

# Erdbebensicherheit: Anforderungen für kleinere Stauanlagen



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

G.R. Darbre  
BWG

# Inhalt

- Grundsätze
- Nachweisbeben
- Dämme
- Beton- und gemauerte Sperren
- Wehre
- Inhaltsverzeichnis der Basisdokumentation

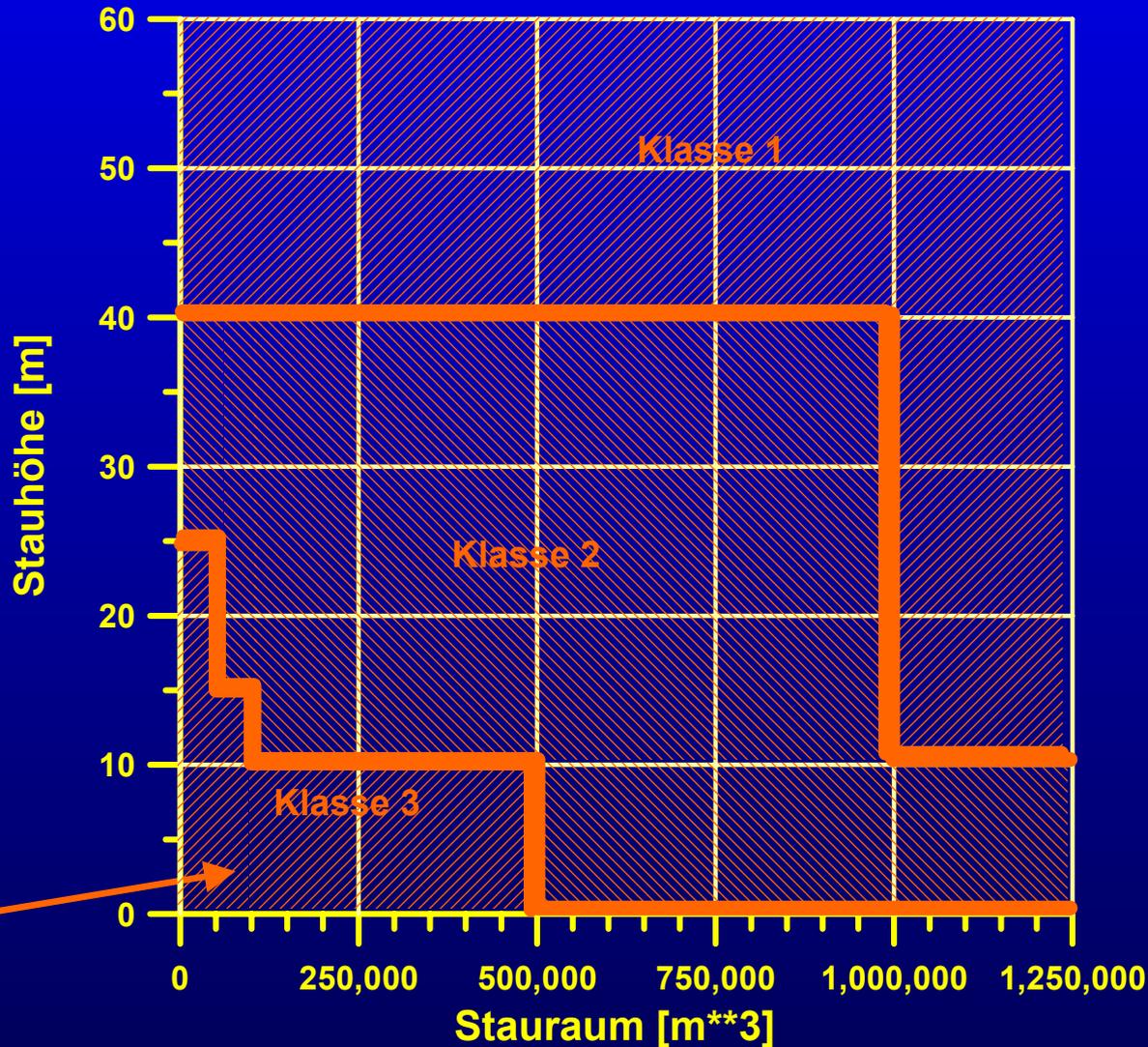
# Schutzziele

- Schutz von Menschenleben und vor Verletzungen, vor materiellen Schäden und volkswirtschaftlichen Folgekosten, und der Umwelt
  - **Kein unkontrollierter Wasserabfluss:**
    - Kein plötzliches Versagen
    - Sicherheitsrelevante Nebenanlagen rasch funktionsfähig
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nicht verlangt!

# Einheitliches Risiko

- Einheitliches Risiko, unabhängig von der Anlage:
  - Wenn ein unkontrollierter Wasserabfluss grössere Auswirkungen hat:
    - Niedrige Eintretenswahrscheinlichkeit des Nachweisbebens
    - Detaillierterer Nachweis
- Umsetzung: → Talsperrenklassen

