigen einer ausgewählten Gruppe, wie der Nachbarländer, ist im Allgemeinen mit Problemen behaftet.

Anstatt einen Vergleich verschiedener Normen und Vorschriften zu machen, publiziert die 'International Association for Earthquake Engineering' (IAEE) eine 'World List of Seismic Regulations - 2008' (<http://www.iaee.or.jp>). Damit ist für jedermann leicht ersichtlich, welches Niveau die Erdbebenvorschriften in den verschiedenen Ländern aufweisen. In diesem Zusammenhang muss natürlich festgehalten werden, dass nicht nur das Niveau der Erdbebenvorschriften wichtig ist, sondern viel wichtiger ist deren Durchsetzbarkeit.

**Tabelle 2: Vergleich ausgewählter europäischer Erdbebenvorschriften für Talsperren (nach N. Reilly, 2004)**

Earthquake characteristic	Country				
	UNITED KINGDOM	AUSTRIA	ITALY	ROMANIA	SWITZERLAND
Type of document	Guide	Guide	Guide	Statutory	Statutory
Hazard definition by:	ICOLD Bulletin 72	Dam height, reservoir volume	ICOLD Bulletin 72	Not stated	Dam height, reservoir volume
Variation in seismicity expressed as:	1991: zone map 1998: contour map	Zone map and contour map	Zone map	Zone map	Contour map
Maximum PGA	1991: 0.375 g 1998: 0.32 g	MCE: 0.3 g OBE: 0.14 g	>0.6 g	0.32 g	0.08 to 0.16 g (for 475 years)
Return periods: Category IV Category III Category II Category I	10,000 yrs/MCE 10,000 yrs 3000 yrs 1000 yrs	} where applicable use MCE	<2500 yrs 2500 yrs 1000 yrs 500 yrs	Top category: MCE or 800 yrs	not applicable (I) 10,000 yrs (II) 5,000 (III) 1000 yrs
OBE	not stated		200 yrs	not stated, see text	100 yrs
Fraction of PGA to be used in pseudo-static analysis	0.67	not stated	0.5 to 0.67	not stated	not stated
Site specific study	no recommendations	recommended	mandatory for category IV	recommended	not stated
Regional seismicity	Low	Low	Moderate to high	High	Moderate

Ein Vergleich ausgewählter europäischer Erdbebenvorschriften für Talsperren wurde 2004 von N. Reilly publiziert. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Aussagekraft dieses Vergleichs ist beschränkt und ist eher qualitativer als quantitativer Natur. Daraus ist auch nicht ersichtlich, ob die Talsperren im Land 'x' erdbebensicherer sind als im Land 'y'.

Auch bei der vorliegenden Vergleichsstudie für die Nachbarländer der Schweiz ist mit derartigen Einschränkungen zu rechnen.



## WICHTIGSTE PARAMETER DER ERDBEBENVORSCHRIFTEN VON DEUTSCHLAND, FRANKREICH, ITALIEN, OESTERREICH UND DER SCHWEIZ

Beim Vergleich der Erdbebenrichtlinien und –vorschriften wurden die untenstehenden Parameter untersucht. Die Zusammenstellung der Parameter basiert auf der BWG Erdbebenrichtlinie und widerspiegelt den umfassenden Inhalt einer modernen Erdbebenrichtlinie.

### 1. Allgemeines

- Titel des Dokumentes
- Überwachungsbehörde
- Status des Dokumentes (Norm, Richtlinie etc.)
- Jahr der letzten Version
- Anwendungsbereich (neue Talsperren, bestehende Talsperren, Staumauern, Schüttdämme, Nebenbauwerke)
- Klassifizierung der Talsperren nach Gefahrenpotential
- Sperrenklassen:
  - Falls ja, wie viele und gestützt auf welche Kriterien
- Anforderungen an Ingenieur:
  - Falls ja, welche (Ausbildung, Erfahrung etc.)

### 2. Einwirkungen

- Erdbebenbemessungskonzept (OBE, SSE/SE, MCE, etc.)
- Ermittlung der seismischen Gefährdung am Standort (deterministisch oder probabilistisch)
- Maximale Bodenbeschleunigung (PGA) Mittelwert, 84% Fraktile etc.
- Reduzierte Bodenbeschleunigung für rechnerische Nachweise (effektive Grundbeschleunigung)
- Wiederkehrperioden für verschiedene Erdbeben (probabilistisch)
  1. Sicherheitserdbeben
    - Talsperrenklasse 1
    - Talsperrenklasse 2
    - Talsperrenklasse 3, etc.
  2. Betriebserdbeben
    - Talsperrenklasse 1
    - Talsperrenklasse 2
    - Talsperrenklasse 3, etc.
- Standortspezifische Untersuchungen
- Seismizität des Landes (seismische Zonen)



- Spitzenbeschleunigungen für Standorte an CH-Grenze
  - D: Basel und Kt. St. Gallen
  - F: Basel und Genf
  - A: Kt. St. Gallen
  - I: Lugano
- Falls Antwortspektren angegeben werden: Plateauwerte (bzw. Maximalwerte) für 5 % Dämpfung

### 3. Nachweise

- Verlangte Nachweise:
  - Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Betriebsbeben)
  - Sicherheitsnachweis (Sicherheitsbeben)
- Erdbebennachweis (Berechnungsmethode pseudostatisch, dynamisch, linear, nichtlinear)
- Zulässige Spannungen, Sicherheitsfaktoren, zulässige Deformationen etc.)

#### Dämme

Je für Sicherheitsbeben und allenfalls Betriebsbeben und für alle allfällige Sperrenklassen:

- Gleitverschiebungen:
  - Falls zugelassen: Zulässige Werte
  - Falls nicht zugelassen: Verlangter Gleitsicherheitsfaktor
- Erforderliche Berechnungsmethode (statische Ersatzkraft, Antwortspektrenmethode, Zeitverlaufmethode)

#### Betonsperren (und Wehre)

Je für Sicherheitsbeben und allenfalls Betriebsbeben und für alle allfällige Sperrenklassen:

- Schäden:
  - Falls zugelassen: allfällige Begrenzungen
  - Falls nicht zugelassen: Verlangte Sicherheitsfaktoren
- Erforderliche Berechnungsmethode (statische Ersatzkraft, Antwortspektrummethode, Zeitverlaufmethode)
- Verlangte Modellbildung:
  - Gewichtsmauer: Analytisch, Stabmodell, Finite-Element Modell
  - Bogenmauer: Analytisch, Trägerrost, Finite Element Modell
- Widerstand:
  - Allfällige Querschnittsbeiwerte (d.h. partielle Sicherheitsfaktoren)
  - Statische oder dynamische Materialfestigkeit: Falls dynamisch: wie definiert



- Verlangte Nachweise (Spannungen, Stabilität, Fundation, Nebenanlagen, Uferbereiche)

#### 4. Kontrollen nach einem Beben

- Kriterien für Durchführung von Kontrollen nach einem Beben
- Frist zur Ausführung einer Kontrolle nach einem Beben

#### 5. Starkbebeninstrumentierung

Falls verlangt:

- Wie viele Instrumente
- Organisation der Gerätewartung und der Dateninterpretation

### VERGLEICH DER ERDBEBENRICHTLINIEN DER NACHBARLÄNDER

Die detaillierten Zusammenstellungen der wichtigsten Parameter der Erdbebenrichtlinien befinden sich im Anhang 1 (Deutschland), Anhang 2 (Oesterreich), Anhang 3 (Frankreich) und Anhang 4 (Italien).

Der Stand der Erdbebenvorschriften, Richtlinien und Normen für Stauanlagen in den Nachbarländern ist sehr unterschiedlich.

**Deutschland:** Die deutsche Vorschrift ist die DIN 19700, die aus zahlreichen Teilen besteht und im Juli 2004 offiziell herausgegeben wurde.

**Österreich:** Bei der österreichischen Richtlinie handelt es sich um eine eher allgemein gehaltene Empfehlung. Sie kann als Stand der Praxis zur Berechnung von Talsperren unter Erdbebenwirkung betrachtet werden.

**Frankreich:** Der Entwurf einer neuen Erdbebenrichtlinie "Classification des barrages vis-à-vis des séismes", datiert vom Dezember 2003. Dieses Dokument ist weder eine Richtlinie noch ein Code; die französische Praxis wählt einen pragmatischen Weg und verlässt sich stark auf Experten.

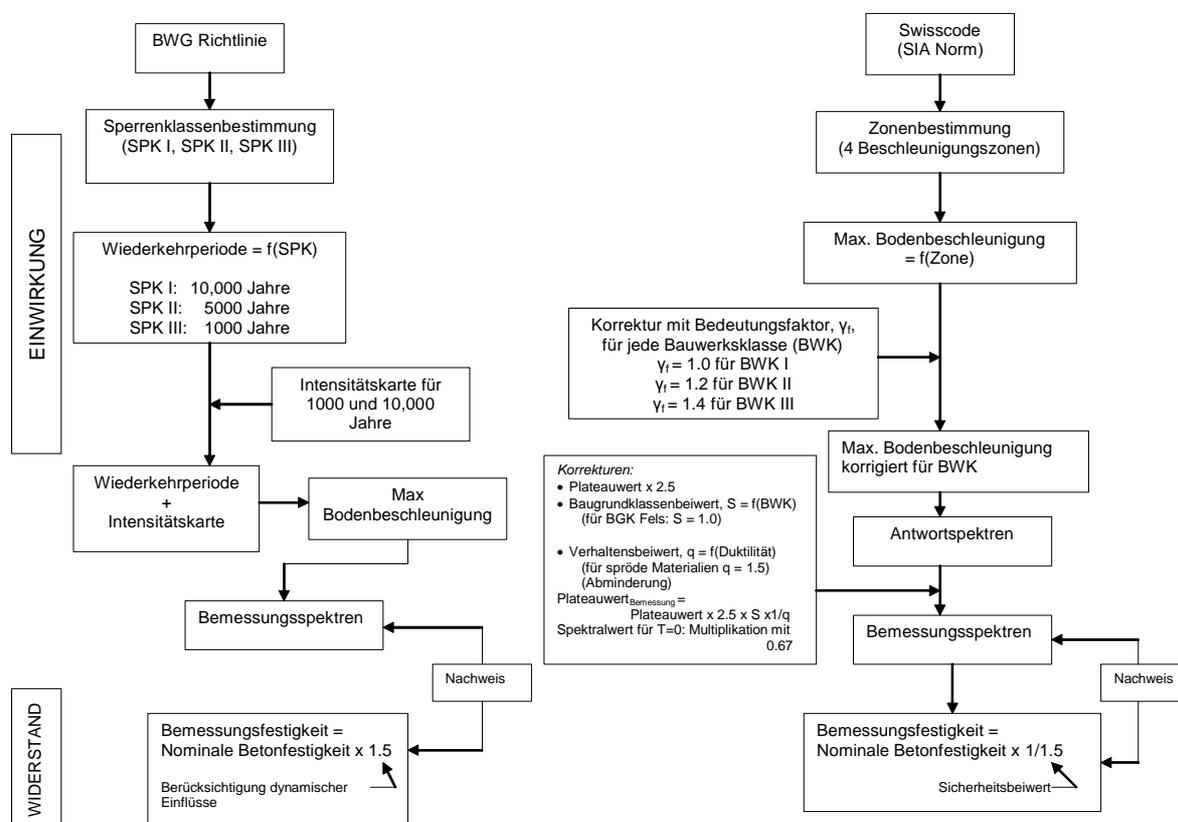
**Italien:** Die existierende Norm aus dem Jahre 1982 gilt nur für Bau und Unterhalt von Talsperren und wird zurzeit überarbeitet. Der Entwurf einer neuen Richtlinie für die Erdbebensicherheit von Talsperren existiert, muss jedoch zuerst von den zuständigen Behörden genehmigt werden.



## VERGLEICH DER BWG ERDBEBENRICHTLINIE MIT DEN SIA NORMEN

Ein separater Vergleich der BWG Erdbebenrichtlinie mit den Erdbebenartikeln der SIA Normen (Tragwerksnormen), die auf dem Eurocode 8 basieren, wurde ebenfalls durchgeführt (Anhang 5). Auch hier gilt wiederum zu berücksichtigen, dass die diesen Vorschriften zugrunde liegenden Konzepte unterschiedlich sind. Ein Vergleich ist für den Laien kaum möglich und benötigt viel Interpretationsspielraum.

Es ist deshalb strikte verboten, diese beiden Vorschriften miteinander zu vermischen; das heisst, die Erdbebensicherheit darf nur nach einer der beiden Vorschriften durchgeführt werden. Das gilt auch bei der Verwendung von Richtlinien und Vorschriften anderer Länder. Beispielsweise darf die DIN 19700 nicht zusammen mit der BWG Richtlinie verwendet werden etc. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die SIA Normen eigentlich für Stauanlagen nicht vorgesehen sind.



**Fig. 1: Vergleich der BWG Erdbebenrichtlinie mit den SIA Normen (auch Swisscode genannt)**

Im Folgenden ist ein Vergleich der Erdbebenvorschriften in den SIA Normen mit der BWG Richtlinie auf Bemessungsniveau dargestellt. Dieser ist in den beiden Flussdiagrammen der Figur 1 zusammengestellt. Die SIA Normen arbeiten mit Erdbebenzonen und Bauwerksklassen (BWK) und die BWG Richtlinie mit Intensitätskarten und Sperrenklassen (SPK). Es ist zu beachten, dass die Nummerierungen gegenläufig, d.h. SPK I ist die höchste Sperrenklasse, während BWK I die tiefste Bauwerksklasse bedeutet. Der Vergleich wird vorerst mit den drei Sperrenklassen bezüglich BWK I durchgeführt. Durch Einbezug der Bedeutungsfaktoren nach SIA wird der Vergleich zudem auch mit BWK II und III durchgeführt.

Die folgenden Schritte wurden durchgeführt:

- Bei den SIA Normen wird die maximale Bodenbeschleunigung in den verschiedenen Zonen mit einem Bedeutungsfaktor,  $\gamma_f$ , festgelegt:

BWK I:  $\gamma_f = 1.0$

BWK II:  $\gamma_f = 1.2$

BWK III:  $\gamma_f = 1.4$

Der Plateauwert des Antwortspektrums wird aus der maximalen Bodenbeschleunigung mit einem Faktor 2.5 und einem Beiwert für die Baugrundklasse S ermittelt. Für Fels beträgt der Baugrundklassenbeiwert  $S = 1.0$ . Daraus kann das Bemessungsspektrum abgeleitet werden, wobei ein Verhaltensbeiwert,  $q$ , der die Duktilität berücksichtigt, eingeführt wird. Für Beton wurde dieser Wert mit 1.5 eingesetzt. Der Spektralwert bei  $T = 0$  wird mit einem Faktor 0.67 multipliziert. Zwischen dem Spektralwert bei  $T = 0$  und dem Plateauwert wird das Bemessungsspektrum mit einer gegebenen Formel interpoliert.

