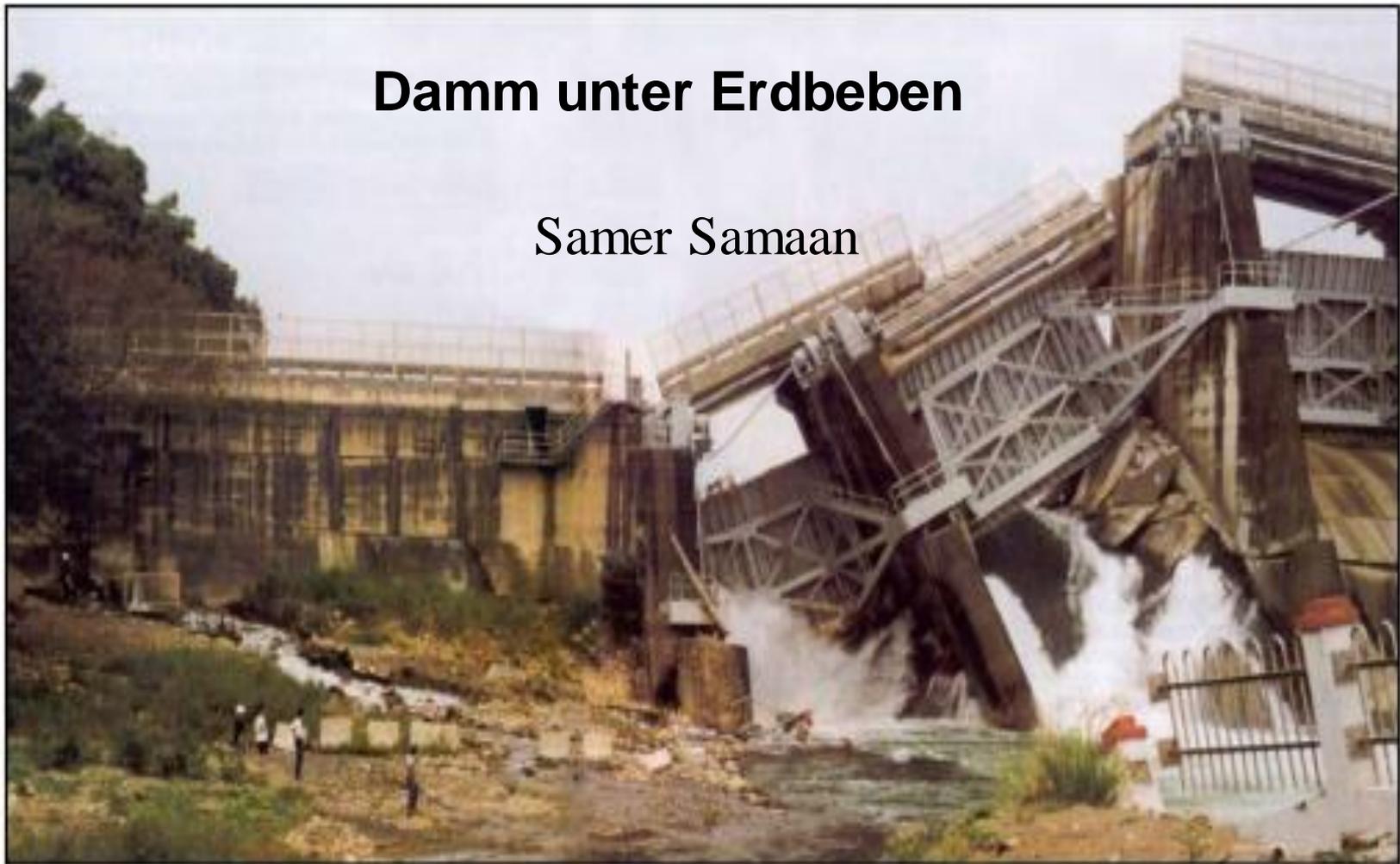


# *Einführung in das Erdbebeningenieurwesen*



*Prof. Dr.-Ing. Uwe E. Dorka*

# Gliederung

- ✿ Einleitung
- ✿ Erdbebenschäden , Sanierung
  - ✿ Betonsperren
    - Schüttdämme
- Standsicherheitsnachweise gegenüber Erdbeben

# *Definition*

Stauanlagen sind Einrichtungen zum Aufstau oder zur Speicherung von Wasser.