# Talsperrenklassen: Definition



Rückhalte-  
becken

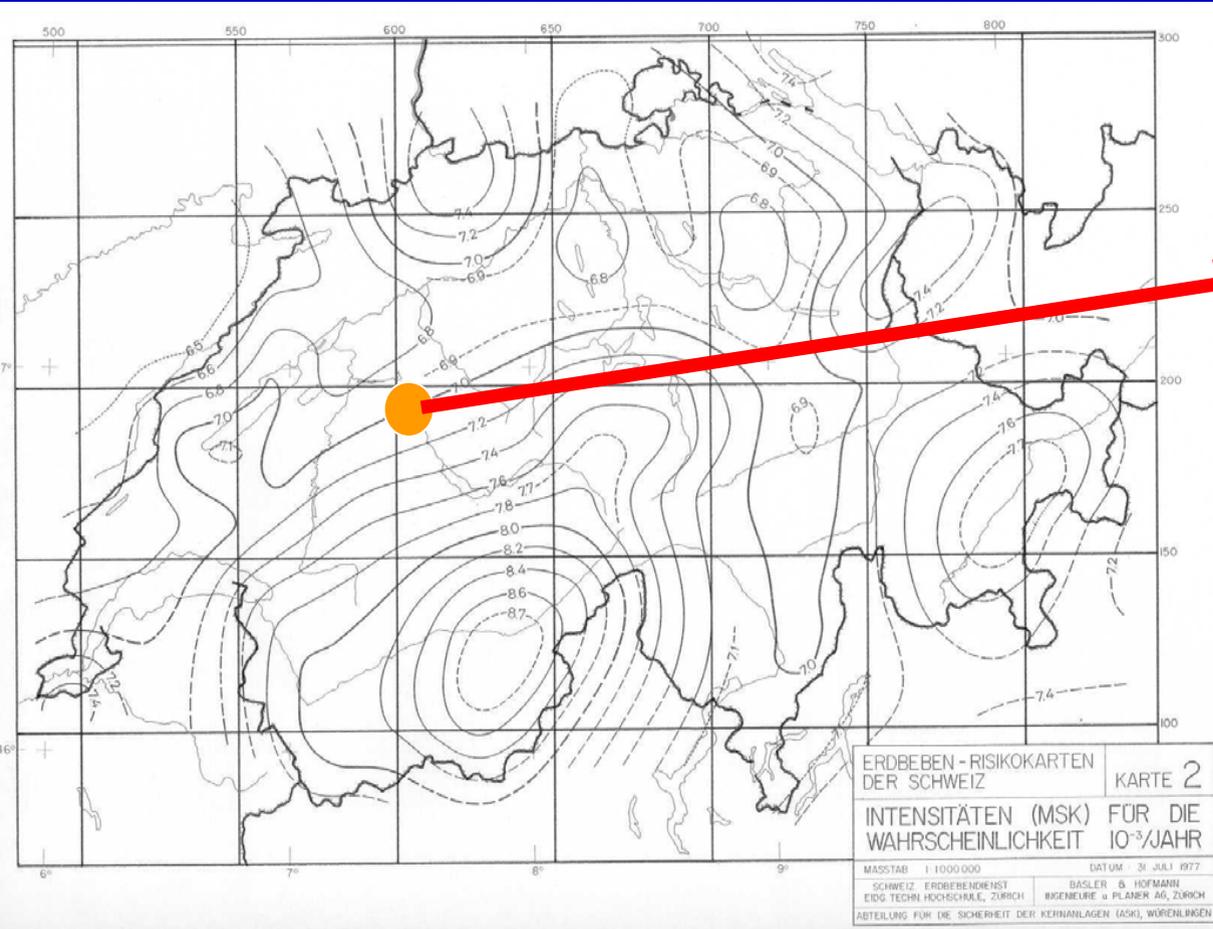
# Nachweis

→ Überprüfung: Einwirkung vs. Tragfähigkeit

Klasse	Überprüfung	Einwirkung (Erdbeben)	Tragfähigkeit
III	Wenig detailliert	10% Überschreitung in 100 Jahren	Repräsentativ
II	Mässig detailliert	2% Überschreitung in 100 Jahren	Repräsentativ
I	Sehr detailliert	1% Überschreitung in 100 Jahren	Repräsentativ

# Einwirkung

- Bodenspitzenbeschleunigung (Klasse III, T=1'000 Jahre) :