- Bei der BWG Richtlinie wird zuerst die Wiederkehrperiode gemäss der Sperrenklasse festgelegt und dann mit Hilfe der Intensitätskarte die maximale Bodenbeschleunigung ermittelt. Die Festigkeit des Betons wird mit einem Faktor 1.5 erhöht, um die dynamischen Einflüsse zu berücksichtigen.
- Das Gebiet der Schweiz wird dann schliesslich in die verschiedenen Kantone oder Teile davon unterteilt und das Verhältnis der max. Bodenbeschleunigungen, die mit den beiden Verfahren erhalten werden, bestimmt.

Die wichtigsten Resultate lauten wie folgt:

- Beim Vergleich von SPK III mit BWK I zeigt es sich, dass die BWG Richtlinie an einigen Orten weniger konservativ als die Anforderungen der tiefsten Bauwerksklasse (BWK I) nach den SIA Normen ist.
- Für SPK II erreichen die Werte der BWG Richtlinie in den Gebieten Schwyz, Glarus und St. Gallen Süd selbst die Anforderungen der SIA Normen für BWK I nicht. An den übrigen Orten werden jedoch die Anforderungen für BWK II oder meist sogar BWK III erreicht.
- Für die SPK I werden die Anforderungen der BWK III mit Ausnahme der oben genannten Orte erreicht.

Schlussfolgerung aus dem Vergleich von BWG Richtlinie und SIA Normen:

- Es sollte überprüft werden, ob die BWG Richtlinie in verschiedenen Gebieten (mindestens in den genannten Gebieten (Schwyz, Glarus und St. Gallen (Süd)) für Sperren der Klasse I und II nicht zu tiefe Werte liefert.

Weiter scheint das Niveau der tiefsten Sperrenklasse (Klasse III) etwas tief im Vergleich zu den SIA Normen. Dies vor allem, wenn zudem berücksichtigt wird, dass die Bemessungsspektren nach SIA einer Wiederkehrperiode von 500 Jahren entsprechen, während die BWG Richtlinie für Sperrenklasse III eine Wiederkehrperiode von 1000 Jahren ansetzt.

Beim Vergleich der BWG Erdbebenrichtlinie mit den SIA Normen ist zu berücksichtigen, dass (i) die SIA Normen für Talsperren und Wasserkraftanlagen nicht gültig sind und (ii) Hoch- und Brückenbauten, die den Hauptanwendungsbereich der SIA Normen sind, ein anderes statisches Tragverhalten aufweisen als Talsperren.



## STARKBEBENAUFZEICHNUNGEN BEI TALSPERREN IN DER SCHWEIZ

In der Schweiz gibt es 32 Starkbebeninstrumente, die in den Talsperren Grande Dixence (Code SDI; Gewichtsmauer), Emosson (Code SEM; Bogenmauer), Mauvoisin (Code SMO; Bogenmauer), Punt dal Gall (Code SPG; Bogenmauer) und Mattmark (Code SMA; Schüttdamm) installiert sind ([http://seispc2.ethz.ch/strong\\_motion/SSMNetDam.jsp](http://seispc2.ethz.ch/strong_motion/SSMNetDam.jsp)).

Im weiteren gibt es 65 Freifeldstationen ([http://seispc2.ethz.ch/strong\\_motion/home.jsp](http://seispc2.ethz.ch/strong_motion/home.jsp)). Die Starkbebenstationen in der Schweiz sind in fig. 2 dargestellt.

In Tabelle 3 sind die von 1992-2005 registrierten maximalen Beschleunigungen dargestellt.

**Tabelle 3: Registrierte Spitzenbeschleunigungen (Freifeld und \*Talsperren) in der Schweiz von 1992-2005 (Schweiz. Erdbebendienst)**

Code	Datum und Zeit UTC	A <sub>max-a</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	A <sub>max-b</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	A <sub>max-c</sub> [cm/s <sup>2</sup> ]	Erdbeben
*SEM2	2005-09-08 11:27:07	243.05	498.08	266.52	Col de Balme (F)
*SEM3	2005-09-08 11:27:07	216.47	494.73	426.24	Col de Balme (F)
*SEM4	2005-09-08 11:27:07	73.75	135.30	47.89	Col de Balme (F)
*SEM1	2005-09-08 11:27:07	119.49	196.60	103.69	Col de Balme (F)
*SMAV	2005-09-08 11:27:09	103.99	134.40	57.39	Col de Balme (F)
SLTM	2003-05-06 21:59:33	68.18	45.86	15.94	Urnerboden (UR)
SLTM	2001-03-17 00:29:00	210.67	185.90	79.46	Linthal
*SEM2	2001-02-23 22:18:00	43.10	83.57	72.32	Martigny
*SEM3	2001-02-23 22:18:00	63.22	76.63	67.29	Martigny
*SPG2	1999-12-29 20:42:00	19.88	83.57	16.52	Bormio
*SPG3	1999-12-29 20:42:00	25.86	83.09	24.43	Bormio
*SPG4	1999-12-29 20:42:00	20.59	91.95	20.59	Bormio
SARG	1994-07-16 03:01:00	23.05	54.20	27.71	Sarnen
SCHH	1992-05-15 01:43:00	19.64	74.25	42.15	Buchs
SCHH	1992-05-09 11:23:00	10.06	63.23	29.22	Buchs

A<sub>max-a</sub>, A<sub>max-b</sub> sind die Horizontalkomponenten und A<sub>max-c</sub> ist die Vertikalkomponente des Beschleunigungsvektors

Beim Beben vom 8. September 2005 wurden beispielsweise auf der Mauerkrone von Emosson (Station SEM2) eine horizontale Spitzenbeschleunigung von  $498 \text{ cm/s}^2$  gemessen. Die effektive Beschleunigung war jedoch höher, da das Registriergerät auf einen Spitzenwert von  $0.5 \text{ g}$  eingestellt war. Es wurden trotz den hohen Beschleunigungen im Bereich der Krone keine Schäden beobachtet.

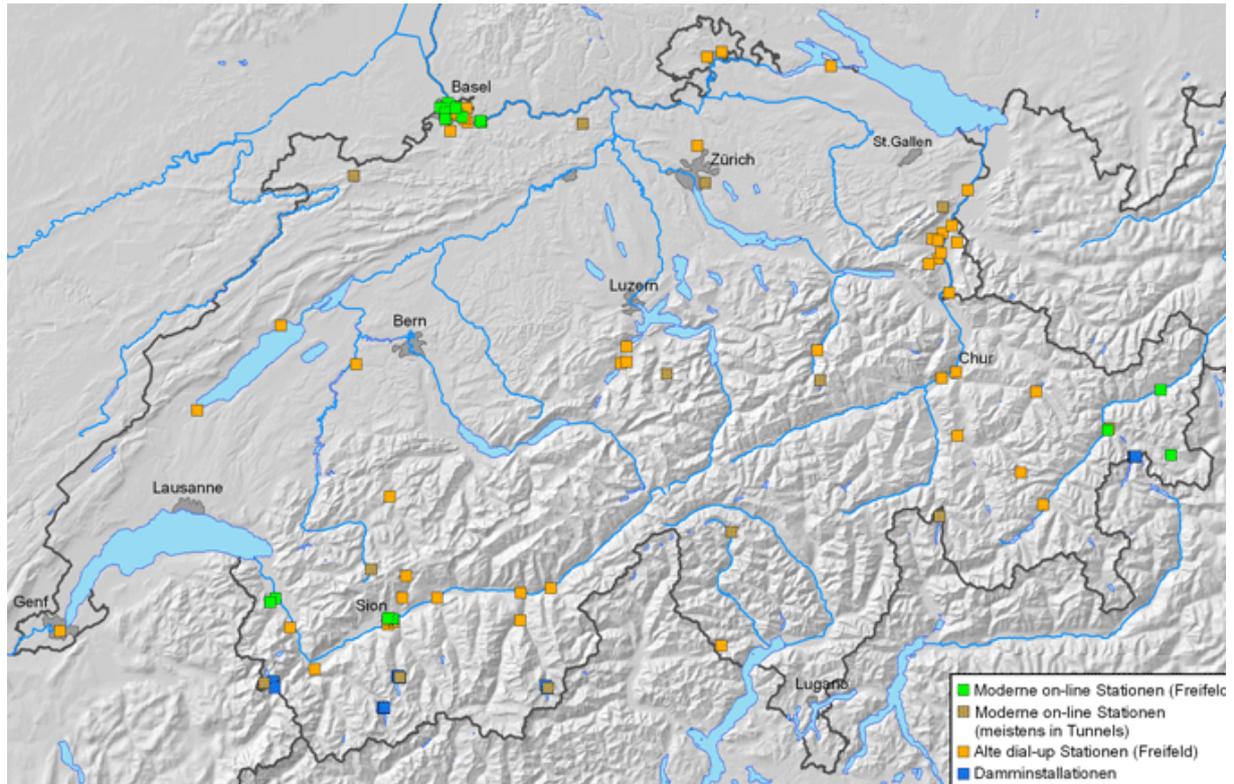


Fig. 2: Das Starkbebennetz des Schweizerischen Erdbebendienstes

## FOLGERUNGEN

- (1) Die Erdbebenrichtlinien für Stauanlagen werden vom ICOLD Erdbebenkomitee laufend angepasst und ergänzt. Das ICOLD Bulletin 62 Kontrolle von Stauanlagen nach einem Erdbeben ist 2008 revidiert und genehmigt worden und Bulletin 72 Erdbebenbemessungsparameter für Stauanlagen wird zurzeit überarbeitet.
- (2) Die internationale Entwicklung ist zu verfolgen, da es sich bei der Erdbebensicherheit von Talsperren um ein relativ junges Fachgebiet mit noch beträchtlichem Entwicklungspotential handelt
- (3) Von den Nachbarländern besitzt nur Deutschland eine genehmigte Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen. Die Dokumente der anderen Länder sind entweder nur Empfehlungen (A) oder befinden sich teilweise noch in Bearbeitung (F, I).
- (4) Da es sich bei der Erdbebenbemessung und Erdbebensicherheitsüberprüfung bestehender Talsperren um einen integralen Prozess handelt, ist ein Vergleich der verschiedenen Elemente (Erdbebengefährdung, Bemessungskriterien, Berechnungsmethoden, Beurteilungskriterien der dynamischen Antwort) eines Sicherheitsnachweises nur von bedingter Aussagekraft.



- (5) Die pseudostatische Erdbebenberechnung von grossen Talsperren ist überholt da das Erdbebenverhalten nicht realistisch bestimmt werden kann. Für Schüttdämme eignen sich vereinfachte Methoden für die Beurteilung der Böschungstabilität (Makdisi und Seed, 1978; Bray, 2007) und für die Abschätzung der erdbebenbedingten Deformationen kann die Methode von Bureau (1997) verwendet werden. Andere vereinfachte Methoden sind in der BWG Erdbebenrichtlinie enthalten. Pseudostatische Methoden kommen eigentlich nur für Abschätzungen in Frage, wenn die Erdbebengefährdung gering ist. (Anmerkung: Die Berechnung mit der vereinfachten Methode der Antwortspektren, wo nur die Beiträge der Grundschwingung berücksichtigt werden, gehört in die Kategorie der dynamischen Berechnungsverfahren.)
- (6) Als Basis für jede dynamische Berechnung empfiehlt es sich zuerst eine Eigenfrequenzanalyse gefolgt von einer linear-elastischen Berechnung im Zeitbereich durchzuführen.
- (7) Unter den Bodenbewegungen des Nachweisbebens ist bei Staumauern und Schüttdämmen mit nichtlinearen Effekten zu rechnen; demzufolge sind in Zukunft verstärkt nichtlineare Berechnungsmethoden zu verwenden. Die nichtlinearen dynamischen Berechnungsmethoden für Staumauern sind noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium und keine Methode hat sich in der Praxis durchgesetzt.
- (8) Die BWG Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen entspricht dem Stand der Technik und stellt auch für die Nachbarländer ein Referenzdokument dar.
- (9) Die Instrumentierung von Talsperren mit Starkbebengeräten hat sich bisher bewährt und wichtige Aufzeichnungen sind gemacht worden.
- (10) Beim Vergleich der BWG Erdbebenrichtlinie mit den SIA Normen ist zu berücksichtigen, dass (i) die SIA Normen für Talsperren und Wasserkraftanlagen nicht gültig sind und (ii) Hoch- und Brückenbauten, die den Hauptanwendungsbereich der SIA Normen sind, ein anderes statisches Tragverhalten aufweisen als Talsperren. Erstere sind in erster Linie für Vertikallasten auszulegen währenddem Talsperren als Hauptbelastung den (horizontalen) Wasserdruck aufnehmen müssen.
- (11) Obwohl die SIA Normen in einigen Gegenden bei verschiedenen Sperrenklassen der Staumauern höhere Anforderungen stellen als die BWG Erdbebenrichtlinie, ist dieser Sachverhalt aufgrund von Punkt (10) zu relativieren.



## EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BWG ERDBEBENRICHTLINIE

- (1) Die BWG Erdbebenrichtlinie entspricht internationalen Standards.
- (2) Die BWG Erdbebenrichtlinie ist mittelfristig umzusetzen, d.h. innerhalb einer Zeitspanne von etwa 10 Jahren.
- (3) Die Erdbebengefährdungskarten basieren auf den 1970er Jahren und sind zu ersetzen, sobald neue Gefährdungskarten für die verschiedenen Nachweisbeben vorliegen: kurz- bis mittelfristiger Handlungsbedarf. In etwa 5 Jahren sollten Ergebnisse vorliegen.
- (4) Szenarien für Erdbebenzeitverläufe sind für typische Sperrenstandorte zu definieren: mittelfristiger Handlungsbedarf.
- (5) Unsicherheiten in den Nachweisbeben sind im Hinblick auf die probabilistische Erdbebengefährdung auszuweisen: kurz- bis mittelfristiger Handlungsbedarf.
- (6) Der Gefährdung von Stauanlagen durch erdbebenbedingte Massenbewegungen im Stauraum ist verstärkt Rechnung zu tragen: mittelfristiger Handlungsbedarf.
- (7) Empfehlung für die Verwendung realistischer nichtlinearer Rechenmodelle bei Starkbeben: mittel- bis langfristiger Handlungsbedarf.
- (8) Beurteilungskriterien des dynamischen Verhaltens der verschiedenen Talsperrentypen sind zu überarbeiten (Spannungen in Staumauern und Deformationen in Schüttdämmen): mittelfristiger Handlungsbedarf.
- (9) Aufgrund der bisherigen Erfahrungen sind bei der BWG Richtlinie folgende Punkte bei Schüttdämmen zu revidieren: (i) Berechnung der Gleitverschiebungen unter Erdbebenbelastung und (ii) Beurteilungskriterien für Gleitverschiebungen.

Generell darf festgehalten werden, dass sich die BWG Richtlinie bisher bewährt hat und einen Erdbebensicherheitsnachweis nach dem heutigen Stand der Technik sicherstellt.