# *Funktion*

- Trinkwasserversorgung
- Betriebswasserversorgung (Industrie und Landwirtschaft)
- Energieerzeugung
- Hochwasserschutz
- Niedrigwasseraufhöhung





# *Erdbebenschäden*

## *Betonsperren*

Risse im Kronenbereich

Öffnung und Schäden an Blockfugen

Schäden an den Widerlagern und

Zunahme der Sickerwässer



*cracks up to 12 cm in Spillway Austrian Dam USA*

# Erdbebenschäden ...Bogengewichtsmauer

- ✿ San Fernando-Erdbeben 1971, **Magnitude (M) : 6.4**,  
Bodenbeschleunigung : ca. 0,7 g.
- ✿ Tief Reservoirspiegel  $\Rightarrow$  geringfügige Schäden

✿ Die Hauptfolgen dieses Erdbebens waren

- **Öffnen der Blockfuge zwischen Sperre und Widerlagerblock**
- **Risse im Widerlagerblock**
- **Schäden am linken Widerlager**



- Pacoima Damm , USA
- Höhe: 113 m
- Kronrlänge: 190 m

# Sanierung

- ✿ Sanierungsarbeiten bestand aus einer **Verankerung Installation**
- ✿ Das linke Widerlager der Staumauer wurde mit **Dauerankern** im Felsuntergrund verankert
- ✿ **Ankerlänge** variiert zwischen 40 bis 60 m
- ✿ **Ankerabstand** innerhalb einer Ankerreihe 6-9 m

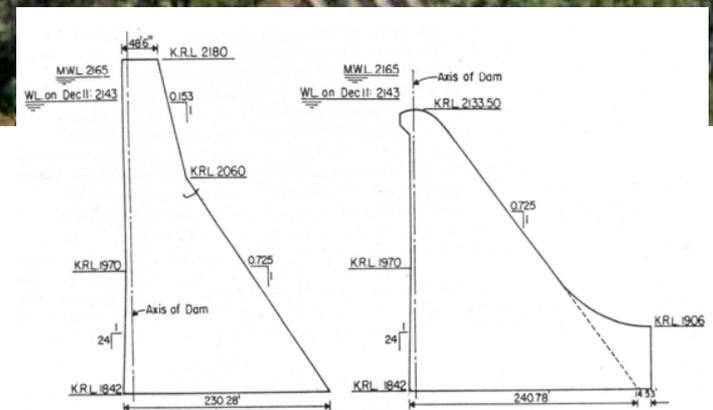
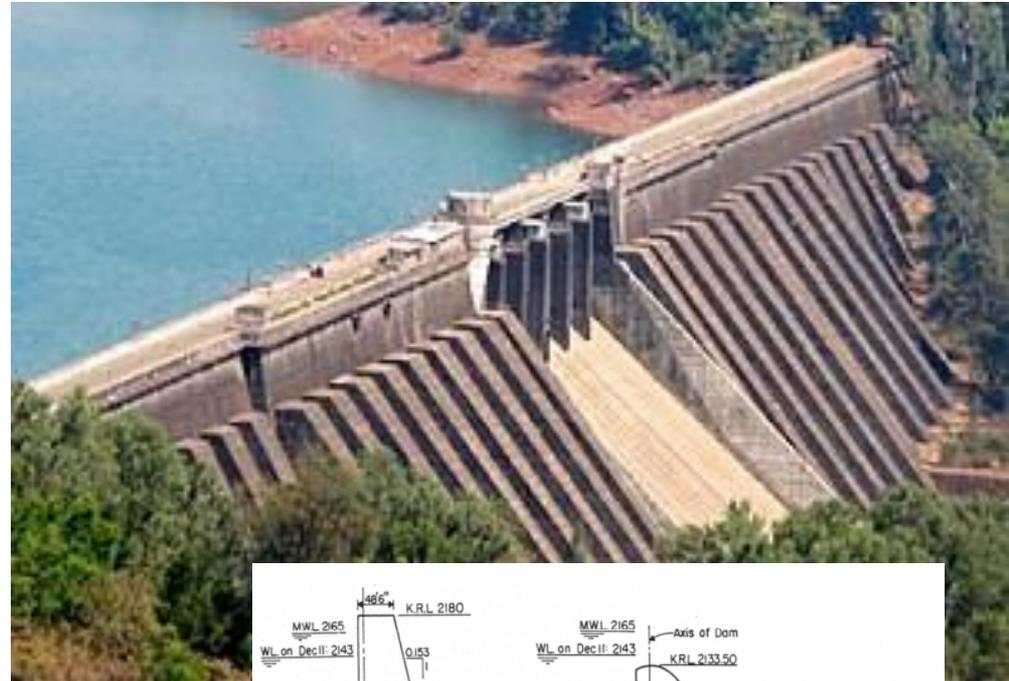
# Erdbebenschäden .... Gewichtsmauern