$$I_0[\text{MSK}] = 7.0$$

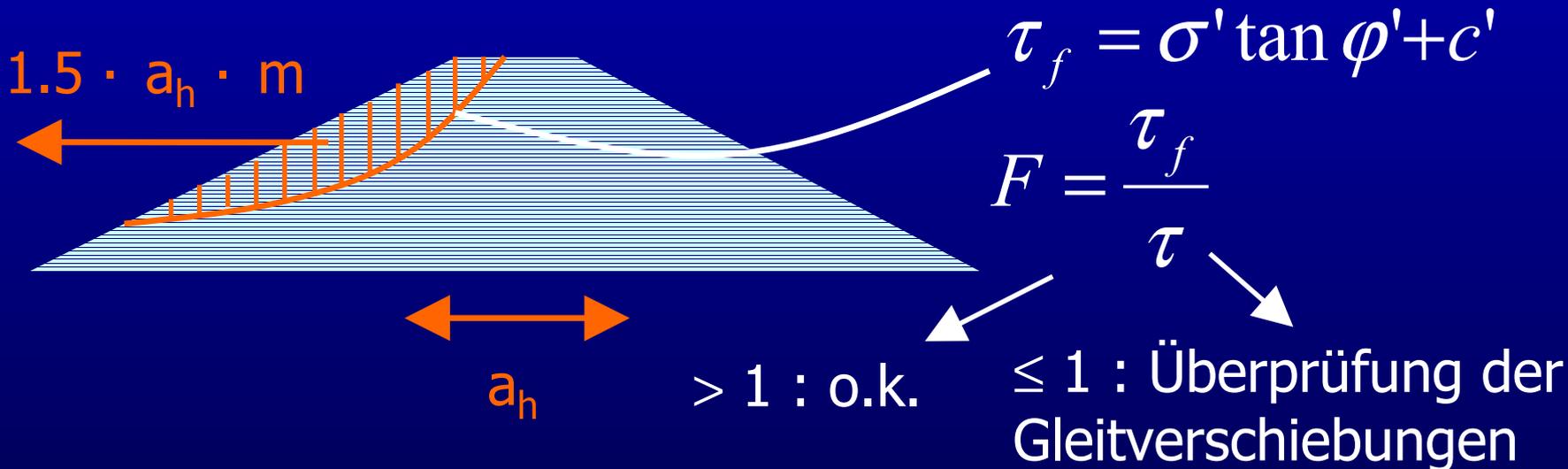
$$\text{Log} a_h = 0.26 I_0 + 0.19$$

$$a_h = 10\% g$$

$$a_v = \frac{2}{3} a_h = 7\% g$$

# Seismische Stabilität (Klasse III)

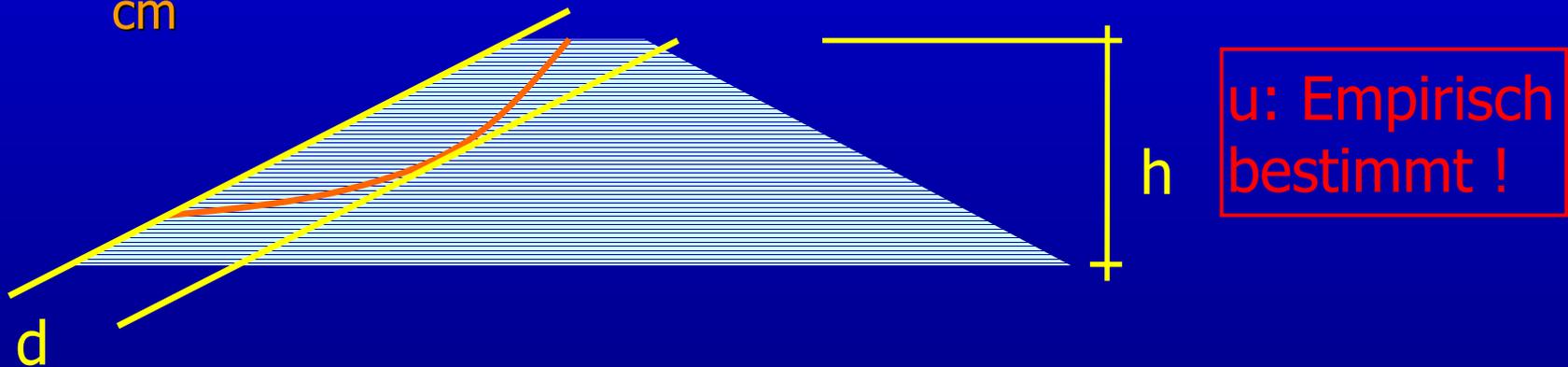
- Erdbeben
- Ständige Lasten unter normalen betrieblichen Bedingungen
  - Eigengewicht
  - Normales Stauziel (Rückhaltebecken: voll)
  - **Keine** mitschwingende Wassermasse (vernachlässigbar)
- Materialkennwerte: **Vorhande** Dokumentation oder **Vergleiche**



# Gleitverschiebungen

## ■ Zulässige Verschiebungen

- Oberflächennahe Gleitkörper ( $d/h < 10\%$  à  $20\%$ ) :  $u < 20$  cm
- Tiefe Gleitkörper ( $d/h < 10\%$  à  $20\%$ ) :  $u < 50$  cm



## ■ Falls Verschiebungskriterien nicht erfüllt, überprüfen:

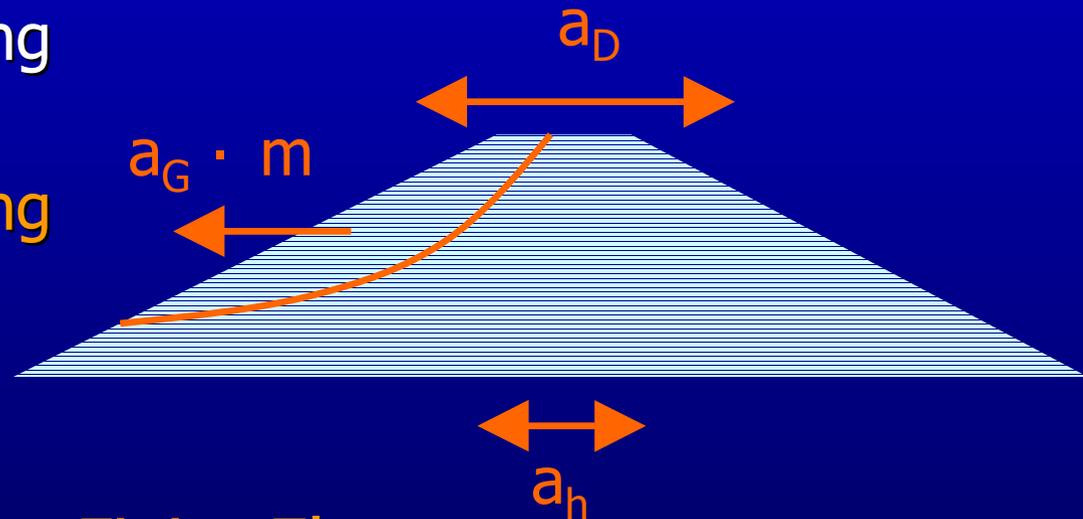
- Freibord (**kein Überströmen**)
- Filterkriterien, genügend selbstheilendes Material, Restdicke der Filter- und Drainageschichten (**keine interne Erosion**)
- **Stabilität im deformierten Zustand (nach dem Erdbeben)**