## REFERENZEN UND ERDBEBENVORSCHRIFTEN

### ICOLD Bulletins:

- ICOLD Bulletin 52 (1986), Earthquake Analysis Procedures for Dams – State of the Art, ICOLD, Paris.
- ICOLD Bulletin 62 (1988, revidiert 2008), Inspection of dam following earthquake, guidelines,
- ICOLD Bulletin 72 (1989): Selecting Seismic Parameters for Large Dams, Guidelines, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.
- ICOLD Bulletin 112 (1998): Neotectonics and dams, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.
- ICOLD Bulletin 113 (1999): Seismic observation of dams, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.
- ICOLD Bulletin 120 (2001): Design features of dams to effectively resist seismic ground motion, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.
- ICOLD Bulletin 123 (2002): Earthquake design and evaluation of structures appurtenant to dams, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.
- ICOLD Bulletin 137 (2008): Reservoirs and seismicity - State of knowledge, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, ICOLD, Paris.

### Erdbebenvorschriften für Stauanlagen:

**Deutschland:** DIN 19700 Stauanlagen; Deutsche Norm, 2004.

**Oesterreich:** Erdbebenberechnung von Talsperren, Band 3, Richtlinien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Österreichische Staubeckenkommission, 1996.

**Frankreich:** Classification des barrages vis-à-vis des séismes, Dezember 2003.

**Italien:** (i) Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento, Decreto ministero dei lavori pubblici, 24 marzo 1982 (alte noch gültige Vorschrift); (ii) Linea guida per la valutazione della sicurezza sismica delle dighe in esercizio, 2004 (neuer Entwurf).

### Schweiz:

- **BfE (vormals BWG):** Sicherheit der Stauanlagen, Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit, Berichte des BWG, Serie Wasser, Version 1.2 (März 2003), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG)  
Zeitverläufe der drei Komponenten für nicht lineare Berechnungen. Diese künstlichen Zeitverläufe weichen maximal 5% von den Spektren ab.  
Anwendungsbeispiel an Sperrern kleiner Stauhöhe
- **Normen SIA 260 (2004),** Grundlagen der Projektierung; SIA 261 (2004), Einwirkungen auf Tragwerke; SIA 262 (2004), Betonbau, Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein (SIA), Zürich



### Referenzen:

Bray J.D. and Travararou T. (2007), Simplified procedure for estimating earthquake-induced deviatoric slope displacements, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 133, No. 4, April

Bureau G. (1997), Evaluation methods and acceptability of seismic deformations in embankment dams, Q73, R.11, Proceedings 19th ICOLD Congress, Florence, Italy

Makdisi F. and Seed H. (1978), Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations, Journal of Geotechnical Engineering; 104(7): 849-867.

Reilly N. (2004), Comparison of some European guidelines for the seismic assessment of dams, Proc. Symposium on Dam Engineering, British Dam Society

Wieland M. (2002), Erdbeben und Talsperren, Wasser Energie Luft, 94. Jahrgang, Heft 9/10, Baden

Wieland M. (2004), Erdbebensicherheit von Stauanlagen, Wasser Energie Luft, 96. Jahrgang, Heft 1/2, Baden



## Anhang 1: DEUTSCHLAND

### Teil 1: Wichtigste Parameter der Erdbebenvorschriften von Deutschland

#### 1. Allgemeines

Titel des Dokumentes:	Stauanlagen	Teil 10: Gemeinsame Festlegungen Teil 11: Talsperren Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken Teil 13: Staustufen Teil 14: Pumpspeicherbecken Teil 15: Sedimentationsbecken
Status des Dokumentes:		Norm, DIN 19700-10 bis 19700-15 (Erdbeben Teile 10 und 11)
Jahr der letzten Version:		2004
Anwendungsbereich:		Neue Talsperren, bestehende Talsperren, Staumauern, Schüttdämme, Nebenbauwerke (s. oben)
Klassifizierung der Talsperren nach Gefahrenpotential:		Talsperrenklasse 1: $h > 15 \text{ m}$ , $V > 1'000'000 \text{ m}^3$ Talsperrenklasse 2: alle übrigen
Anforderungen an den Ingenieur:		Keine spezielle Ausbildung vorgeschrieben (z.B. Hochschulabschluss), jedoch Erfahrung verlangt (an Projekten selbst gearbeitet oder mitgewirkt haben). Der verantwortliche Ingenieur ist zu benennen.

#### 2. Einwirkungen

Erdbebenbemessungskonzept:		Gemäss seismischem Gutachten; kein spezifisches Bemessungskonzept vorgeschrieben, DIN 4149-1 gilt nur für Hochbauten
Maximale Bodenbeschleunigungen horizontal gemäss DIN 4149-1 (Hochbauten):		
	Zonen A und O	0
	Zone 1	$0.25 \text{ m/s}^2 = 0.025 \text{ g}$
	Zone 2	$0.40 \text{ m/s}^2 = 0.041 \text{ g}$
	Zone 3	$0.65 \text{ m/s}^2 = 0.066 \text{ g}$
	Zone 4	$1.00 \text{ m/s}^2 = 0.098 \text{ g}$

Reduzierte Bodenbeschleunigung horizontal für rechnerische Nachweise bei Hochbauten zulässig. Vertikalbeschleunigung braucht in der Regel nicht berücksichtigt zu werden (DIN 4149-1).



Wiederkehrperioden für verschiedene Erdbeben gemäss DIN 19700-11:

1. Bemessungserdbeben	Talsperrenklasse 1	2500 Jahre
	Talsperrenklasse 2	1000 Jahre
2. Betriebserdbeben	Talsperrenklasse 1	500 Jahre
	Talsperrenklasse 2	100 Jahre

Standortspezifische Untersuchungen: Seismisches Gutachten verlangt.

Seismizität des Landes  
(seismische Zonen):

6 Zonen; A, 0, 1 bis 4 (DIN 4149-1)

Spitzenbeschleunigungen für Standorte an CH-Grenze (DIN 4149-1):

D Basel Zone 4 1.00 m/s<sup>2</sup>

D Konstanz Zone 3 0.65 m/s<sup>2</sup>

D Bodensee Zone 2 0.40 m/s<sup>2</sup>

Antwortspektrum DIN 4149-1:

Maximalwert 1,0 für 5 % Dämpfung.

### 3. Nachweise

Verlangte Nachweise: Gemäss DIN 19700-10 S. 16

Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Betriebserdbeben)

Sicherheitsnachweis (Bemessungserdbeben)

Erdbebennachweis: Berechnungsmethoden sowohl pseudostatisch wie dynamisch, linear wie nichtlinear (DIN 19700-11, S. 34, 41)

An Standorten, an denen der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung des Bemessungserdbebens 4 % der Erdbeschleunigung  $g$  unterschreitet, darf auf Nachweise gegenüber Erdbeben verzichtet werden (DIN 19700-10, S. 17).

Bei Absperrbauwerken der Talsperrenklasse 2 genügen im Allgemeinen Erdbebennachweise mit quasistatischen Ersatzlasten, ermittelt mit dem 1.0-fachen Wert der Bodenbeschleunigung.

Dies gilt auch für Absperrbauwerke der Talsperrenklasse 1 bis 40 m Höhe, wobei bei Staumauern mit dem 2.5-fachen Wert der Bodenbeschleunigung zu rechnen ist.

Bei höheren Absperrbauwerken ist eine Untersuchung des Tragwerkes mittels dynamischer Berechnungsmodelle erforderlich.

Zulässige Sicherheitsfaktoren:

Es wird zwischen folgenden Bemessungssituationen unterschieden

BS I: Ständige Bemessungssituation

BS II: Vorübergehende Bemessungssituation

BS III: Aussergewöhnliche Bemessungssituation.



## A. Dämme

Gesamtsicherheitsbeiwerte für Staudämme:

BS I = 1.3

BS II = 1.2

BS III = 1.1

Nachweise der

Hydraulischen Sicherheit

Risssicherheit

Verformungen (DIN 19700-11, S. 38/39)

Die Berechnungsmethoden sind nicht vorgeschrieben.

## B. Betonsperren

Gesamtsicherheitsbeiwerte für Staumauern:

Gesamtsicherheitsbeiwerte  
in Bemessungssituation (BS)

Tragsicherheitsnachweise für:	BS I	BS II	BS III
• Hauptdruckspannungen bei unbewehrtem Beton, Bruchsteinmauerwerk und Fels	2.1	1.7	1.2
• Gleitsicherheit in der Sohlfuge und in Bauwerksfugen	1.5	1.3	1.2
• Gleitsicherheit bei Trennflächen im Fels	2.0	1.5	1.2

Schäden: sind unter Nachweis mit den vorstehend aufgeführten Gesamtsicherheitsbeiwerten teilweise zugelassen (DIN 19700-11, S. 41).

Die Berechnungsmethoden sind nicht vorgeschrieben.

Modellbildung: sowohl Balkentheorie wie auch Finite-Elemente

## 4. Kontrollen nach einem Beben

Keine expliziten Vorschriften.

## 5. Starkbebeninstrumentierung

Keine expliziten Vorschriften. Hinweis in DIN 19700-11, S. 54: Die Registrierung von Erdbebenvorgängen kann in besonderen Fällen erforderlich werden.

## Teil 2: DIN 19700 Sicherheit gegenüber Erdbeben

*Hans-Ulrich Sieber*

Die DIN 19700-10 und 11:2004 liefern für die Nachweise gegenüber Erdbeben als weiteres gefahrdrohendes natürliches Ereignis ein neues eigenständiges Konzept. Die Regelungen für Staumauern in DIN 19702 [5] werden damit verlassen. Die neuen Regelungen gelten gemäß dem in Abschn. 5 erläuterten Zuverlässigkeitskonzept für Staumauern und Staudämme gleichermaßen. Die Nachweise gegenüber Erdbeben sind für zwei Erdbebenfälle zu führen:

- Im Erdbebenfall 1 ist ein Betriebserdbeben anzunehmen, dem die Stauanlage ohne Einschränkungen widerstehen muss. Insoweit ist der Erdbebenfall 1 dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zugeordnet. Das Betriebserdbeben ist dabei dem Lastfall 2 zugewiesen.
- Im Erdbebenfall 2 ist ein Bemessungserdbeben zu wählen, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit kleiner als die des Betriebserdbebens ist. Das Betriebserdbeben muss die Stauanlage ohne globales Versagen überstehen. Bauliche Schäden am Absperrbauwerk dürfen hingenommen werden, wenn seine Tragsicherheit erhalten bleibt. Insoweit ist der Erdbebenfall 2 dem Tragsicherheitsnachweis zuzuschreiben. Das Bemessungserdbeben ist dabei dem Lastfall 3 zugeordnet.

Die Lastfälle 2 und 3 ergeben sich aus Kombinationen von Einwirkungen auf das Absperrbauwerk. Darunter befinden sich die Einwirkung Betriebserdbeben, beziehungsweise Sicherheitserdbeben. Details sind in E DIN 19700-11 erläutert.

Die klassifizierungsabhängigen Vorgaben für die Überschreitungswahrscheinlichkeiten des Betriebs- und des Bemessungserdbebens sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die für das Bemessungserdbeben von Talsperren der Klasse 1 vorgegebene jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $4 \times 10^{-4}$  orientiert sich an den aus geotektonischer Sicht in Deutschland existierenden Grenzen für die Erdbebenentstehung.

Ein Novum in DIN 19700-10:2004 ist, dass unterhalb des 0.04 g betragenden Schwellenwertes der Bodenbeschleunigung des Bemessungserdbebens auf Nachweise gegenüber Erdbeben vollständig verzichtet werden darf. Die Verfahren für die Führung von Erdbebennachweisen sind freigestellt. Nur bei hohen Absperrbauwerken werden dynamische Berechnungsmodelle gefordert. Ansonsten genügen pseudo-statische Ersatzlastverfahren. Die Gebrauchstauglichkeit gegenüber dem Betriebserdbeben braucht gegebenenfalls nur durch die Eignung der gewählten Konstruktion zur Kraftübertragung unter zyklischen Bedingungen nachgewiesen zu werden.

### Quellenverzeichnis

[1] DIN 19700 Stauanlagen, Ausgabe 1986

Teil 10 Gemeinsame Festlegungen

Teil 11 Talsperren

Teil 12 Hochwasserrückhaltebecken

Teil 13 Staustufen

Teil 14 Pumpspeicherbecken

Teil 15 Sedimentationsbecken

[2] DIN 19700 Stauanlagen, Ausgabe 2004 Teile 10 bis 15 wie unter [1]



[3] TGL 21239 Blatt 9 DDR-Fachbereichsstandard Talsperren, Betriebseinrichtungen, Ausgabe 1976

[4] DIN 1055-100 Einwirkungen auf Tragwerke, Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, Ausgabe 2001

[5] DIN 19702 Standsicherheit von Massivbauwerken im Wasserbau, Ausgabe 1992.

**Tabelle 1 Betriebs- und Bemessungsbeben für Talsperren**

<b>Erdbebenfall</b>	<b>Allgemeine Forderungen an Stauanlagen DIN 19700-10 (2004)</b>	<b>Spezifische Forderungen an Talsperren DIN 19700-11 (2004)</b>	<b>Einzuhaltende Bedingungen</b>
<b>1 Betriebs- erdbeben</b>	Erdbeben, das während der technischen Nutzungsdauer erwartet werden kann	<b>TS-Klasse 1:</b> $p_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ (T = 500 a)  <b>TS-Klasse 2:</b> $p_0 = 10^{-2}$ (T = 100 a)	Keinerlei Beeinträchtigung der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit
<b>2 Bemessungs- erdbeben</b>	Erdbeben, das wesentlich größer als das Betriebs-erdbeben ist und nach wissenschaftl. Erkenntnis äußerst selten auftreten kann	<b>TS-Klasse 1:</b> $p_0 = 4 \cdot 10^{-4}$ (T = 2500 a)  <b>TS-Klasse 2:</b> $p_0 = 10^{-3}$ (T = 1000 a)	Schäden, die die Tragsicherheit des Absperrbauwerkes nicht gefährden, können hingenommen werden

**Nachweisentfall, wenn Bemessungswert der Bodenbeschleunigung des Bemessungserdbebens < 0,04 g**

TS = Talsperre

T = Wiederkehrperiode

$p_0$  = Überschreitungswahrscheinlichkeit

a = Jahr



## Anhang 2: ÖSTERREICH

### Wichtigste Parameter der Erdbebenvorschriften von Österreich

#### 1. Allgemeines

Titel des Dokumentes: Erdbebenberechnung von Talsperren (Band 3: Richtlinien)  
(total 6 Bände, davon 3 mit Beispielen)

Überwachungsbehörde: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft  
Österreichische Staubeckenkommission

Status des Dokumentes: Empfehlungen (Band 3 = Richtlinien)  
Richtlinie als Leitfaden und nicht als Norm zu verstehen

Jahr der letzten Version:

Band 1: Grundlagen	2001	(31 Seiten)
Band 2: Erdbebenkennwerte	1996	(85 Seiten)
Band 3: Richtlinien	1996	(22 Seiten)
Band 4: Beispiel Gewichtsmauer	1998	(43 Seiten)
Band 5: Beispiel Gewölbemauer	1999	(31 Seiten)
Band 6: Beispiel Erddamm	2001	(31 Seiten)

Anwendungsbereich: Neue Talsperren und Nachrechnungen (Sicherheitsanalysen, nicht erwähnt unter welchen Umständen). Talsperren und Speicherbecken, Flussstauwerke, Retentionsbecken, Hochwasserschutzbauten.

