



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

RICHTLINIE TEIL C3: ERDBEBENSICHERHEIT

NACHWEIS FÜR NICHT GROSSE STAUANLAGEN (STAUANLAGENKLASSE III)



INHALT

1. Notwendigkeit eines Nachweises
2. Verhaltensziele / Nachweisbestandteile (A, B, C)
3. Erdbebeeinwirkung
4. Absperrbauwerk (A): Vereinfachter Nachweis
5. Absperrbauwerk (A): Vollständiger Nachweis
6. Nebenanlagen (B)
7. Stauraum (C)
8. Zusammenfassung



1. NOTWENDIGKEIT EINES NACHWEISES

Ein Erdbebensicherheitsnachweis ist notwendig

- bei Neu- oder Umbauten
- bestehenden Stauanlagen noch ohne Erdbebennachweis
- zur Berücksichtigung von Änderungen des Standes von Wissenschaft und Technik
- zur Berücksichtigung von Änderungen der Annahmen eines vorgängigen Nachweises



2. VERHALTENSZIELE / NACHWEISBESTANDTEILE

Allgemeines Verhaltensziel:

- Kein Versagen, welches zu einem unkontrollierten Wasserausfluss führt.

Schäden und bleibende Verformungen sind zulässig.



2. VERHALTENSZIELE / NACHWEISBESTANDTEILE

Nachweisbestandteile:

A) Absperrbauwerk

Kein unkontrollierter Wasserausfluss durch Versagen der Sperre

B) Nebenanlagen

Kein unkontrollierter Wasserausfluss aufgrund von Schäden;
Erhalt der Funktionstüchtigkeit zur Entleerung (oder auf andere Weise);
Erhalt der Funktionstüchtigkeit der wesentlichen Instrumentierung

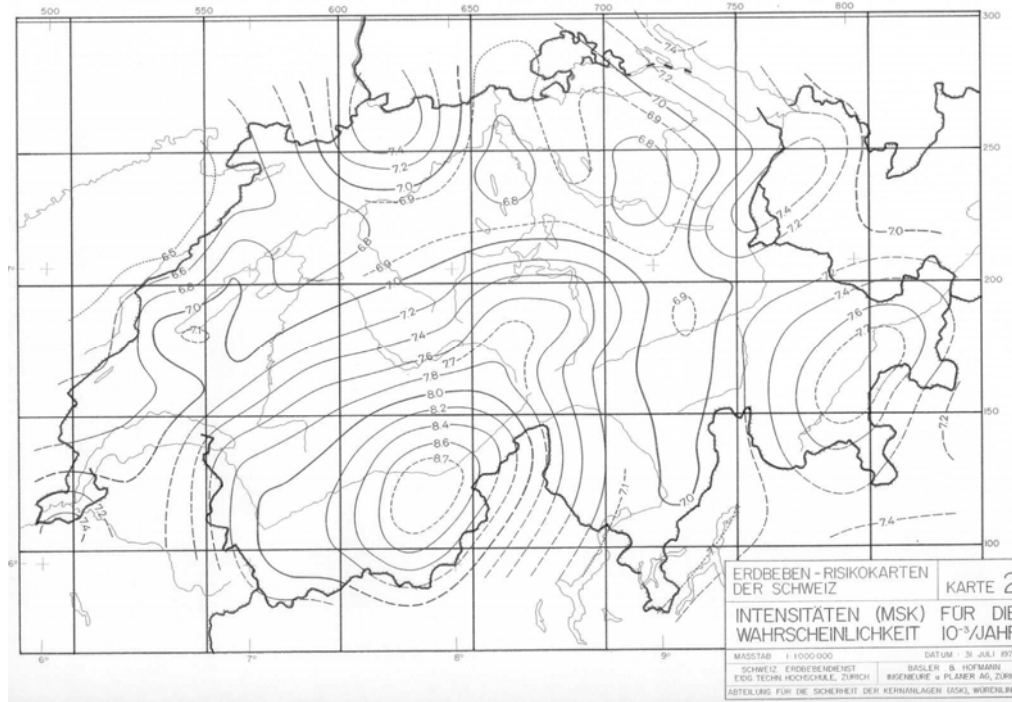
C) Stauraum

Kein unkontrollierter Wasserausfluss aufgrund von Massenbewegungen



3. ERDBEBENEINWIRKUNG

Für bestehende Stauanlagen bis auf weiteres:
Einwirkung nach dem Basisdokument BWG (2003)



