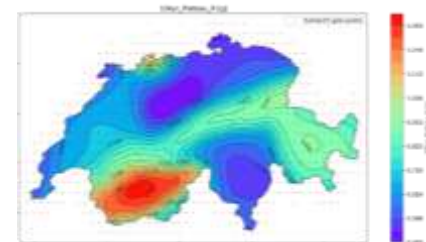




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Uffizi federal d'energia UFE



TOTALREVISION DER RICHTLINIE TEIL C3

ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ÄNDERUNGEN FÜR KLEINE STAUANLAGEN



ZIEL DES ERDBEBENSICHERHEITSNACHWEISES

ALLGEMEIN

- **2.2.1.** Ziel des Erdbebensicherheitsnachweises einer Stauanlage ist es, nachzuweisen, dass während und nach einem Erdbeben ein Versagen der Anlage, das zu einem **unkontrollierten, schadensverursachenden Wasserabfluss** (oder Abfluss von anderem zurückgehaltenem Material bei Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren, z. B. Geschiebe) aus dem Stauraum führen kann, ausgeschlossen werden kann.
- Es ist anzumerken, dass Schäden, einschliesslich bleibender Verformungen, die die Sicherheit der Stauanlage nicht beeinträchtigen, als akzeptabel gelten.



UMSETZUNGSPLAN

ALLGEMEINE ZIELSETZUNG

- Die Erdbebensicherheit aller StAG-unterstellten Stauanlagen in der Schweiz (unabhängig von der Aufsichtsbehörde) soll bis 2037 überprüft werden.
- Ein effizienter, und realistischer Ansatz ist wünschenswert
- Das BFE hat Kriterien festgelegt, um die Prioritäten zu bestimmen
 - Energiebedarf des Landes
 - Geplante oder laufende Projekte (Neubau, Sanierung, Erhöhung)
 - Anfälligkeit bestehender Stauanlagen für extreme Erdbeben
 - Das Ausmass der Zunahme der Erdbebengefährdung im Vergleich zu den Karten von 1977 und die damit verbundenen Folgen
 - Kapazität der Ingenieurbüros



UMSETZUNGSPLAN

BFE-PLANNUNG

- Das BFE hat den Vorschlag für die Verteilung aller Stauanlagen unter seiner Aufsicht an die Stauanlagenbetreiber geschickt und um ein Feedback bis Mitte November gebeten.
- Auf der Grundlage der Rückmeldungen könnte der Plan noch leicht angepasst werden.
- Der endgültige Plan wird bis Ende 2025 bekannt gegeben.