Klassifizierung der Talsperren nach Gefahrenpotential: Nein

Anforderungen an Ingenieur: Keine Angaben

#### 2. Einwirkungen

Erdbebenbemessungskonzept: OBE und MCE

Ermittlung der seismischen Gefährdung am Standort:

OBE: probabilistisch --> Isolinienkarte

MCE: deterministisch (aufgrund Geologie) --> Zonenkarte

Maximale Bodenbeschleunigung (PGA):

OBE: Isolinien von  $0.6 \text{ m/s}^2$  bis  $1.4 \text{ m/s}^2$

MCE: 5 Zonen von  $1.1 \text{ m/s}^2$  bis  $3.0 \text{ m/s}^2$

Vertikale Beschleunigung:  $2/3$  der Horizontalkomponente

Reduzierte Bodenbeschleunigung für rechnerische Nachweise:

Effektive Beschleunigung =  $0.7 \times$  maximale  
Bodenbeschleunigung

Wiederkehrperioden für verschiedene Erdbeben (probabilistisch):

Sicherheitserdbeben (MCE): Deterministische Berechnung

Betriebserdbeben (OBE): 200 Jahre (Überschreitung von 39.3% in 100 Jahren)



Standortspezifische Untersuchungen: Keine Angaben

Seismizität des Landes: Aufteilung in 15 Regionen (für Analysen)

Spitzenbeschleunigungen für Standorte an CH-Grenze:

OBE (Wahrsch. $5 \times 10^{-3}$ /Jahr):	1.0 m/s <sup>2</sup> bei Liechtenstein
	0.6 m/s <sup>2</sup> beim Bodensee
MCE:	1.7 m/s <sup>2</sup> (ganze Grenze Zone C)
CH-Richtlinie (Wahrsch. $10^{-3}$ ):	1.3 m/s <sup>2</sup> bei Liechtenstein
	1.1 m/s <sup>2</sup> beim Bodensee
CH-Richtlinie (Wahrsch. $10^{-4}$ ):	2.7 m/s <sup>2</sup> bei Liechtenstein
	2.1 m/s <sup>2</sup> beim Bodensee

Plateauwerte der Antwortspektren (für Felsuntergrund):

2 % Dämpfung:	3.66	von 2.35 Hz bis 10 Hz
5 % Dämpfung:	2.71	von 2.20 Hz bis 10 Hz
10 % Dämpfung:	1.99	von 2.03 Hz bis 10 Hz

Zeitverläufe:

Grafische Darstellung in der Richtlinie  
(Zahlenwerte können auf Anfrage bezogen werden)  
Minstdauer: 15 s bis 0.15g  
20 s ab 0.15g

### 3. Nachweise

Verlangte Nachweise: Für Talsperren mit  $h > 15\text{m}$  oder  $V > 500'000\text{m}^3$ : OBE- und MCE-Nachweis. Für alle anderen Talsperren: Nur OBE-Nachweis. Abweichungen von dieser Regel bei besonderer Gefahr.

Versagenskriterien: OBE = Ausserplanmässige Einwirkung (Aussergewöhnlicher Lastfall, Klasse II): Die Betriebssicherheit der Anlage muss gewährleistet sein und es dürfen keine nennenswerten Schäden auftreten.  
MCE = Extreme Einwirkung (Katastrophenlastfall, Klasse III): Es darf kein Versagen mit unkontrolliertem Wasserabfluss auftreten.

Sicherheiten: Die Nachweise gegen die Versagenskriterien müssen mit entsprechender Sicherheit erfüllt sein. Für Dämme gelten gemäss Dammbaurichtlinien Mindestsicherheiten gegen Gleiten von 1.2 für OBE und 1.1 für MCE. Für Betonsperren sind die Mindestsicherheiten jeweils im Einvernehmen mit der Behörde festzulegen.

Umfang: Gesamte Stauanlage zu beurteilen, d.h. auch Talhänge und Nebenanlagen. Für Nebenanlagen gelten die gleichen Gesichtspunkte (Versagenskriterien für OBE und MCE) wie für die Sperre.



## A. Berechnung von Dämmen

- Berechnungsmethode:** Standardmethode = Antwortspektrenmethode oder Zeitverlaufmethode. Antwortspektrenmethode bei linearen Berechnungen, bei Nichtlinearitäten (z.B. infolge grossen Verzerrungen oder Deformationen) Zeitverlaufmethode notwendig. Evtl. dynamische Näherungsverfahren oder pseudostatische Methoden für Dämme entsprechend den Dammbaurichtlinien. Es wird jedoch empfohlen, auf diese Methoden zu verzichten.
- Modellbildung:** Standardmethode = Methode der Finiten Elemente.  
Dämme: 2-dimensionales FE-Modell, Gleitkörpermodell für Dammberechnungen nach den Empfehlungen der Dammbaurichtlinie.  
Der Untergrund ist im Allgemeinen zu berücksichtigen, ausser bei Dämmen auf sehr steifem Untergrund.  
Der Einfluss des Wassers kann vernachlässigt werden.
- Materialkennwerte:** Steifigkeiten: Im Allgemeinen linear elastisches Materialgesetz (Schub- und Kompressionsmodul, Dämpfungsmass). Materialkennwerte oft nichtlinear, d.h. mittleres Spannungsniveau und Porenwasserdruck sollte bekannt sein. Kennwerte aus Labor- oder Feldversuchen, z.T. aus Literatur. Bereich der Dämpfung 5-15%. Dynamische Scherversuche, Triaxial- oder Torsionsversuche nur in Sonderfällen erforderlich.  
Festigkeiten: Scherfestigkeit. Kennwerte aus statischen Versuchen. Dynamische Versuche in speziellen Fällen erforderlich.
- Dynamische Werte:** Dynamische Werte können tiefer als statische sein. Durch zyklische Belastung ist ein Anstieg des Porenwasserdrucks oder Bodenverflüssigung möglich. Dynamische Verhältnisse sind gemäss Dammbaurichtlinien zu beurteilen.
- Normale Betriebslasten:** Eigengewicht, Wasserlast, Porenwasserdrücke bzw. Sickerströmungsverhältnisse, Kluftwasserdrücke.
- Verlangte Nachweise:** Standsicherheitsnachweis: Maximale Beanspruchungen dürfen die Festigkeiten mit der erforderlichen Sicherheit nicht überschreiten. Gleitsicherheitsnachweis entlang der ungünstigsten Gleitfläche.  
Verformungsnachweis: Nur bei Überschreiten der Standsicherheit notwendig. Nachweis, dass die bleibenden Verformungen und Schädigungen ein tolerierbares Ausmass nicht überschreiten.

## B. Berechnung von Betonsperren (über Wehre wird nichts gesagt)

- Berechnungsmethode:** Standardmethode = Antwortspektrenmethode oder Zeitverlaufmethode. Antwortspektrenmethode bei linearen Berechnungen, bei Nichtlinearitäten (z.B. infolge Schäden oder Fugenöffnungen) Zeitverlaufmethode notwendig. Evtl. dynamische Näherungsberechnungen oder pseudostatische Berechnungen für Bauwerke von untergeordneter Bedeutung. Es wird jedoch empfohlen, auf diese Methoden zu verzichten.
- Modellbildung:** Standardmethode = Methode der Finiten Elemente.



Gewichtsmauern: 2-dimensionales FE-Modell, Stabmodell für Bauwerke von untergeordneter Bedeutung.  
Bogenmauern: 3-dimensionales FE-Modell, Trägerrostmodell für Bauwerke von untergeordneter Bedeutung.  
Der Untergrund ist im Allgemeinen zu berücksichtigen, ausser bei Bauwerken von untergeordneter Bedeutung.  
Der Einfluss des Wassers ist als mitschwingende Wassermasse (nach Westergaard) zu berücksichtigen.

**Materialkennwerte:** Steifigkeiten: Im Allgemeinen linear elastisches isotropes Material mit viskoser Dämpfung (E-Modul, Querdehnungszahl, Dämpfungskonstante). Kennwerte aus statischen Versuchen. Erhöhung des E-Moduls um den Faktor 1.3 zulässig. Richtwert der Dämpfung 5%. Für die Elastizität des Untergrunds ist die Klüftung zu berücksichtigen.  
Festigkeiten: Druck-, Zug- und Schubfestigkeit, bei Klüften Scherfestigkeit. Kennwerte aus statischen Versuchen. Dynamische Versuche in speziellen Fällen erforderlich.

**Dynamische Werte:** Dynamische Werte sind im Allgemeinen grösser als statische. Eine Erhöhung der statischen Festigkeiten ist zulässig, wenn vergleichbare Versuchsergebnisse vorliegen.

**Normale Betriebslasten:** Eigengewicht, Wasserlast, Temperatur, Sedimentdruck, Sohlen- und Kluftwasserdrücke.

**Verlangte Nachweise:** Standsicherheitsnachweis: Maximale Beanspruchungen dürfen die Festigkeiten mit der erforderlichen Sicherheit nicht überschreiten. Nachweis für Zug-, Druck- und Schubspannungen (Tragsicherheitsnachweis) und Nachweis für Gleitsicherheit (Stabilitätsnachweis).  
Verformungsnachweis: Nur bei Überschreiten der Standsicherheit notwendig. Nachweis, dass die bleibenden Verformungen und Schädigungen ein tolerierbares Ausmass nicht überschreiten.

#### 4. Kontrollen nach einem Beben

**Kriterien:** Kontrolle erforderlich nach Erdbeben mit einer MSK-Intensität von V im Bereich der Stauanlage oder

Richter Magnitude	Entfernung Epizentrum-Stauanlage.
≥ 4	≤ 25 km
≥ 5	≤ 50 km
≥ 6	≤ 80 km
≥ 7	≤ 125 km
≥ 8	≤ 200 km

Generell sind Anweisungen für den Erdbebenfall in die Betriebs- und Überwachungsordnung aufzunehmen.

**Frist:** Unmittelbare Inspektion und Sicherheitsbeurteilung erforderlich. Keine Angaben über Kontrollpersonal (Werk, Überwachungsingenieur, Talsperrenexperte).



## 5. Starkbebeninstrumentierung

Ausmass: Ob und in welchem Ausmass Messgeräte zur Aufzeichnung von Erdbebenerschütterungen anzuordnen sind, ist jeweils im Einvernehmen mit der Behörde festzulegen. Zumindest die grösseren Anlagen sollten damit ausgerüstet sein. Für eine Sperre sind mindestens 3 Geber (Sperrenfuss, Krone, Freifeld) anzuordnen, für genauere Schwingungsanalysen entsprechend mehr.

### Generelle Bemerkungen

Die österreichische Richtlinie ist sehr allgemein und knapp gehalten. Sehr oft tauchen Begriffe wie "im Allgemeinen", "in der Regel", "angemessen", "tolerierbar" usw. auf. Ausnahmefälle werden durch Ausdrücke wie "untergeordnete Bedeutung", "spezielle Bedeutung", hervorgehoben, wobei es dem Anwender überlassen ist, diese Begriffe zu deuten.

Die Richtlinie wird im Grundlagendokument als "Empfehlung" beschrieben, und es ist ausdrücklich erwähnt, dass sie nicht als Norm zu verstehen ist. Es ist auch kein Datum des in Kraft Tretens sowie eine Zeitspanne erwähnt, in welcher gewisse Sperren nachzurechnen sind. Ebenso gibt es keine Anforderungskriterien für den Berechnungsingenieur. Die Richtlinie bietet einen Leitfaden für den Fall, dass bei einer Sperre eine Erdbebenberechnung durchgeführt wird, gibt aber keine Hinweise, unter welchen Umständen dies zu erfolgen hat. Sie gleicht einem Dokument, das angibt, wie eine Erdbebenberechnung bei Talsperren nach heute anerkannten Methoden ("state of the art") durchzuführen ist.



## Anhang 3: FRANKREICH

### Caractéristiques des recommandations parasismiques pour les barrages en France

#### 1. Généralités

**Document de référence:** "CLASSIFICATION DES BARRAGES VIS-À-VIS DES SÉISMES"

**Statut du document:** Recommandations

**Auteurs:** Un groupe de travail de différents organismes français étatiques, universitaires et privés, probablement issus du Comité français des Grands Barrages.

**Date de la dernière version:** Décembre 2003

**Domaine d'utilisation:** Il s'agit d'un guide pour définir les ouvrages à risques sur le plan du risque sismique, auquel on a joint des recommandations pour la détermination de l'aléa sismique ainsi que sur les possibles méthodes de calcul. **Ce texte n'a pas de caractère normatif.**

**Classification des barrages selon le risque:** oui

En fonction de 3 critères:

- La sensibilité du barrage définie par 4 caractéristiques
- La séismicité du site: prend en compte le séisme historique maximal selon qu'il est d'intensité MSK inférieur ou supérieur à VIII
- Les conséquences pour la population à l'aval. Actuellement le risque potentiel est mesuré par une formule en fonction de la hauteur de l'ouvrage et du volume de la retenue.

**Classe d'ouvrages:** Oui.

Il y a 2 classes définies par la séismicité au site. Selon le critère retenu ( $I > VIII$ ) il y aurait une quinzaine de barrages à vérifier. La sensibilité de chaque ouvrage sert à dresser un ordre de priorité. Le dernier critère (risque potentiel) semble jouer un rôle de second ordre.

**Qualification des ingénieurs responsables des études:**

Il est dit à différentes reprises que l'évaluation est affaire d'expert sans que ses compétences ne soient précisées.

**Remarques:** Il n'y a pas de différence essentielle par rapport au rapport de travail de mars 1997. Visiblement **la tâche de cette commission n'est pas d'établir une norme ou des directives de nature contraignantes mais une méthode pour définir les barrages soumis aux plus forts risques**

**sismiques.** Il n'est proposé ni calendrier ni contrainte pour procéder au contrôle souhaité.

Quant à la méthode à utiliser, elle n'est pas fixée non plus, sauf peut être pour l'aléa sismique pour lequel une seule méthode, décrite en termes généraux avec un exemple succinct est proposée.

Les méthodes de calculs sont également décrites en termes très généraux mais le choix est laissé dans chaque cas au jugement du responsable de l'analyse.

## 2. Détermination de l'aléa sismique

Le groupe de travail propose de définir le séisme dit de référence, équivalent au séisme maximum possible (MCE), à l'aide d'une démarche déterministe en accord avec les recommandations figurant dans le bulletin n° 72 de la CIGB (ICOLD) publié en 1989.