Intensität I_{MSK} aus Karte
für Wiederperiode 1'000 Jahre

Dazugehörige
Bodenspitzenbeschleunigung:

$$a_h = 10^{0.26 I_{MSK} + 0.19} \quad [\text{cm/s}^2]$$



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS



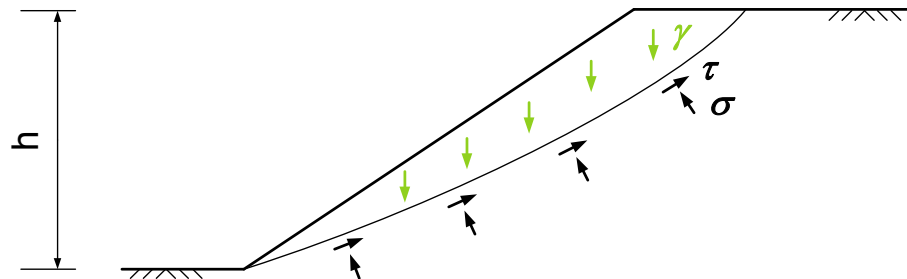
Stauanlage Hintere Hütte, Arosa, GR (Foto BFE, 2011)



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Vergleich des statischen und des dynamischen Lastfalles:

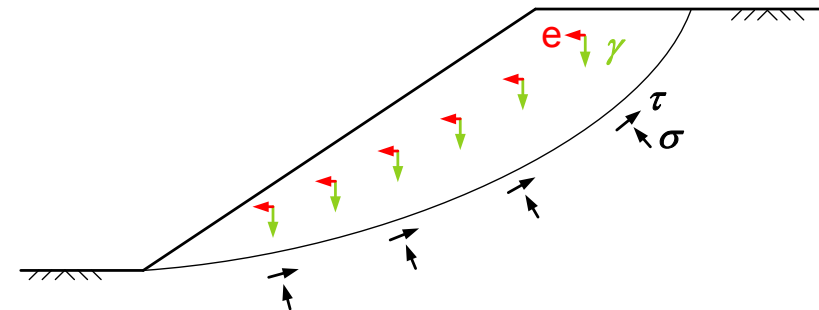
Statisch:



SF_{stat} sei bekannt.

$N_s = \frac{\gamma h}{c}$ wird rückgerechnet.

Dynamisch:

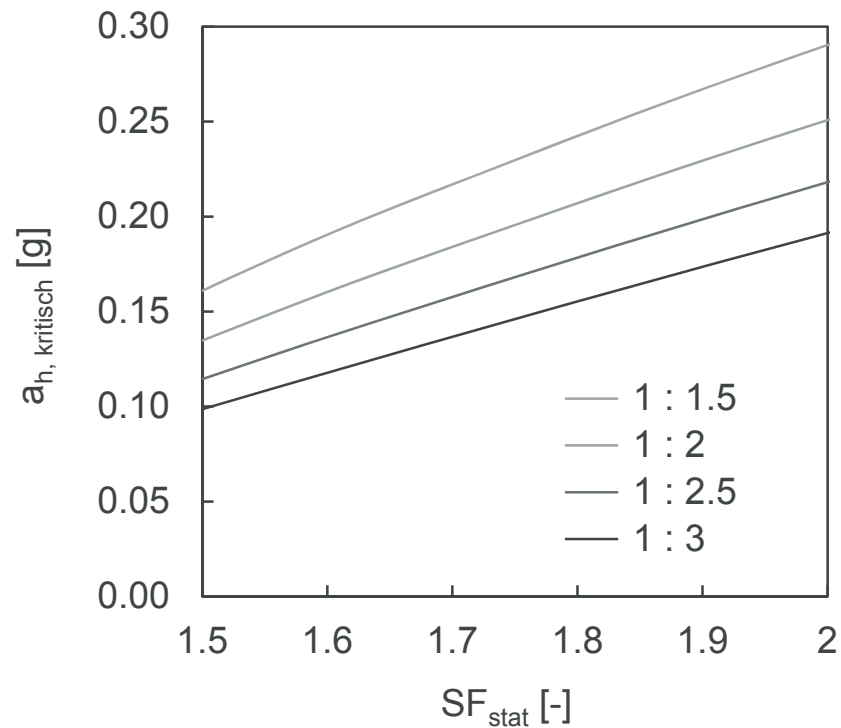


$a_{h, \text{kritisch}} = ?$



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

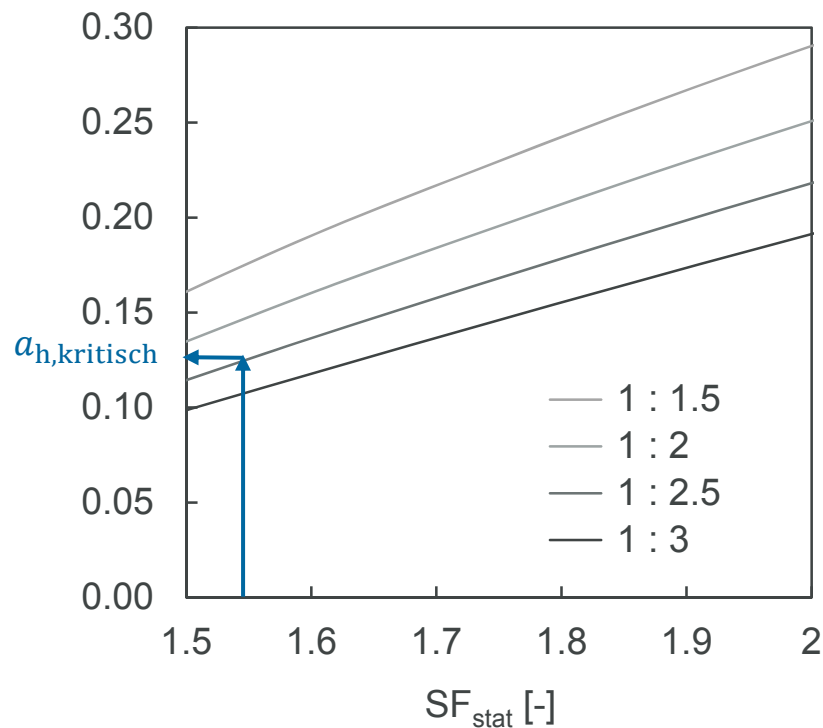
Nachweis für Dämme (drainiert):





4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Nachweis für Dämme (drainiert):