- ☀ Erdbeben 1967 **M: 6.5**
- ☀ Dammstandort war **nicht als seismisch aktive Zone** bekannt

- Koyna Dam, Indien
- Höhe: 103 m ,
- Kronenlänge 854 m

- ☀ Es wird vermutet, dass das Beben durch **das Auffüllen des Stausees ausgelöst** wurde.

- ☀ Die Hauptfolgen dieses Erdbebens waren **horizontale Risse sowohl an der Wasser- als auch an der Luftseite der Sperre, konzentriert am Übergang der steileren zur flacheren Neigung der luftseitigen Sperrenoberfläche**



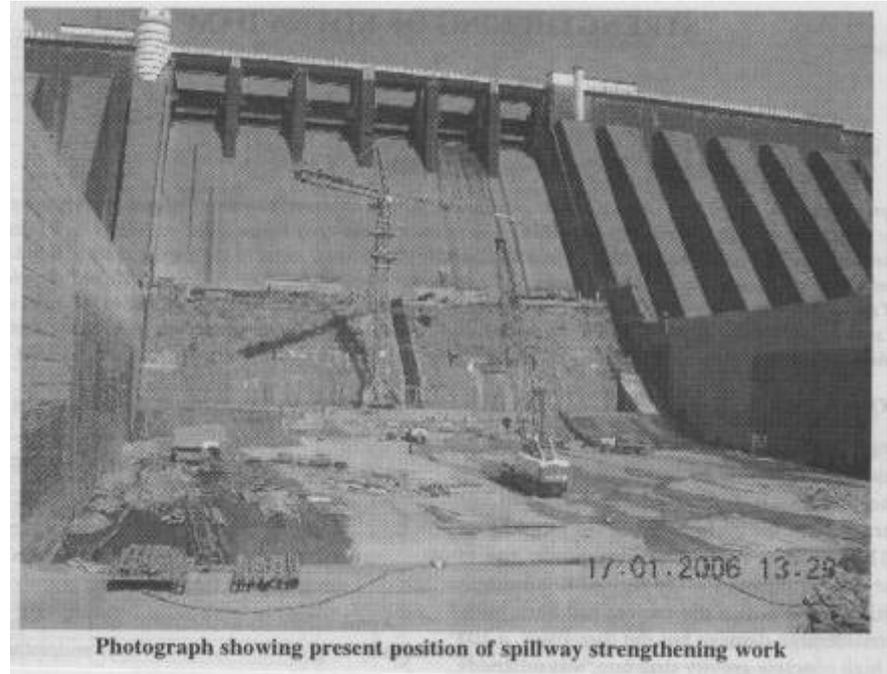
(a) Non- Over Flow Section

(b) Over Flow Section

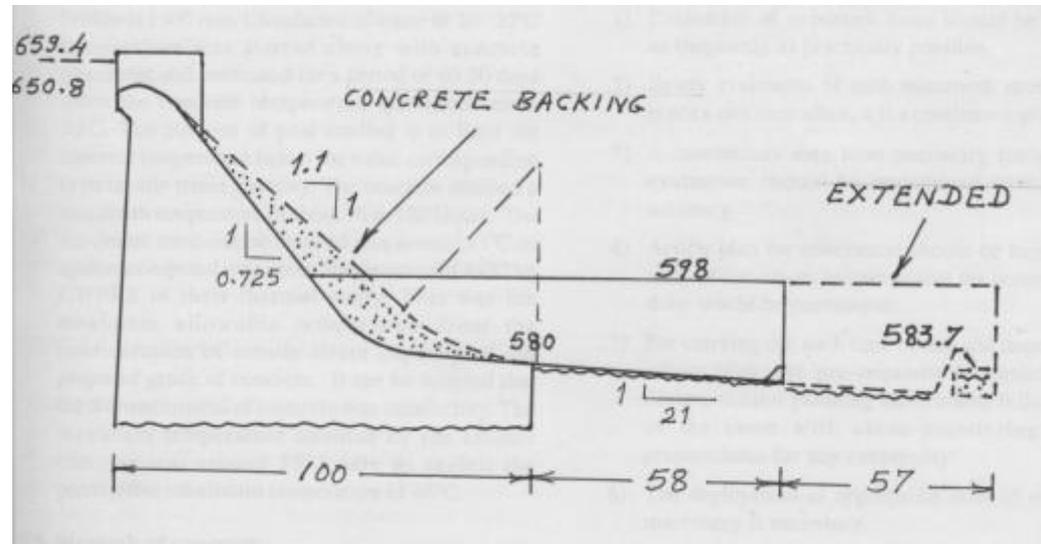
# Sanierung

- ✿ **Erhöhung der luftseitigen Neigung** der Hochwasserentlastungsanlage