# Allfällige Massnahmen

- Bauliche und / oder betriebliche Massnahmen
- Verfeinerte Überprüfung (weniger konservativ)

– Formeln und Kurven für

- Grundperiode
- Max. Beschleunigung an Krone
- Max. Beschleunigung im Schwerpunkt des Gleitkörpers

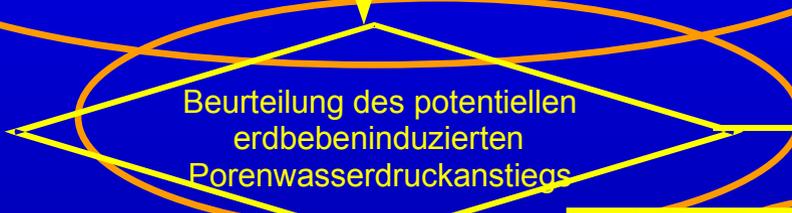


- Beschleunigungen: **Finite-Elemente**,  
Verschiebungen: **Berechnung** (Starrkörper)

# Ablauf

Klasse III

Erhebungen



Verflüssigung möglich



Gleiten möglich

Kriterien erfüllt



Stabilitäts-  
analyse

Kein Gleiten



Überprüfung der  
Verschiebungen



Verschiebungen akzeptabel



Verschiebungen zu gross



Stabilitätsanalysen mit  
Porenwasserdruckanstiegs

Gleitberechnungen mit  
Porenwasserdruckanstiegs

Gleiten möglich

Verschiebungen akzeptabel

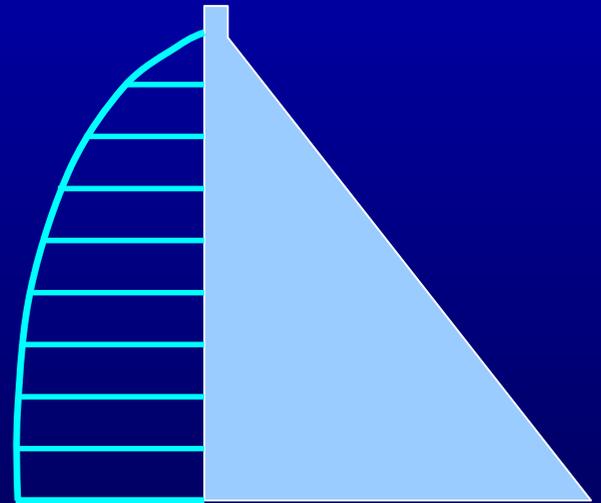


# Sicherheitsnachweise

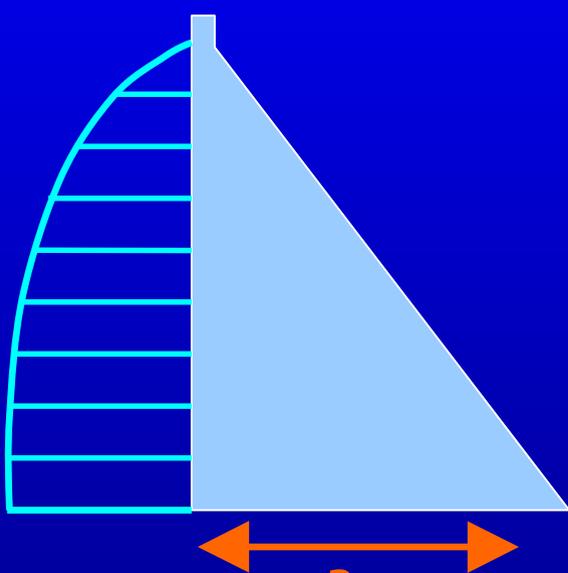
- Spannungen (keine lokale Instabilität unter Berücksichtigung von **Umlagerungen**)
- Sperrenstabilität (Gleiten und Kippen)
- Foundation (bei schlechten Verhältnissen)
- Uferbereiche (bei Vorhandensein von instabilen Zonen, kein untragbares Überschwappen)
- Sicherheitsrelevante Nebenanlagen (Funktionstüchtigkeit erhalten **oder umgehend wiederherstellbar**)

# Lastfallkombinationen

- Ständige Lasten unter normalen betrieblichen Bedingungen
  - Eigengewicht
  - Normales Stauziel (Rückhaltebecken: voll)
  - Entsprechende Temperaturen
- Erdbeben
  - inklusive mitschwingende Wassermasse ! ("Westergaard")