**Types de séismes:** Séisme de référence (MCE)

**Evaluation du risque sismique au site:** Approche déterministe à l'aide de zones source linéiques, surfaciques ou ponctuelles. Le potentiel maximum d'une source est celui du **plus fort séisme observé** placé au point de la source le plus proche du site. L'intensité max. est celle de la source la plus pénalisante, compte tenu de l'atténuation liée à la distance. Un ensemble de corrélations empiriques lie l'intensité à la magnitude et celle-ci au spectre de réponse. Il n'est pas spécifié comment ce spectre est obtenu à partir de l'intensité maximum ressentie au site. Dans l'exemple présenté, deux zones surfaciques proches du site sont considérées comme critiques. Les plus grands séismes observés dans ces deux zones datent de 1644, respectivement de 1831. Pour ces événements on n'a évidemment rien d'autre qu'une estimation de l'intensité au site. (Dans le cas cité, ils étaient considérés de niveau VIII MSK.) On ne dit pas quelle méthode on propose pour passer de l'intensité au spectre ou à l'accélération maximum au sol.

**Accélération maximum au sol (PGA):** Pas défini.

**Accélération au sol réduite pour calcul de contrôle (accélération effective):** Pas défini.

Il est toutefois précisé dans le chapitre sur les méthodes de calculs que, pour la méthode pseudo-statique appliquée aux barrages en béton ou en maçonnerie, le coefficient sismique à prendre en compte était les 2/3 de l'accélération maximum au sol (PGA) pour la composante horizontale et de 1/5 pour la composante verticale. Pour les barrages voûtes, réputés peu sensibles à la composante verticale, on propose de prendre des coefficients de pondération de respectivement 1. (composante horizontale) et 0. (composante verticale)

### Période de retour pour différents séismes et différentes classes de barrages

- a. **Séisme de référence (MCE):** L'analyse est déterministe ce qui exclut une période de retour. Le séisme de référence est le plus élevé observé pendant la période historique, augmenté le cas échéant d'un demi point.



- b. Séisme de sécurité (MDE):** L'analyse est également déterministe. Le séisme de référence est le plus élevé observé pendant la période historique.
- c. Séisme "d'exploitation" (OBE):** Pas défini. Il est dit que "ce niveau de protection ne vise plus la protection des tiers, mais seulement la sécurité technique et économique de l'exploitant"
- Barrages de classe 1, 2, 3:** L'évaluation est la même quelle que soit la classe de l'ouvrage (la classe ne sert qu'à fixer l'urgence d'une analyse de contrôle). Ainsi quelle que soit la classe du barrage, il faut des études spécifiques à chaque site. On n'utilise ainsi pas de carte de sismicité du pays (Zones sismiques): Elles sont à définir chaque fois à partir d'une étude d'aléa sismique particulière, adaptée au site.

***Il n'est pas proposé de travailler à partir d'une carte séismo-tectonique.***

**Accélération de pic aux frontières avec la Suisse:  
(Bâle et Genève):** Pas connue.

**Si des spectres de réponse sont donnés,  
valeurs de plateau pour 5% d'amortissement:**

Dans les deux exemples de spectres donnés, le rapport, mesuré, entre l'accélération de pic au sol et le maximum (ces spectres n'ont pas vraiment de plateau) est d'environ 2.2. Il n'est pas dit quel est l'amortissement, mais dans le corps du texte on précise qu'il est généralement de 5%.

### 3. Analyses de contrôle

**Analyses demandées:**

**Contrôle de l'aptitude au service (séisme d'exploitation):** non.

**Contrôle de la sécurité ultime (séisme de sécurité):** oui.

**Méthode de contrôle (pseudo statique, dynamique, linéaire, non linéaire):**

Le chapitre consacré aux méthodes de calculs ne fournit que des informations d'ordre général. Plusieurs méthodes sont proposées. ***Le choix est laissé au libre arbitre du spécialiste.*** Il est dit que: "Le choix de la ou des méthodes de calcul à mettre en œuvre doit prendre en considération d'une part les caractéristiques des ouvrages, celles des matériaux, d'autre part la sismicité des sites.

Il est donc difficile de définir a priori la ou les méthodes qui devront être utilisées sur un site donné. Il est recommandé cependant d'observer une progressivité dans les niveaux d'études mis en œuvre en commençant par des études simples de type pseudo-statique avant d'aborder, si nécessaire, des modélisations plus complexes."

### 3.1. Barrages en béton

On mentionne quatre types de méthodes:

- L'approche pseudo-statique dans le cadre d'un calcul simplifié.
- Les méthodes pseudo-dynamiques telles que la méthode simplifiée de Chopra
- Les modèles élastiques linéaires
- Les modèles non-linéaires, perçus essentiellement dans la perspective de la recherche et du développement.

#### **Contraintes admissibles, coefficient de sécurité, déformations admissibles, etc.:**

Rien n'est spécifié, mais dans les deux exemples proposés (digue et barrage poids) on a procédé à des essais in situ et de laboratoire.

### 3.2. Barrages en remblai

On précise que l'étude doit vérifier qu'aucune situation sismique ou post-sismique ne déclenche un quelconque mode de rupture. La démonstration doit se faire en deux étapes:

- L'identification des modes de rupture possibles.
- L'évaluation de la vraisemblance des modes de rupture.

Cette manière de faire n'exige pas de réaliser un modèle représentant avec précision le comportement d'un ouvrage pendant toute la durée du séisme mais d'identifier d'abord les faiblesses de l'ouvrage et d'adapter l'analyse aux dangers particuliers de la digue étudiée.

On distingue:

- La submersion du barrage qui provoque une érosion externe: tassements excessifs, mise hors service des organes d'évacuation, etc.
- La percolation à l'intérieur du barrage qui provoque une érosion interne: ouverture de fissures, destruction du filtre, rupture de conduite, etc.
- Augmentation des sous pressions: augmentation de la pression interstitielle qui provoque des problèmes de stabilité de talus.

Il n'est pas proposé de méthodes propres. Les rappels de méthodes particulières telles que celles de Seed, Seed-Makdisi, Newmark ou des modélisations continues par éléments finis (sans préciser de quels modèles il s'agit!) sont seulement mentionnées alors qu'elles étaient présentées plus en détails dans le rapport provisoire. On signale seulement que le choix de la méthode dépendra de la conception générale de la digue, du contexte géologique et géotechnique et de l'enjeu du barrage vis-à-vis des tiers et de l'environnement.

On souligne que l'estimation des déplacements irréversibles, essentielle pour l'évaluation optimale de la vraisemblance de la ruine, reste difficile compte tenu de la complexité du comportement rhéologique des géomatériaux le long de chemins de contraintes complexes nécessitant de prendre en compte les éventuels couplages entre les phases liquides et solides les composant. On insiste sur la nécessité de procéder de manière progressive en commençant par des approches simples et de n'évoluer vers des méthodes plus complexes que si cela est nécessaire. On rappelle encore la difficulté d'obtenir les paramètres physiques nécessaires aux calculs, en raison du remaniement et de l'effet d'échelle et de l'hétérogénéité spatiale de ces paramètres.

Les critères tels que le facteur de stabilité au glissement ou les déplacements résiduels tolérables ne sont plus mentionnés.

Les problèmes des contrôles post-sismiques celui de l'instrumentation nécessaire ne sont pas traités.



#### 4. Conclusions

On constate que la démarche proposée est essentiellement différente d'une norme ou de directives et que dans ce domaine en pleine évolution, où les méthodes restent encore le plus souvent du domaine de la recherche et du développement, en raison notamment des problèmes numériques que pose leur mise en œuvre, les Français choisissent une démarche pragmatique basée sur l'expérience.

Dans le cas des digues, on souligne que "la vraisemblance du déclenchement du mode de rupture est jugée par l'expérience de l'expert, et que ce dernier s'appuiera **éventuellement** sur l'interprétation d'un calcul sismique dont les résultats pourront servir d'indicateur de vraisemblance de la ruine de la structure.

On insiste à plusieurs reprises que l'évaluation de la vraisemblance de la ruine sous une sollicitation sismique d'un ouvrage aussi complexe qu'un barrage relève de la compétence d'experts.

Le calcul est nettement perçu comme un outil d'aide à la décision mais seulement comme un des outils au service du jugement des experts. Il doit d'étayer leur compréhension du comportement dynamique de l'ouvrage. On en souligne maintes fois la complexité et la sensibilité des résultats à de petites variations des données.

Les autres remarques faites dans la note préliminaire, en particulier celle sur la procédure de contrôle, restent valables.

## Anhang 4: ITALIEN

### Wichtigste Parameter und Berechnungsmethoden der Erdbebenrichtlinien in Italien

#### 1. Allgemeines

Titel des Dokumentes:

Linea guida per la valutazione della sicurezza sismica delle dighe in esercizio (Richtlinien für die Bewertung der Erdbebensicherheit von bestehenden Talsperren)

Bericht von etwa 35 Seiten, welcher von einer Arbeitsgruppe erstellt wurde.

Überwachungsbehörde:

R.I.D. (Nationale Überwachungsbehörde mit ähnlichen Kompetenzen wie das BWG).

Status des Dokumentes:

Entwurf in Vernehmlassung.

Jahr der letzten Version:

Juni 2004 (?)

Anwendungsbereich:

Neue Talsperren und bestehende Talsperren mit  $H > 15$  m und Stauvolumen von  $V > 1.0$  Million  $m^3$ . Kleinere Anlagen unterstehen der Kontrolle regionaler Behörden.

Klassifizierung der Talsperren nach Gefahrenpotential:

- Klassen I - IV gemäss:
- Reservoirvolumen
  - Höhe der Talsperre
  - Anzahl gefährdeter Personen
  - Schadenspotential

**Tabelle 1: Klassifizierungskriterien und entsprechende Faktoren zur Bemessung des Gefahrenpotentials.**

Klassifizierungskriterien	A	B	C	D
Stauhaltvolumen [ $Mm^3$ ]	<120	120-1	1-0.1	<0.1
Faktor	(6)	(4)	(2)	(0)
Höhe der Talsperre [m]	>45	45-30	30-15	<15
Faktor	(6)	(4)	(2)	(0)
Anzahl gefährdeter Personen [-]	>1000	1000-100	100-1	keine
Faktor	(12)	(8)	(4)	(0)
Schadenpotential [-]	Sehr hoch	Hoch	Mässig	Gering
Faktor	(12)	(8)	(4)	(0)



**Tabelle 2: Klassifizierungsfaktor und entsprechende Gefahrenklasse.**

Globaler Klassifizierungsfaktor	Gefahrenklasse
(0-6)	IV
(7-18)	III
(19-30)	II
(31-36)	I

Anforderungen an den Ingenieur:

Keine speziellen Anforderungen vorgeschrieben. Die Bewertung der Erdbebensicherheit wird von der Behörde überprüft (R.I.D.).

## 2. Einwirkungen

Erdbebenbemessungskonzept:

a) Bemessungserdbeben (SEE)

Falls ein seismisches Gutachten vorliegt ist ein elastisches Antwortspektrum zu bestimmen, welches mit einem Referenzspektrum zu vergleichen ist (normiertes Spektrum). Das Massgebende Antwortspektrum ist dann für weitere Untersuchungen einzusetzen. Folgende Wiederkehrperioden sind für das Bemessungserdbeben zu berücksichtigen:

**Tabelle 3: Wiederkehrperioden für das Bemessungserdbeben je nach Gefahrenklasse.**

Gefahrenklasse	Wiederkehrperiode [Jahre]
I	>2500 (MCE)
II	2500
III	1000
IV	500

Bei Sperrern der Klasse I ist immer ein seismotektonisches Gutachten zu erstellen, wobei die Erdbebeneigenschaften aufgrund einer deterministischen Methode zu bestimmen sind (SEE=MCE).

Bei fehlendem Gutachten ist das Referenzspektrum anzuwenden (2 Baugrundklassen, normalerweise 5% Dämpfung). Dabei sind die in Tabelle 4 aufgeführten horizontalen Bodenbeschleunigungen zu berücksichtigen (PGA).



**Tabelle 4: Horizontale maximale Bodenbeschleunigungen (PGA) für das Bemessungserdbeben**

Gefahrenklasse	PGA Werte (g)			
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
II	0.60	0.45	0.30	0.20
III	0.45	0.35	0.20	0.15
IV	0.35	0.25	0.15	0.05

Die vertikale Beschleunigung wird als % der horizontalen Beschleunigung bestimmt.

b) Betriebserdbeben (OBE)

Grundsätzlich ist eine Wiederkehrperiode von 250 Jahren zu berücksichtigen.

Wenn kein seismisches Gutachten vorliegt, sind die Werte der Tabelle 4 der Gefahrenklasse IV durch 1.4 zu dividieren.

Für den Nachweis der Hangstabilität sind nicht unbedingt die gleichen Bodenbeschleunigungen wie für die Talsperren zu berücksichtigen.

Für Standorte an CH-Grenze sind die Spitzenbeschleunigungen der Zonen 3 und 4 anzuwenden (siehe Karte für Gefahrenklasse IV).

### 3. Nachweise

Verlangte Nachweise: **Gebrauchstauglichkeitsnachweis (OBE)** ohne nennenswerte Schäden an Talsperre und Nebenbauwerke

**Sicherheitsnachweis (SEE, MCE)** kein unkontrollierter Wasserabfluss und Möglichkeit einer kontrollierten Absenkung des Stauspiegels.



## Dämme

Gefährdungsklasse und Erdbebenzone	Berechnungsmethode	Sicherheitsnachweis
Klasse IV in Zonen 3 und 4	Untersuchung der kritischen Anlageteile im Falle eines Bebens	Anlageteil nicht gefährdet
Klasse IV in Zonen 1 und 2 oder Klasse III	Vereinfachte (pseudostatische) Stabilitätsanalyse Berechnung der Gleitverschiebungen falls Gleiten möglich. Horizontalbeschleunigung gemäss Antwortspektrum (1D) $a_v=0.5 a_h$	$F_s > \eta$ $1.1 < \eta < 1.3$ Setzungen < 20% der Höhendifferenz zwischen Kern und Stauziel
Klasse II	Vereinfachte (pseudostatische) Stabilitätsanalyse Horizontalbeschleunigung gemäss 2D oder 3D elastische lineare Berechnung mit Antwortspektrum	$F_s > \eta$ $1.1 < \eta < 1.3$ je nach Materialkenntnisse Setzungen < 20% der Höhendifferenz zwischen Kern und Stauziel
Klasse I	Dynamische und nicht lineare Berechnung	Setzungen < 20% der Höhendifferenz zwischen Kern und Stauziel



## Betonsperren

Gefährdungsklasse und Erdbebenzone	Berechnungsmethode	Sicherheitsnachweis
Klasse IV in Zonen 3 und 4	Untersuchung der kritischen Anlageteile im Falle eines Bebens	Anlageteil nicht gefährdet
Klasse IV in Zonen 1 und 2 oder Klasse III	Statische lineare Berechnung mit $a_h = \text{PGA}$ oder dynamische (linear elastisch) Berechnung mit Anregung kompatibel mit Antwortspektrum	$\tau_c \leq \frac{\tau_{c, adm}}{F_S}$ $\tau_t < 0.1 \tau_{c, adm}$
Klasse II	Nichtlineare statische Berechnung mit $K_m = \text{PGA } S(T_b)$	<ul style="list-style-type: none"><li>• keine unzulässigen Bruchmechanismen</li><li>• Keine unzulässigen Bewegungen und Verformungen</li></ul>
Klasse I	Nichtlineare Berechnung mit Anregungen kompatibel mit dem Antwortspektrum	<ul style="list-style-type: none"><li>• keine unzulässigen Bruchmechanismen</li><li>• Keine unzulässigen Bewegungen und Verformungen</li></ul>

### 4. Kontrollen nach einem Beben

Keine expliziten Vorschriften.