Von **1V:0.725 H** bis **1V : 1.1H**



- ✿ Beschädigte Teile in „NOF“ Bereich wurden mit **Beton und Stützpfeiler verstärkt**



# Erdbebenschäden ....Pfeilerstaumauer

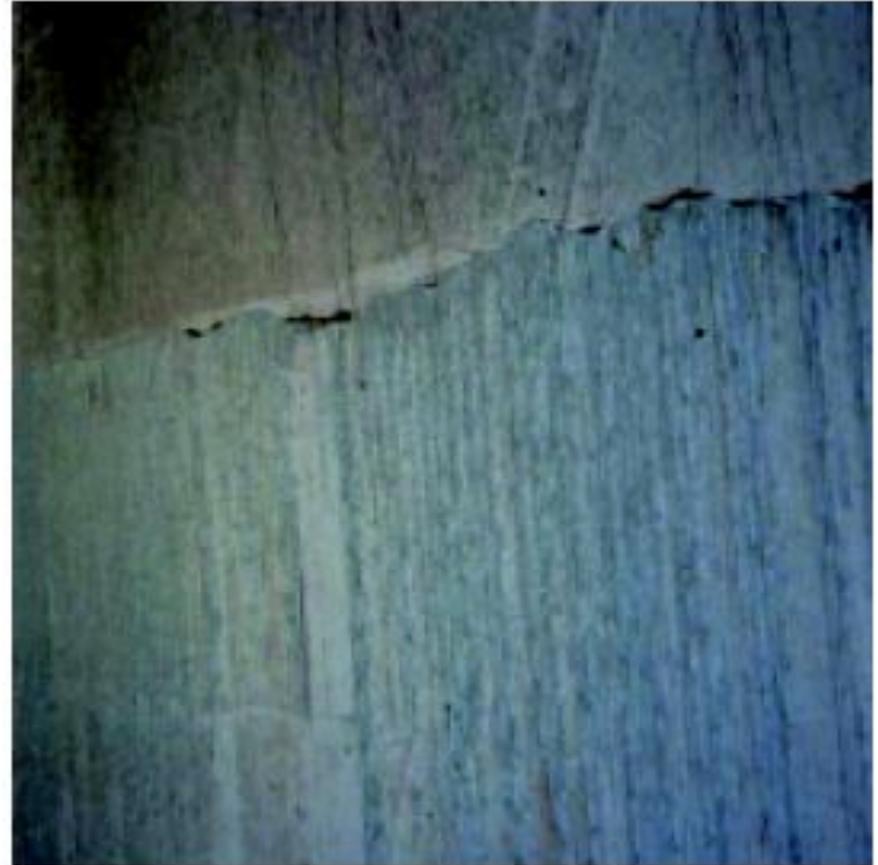
- ✿ Manjil-Erdbeben, **M: 7.5**
- ✿ **Epizentrum lag weniger als ein Kilometer** von der Dammsstelle entfernt
- ✿ Längsrisse auf der Mauerkrone
- ✿ Abscherung im Bereich einer Mauerfuge



- Sefid-Rud , Iran
- Höhe: 106 m
- KronrnLänge: 425 m

# Sanierung

- ✿ Die Horizontalrisse im oberen Teil der Mauer wurden durch **Epoxy Mörtel-Injektionen** abgedichtet
- ✿ In allen gerissenen Mauerblöcken wurden **Felsanker** mit einer Vorspannkraft von je 100 MN installiert