$$a_h \leq a_{h,kritisch}$$

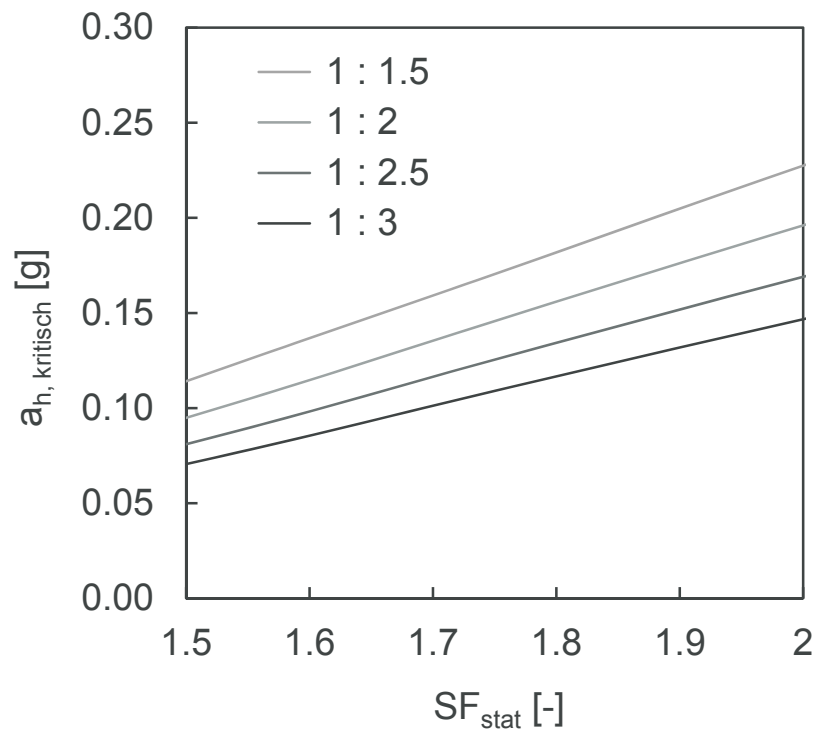
Falls $SF_{stat} = 1.5$

$$a_h \leq a_{h,kritisch} = 0.10 - 0.16 g$$



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Nachweis für Dämme (undrainiert):



$$a_h \leq a_{h, \text{kritisch}}$$



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Voraussetzungen:

- 1) Der statische Stabilitätsnachweis ist erfüllt.
- 2) Die Neigung der wasserseitigen Böschung ist nicht steiler als die Neigung der luftseitigen Böschung.
- 3) Es muss nicht von erheblichem erdbebeninduziertem Porenwasserdruckaufbau ausgegangen werden.
- 4) Dammverformungen beeinträchtigen nicht die Dichtigkeit des Absperrbauwerks.



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS



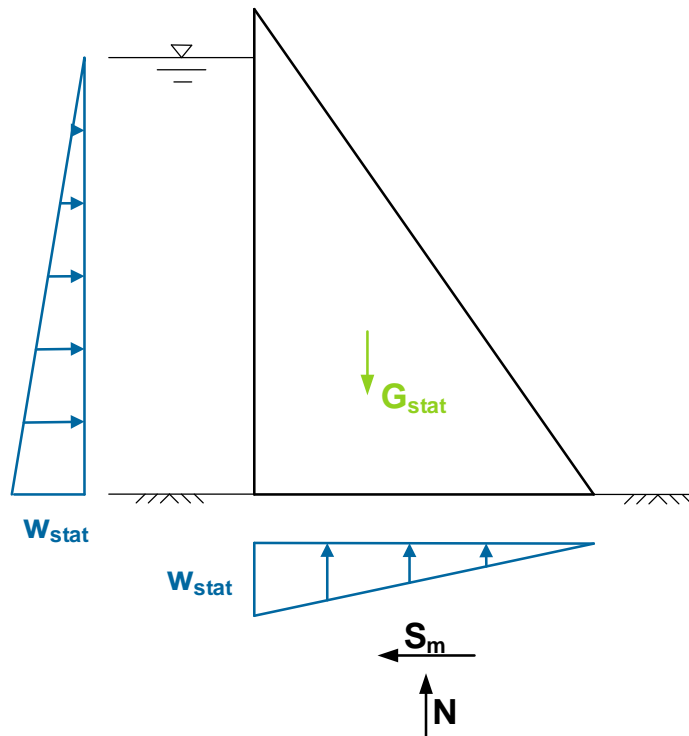
Stauanlage Louvie, Versegères, VS (Foto BFE, 2013)



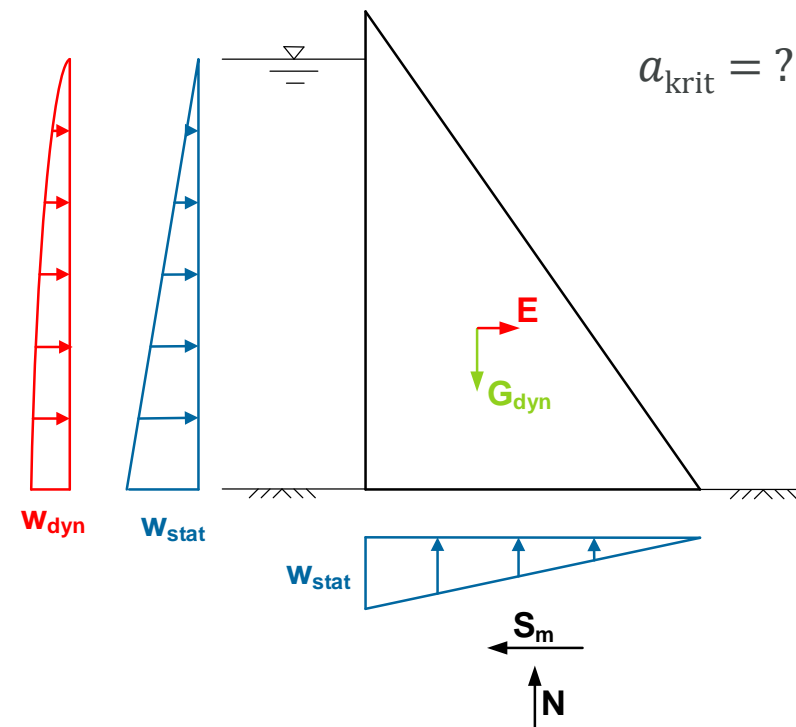
4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Vergleich des statischen und des dynamischen Lastfalles:

Statisch:



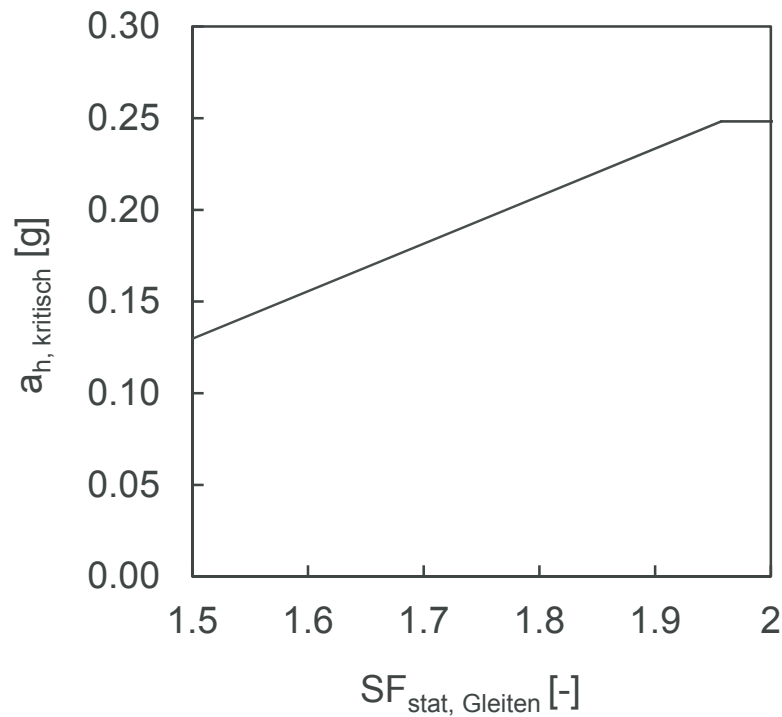
Dynamisch:





4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

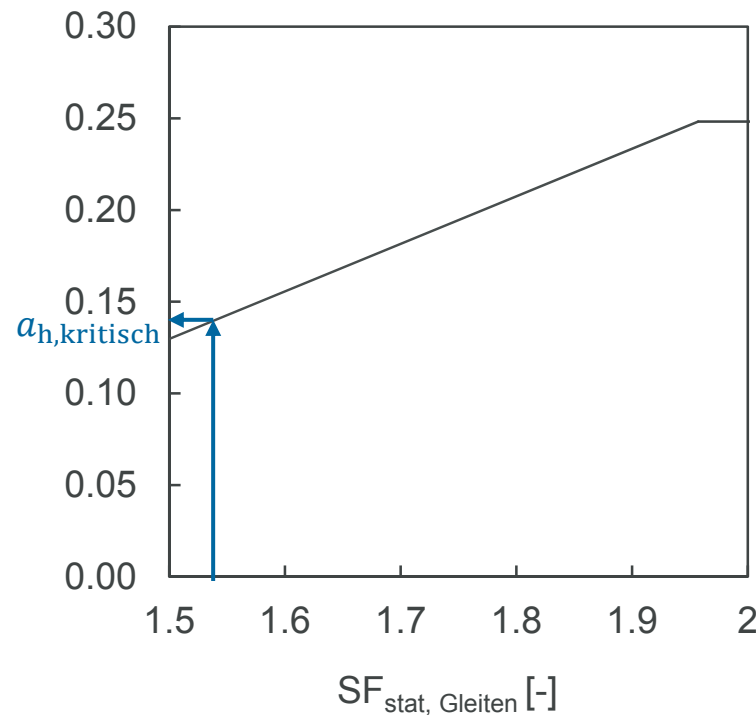
Nachweis für Gewichtsmauern:





4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Nachweis für Gewichtsmauern:



$$a_h \leq a_{h,\text{kritisch}}$$

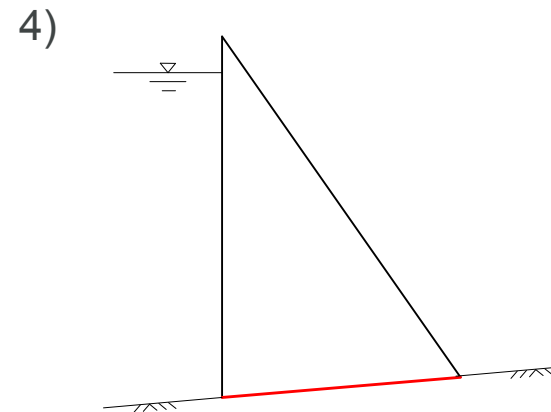
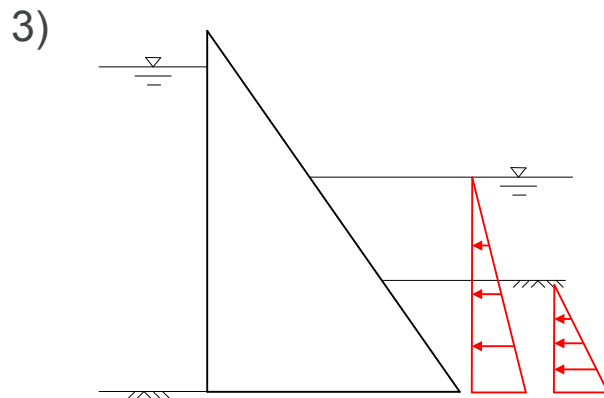
Falls $SF_{\text{stat, Gleiten}} = 1.5$
 $a_h \leq a_{h,\text{kritisch}} = 0.13g$



4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Voraussetzungen:

- 1) Der statische Gleitnachweis ist erfüllt.
- 2) Der statische Kippnachweis ist erfüllt (Resultierende im Kern).
- 3) Allfällige luftseitige Erd- oder Wasserdrücke wurden nicht berücksichtigt.
- 4) Ein allfälliges Ansteigen der Aufstandsfläche gegen die Luftseite hin wurde nicht berücksichtigt.

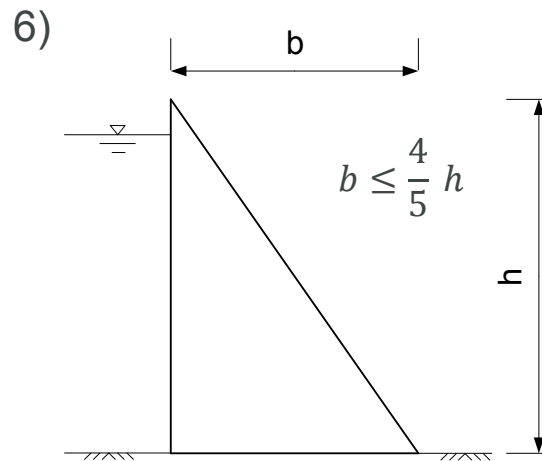




4. ABSPERRBAUWERK: VEREINFACHTER NACHWEIS

Voraussetzungen:

- 5) Die Gewichtsmauer ist näherungsweise dreiecksförmig.
- 6) Die Basisbreite b ist nicht grösser als $\frac{4}{5}$ der Mauerhöhe h .
- 7) Es ist nicht davon auszugehen, dass sich die Auftriebsverhältnisse auf Grund des Erdbebens verändern.