Tranche	Periode
1	2025-2030
2	2027-2031
3	2029-2033
4	2031-2035
5	2033-2037

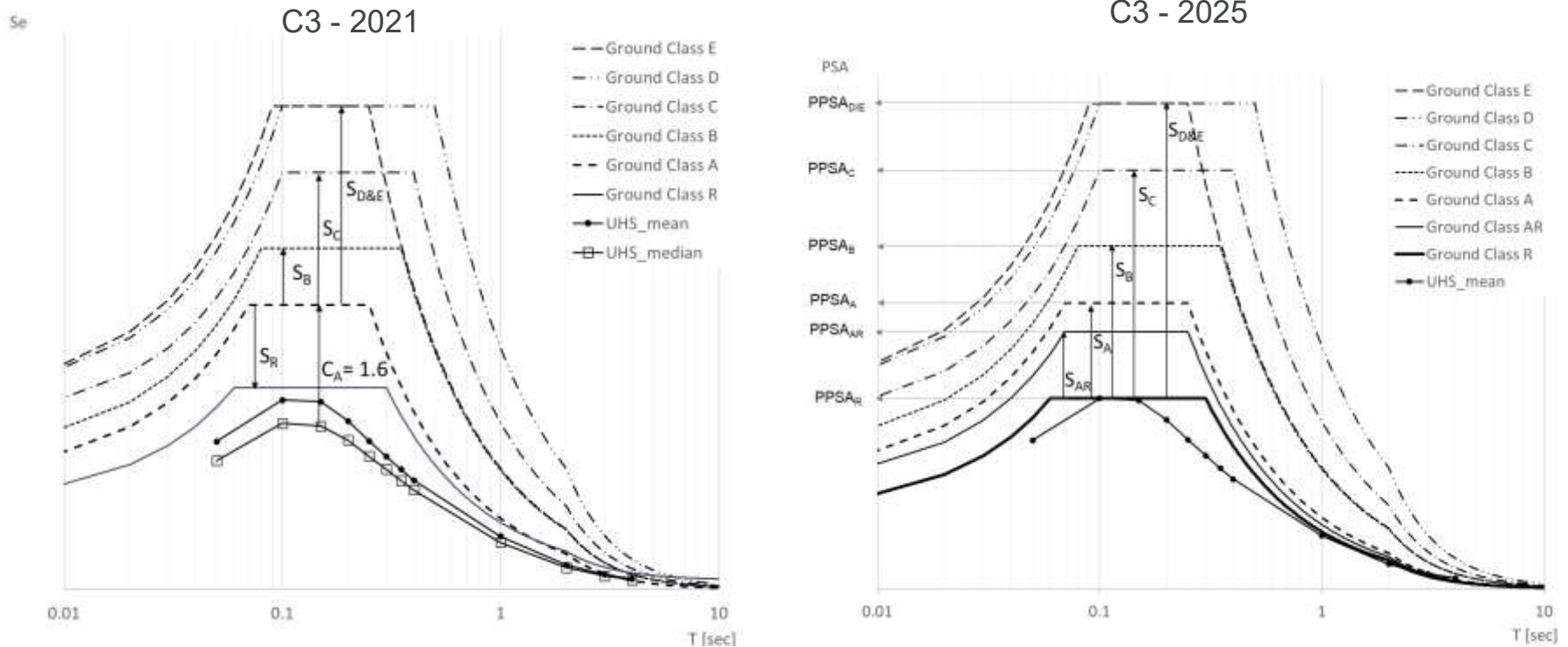


UMSETZUNGSPLAN

- Zweistufiger Ansatz für jede Anlage:
 - Schritt 1: Bestimmung der seismischen Einwirkung (BGK – Spektrum – Beschleunigungszeitverläufe)
 - Schritt 2: Analyse der Erdbebensicherheit
- Die vorgesehenen Aufgaben des BFE:
 - Breitstellung der technische Hilfsdokumente
 - Verfügbarkeit zur Erläuterung und Interpretation der Richtlinie C3
- Das BFE bittet die Aufsichtsbehörden der Kantone, ihren Zeitplan für die Durchführung des Erdbebensicherheitsnachweises für alle Stauanlagen unter ihrer Aufsicht bis spätestens Juni 2026 (im Jahresbericht) mitzuteilen.