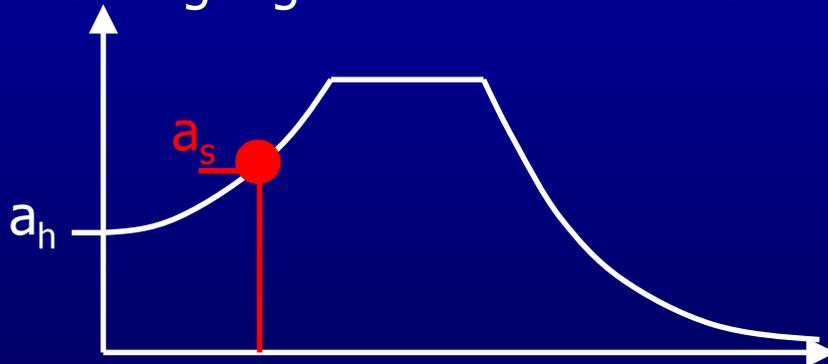
# Pseudostatische Methode



Einheitliche  
Beschleunigung  $a_s$

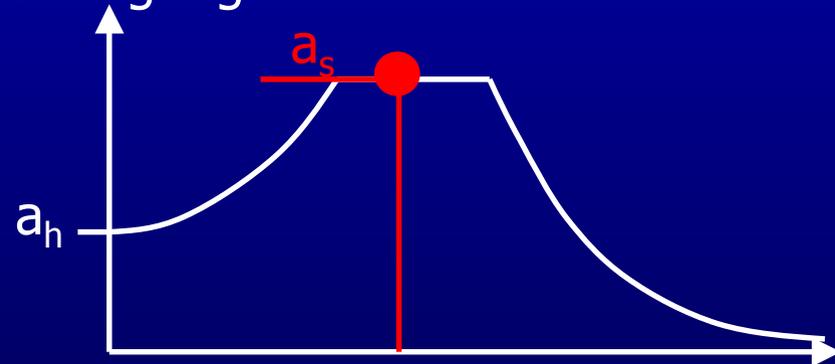
Vorgehen ist  
äusserst  
konservativ !

Spektrale  
Beschleunigung



Periode T

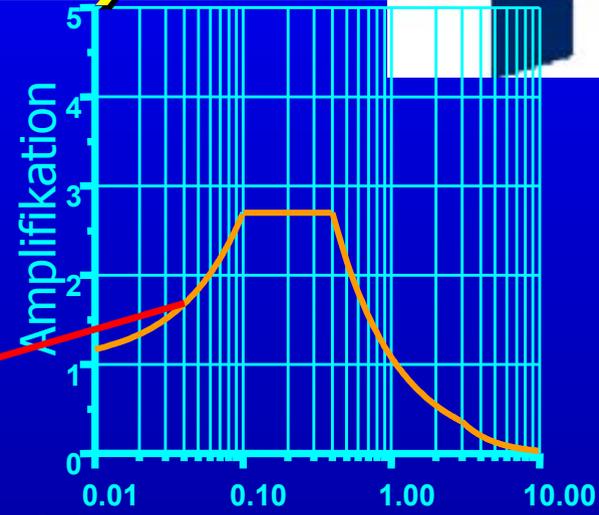
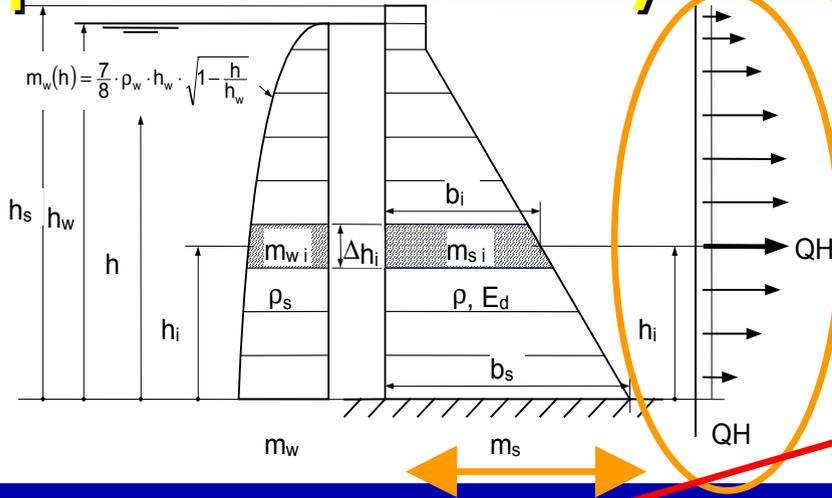
Spektrale  
Beschleunigung



Periode T

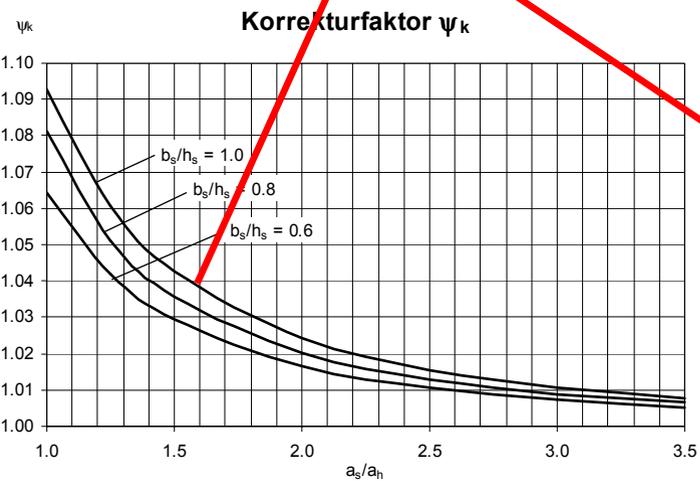
# Teil D - Beton- und gemauerte Sperren

## Spektrale Analyse (1 Mode)

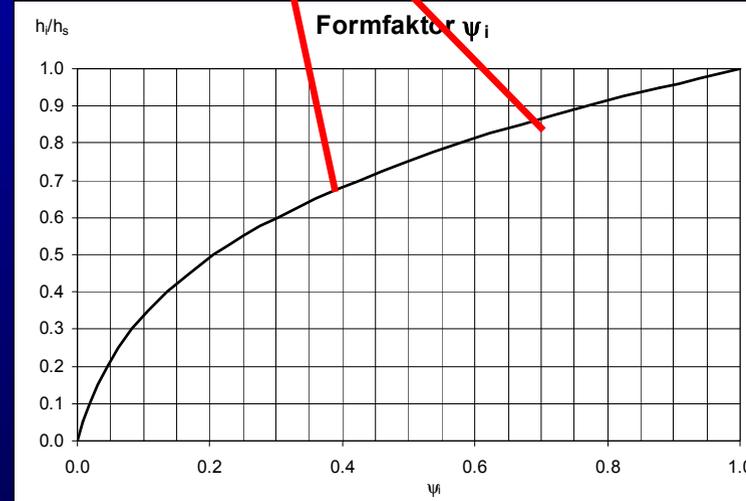


$$QH_{tot} = a_s \psi_k \psi_m \left( \sum m_i \right) \quad QH = QH_{tot} \frac{m_i \psi_i}{\sum (m_i \psi_i)}$$