Injizierter luftseitiger Horizontalriss entlang einer Betonierfuge

# Erdbebenschäden... Gewichtsmauern

☀ Der Damm stand auf einer **aktiven** Verwerfung

☀ Chi-Chi-Erdbeben, 1999,  
**M = 7,6**

☀ Zwei der 18 Wehrröffnungen wurden durch **Vertikalverschiebungen** von rund **8m** zerstört



- Shih-Kang-Sperre, Taiwan
- Höhe 25 m
- Kronenlänge 357 m



## *Erdbebenschäden ... Schüttdämme*

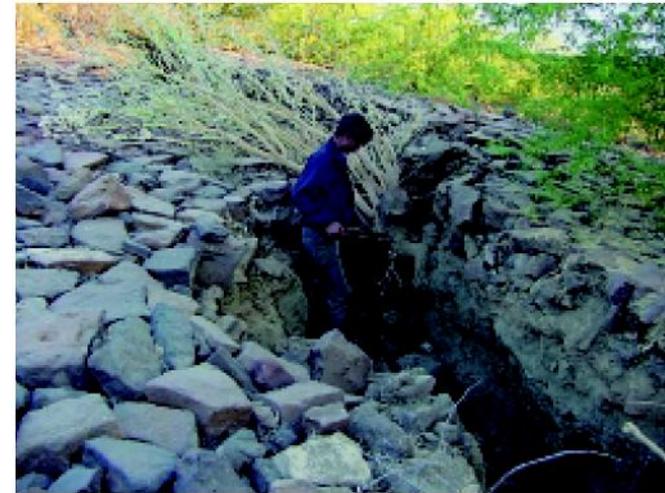
Bei Schüttdämmen war zu beobachten, daß sie teilweise ausgezeichnetes Verhalten bei Erdbeben zeigten

In einigen Fällen wurde jedoch starke Schäden bzw. völliges Versagen verursacht.

Schlechtes Verhalten zeigten vor allem ältere Schüttdämme aus **schlecht verdichtetem und ungeeignetem Material (sand)** und waren meist eine Folge der **Bodenverflüssigung**.

Durch die Erschütterungen, Verformungen des Beckens und Rutschungen können **Wasserwellen von erheblicher Größe ausgelöst** werden, und den Damm überströmen können.

Dies führte zu **Erosionsschäden** an der Luftseite des Dammes



*Risse in wasserseitiger Böschung*



*Risse im Kronnberich*

*Bhuj-Erdbeben, 2001, India*

# *Erdbebenschäden... Schüttdämme*

- ✿ San Fernando-Erdbeben 1971, **M: 6.4**
- ✿ Dieser Damm wurde durch eine **Gleitung der wasserseitigen Böschung** nahezu vollkommen zerstört.
- ✿ Die Rutschung ist auf Anstieg des **Porenwasserdrucks und verflüssigung** des feinkörnigen Schüttmaterials zurückzuführen
- ✿ Der Wasserspiegel im Reservoir war relativ tief, das verhindert das **vollständige versagen** des Dammes
- ✿ Der Damm wurde repariert und nur noch als Retentionsbecken zum Hochwasserschutz genutzt