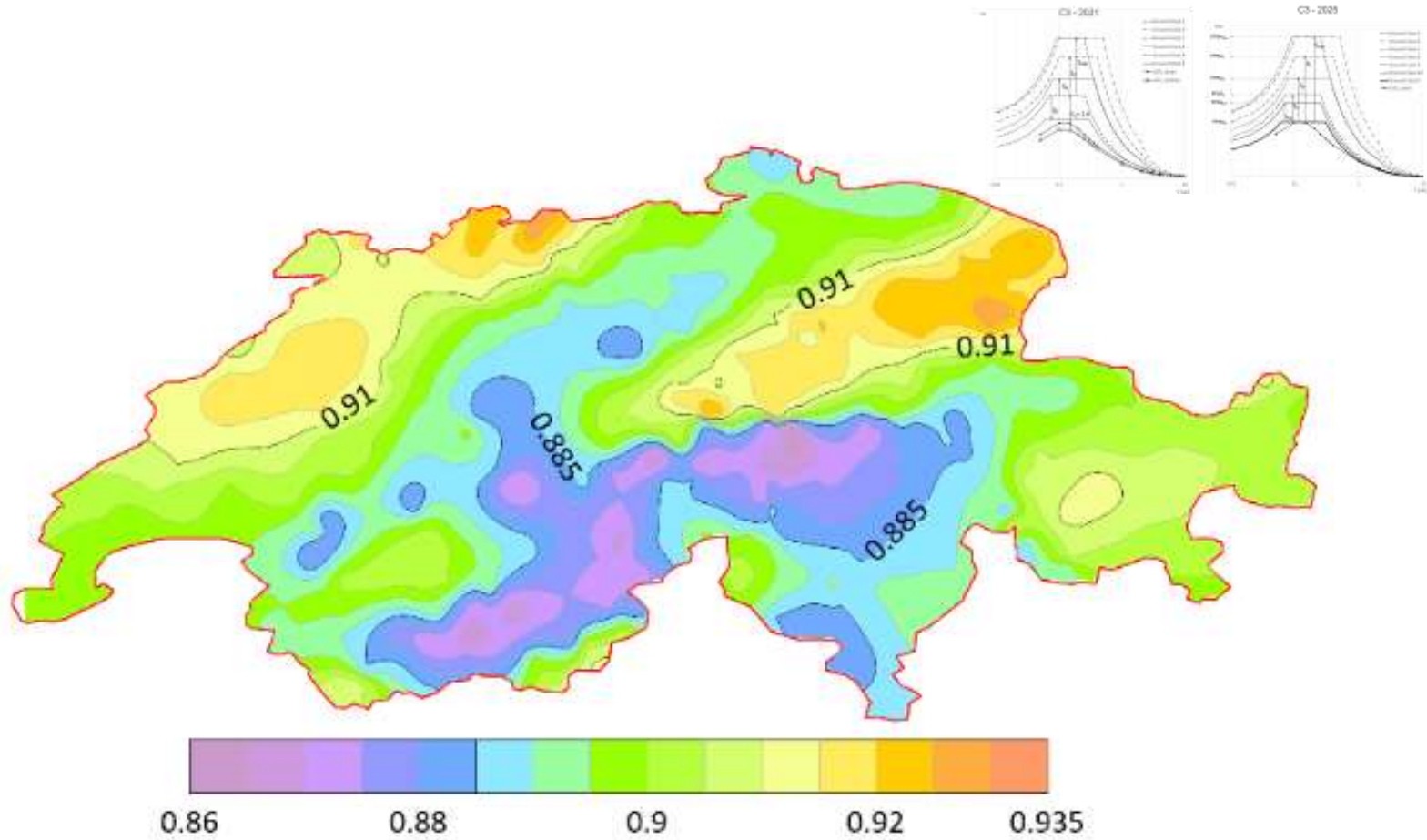


NEUE DEFINITION DER BAUGRUNDKLASSE R





VERGLEICH VON PPSA_R 2025 MIT PPSA_R 2021



1000 J.

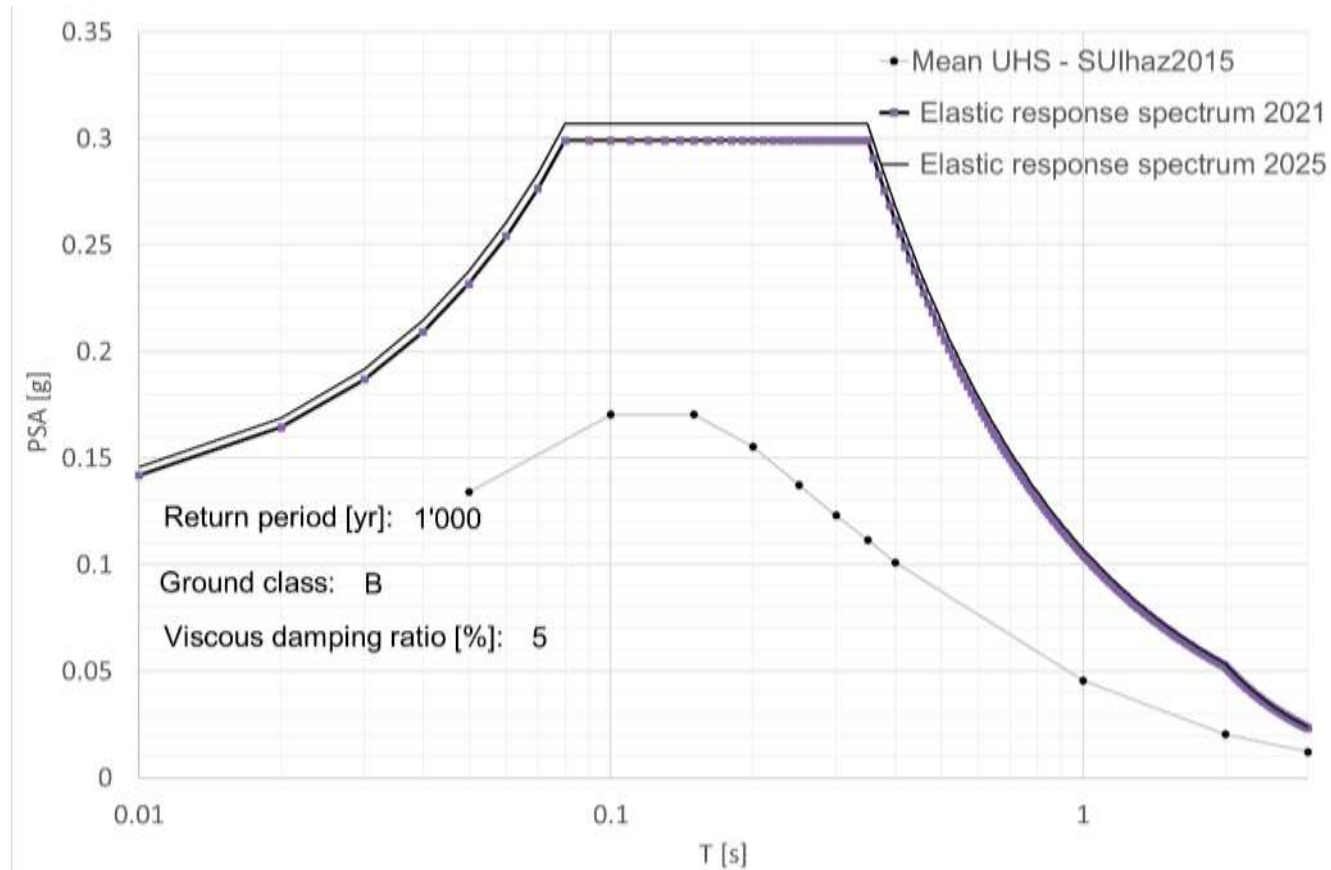


DEFINITION DER NEUEN BAUGRUNDKLASSE AR

BGK	Beschreibung des stratigrafischen Profils	V_{s30} [m/s]	S_x	TB [s]	TC [s]	TD [s]
R	Massiver Fels ohne bedeutende lokale Schwächungen, bedeutende Steifigkeitskontraste oder Lockergesteinseinschlüsse; umfassend und quantitativ untersucht mit Mindest-Vs von 1000 m/s	≥ 1105	1.00	0.06	0.3	2.0
AR	Fels; umfassend und quantitativ untersucht mit Minimum-Vs von 760 m/s	>800	1.3	0.07	0.27	2.0