Periode [Sekunden]



Tabelle



# Teil D - Beton- und gemauerte Sperren

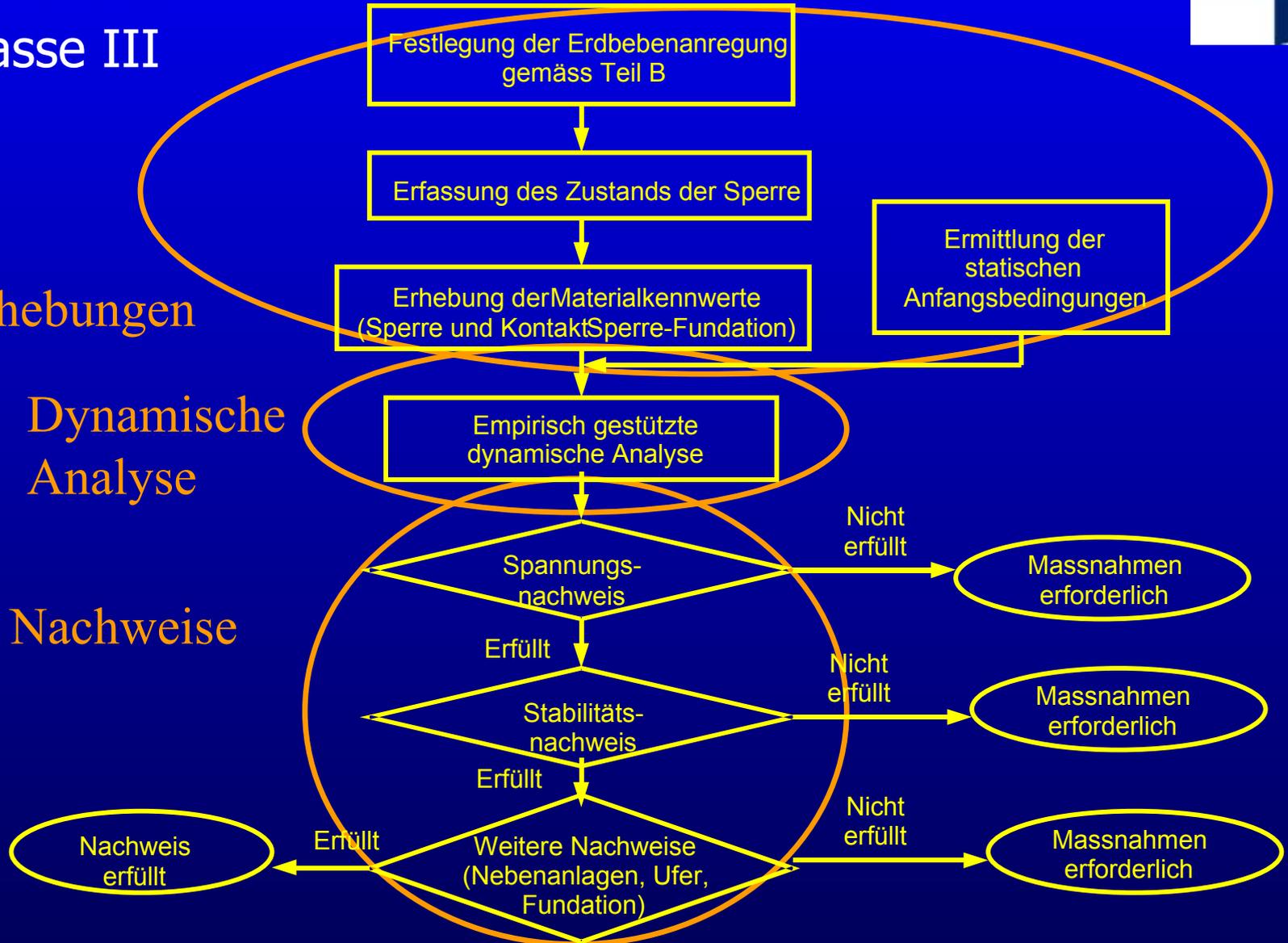
## Ablauf

Klasse III

Erhebungen

Dynamische Analyse

Nachweise



# Strukturelle Gegebenheiten



Windwerke

Aufzugskette