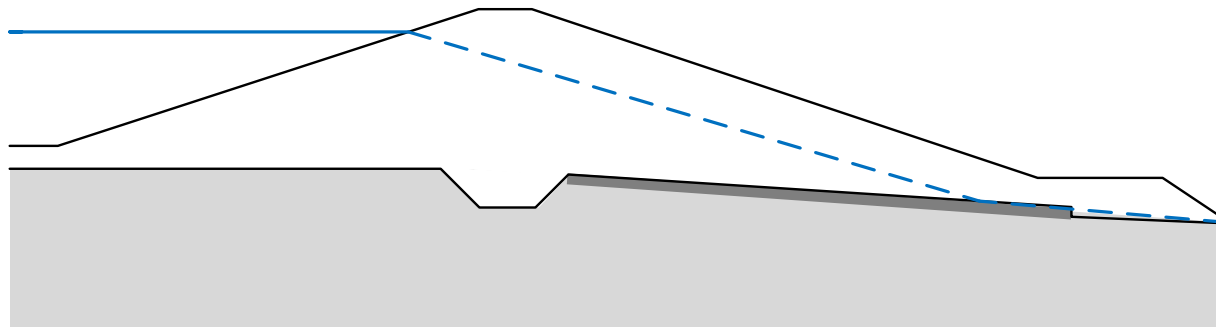




5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: DÄMME

Modellbildung:

- 2d
- Materialkennwerte bei bestehenden Stauanlagen aus Literatur oder aus Angaben zu vergleichbaren Bauwerken:
 $\tan(\varphi) = \tan(\varphi_{\text{Literatur}})/1.2$
- Abschätzung der undrainierten Scherfestigkeit entsprechend der Überlagerung: $s_{u,\text{dyn}} = 0.8 s_{u,\text{stat}}$



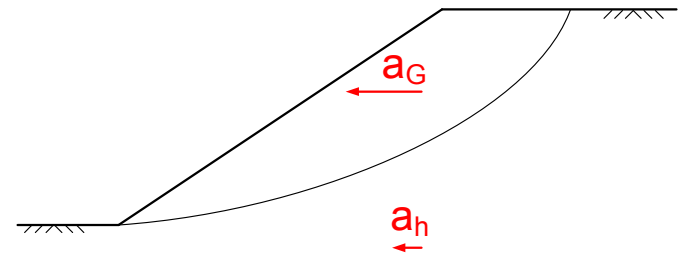


5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: DÄMME

Analyse:

Stabilitätsanalyse mit Ersatzkraftverfahren:

- Vereinfachte Abschätzung der Amplifikation ($a_G = 1.5 a_h$)
- ohne Berücksichtigung der Vertikalanregung ($a_v = 0$)
- ohne Berücksichtigung dynamischer Wasserdrücke
- ev. Abschätzung bleibender Verformungen falls Stabilität nicht gegeben (z.B. Methode nach Makdisi-Seed)





5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: DÄMME

Interpretation und Beurteilung:

- Beurteilung der Erfüllung der Verhaltensziele
- Beurteilung der bleibenden Verformungen hinsichtlich des Freibords, der Gefahr der inneren Erosion und der Integrität der Dichtung



Stauanlage Hintere Hütte, Arosa, GR (Foto BFE, 2011)

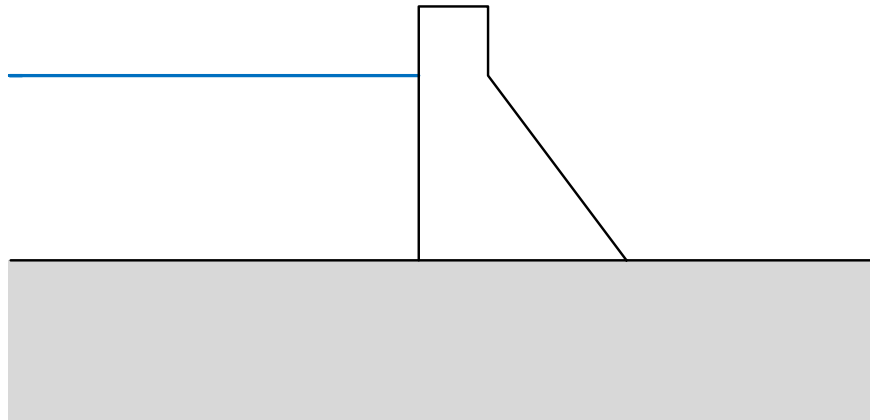


5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: GEWICHTSMAUERN

Modellbildung:

- 2d
- Annahme eines starren Untergrundes
- Materialkennwerte bei bestehenden Stauanlagen aus Literatur oder aus Angaben zu vergleichbaren Bauwerken:

$$\tan(\varphi) = \tan(\varphi_{\text{Literatur}})/1.2 \quad c = c_{\text{Literatur}}/2$$





5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: GEWICHTSMAUERN

Analyse:

Stabilitätsanalyse unter Berücksichtigung der ersten Eigenform

(Gleit- und Kippsicherheitsnachweis):

- ohne Berücksichtigung der Vertikalanregung ($a_v = 0$)
- mit Berücksichtigung dynamischer Wasserdrücke
- ev. Abschätzung bleibender Verschiebungen (Newmark-Methode)



5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: GEWICHTSMAUERN

Interpretation und Beurteilung:

- Beurteilung der Erfüllung der Verhaltensziele
- Beurteilung der bleibenden Verschiebungen hinsichtlich der Auftriebsverhältnisse, der Integrität der Dichtungselemente und Schäden



Stauanlage Louvie, Versegères, VS (Foto BFE, 2013)



5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: WEHRE

Modellbildung:

- 3d
- Annahme eines starren Untergrundes
- Materialkennwerte bei bestehenden Stauanlagen aus Literatur oder aus Angaben zu vergleichbaren Bauwerken:

$$\tan(\varphi) = \tan(\varphi_{\text{Literatur}})/1.2 \quad c = c_{\text{Literatur}}/2$$



5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: WEHRE

Analyse:

Stabilitätsanalyse mit Berücksichtigung der ersten Eigenform
(Gleit- und Kippsicherheitsnachweis):

- mit Berücksichtigung zweier Horizontalanregungen
(senkrecht und parallel zur Wehrachse: a_{h1}, a_{h2})
- ohne Berücksichtigung der Vertikalanregung ($a_v = 0$)
- mit Berücksichtigung dynamischer Wasserdrücke
- ev. Abschätzung bleibender Verschiebungen (Newmark-Methode)



5. ABSPERRBAUWERK: VOLLSTÄNDIGER NACHWEIS: WEHRE

Interpretation und Beurteilung:

- Beurteilung der Erfüllung der Verhaltensziele
- Beurteilung der bleibenden Verschiebungen hinsichtlich der Auftriebsverhältnisse, der Integrität der Dichtungselemente und Schäden



Stauanlage Simmewehr, Wimmis, BE (Foto BFE, 2014)



6. NEBENANLAGEN

Es ist durch eine Fachperson zu beurteilen, ob die **Funktionstüchtigkeit der Entlastungs- und Ablassorgane** durch die Erdbebeneinwirkung beeinträchtigt werden kann (z.B. durch Verklemmen der mechanischen Verschlüsse). Die Beurteilung ist im Nachweis zu begründen und durch Pläne und Fotos zu belegen.

Zudem ist der rechnerische Nachweis zu erbringen, dass die mechanischen Verschlüsse den hydrodynamischen Wasserdrücken standhalten können.



7. STAURAUM

Die **Gefährdung durch Massenbewegungen** ist durch eine Fachperson zu beurteilen. Die Beurteilung ist im Nachweis zu begründen und durch Pläne und Fotos zu belegen.

Stabilitätsberechnungen sollen herangezogen werden, falls diese zur Beurteilung benötigt werden.



8. ZUSAMMENFASSUNG

1. Der Erdbebennachweis umfasst den Nachweis für das Absperrbauwerk (A), die Nebenanlagen (B) und den Stauraum (C).
2. (A): Liegt ein statischer Nachweis vor und sind die entsprechenden Voraussetzungen gegeben, so kann für das Absperrbauwerk ein vereinfachter Nachweis geführt werden.
3. (B)+(C): Der Nachweis für die Nebenanlagen und den Stauraum erfolgt durch eine (ev. qualitative jedoch nachvollziehbare) Beurteilung durch eine Fachperson.



Vielen Dank !!

markus.schwager@bfe.admin.ch

058 462 79 75