A	Fels oder andere felsähnliche geologische Formation, mit höchstens 5 m Lockergestein an der Oberfläche	>800	1.4 (1.5*)	0.07	0.25	2.0



VERGLEICH DER ERDBEBENGEFÄHRDUNG ZWISCHEN C3 (2021) UND C3 (2025)





MÖGLICHKEITEN DER "DE-AMPLIFIKATION"

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

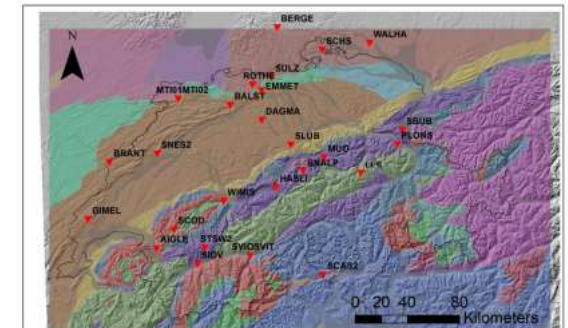
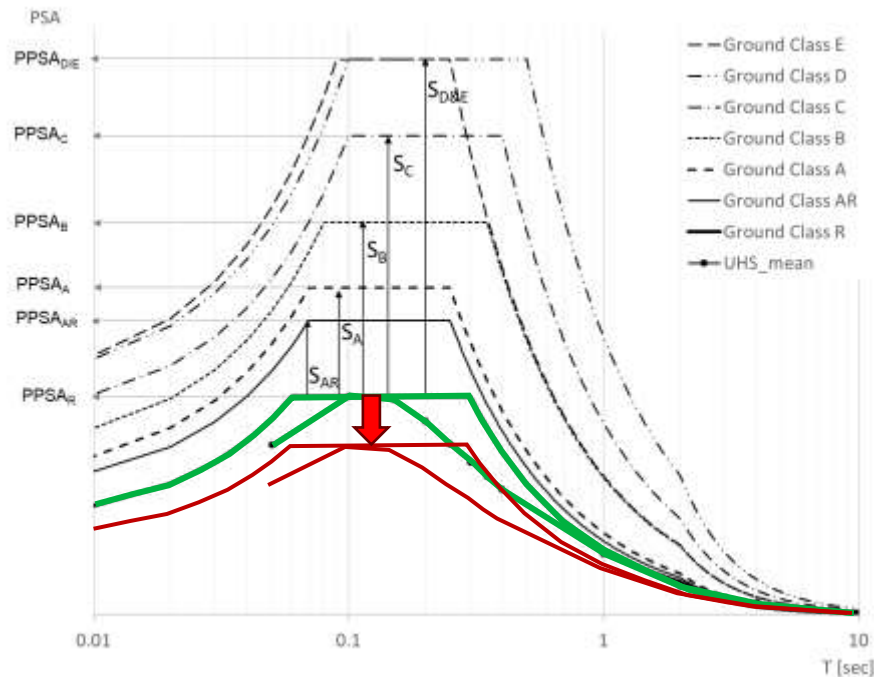
Federal Department of the Environment, Transport, Energy
and Communications (DETEC)
Swiss Federal Office of Energy (SFOE)
Supervision of Dams Section