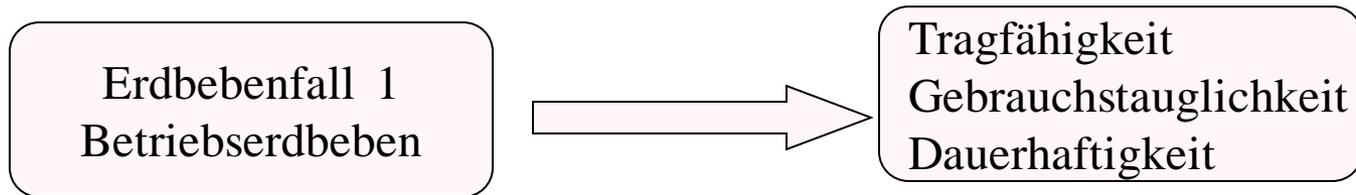


- Lower van Norman Dam, USA
- Höhe 42 m,
- Kronenlänge von 630 m

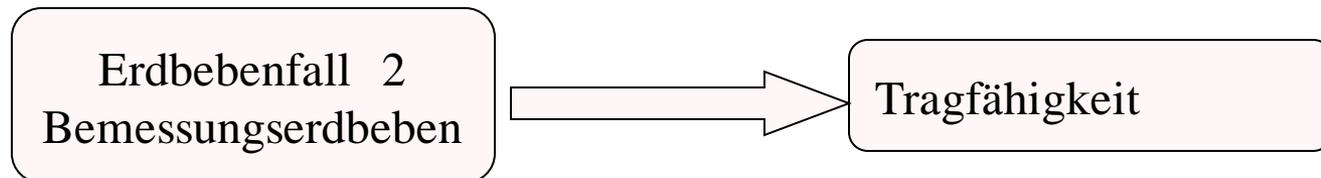
# *Standortsicherheitsnachweise gegenüber Erdbeben*

## *DIN 19700 (Teile 10 u.11), 2004*

- ✿ Sind Nachweise für zwei Erdbebenfälle zu führen



Die Stauanlage muss **ohne Nutzungsbeschränkungen** widerstehen



Die Stauanlage muss **ohne globales Versagen** widerstehen

# *Standortsicherheitsnachweise gegenüber Erdbeben*

## *DIN 19700*

Klassifizierung	<b>Talsperrenklasse 1 (TK1)</b> (große Talsperren)	<b>Talsperrenklasse 2 (TK 2)</b> (kleine u. Mittlere Talsperren)
	H > 15 m    V > 1 Mio.m <sup>3</sup>	alle übrigen

Wiederkehrperioden		<b>(TK1)</b>	<b>(TK2)</b>
	Bemessungserdbeben	2500 Jahre	1000 Jahre
	Betriebserdbeben	500 Jahre	100 Jahre

# *Standsicherheitsnachweise gegenüber Erdbeben*

## *DIN 19700*

Es genügt bei TK 2 u. TK 1 mit Kronenhöhen bis 40 m

Erdbebennachweise mit **quasistatischen Ersatzlasten** zu führen

Bei höheren Absperrbauwerke der TK 1 mit Kronenhöhen  $> 40$  m

Ist eine untersuchung auf der Grundlage **dynamischer Berechnungsmodelle** erforderlich

# Zusammenfassung

✿ Während Erdbeben sind bisher sehr wenige grosse Talsperren beschädigt worden.

✿ Ungefähr **10 Talsperren** haben bis heute während eines Erdbebens versagt.

✿ **Gewichts- und Bogenmauern** haben sich im Allgemeinen gut verhalten.

✿ Homogene Dämme aus **verdichteten tonhaltigen Materialien** haben sich gut verhalten.

✿ Generell kann ausgesagt werden, daß weltweit nur sehr wenige Talsperren wirklich **starken Erdbeben** ausgesetzt waren.

# References

- Bergamin, S. (2004): **Die Stabilität der Felsfundamente von Staumauern**. Dissertation, Institut für Geotechnik, ETH Zürich.
- Bieberstein, A. (2006): „Arbeitshilfe zu den geotechnischen Anforderungen für Hochwasserrückhaltebecken sehr kleiner, kleiner und mittlerer Größe“; Abteilung Erddammbau und Deponiebau am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe (TH)
- Larry K. Nuss, P.E., Norihisa Matsumoto, Kenneth D. Hansen, P.E, **.SHAKEN, BUT NOT STIRRED- EARTHQUAKE PERFORMANCE OF CONCRETE DAMS**
- Wieland M. (2003), **Was passiert mit unseren Staumauern bei einem starken Erdbeben?** Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB), Medienmitteilung, 21.März 2003.
- Wieland M. (2002), **Erdbeben und Talsperren**, Wasser Energie Luft, 94. Jahrgang, Heft 9/10, Baden.
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Österreichische Staubeckenkommission, **„Erdbebenberechnung von Talsperren**, Band 1, Grundlagen, 2001
- Arbeitsgruppe "Erdbebensicherheit". (2010): **Vergleich der Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen in der Schweiz mit denjenigen der Nachbarländer Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien** Swiss Committee on Dams, Juni 2010.
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen **„Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen.**
- Merkblatt 58, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA), Essen 2006



Danke für ihre Aufmerksamkeit