### 5. Starkbebeninstrumentierung

Keine expliziten Vorschriften.



## Anhang 5

### Vergleich der BWG Erdbebenrichtlinie mit den SIA Normen für Betonmauern

*J. Studer, Zürich*

#### Zielsetzung

*Aufgabe*

Im Rahmen einer möglichen Revision der BWG Richtlinie zur Erdbebensicherheit von Talsperren werden die Anforderungen der Richtlinie mit denen der zurzeit gültigen SIA Normen (namentlich SIA 261 (Einwirkungsnorm) und SIA 262 (Betontragwerke)) verglichen.

*Einschränkungen*

Die folgenden Vergleiche gelten nur für Betonmauern und nur für Felsstandorte.

Zur Vereinfachung wird weiterhin nur die maximale Bodenbeschleunigung (modifiziert auf das Bemessungsniveau, d.h. mit den vorgeschriebenen Korrekturen versehen) verglichen. In Anbetracht der Tatsache, dass die Formen der Antwortspektren (mit Ausnahme der Eckfrequenzen des Plateaus) für beide Vorschriften die gleichen sind, scheint diese Vereinfachung für den vorliegenden Zweck sinnvoll.

*Verständigung*

In der BWG Richtlinie sind die Tragwerke in verschiedene „Sperrklassen“ unterteilt, während diese in den SIA Normen „Bauwerksklassen“ genannt werden. Es ist zur Verständigung zu berücksichtigen, dass in der BWG Richtlinie Sperrklasse I, hingegen in den SIA Normen Bauwerksklasse III die höchste Klasse ist.



## Kurzbeschreibung der Methoden der BWG Richtlinie und der SIA Normen

### **BWG Richtlinie**

- Erdbebeneinwirkung* Die maximale Bodenbeschleunigung, mit der das elastische Bemessungsantwortspektrum skaliert wird, wird in der BWG Richtlinie mittels einer Umrechnungsformel aufgrund der gegebenen **Intensitätskarten** der Schweiz ermittelt. Die zu benutzende Intensitätskarte (Wiederkehrperiode 1'000 oder 10'000 Jahre) hängt dabei von der Sperrenklasse ab:
- Für die **Sperrenklasse I (höchste Klasse)** gilt die Intensitätskarte für eine **Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren**
  - Für die **Sperrenklasse III (tiefste Klasse)** gilt die Intensitätskarte für eine **Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren**
  - Für die **Sperrenklasse II (mittlere Klasse)** wird die Intensität aufgrund der obigen Intensitätskarten für eine **Wiederkehrperiode von 5'000 Jahren wie folgt interpoliert:**  $I_{5000} = 0.3 I_{1000} + 0.7 I_{10,000}$
- Widerstand* Auf der Widerstandsseite wird die Festigkeit des Betons zur Berücksichtigung dynamischer Einflüsse mit einem Faktor 1.5 erhöht.
- Nachweis* Der Nachweis ist erfüllt, falls (für alle Querschnitte) der erhaltene Tragwiderstand grösser als die entsprechende Beanspruchung ist.



## SIA Normen

*Erdbebeneinwirkung* Die maximale Bodenbeschleunigung, mit der das elastische Bemessungsantwortspektrum skaliert wird, ist vorerst direkt aufgrund der **Zoneneinteilung** der Schweiz (Zonen 1, 2, 3a und 3b) gegeben und ist unabhängig von der Bauwerksklasse.

Die Wiederkehrperiode des Bemessungserdbebens beträgt 475 Jahre.

Zur Berücksichtigung der Duktilität des Tragwerks wird das elastische Antwortspektrum mit einem **Verhaltensbeiwert  $q$  reduziert**. Im vorliegenden Fall wird  $q$  zu 1.5 angenommen (gültig für spröde Materialien, wie Mauerwerk oder unarmierten Beton).

Die erhaltene Einwirkung wird wiederum **mit einem Bedeutungsfaktor,  $\gamma$ , in Abhängigkeit der Bauwerksklasse multipliziert**. Dieser beträgt:

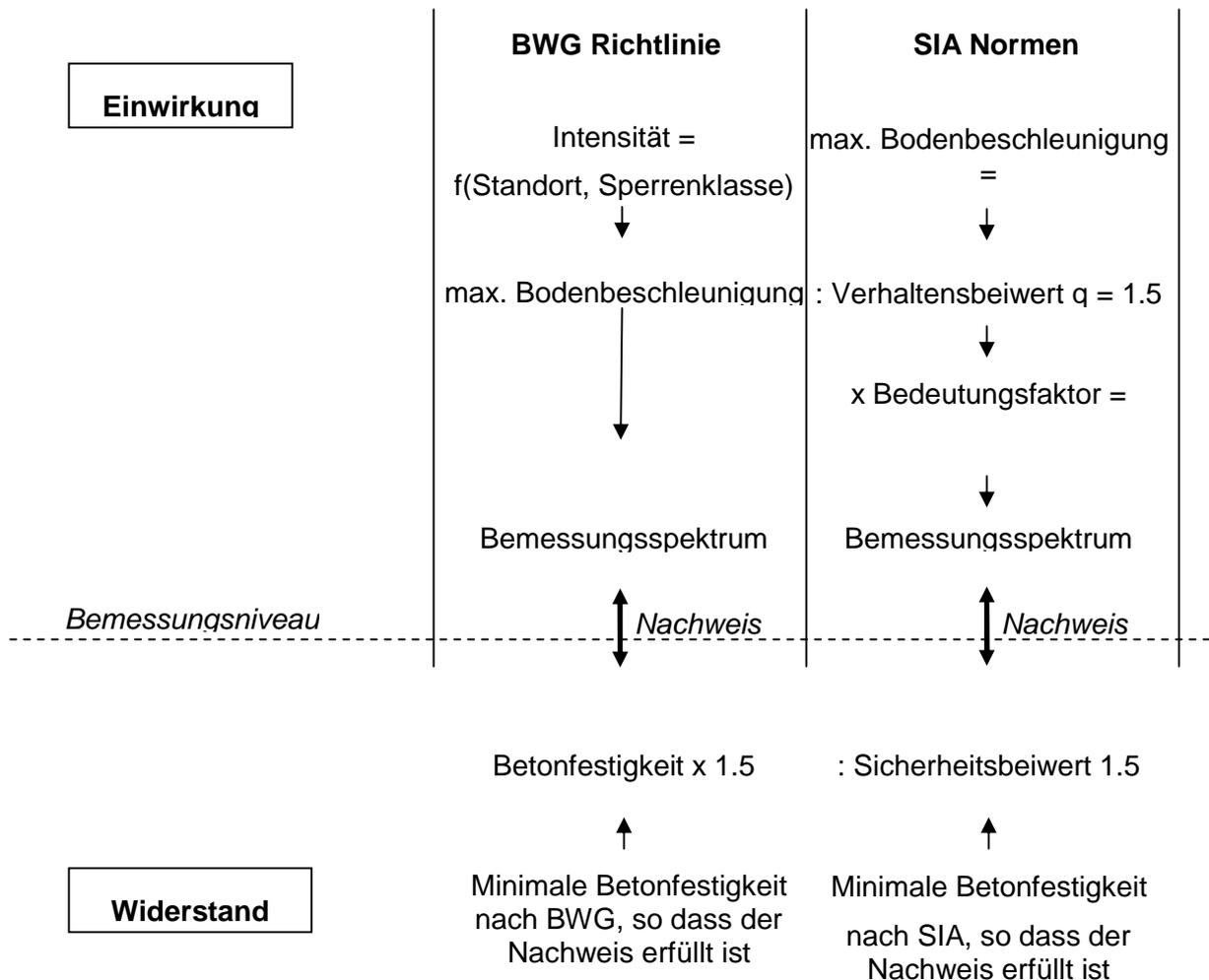
- für die **Bauwerksklasse III (höchste Klasse): 1.4**
- für die **Bauwerksklasse II (mittlere Klasse): 1.2**
- für die **Bauwerksklasse I (tiefste Klasse): 1.0**

*Widerstand* Es wird auf der Widerstandsseite keine Erhöhung der Betonfestigkeit aufgrund dynamischer Einflüsse berücksichtigt. Der Tragwiderstand wird mit einem **Sicherheitsbeiwert von 1.5** reduziert.

*Nachweis* Der Nachweis ist erfüllt, falls (für alle Querschnitte) der obige Tragwiderstand grösser als die entsprechende Beanspruchung ist.

## Zusammenfassung

Die verschiedenen Nachweisverfahren sind in unterstehender Skizze zusammengefasst, unter der Annahme, dass die Nachweise gerade erfüllt werden.



## Grundlegenden Daten zum Vergleich der SIA Bauwerksklasse I mit der BWG Sperrenklasse III

Vorerst werden die Anforderungen der Sperrenklasse III der BWG Richtlinie (tiefste Klasse) mit den Anforderungen der SIA Bauwerksklasse I (BWK I; tiefste Klasse) verglichen.



## Einwirkung nach SIA

### *Zonen und maximale Bodenbeschleunigung*

In untenstehender Tabelle wurde für die verschiedenen Kantone (evtl. mit einer weiteren Unterteilung) die entsprechende Zone nach SIA 261 und daraus die maximale Bodenbeschleunigung  $S_a$  (bei  $T = 0$ ) ermittelt, dividiert mit einem Verhaltensbeiwert  $q = 1.5$ . Der Bedeutungsfaktor,  $\gamma_f$ , für BWK I ist 1.0.

**Tabelle 1:**

Zoneneinteilung und maximale Bodenbeschleunigung nach SIA 261 auf Bemessungsniveau SIA (Bemessungsspektrum mit  $q = 1.5$ , Bedeutungsfaktor = 1.0)

Kanton	Unterteilung	SIA 261	
		Zone	$S_a (T = 0)$ [% g]
ZH		1	4
BE	Nord	1	4
	Mitte	2	6.7
	Süd-West	3a	8.7
LU		1	4
UR		2	6.7
SZ		2	6.7
OW		2	6.7
NW		2	6.7
GL		2	6.7
ZG		1	4
FR	Nord	1	4
	Süd	2	6.7
SO	Nord	2	6.7
	Mitte / Süd	1	4
BS		3a	8.7



BL		2	6.7
SH		1	4
AR		1	4
AI		1	4
SG	Nord	1	4
	Süd	2	6.7
GR	Ost	2	6.7
	West	1	4
AG	Nord-West	2	6.7
	Rest	1	4
TG		1	4
TI		1	4
VD	West, NW	1	4
	Vevey/Montreux	2	6.7
	Südost	3a	8.7
VS	NW	3a	8.7
	NO	3a	8.7
	Rest	3b	10.7
NE		1	4
GE		1	4
JU		1	4

## Einwirkung nach BWG Richtlinie

### *Intensitäten*

Die für die Sperrnkategorie III (Wiederkehrperiode 1'000 Jahre) geltenden Minimal- und Maximalwerte der Intensität wurden (für die gleiche Zoneneinteilung wie Tabelle 1) aus der Intensitätskarte abgeschätzt und sind in Tabelle 2 zusammengestellt.



**Tabelle 2:**

Bereich Intensitätswerte für 1'000 Jahre Wiederkehrperiode aus BWG  
Richtlinie auf Bemessungsniveau BWG

Kanton	Unterteilung	BWG-RL	
		$I_{1000.min}$	$I_{1000.max}$
ZH		6.8	6.9
BE	Nord	6.8	7.2
	Mitte	7.3	7.6
	Süd-West	7.8	8.4
LU		6.8	7.5
UR		7.2	7.6
SZ		6.8	7.2
OW		7.3	7.7
NW		7.2	7.6
GL		6.8	7.0
ZG		6.8	6.9
FR	Nord	6.8	7.4
	Süd	7.2	7.6
SO	Nord	7.2	7.4
	Mitte / Süd	6.8	7.2
BS		7.4	7.5
BL		7.2	7.4
SH		6.9	7.0
AR		7.0	7.3
AI		7.0	7.4
SG	Nord	6.8	7.2
	Süd	6.8	7.4
GR	Ost	7.0	7.7
	West	7.0	7.2
AG	Nord-West	7.2	7.4
	Rest	6.8	7.0
TG		6.8	7.3
TI		7.0	7.8
VD	West, NW	6.8	7.2



	Vevey/Montreux	7.2	7.4
	Südost	7.4	7.9
VS	NW	7.6	7.9
	NO	7.8	8.5
	Rest	7.9	8.7
NE		6.6	7.0
GE		7.2	7.4
JU		6.8	7.1

*Beschleunigungen* Die zur Tabelle 2 entsprechenden maximalen Bodenbeschleunigungen (gemäss der Umrechnungsformel in Teil B Abschnitt 5.3 der BWG Richtlinie) sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

**Tabelle 3:**

Beschleunigungswerte für 1'000 Jahre Wiederkehrperiode gemäss BWG Richtlinie auf Bemessungsniveau BWG

Kanton	Unterteilung	BWG-RL	
		$a_{h,1000,min}$	$a_{h,1000,max}$
		[% g]	[% g]
ZH		9	10
BE	Nord	9	12
	Mitte	12	15
	Süd-West	17	24
LU		9	14
UR		12	15
SZ		9	12
OW		12	16
NW		12	15
GL		9	10
ZG		9	10
FR	Nord	9	13
	Süd	12	15
SO	Nord	12	13
	Mitte / Süd	9	12



BS		13	14
BL		12	13
SH		10	10
AR		10	12
AI		10	13
SG	Nord	9	12
	Süd	9	13
GR	Ost	10	16
	West	10	12
AG	Nord-West	12	13
	Rest	9	10
TG		9	12
TI		10	17
VD	West, NW	9	12
	Vevey/Montreux	12	13
	Südost	13	18
VS	NW	15	18
	NO	17	25
	Rest	18	28
NE		8	10
GE		12	13
JU		9	11

Umrechnungsformel:  $\log a_{h,1000} = 0.26 I_{1000} + 0.19$

### Widerstandsniveau nach SIA 261 zum Vergleich

*Widerstandsniveau* Die zu vergleichenden Grössen auf Widerstandsniveau der SIA Normen werden erhalten, indem die Werte von Tabelle 1 (Spektralwerte des Bemessungsspektrums bei T=0) mit dem Sicherheitsbeiwert von 1.5 multipliziert werden.

### Widerstandsniveau nach BWG Richtlinie zum Vergleich

*Widerstandsniveau* Die zu vergleichenden Grössen auf Widerstandsniveau der BWG Richtlinie werden erhalten, indem die Werte von Tabelle 3 mit einem Faktor 1.5 dividiert werden (mit welchem die Betonfestigkeit erhöht wird).