Final report dated 28 August 2025

Potential of de-amplification for dam foundations with $V_{s30} > 1105$ m/s with respect to the Uniform Hazard Spectrum (UHS) defined on Swiss Reference Rock

Deamplifikationspotenzial für Talsperrenstandorte mit $V_{s30} > 1105$ m/s in Bezug auf das am Schweizer Referenzfels definierte Uniform-Hazard-Spektrum (UHS)



<https://www.research-collection.ethz.ch/entities/publication/43490128-adfd-4f5c-8f39-32a7976e57ca>



HAZARD DEFINITION TOOL FÜR SCHWEIZER STAUANLAGEN (C3 - HDT)

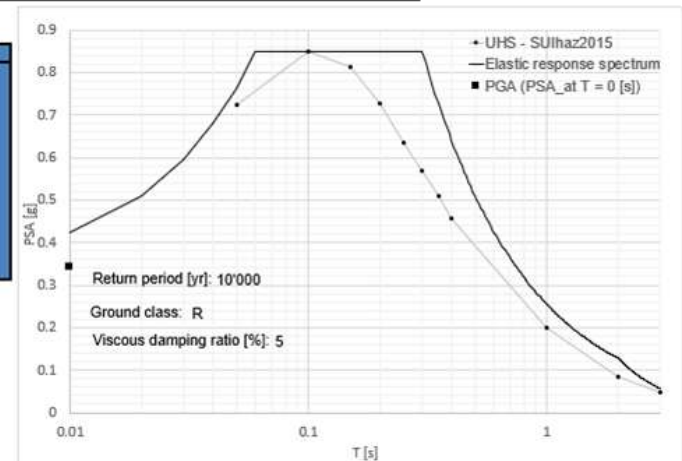


Return period [yr]	Input E CH1903+ [m]	Input N CH1903+ [m]
10'000	2'821'097.71	1'187'790.84

Ground class	Amplification factor S_x [-]	PPSA _g [g]
R	1.00	0.850

Viscous damping ratio ζ [%]	Damping correction coefficient η [-]
5	1.000

UHS - SUIhaz2015	
T [s]	PSA [g]
0	0.3630
0.05	0.7247
0.1	0.8496
0.15	0.8144
0.2	0.7259
0.25	0.6352
0.3	0.5681
0.35	0.5101
0.4	0.4577
1	0.1889
2	0.0838
3	0.0470
4	0.0320





STAUANLAGEN DER KLASSE III

BESTIMMUNG DER BAUGRUNDKLASSE

- 4.3.2.5. [...] Geophysikalische Untersuchungen sind für [...] Stauanlagen der Klasse III und alle Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren für die Klassifizierung in eine Baugrundklasse **nicht zwingend erforderlich**. In diesen Fällen muss die Baugrundklassifizierung jedoch auf massgebenden geologischen und geotechnischen Informationen basieren und von ExpertInnen in diesen Bereichen bestätigt werden.
- 4.3.2.5. Befinden sich vulnerable kritische Infrastrukturen (z. B. Spitäler, Gebäude und Einrichtungen für das Katastrophenmanagement oder Hauptverkehrswege) innerhalb der potenziellen Überflutungszone von Stauanlagen der Klasse III, sollte die Klassifizierung in eine Baugrundklasse gemäss 4.3.2.4 erfolgen.
- 4.3.2.4 Für Stauanlagen der **Klassen I und II** ist die Klassifizierung in eine Baugrundklasse auf der Grundlage spezifischer geophysikalischer Studien am Standort der Stauanlage, geologischer Untersuchungen und, falls erforderlich, geotechnischer Erkundungen vorzunehmen. Die Grundlage ist von Fachleuten für Geophysik, Geologie bzw. Geotechnik zu bestätigen.



STAUANLAGEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN

KLASSE DIESER ANLAGEN

- 3.2.1 Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren, die Wasser, Schlamm, Sediment, Schnee, Eis, Geschiebe usw. nur vorübergehend speichern, werden unabhängig von ihrer Stauhöhe und ihrem Stauraumvolumen zum Zweck der Beurteilung der Erdbebensicherheit in die **Klasse III** eingeteilt.



STAUANLAGEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN INITIALER WASSERSTAND IM STAURAUM

- 4.1.1.6 Bei allen Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren (z. B. Hochwasserrückhaltebecken, Geschiebesammler, Steinschlag- und Schneelawinendämme) ist die Erdbebensicherheit der Stauanlage für den Fall eines **leeren Stauraums nachzuweisen**.
- Starke Erdbeben können Hangrutschungen, Felsstürze und Schneelawinen auslösen.
- Daher ist es möglich, dass das mobilisierte Material kurz nach einem Erdbeben die Stauanlage erreicht.



STAUANLAGEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN ANFÄNGLICHER WASSERSTAND IM STAURAUM

- 4.1.1.6. [...] Zusätzlich ist die Sicherheit der Anlage in einem zweiten Nachweisschritt für die Anfangsbedingung eines **vollen Stauraums** nachzuweisen.
- Obwohl die Becken der Geschiebesammler in der Regel nach Erreichen einer bestimmten Stauhöhe geleert werden, gibt es einige Beispiele für solche Bauwerke, die über längere Zeiträume (teilweise) gefüllt sind.



STAUANLAGEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN

ANFÄNGLICHER WASSERSTAND IM STAURAUM

- 4.1.1.6. [...] Bei Hochwasserrückhaltebecken kann der zweite Nachweisschritt für den Wasserstand im Stauraum geführt werden, der dem mittleren jährlichen Wasserstand im Stauraum entspricht.
- In der Regel bleibt bei Hochwasserrückhaltebecken der Wasserstand im Becken nicht lange genug hoch, um die Überlagerung von Hochwasser und Erdbeben zu rechtfertigen.
- Nach einem 1000-jährlichen Erdbeben wird die Sanierung dieser Bauwerke jedoch höchstwahrscheinlich nicht die höchste Priorität haben, weshalb das Ziel darin besteht, die Betriebsfähigkeit infolge eines Erdbebens zu gewährleisten.



STAUANLAGEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN ANFÄNGLICHER WASSERSTAND IM STAURAUM

- 4.1.1.6. [...] Bei Lawinenschutzanlagen kann der zweite Nachweisschritt für einen Wasserstand im Stauraum erfolgen, der 10% des Volumens des Stauraums entspricht.



STAUANLAGEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN

VEREINFACHTE NACHWEIS-METHODEN

6.3.4.3. Für Schüttdämme:

- 6.3.4.3.1. **Für Stauanlagen der Klasse III:** Die möglichen Analysemethoden sind in zwei Unterkategorien unterteilt:
- a. Gleitblockanalyse unter Verwendung massgebender empirischer Methoden oder analytisch basierter Korrelationsmodelle. Dieser Ansatz gilt für:
 - i. Alle Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren



ZIEL DES ERDBEBENSICHERHEITSNACHWEISES

SCHÜTTDÄMME

- 6.8.2.1. Um das Verhalten eines Schüttdamms bei Erdbeben zuverlässig beurteilen zu können, ist eine angemessene Bewertung der **erwarteten Verformungen infolge des Erdbebens** erforderlich. ...

- 6.8.2.2. Ist nach der Erdbebeneinwirkung von **bleibenden Verformungen** auszugehen, sind insbesondere folgende Punkte zu beurteilen:
 - Um eine **Überströmung** des Schüttdammes durch direkte oder indirekte seismische Einwirkungen (z. B. durch Massenbewegung im Stauraum) zu vermeiden, ist ein ausreichend grosser Freibord vorzusehen. Dabei sind erdbebenbedingte Gleitbewegungen und Setzungen der Dammkrone zu berücksichtigen.
 - Auch im verformten Zustand muss **innere Erosion** ausgeschlossen werden.



ZIEL DES ERDBEBENSICHERHEITSNACHWEISES

KEINE PSEUDO - STATISCHE ANALYSE MEHR

- Warum?
 - Vereinfachte Darstellung der Seismischen Einwirkung
 - Bei der pseudo-statischen Analyse wird die seismische Belastung als eine konstante horizontale Kraft behandelt.
 - Limitation: Dieser Ansatz ignoriert die dynamische, zeitlich veränderliche Natur von Erdbeben - einschliesslich Dauer, Frequenzgehalt (Form des Antwortspektrums), Beschleunigungsimpulse und Wellenausbreitung.
 - Kein(e) Hinweis/Abschätzung auf/der bleibender Verformungen (pseudostatische Methoden bewerten nur die Stabilität gegen Gleiten oder Versagen, nicht aber, wie stark sich der Absperrbauwerk verformen wird)
 - Die Erdbebenkoeffizienten stehen in keinem engen Zusammenhang mit tatsächlichen Erdbebenaufzeichnungen oder probabilistischen seismischen Gefährdungsanalysen (PSHA).
 - Keine Möglichkeit zur Kontrolle der Funktionalität nach dem Erdbeben



BESTIMMUNG DER MATERIALEIGENSCHAFTEN

ALLGEMEINE PUNKTE FÜR SCHÜTTDÄMME

- 5.3.2. [...] Der angenommene Wert der **Dämpfung für Schüttdämme** ist mit der **erwarteten Scherdehnung** im Damm und in der Foundation zu verifizieren.
- 5.3.3. Für Schüttdämme der **Stauanlagenklassen II und III** können **statische** Materialkennwerte verwendet werden.
- 5.3.5. Für Schüttdämme ist zwischen **drainiertem und undrainiertem Materialverhalten** zu unterscheiden. Bei undrainiertem Verhalten ist im Unterschied zum drainierten Verhalten insbesondere dem potenziellen Verlust von Scherfestigkeit infolge von Porenwasserüberdrücken Rechnung zu tragen.