Schützentafel

Windwerkbrücke

Eigengewicht

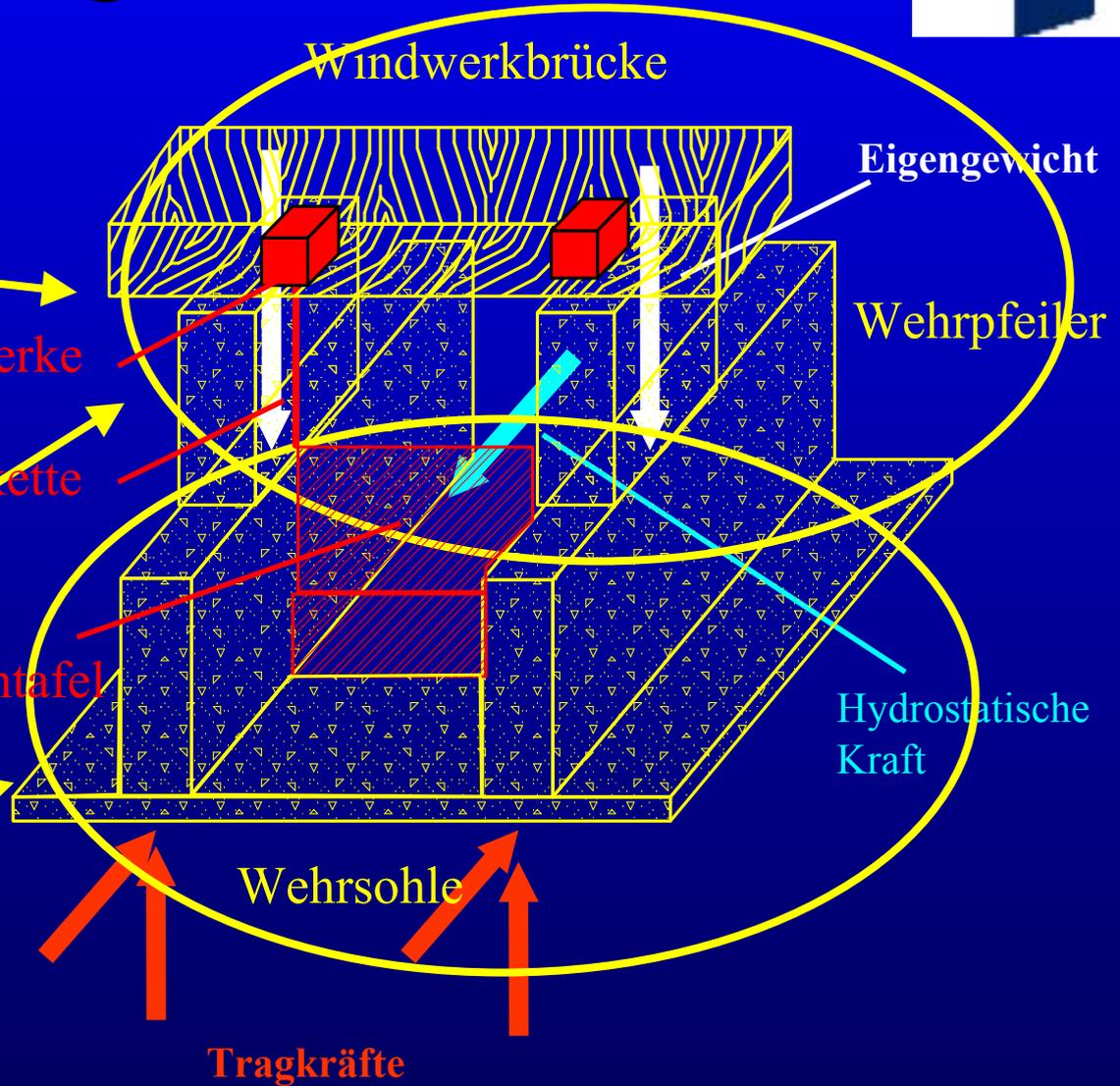
Wehrpfeiler

Hydrostatische Kraft

Wehrsohle

Tragkräfte

- Oberer Teil:  
ähnlich wie eine  
Brücke
- Unterer Teil:  
Sperre
- Verschiedene  
Materialien