## Vergleich der BWG Sperrenklasse III mit SIA Bauwerksklasse I

Vergleich auf  
Widerstandsniveau

Für den Vergleich der Werte der maximalen Bodenbeschleunigung wurde das Verhältnis zwischen den Werten nach der BWG Richtlinie und den Werten nach SIA gebildet für das Widerstandsniveau. Die Resultate sind in Tabelle 4 gegeben. Rot bedeutet, dass die BWG Richtlinie (für Sperrenklasse III) weniger streng ist als die SIA 261 (für BWK I).

**Tabelle 4:**

Verhältnis BWG Richtlinie Sperrenklasse III / SIA Bauwerksklasse I.  
Rot: Verhältnis ist unter 1.0 (Verhältnis der minimal zulässigen Betonfestigkeiten)

Kanton	Unterteilung	Verhältnis BWG-RL Sperrenklasse III / SIA BWK I	
		min	max
ZH		1.0	1.1
BE	Nord	1.0	1.3
	Mitte	0.8	1.0
	Süd-West	0.8	1.2
LU		1.0	1.5
UR		0.8	1.0
SZ		0.6	0.8
OW		0.8	1.0
NW		0.8	1.0
GL		0.6	0.7
ZG		1.0	1.1
FR	Nord	1.0	1.4
	Süd	0.8	1.0
SO	Nord	0.8	0.9
	Mitte / Süd	1.0	1.3
BS		0.7	0.7
BL		0.8	0.9
SH		1.1	1.1
AR		1.1	1.4
AI		1.1	1.4
SG	Nord	1.0	1.3



	Süd	0.6	0.9
GR	Ost	0.7	1.0
	West	1.1	1.3
AG	Nord-West	0.8	0.9
	Rest	1.0	1.1
TG		1.0	1.4
TI		1.1	1.8
VD	West, NW	1.0	1.3
	Vevey/Montreux	0.8	0.9
	Südost	0.7	0.9
VS	NW	0.8	0.9
	NO	0.8	1.3
	Rest	0.7	1.2
NE		0.9	1.1
GE		1.3	1.4
JU		1.0	1.2

Berechnung der Werte in Tabelle 4:

$$\text{BWG/SIA} = (a_{h,1000 \max} / 1.5) / (S_a(T=0) \cdot 1.5 \cdot \gamma_f)$$

#### Kommentar

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich ist, wird das Verhältnis von 1.0 in folgenden Gebieten teilweise unterschritten: Bern (Mitte und Süd-West), Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, Glarus, Fribourg (Süd), Solothurn (Nord), Basel-Stadt; Baselland, St. Gallen (Süd), Graubünden (Ost), Aargau (NW), Waadt (ausser West), Wallis, Neuenburg.

Das heisst, die BWG Richtlinie ist für Sperrenklasse III (mit Wiederkehrperiode 1'000 Jahre) in obigen Gebieten weniger konservativ als die SIA für BWK I (Wiederkehrperiode 475 Jahre).

#### Vergleich BWG Sperrenklasse III mit SIA BWK I, II und III

Analog zur Tabelle 4 kann auch der Vergleich der Sperrenklasse III mit den anderen BWK II und III durchgeführt werden, da ja der einzige Unterschied der verschiedenen Bauwerksklassen nach SIA im Bedeutungsfaktor liegt.

Es gilt folgende Übereinstimmung in Tabelle 4:

- Verhältnis liegt unter 1.0: Anforderungen der BWK I nicht

erreicht

- Verhältnis zwischen 1.0 und 1.2: Anforderungen BWK I erreicht
- Verhältnis zwischen 1.2 und 1.4: Anforderungen BWK II erreicht
- Verhältnis grösser 1.4: Anforderungen BWK III erreicht.

Tabelle 5 zeigt den Vergleich zwischen Sperrenklasse III und den drei Bauwerksklassen I, II und III nach SIA.

**Tabelle 5:** Verhältnis BWG Richtlinie Sperrenklasse III / SIA BWK I;

*Rot: Verhältnis unter 1.0 (Anforderungen SIA BWK I nicht erreicht);*

*Orange: Verhältnis zwischen 1.0 und 1.2 (Anforderungen SIA BWK I erreicht);*

*Gelb: Verhältnis zwischen 1.2 und 1.4 (Anforderungen SIA BWK II erreicht);*

*Grün: Verhältnis ab 1.4 (Anforderungen SIA BWK III erreicht)*

Kanton	Unterteilung	Verhältnis BWG-RL Sperrenklasse III / SIA BWK I	
		min	max
ZH		1.0	1.1
BE	Nord	1.0	1.3
	Mitte	0.8	1.0
	Süd-West	0.8	1.2
LU		1.0	1.5
UR		0.8	1.0
SZ		0.6	0.8
OW		0.8	1.0
NW		0.8	1.0
GL		0.6	0.7
ZG		1.0	1.1
FR	Nord	1.0	1.4
	Süd	0.8	1.0
SO	Nord	0.8	0.9
	Mitte / Süd	1.0	1.3
BS		0.7	0.7
BL		0.8	0.9
SH		1.1	1.1
AR		1.1	1.4



AI		1.1	1.4
SG	Nord	1.0	1.3
	Süd	0.6	0.9
GR	Ost	0.7	1.0
	West	1.1	1.3
AG	Nord-West	0.8	0.9
	Rest	1.0	1.1
TG		1.0	1.4
TI		1.1	1.8
VD	West, NW	1.0	1.3
	Vevey/Montreux	0.8	0.9
	Südost	0.7	0.9
VS	NW	0.8	0.9
	NO	0.8	1.3
	Rest	0.7	1.2
NE		0.9	1.1
GE		1.3	1.4
JU		1.0	1.2

## Vergleich der BWG Sperrenklasse II mit SIA BWK I, II und III

*Vergleich auf Widerstandsniveau* Der Vergleich mit Sperrenklasse II erfolgt in gleicher Weise wie für die Sperrenklasse III, nur dass die Einwirkung nach BWG Richtlinie nun höher ist. Analog zu Tabelle 5 zeigt Tabelle 6 das Verhältnis zwischen den Werten nach der BWG Richtlinie (für 5'000 Jahre Wiederkehrperiode) und den Werten der SIA für das Widerstandsniveau der BWK I.

**Tabelle 6:**

Verhältnis BWG Richtlinie Sperrenklasse II/SIA BWK I; *Rot: Verhältnis unter 1.0; Orange: Verhältnis zwischen 1.0 und 1.2; Gelb: Verhältnis zwischen 1.2 und 1.4; Grün: Verhältnis grösser als 1.4*

Kanton	Unterteilung	Verhältnis BWG-RL Sperrenklasse II / SIA BWK I	
		min	max
ZH		1.4	1.5
BE	Nord	1.4	1.8
	Mitte	1.1	1.7
	Süd-West	1.1	1.7
LU		1.4	2.1
UR		1.1	1.5
SZ		0.8	1.3
OW		1.3	1.6
NW		1.2	1.5
GL		0.8	1.0
ZG		1.4	1.6
FR	Nord	1.5	2.0
	Süd	1.1	1.4
SO	Nord	1.4	1.6
	Mitte / Süd	1.4	2.3
BS		1.2	1.2
BL		1.2	1.6
SH		1.5	1.6
AR		1.6	2.0
AI		1.7	2.0



SG	Nord	1.4	1.9
	Süd	0.8	1.4
GR	Ost	1.0	1.6
	West	1.6	1.8
AG	Nord-West	1.4	1.6
	Rest	1.4	2.2
TG		1.4	2.1
TI		1.6	2.8
VD	West, NW	1.4	1.9
	Vevey/Montreux	1.2	1.3
	Südost	1.1	1.4
VS	NW	1.1	1.3
	NO	1.3	2.0
	Rest	1.2	1.7
NE		1.4	1.7
GE		1.9	2.5
JU		1.4	2.1

*Kommentar*

Die Minimalwerte der Verhältnisse aus Tabelle 6 erreichen für die Gebiete Schwyz, Glarus und St. Gallen (Süd) die Anforderungen der BWK I nach den SIA Normen nicht.

Die Maximalwerte erreichen hingegen oder liegen meist über den Anforderungen der BWK III, mit Ausnahme von Schwyz, Glarus, Basel Stadt, Waadt im Bereich Vevey / Montreux und dem Nordwestlichen Teil des Wallis.

**Vergleich der BWG Sperrenklasse I mit SIA BWK I, II und III**

*Vergleich auf*

*Widerstandsniveau*

Der Vergleich mit Sperrenklasse I erfolgt in gleicher Weise wie für die Sperrenklasse III und II. Wiederum zeigt Tabelle 7 das Verhältnis zwischen den Werten nach der BWG Richtlinie (für 10'000 Jahre Wiederkehrperiode) und den Werten der SIA Normen für das Widerstandsniveau der BWK I.

**Tabelle 7:**

Verhältnis BWG Richtlinie Sperrenklasse I/SIA BWK I; *Rot: Verhältnis unter 1.0; Orange: Verhältnis zwischen 1.0 und 1.2; Gelb: Verhältnis zwischen 1.2 und 1.4; Grün: Verhältnis grösser als 1.4*

Kanton	Unterteilung	Verhältnis BWG-RL Sperrenklasse I / SIA BWK I	
		min	max
ZH		1.6	1.7
BE	Nord	1.6	2.1
	Mitte	1.2	2.1
	Süd-West	1.3	2.0
LU		1.6	2.3
UR		1.2	1.9
SZ		1.0	1.6
OW		1.6	1.9
NW		1.4	1.9
GL		1.0	1.1
ZG		1.6	1.8
FR	Nord	1.7	2.3
	Süd	1.2	1.7
SO	Nord	1.8	2.0
	Mitte / Süd	1.6	3.0
BS		1.5	1.5
BL		1.4	2.0
SH		1.7	1.8
AR		1.8	2.3
AI		1.9	2.3
SG	Nord	1.6	2.3
	Süd	1.0	1.8
GR	Ost	1.2	1.9
	West	1.8	2.1
AG	Nord-West	1.8	2.0
	Rest	1.6	3.0
TG		1.6	2.5



TI		1.8	3.3
VD	West, NW	1.6	2.3
	Vevey/Montreux	1.4	1.6
	Südost	1.4	1.7
VS	NW	1.4	1.5
	NO	1.5	2.3
	Rest	1.4	2.0
NE		1.6	2.1
GE		2.3	3.1
JU		1.6	2.6

#### *Kommentar*

Die Minimalwerte der Verhältnisse aus Tabelle 6 erreichen meist das Niveau der BWK III oder höher, mit Ausnahme von Schwyz, Glarus und St. Gallen (südlicher Teil), wo BWK I erreicht wird.

### **Diskussion der spektralen Werte Generell**

Die bisherigen Vergleiche basieren auf den maximale Bodenbeschleunigung. Bei der Bemessung von Tragwerken werden jedoch die massgebenden Spektralwerte aus dem Bemessungsspektrum benutzt.

### **Plateauwerte**

Die Plateauwerte werden sowohl in der BWG Richtlinie als auch in den SIA Normen erhalten, indem die maximale Bodenbeschleunigung mit 2.5 multipliziert wird. Zwischen maximaler Bodenbeschleunigung und Plateauwert wird interpoliert.

Im vorliegenden Fall (für den Verhaltensbeiwert  $q = 1.5$  nach SIA 261) gelten für die Plateauwerte die gleichen Verhältniszahlen wie in den Tabellen 5 bis 7 dargestellt.

### **Andere spektrale Werte**

Zu bemerken ist, dass die verschiedenen Stützfrequenzen (TB bis TD) der SIA Norm 261 nicht immer mit denen der BWG Richtlinie übereinstimmen, so dass in diesen Bereichen weitere Abweichungen erfolgen. Namentlich beträgt die tiefe Eckperiode für Felsstandorte nach der SIA Norm 0.15s, während sie in der BWG Richtlinie 0.1s beträgt. Dies hat zur Folge, dass die BWG Richtlinie in diesem Periodenbereich konservativer ist. Spezifische Angaben können jedoch nur für ein gegebenes Bauwerk gemacht werden.



## Schlussbemerkungen

*Sperrenklasse III  
(tiefste  
Anforderungen)*

Tabelle 5 zeigt, dass Sperrenklasse III die Anforderungen an BWK I nach SIA gerade erreicht oder je nach Gebiet nicht erreicht, obwohl Sperrenklasse III eine höhere Wiederkehrperiode hat (1000 Jahre). Es stellt sich die Frage, ob das Bemessungsniveau der gegenwärtigen BWG Richtlinie für Sperrenklasse III genügend hoch ist.

*Sperrenklasse II*

Die Minimalwerte der Verhältnisse aus Tabelle 6 in den Gebieten Schwyz, Glarus und St. Gallen (Süd) erreichen für Sperrenklasse II selbst die Anforderungen der BWK I nach den SIA Normen nicht. Es stellt sich die Frage, ob das Bemessungsniveau der BWG Richtlinie für Sperrenklasse II in diesen Gebieten genügend hoch ist. Die restlichen Gebiete liegen im Bereich der BWK II und III.

*Sperrenklasse I  
(höchste  
Anforderungen)*

Die Minimalwerte der Verhältnisse aus Tabelle 7 in den Gebieten Schwyz, Glarus und St. Gallen (Süd) erreichen für Sperrenklasse I (höchste Anforderungen nach BWG Richtlinie) gerade die Anforderungen der BWK I (tiefste Anforderungen nach SIA). Es stellt sich die Frage, ob das Bemessungsniveau der BWG Richtlinie für Sperrenklasse I in diesen Gebieten genügend hoch ist.



## Anhang 6

### Vergleich von Fraktilwerten für ‚uniform hazard‘ Spektren an einem fiktiven Standort im schweizerischen Mittelland

#### Diskussionspapier zur Erdbebengefährdung (BWG Richtlinie)

J. Studer, Zürich

#### Zielsetzung

##### *Aufgabe*

Im Rahmen der Diskussion für die Festlegung von Bemessungsantwortspektren bezüglich des Nachweises der Erdbebensicherheit von Talsperren stellt sich die Frage nach den Fraktilwerten, welche den entsprechenden Spektren zugrundegelegt werden sollen.

Entsprechende Resultate für einen "fiktiven" Standort (Fels mit  $v_s > 2500 \text{ m/s}$ ) im schweizerischen Mittelland sollen nachfolgend zusammengestellt werden.