ANALYSE

SCHÜTTDÄMME DER STAUANLAGENKLASSE III

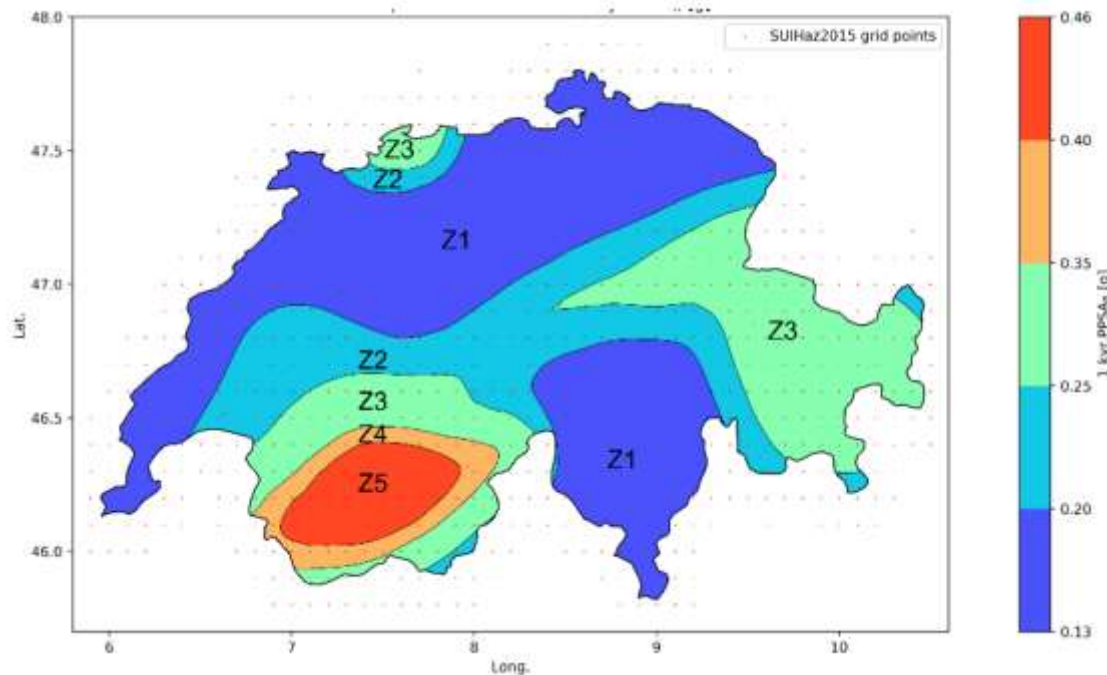
- **6.3.4.3.1.** Für Stauanlagen der Klasse III: Die möglichen Analysemethoden sind in zwei Unterkategorien unterteilt:
 - a. Gleitblockanalyse unter Verwendung massgebender empirischer Methoden oder analytisch basierter Korrelationsmodelle. Dieser Ansatz gilt für:
 - i. Alle Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren
 - ii. Stauanlagen, die alle folgenden Bedingungen erfüllen: 1) $PPSA_R < 0.35$ g, 2) die Stauanlage weist keine Anzeichen von sicherheitsrelevanten Schäden auf, 3) die Stauanlage hält die statischen Sicherheitsanforderungen ein, d. h. den normalen Lastfall (Typ 1), wie in Richtlinie Teil C1 beschrieben, und 4) der in Richtlinie Teil C2 festgelegte Hochwassersicherheitsnachweis ist erfüllt.
 - b. Zeitverlaufsberechnung unter Verwendung der äquivalenten linearen Methode, zusammen mit der Gleitblockanalyse. Der Aufbau des Porenwasserüberdrucks ist unter Verwendung vereinfachter Modelle zu berücksichtigen. Dieser Ansatz gilt für alle anderen Schüttdämme der Klasse III, die die Bedingungen von Absatz 6.3.4.3.1.a nicht erfüllen.