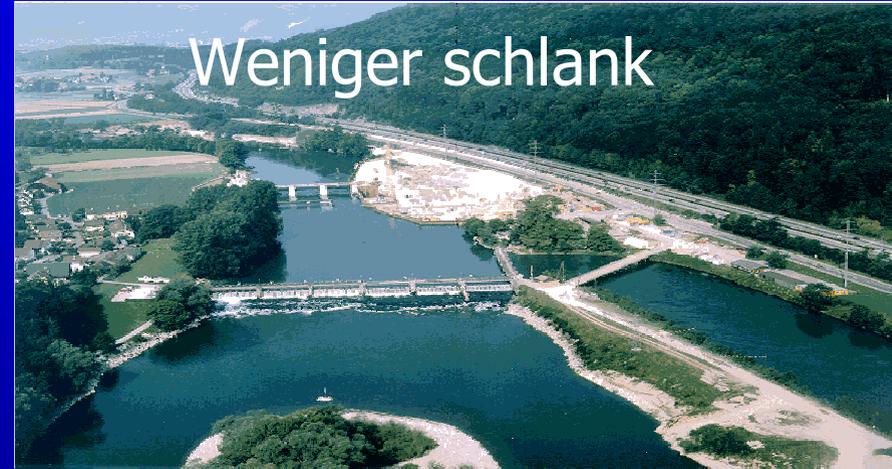


# Statisches System

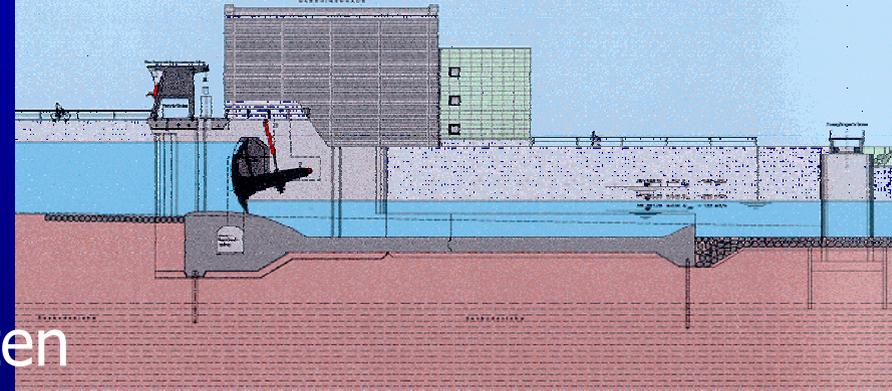
Schlank



Weniger schlank



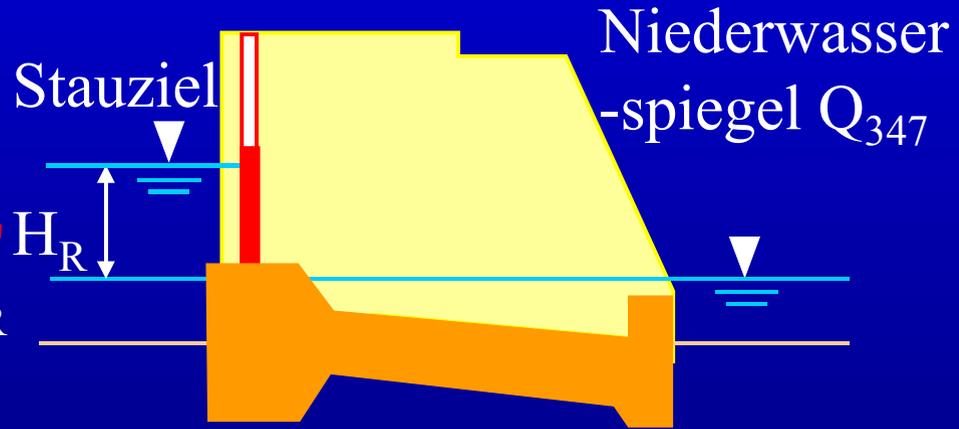
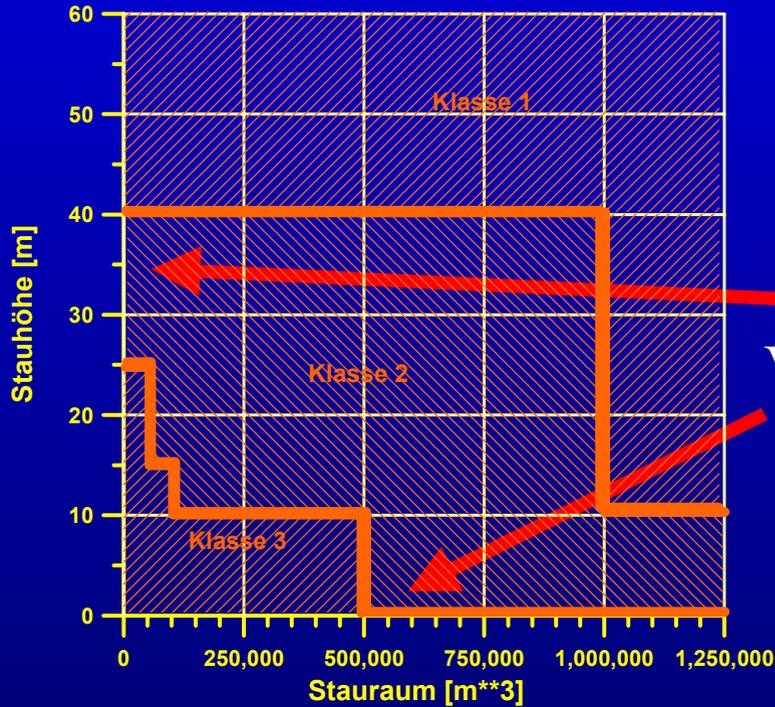
Feststellung: Vielfältigkeit von  
strukturellen Elementen



⇒ Drittrichtlinien dürfen verwendet werden (empfohlen) !  
Vorbehalten bleiben die Grundbestimmungen

# Talsperrenklassen

## Klassenzuteilung



⇒ Entsprechende Wiederkehrperiode

⇒ Entsprechender Detaillierungsgrad der Modellierung, gemäss Angaben für Betonmauer

# Verhalten

- Kein unkontrollierter Wasserabfluss
  - ⇒ Grössere Schäden der Strukturteilen über den höchsten Wasserstand sind zugelassen
    - Vorausgesetzt, dass die Sicherheitsorgane (Schützen) durch andere Mittel betrieben werden können
- Erforderliche Nachweise:
  - Tragsicherheit der Tragstruktur
  - Tragsicherheit der Staulemente (Schütze)
  - Stabilität des Wehrs
  - Funktionstüchtigkeit der Sicherheitsorgane

# Inhaltsverzeichnis

A - Grundsätze

Dr. Darbre (BWG)

B - Nachweisbeben

Dr. Darbre (BWG)

C - Dämme

Dr. Studer (Studer Eng.)

D - Beton- und gemauerte Sperren

Fr. Tiniç (NOK)

E - Wehre

Dr. Otto (NOK)

F - Starkbebeninstrumentierung

Dr. Otto (NOK)

G - Nachbebenkontrollen

Dr. Bossoney (Stucky SA)

M. Amberg (Lombardi SA)

Dr. Hammer (BWG)

Dr. Wieland (EWE)

Prof. Giardini (SED)