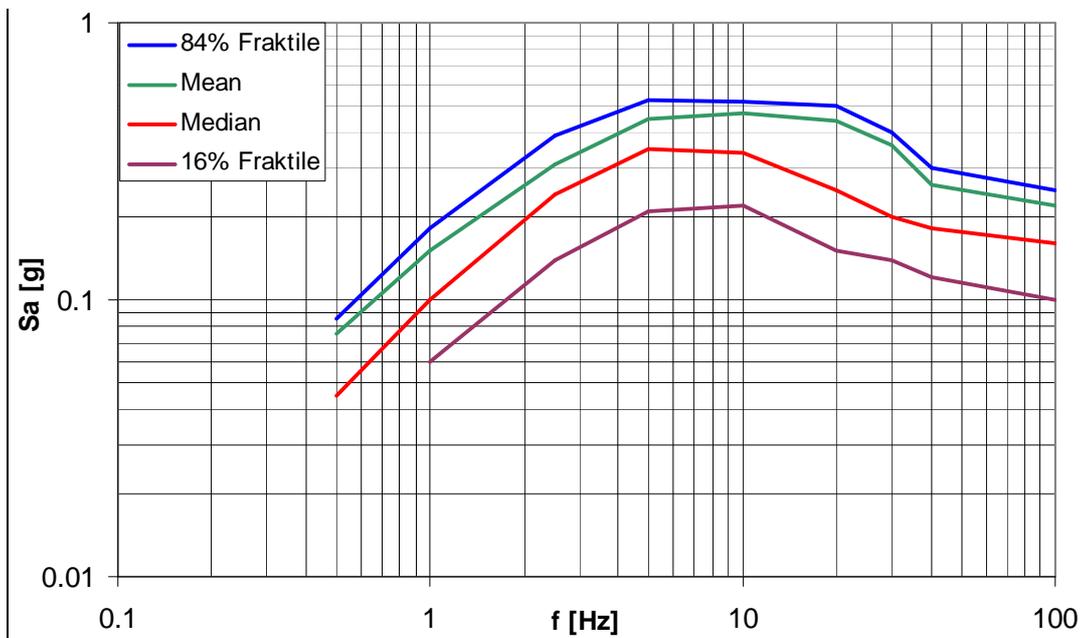
##### *Quelle der Resultate für den fiktiven Standort*

Die Resultate der Gefährdungskurven für den gewählten Standort basieren auf einer probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse auf dem neuesten Stand der Technik (2004).

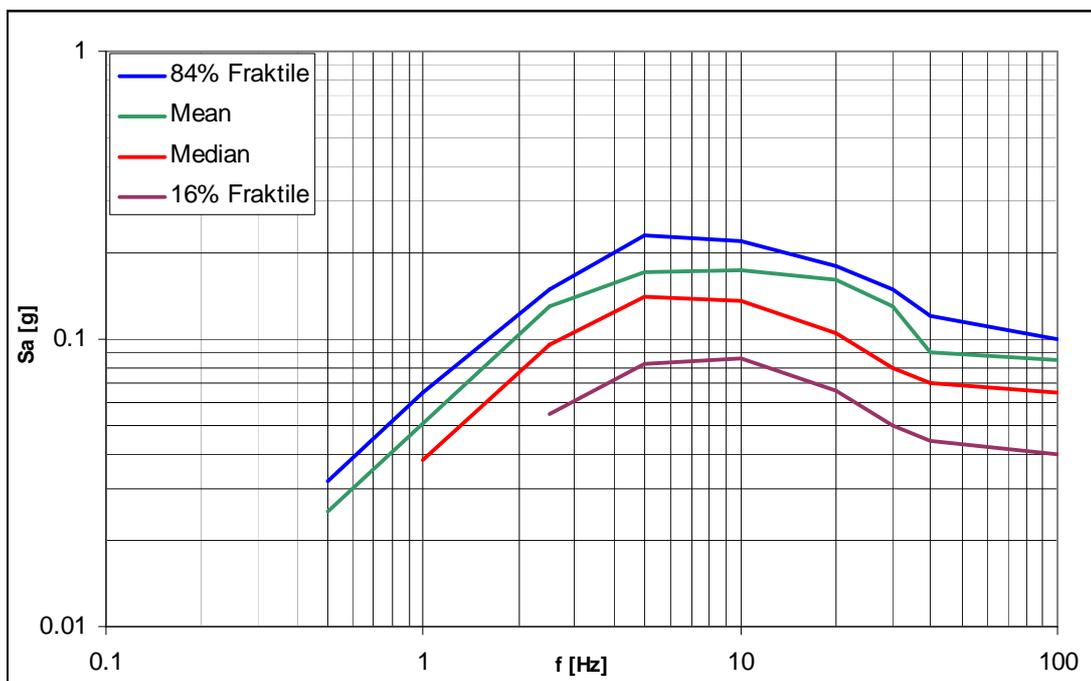
Es handelt sich um Antwortspektren für die horizontale Komponente auf Fels, mit 5% Dämpfung. Die gewählten Wiederkehrperioden sind 10'000, 1'000, 500 und 150 Jahre.

#### Resultate für verschiedene Wiederkehrperioden

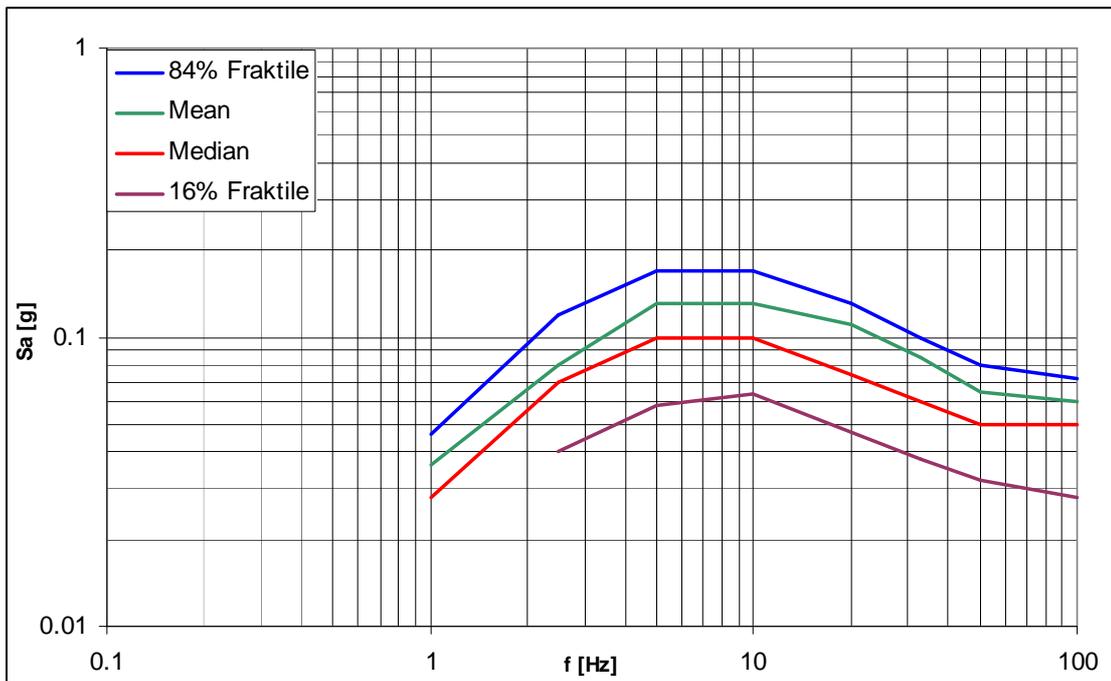
In den Figuren 1 bis 4 sind die Resultate der probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse (Antwortspektren auf Fels) für eine Wiederkehrperiode von 10'000, 1000, 500 und 150 Jahren ersichtlich.



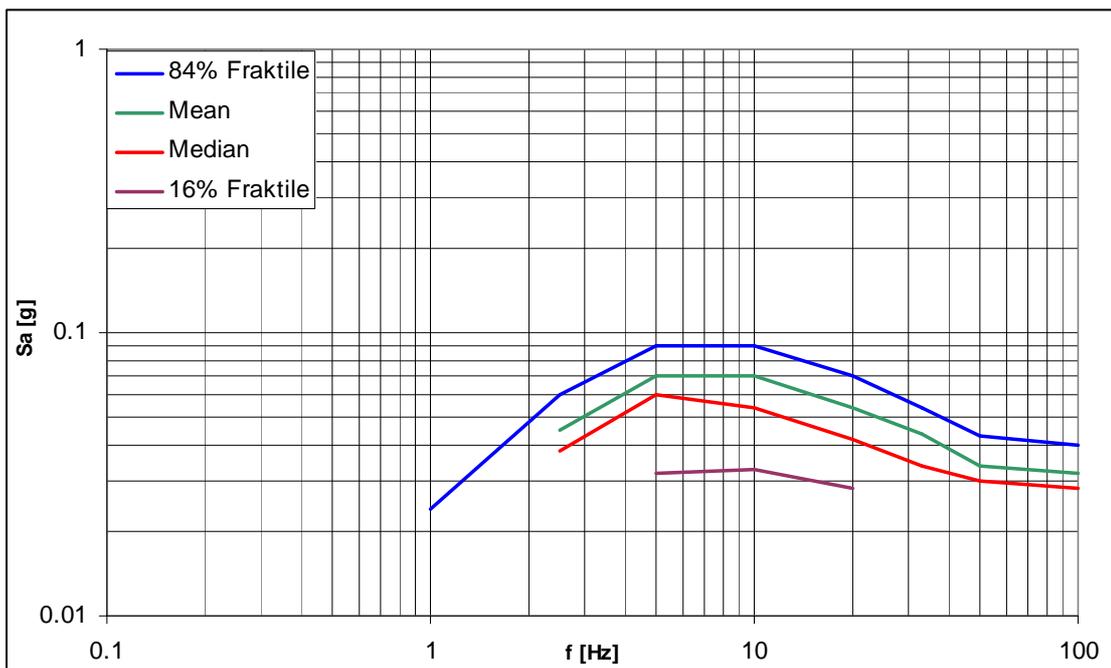
Figur 1: Antwortspektren auf Fels für Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren.



Figur 2: Antwortspektren auf Fels für Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren.

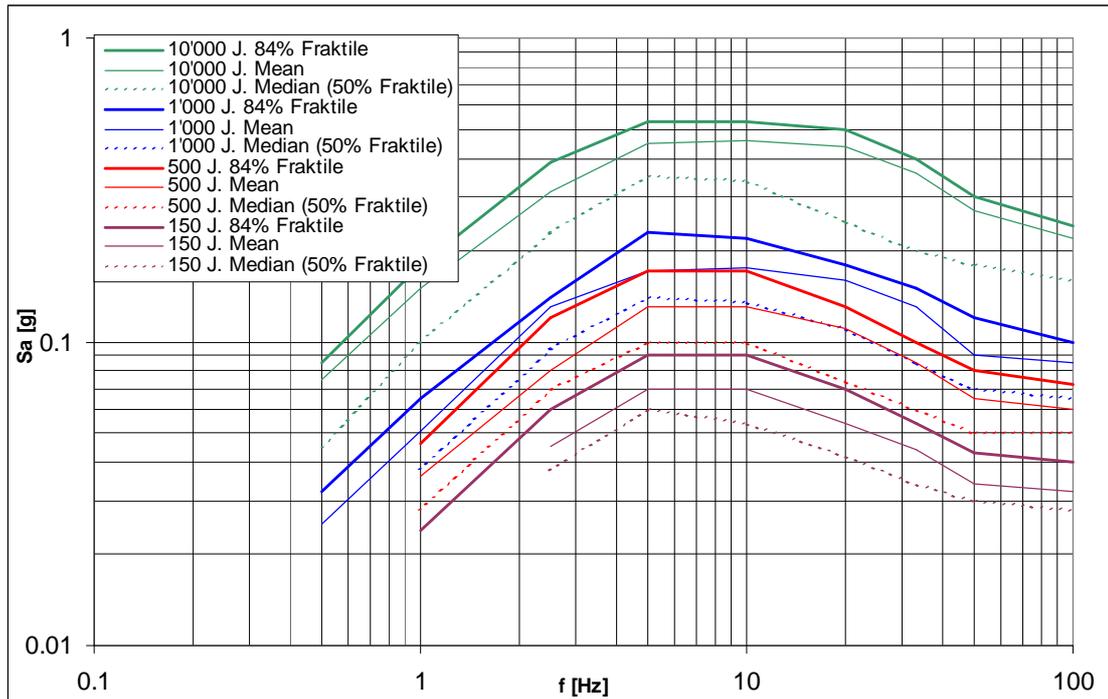


Figur 3: Antwortspektren auf Fels für Wiederkehrperiode von 500 Jahren



Figur 4: Antwortspektren auf Fels für Wiederkehrperiode von 150 Jahren.

Figur 5 zeigt zusammenfassend eine Darstellung der Kurven von Figuren 1 bis 4. Zur Vereinfachung der Darstellung wird die 16% Fraktile weggelassen, da diese für die vorliegende Fragestellung nicht relevant ist.



Figur 5: Zusammenfassender Vergleich der Antwortspektren für Wiederkehrperioden von 10'000, 1'000, 500 und 150 Jahren

Aus Figur 5 ist ersichtlich, dass für den gewählten Standort die 84% Fraktilewerte einer Wiederkehrperiode jeweils unter dem Median der nächst grösseren Wiederkehrperiode liegen, mit einer Ausnahme: Die 84% Fraktile für eine Wiederkehrperiode von 500 Jahren liegt über dem Median für eine Wiederkehrperiode von 1'000 Jahren, aber noch unter dem entsprechenden Mittelwert.



## Publications du Comité suisse des barrages Publikationen des Schweiz. Talsperrenkomitees

Titel Titre	Jahr Année	Sprache Langue
Schweizerische Talsperrenbibliographie Bibliographie Suisse des barrages réservoirs	1980	D, F
Messanlagen zur Talsperrenüberwachung	1987	D
Dispositif d'auscultation des barrages	1987	F
Erdbeben und Talsperren in der Schweiz Séismes et barrages en suisse	1991	D/F
Auftrieb bei Betonsperren	1992	D
Informatik in der Talsperrenüberwachung L'informatique dans la surveillance des barrages	1993	D/F
1980–1996 - Eine Talsperrenepoche Une époque pour les barrages	1997	D/F
Mesures de déformations géodésiques et photogrammétriques pour la surveillance des ouvrages de retenue	1997	F, E
Zustandsüberwachung von Stauanlagen und Checklisten für die visuellen Kontrollen	1997	D
Surveillance de l'état des barrages et check lists pour les contrôles visuels	1997	F
Konstruktive Sicherheit der Talsperren - Nutzungsplan und Sicherheitsplan Sécurité structurale des barrages - plan d'utilisation et plan de sécurité	2000	D/F
Le béton des barrages suisses	2001	F
Talsperrenmonographie – Empfehlung für die Redaktion Monographie de barrage – Recommandations pour la rédaction Monografia della diga – Raccomandazioni per la redazione	2001	D, F, I

### **Preise und Bestellung beim Sekretariat Prix et commandes auprès du secrétariat**

© 2002 Schweizerisches Talsperrenkomitee  
Comité suisse des barrages  
Comitato svizzero delle dighe  
Swiss Committee on Dams

Adresse: c/o Stucky SA  
Rue du Lac 33, case postale, CH - 1020 Renens

Tel. / Fax: +41 21 637 15 58 / +41 21 637 15 08

Sekretär: [bjoos@stucky.ch](mailto:bjoos@stucky.ch) / [swissdam@stucky.ch](mailto:swissdam@stucky.ch)  
[www.swissdams.ch](http://www.swissdams.ch)