ANALYSE

SCHÜTTDÄMME DER STAUANLAGENKLASSE III

- **6.3.4.3.1.** Für Stauanlagen der Klasse III: Die möglichen Analysemethoden sind in zwei Unterkategorien unterteilt:
 - a. Gleitblockanalyse unter Verwendung massgebender empirischer Methoden oder analytisch basierter Korrelationsmodelle. Dieser Ansatz gilt für:
 - i. Alle Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren
 - ii. Stauanlagen, die alle folgenden Bedingungen erfüllen: **1) $PPSA_R < 0.35 g$** ,





INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

PERMANENTE KRONENSETZUNGEN

- 6.8.2.3. Die zulässigen bleibenden Kronensetzungen, die auf die kombinierten Auswirkungen von Verdichtung, Konsolidierung und Bildung von Gleitflächen aufgrund von Erdbebeneinwirkung zurückzuführen sind, sollten 25% des Sicherheitsfreibords gemäss Definition in Absatz 2.3.2. der Richtlinie Teil C2: Hochwassersicherheit und Stauseeabsenkung nicht überschreiten.



INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

POTENZIAL FÜR INNERE EROSION

- 6.8.2.6. Bei **Schüttdämmen mit Kerndichtung** kann die Gefahr der **inneren Erosion** nach der bleibenden Verformung ausgeschlossen werden, wenn folgende Bedingungen eingehalten sind:
 - i. Zwischen den einzelnen Zonen des Dammes wird die Filterfunktionalität weiterhin eingehalten.
 - ii. Die Kerndichtung ist immer noch genügend überdeckt und besteht aus Material, welches die vom Erdbeben ausgelösten Verformungen ohne wesentliche Änderung der Durchlässigkeitseigenschaften ertragen kann.
 - iii. Die Restdicke der Filter- und Drainageschichten im deformierten Zustand beträgt mindestens die Hälfte der Dicke im undeformierten Zustand.



TECHNISCHES HILFSDOKUMENT

ZIELE

- Ziel 1: Analytische und empirische Methoden zur Beurteilung der Erdbebensicherheit von Schüttdämmen
 - Ziel 2: Äquivalent-lineare Methoden kombiniert mit der Gleitblockanalyse
 - Ziel 3: Nichtlineare dynamische numerische Modellierungsmethoden
 - Ziel 4: Stoffgesetze, Parameterbestimmung und Kalibrierung
 - Ziel 5: Schrittweise Beispiele nach dem Stand der Technik und auf der Grundlage der Richtlinie Teil C3 des BFE
-
- Voraussichtliches Veröffentlichungsdatum: 31.01.2026



GEWICHTSMAUERN & BOGENMAUERN

VEREINFACHTE NACHWEIS-METHODEN

- Die Mindestanforderungen für Gewichtsmauern aus Beton und Mauerwerk, Pfeilerkopfmauern und Wehre: (Absatz 6.3.4.1):
- Für Stauanlagen der Klasse III: **vereinfachtes Antwortspektrenverfahren, das nur die erste Eigenform verwendet;**
- Die Mindestanforderungen für Bogenmauern aus Beton (Absatz 6.3.4.2):
- Für Stauanlagen der Klasse III: **Antwortspektrenverfahren;**



GEWICHTSMAUERN & BOGENMAUERN

VEREINFACHTE NACHWEIS-METHODEN

- Geometrisches Modell (Absätze 6.6.1.2, 6.6.1.3, 6.6.1.4):
 - Gewichtsmauern: 2D-Modell (oder 3D, z. B. in einem engen Tal, usw.)
 - Pfeilerkopfmauern: 3D-Modell
 - Wehre: 3D-Modell (mindestens ein Pfeiler und die Hälfte jeder angrenzenden Wehröffnung)
- Zu berücksichtigende Komponente der Erdbebenanregung (Absatz 6.6.2)
 - Klasse III: Die vertikale Komponente kann vernachlässigt werden.



HILFSDOCUMENTE FÜR INGENIEURE

GEWICHTMAUER; BOGENMAUER

- Ziele:
 - Konstitutive Modelle; Bestimmung der Werte von Materialparametern.
 - Elastisch-lineare Analysemethoden.
 - Nichtlineare Analysemethoden.
 - Beispiele für die Überprüfung der Erdbebbensicherheit nach der Richtlinie Teil C3:
 - Gewichtsmauern
 - Bogenmauern
- Voraussichtliches Erscheinungsdatum: März 2026 (Gewichtsstaumauern), Juni 2026 (Bogenstaumauern)



DANKE FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT



Amin Askarinejad
Dr. sc. ETHZ, Associate Prof. TU Delft
Fachspezialist Aufsicht Talsperren

UVEK BFE TS

amin.askarinejad@bfe.admin.ch

energieplus.com