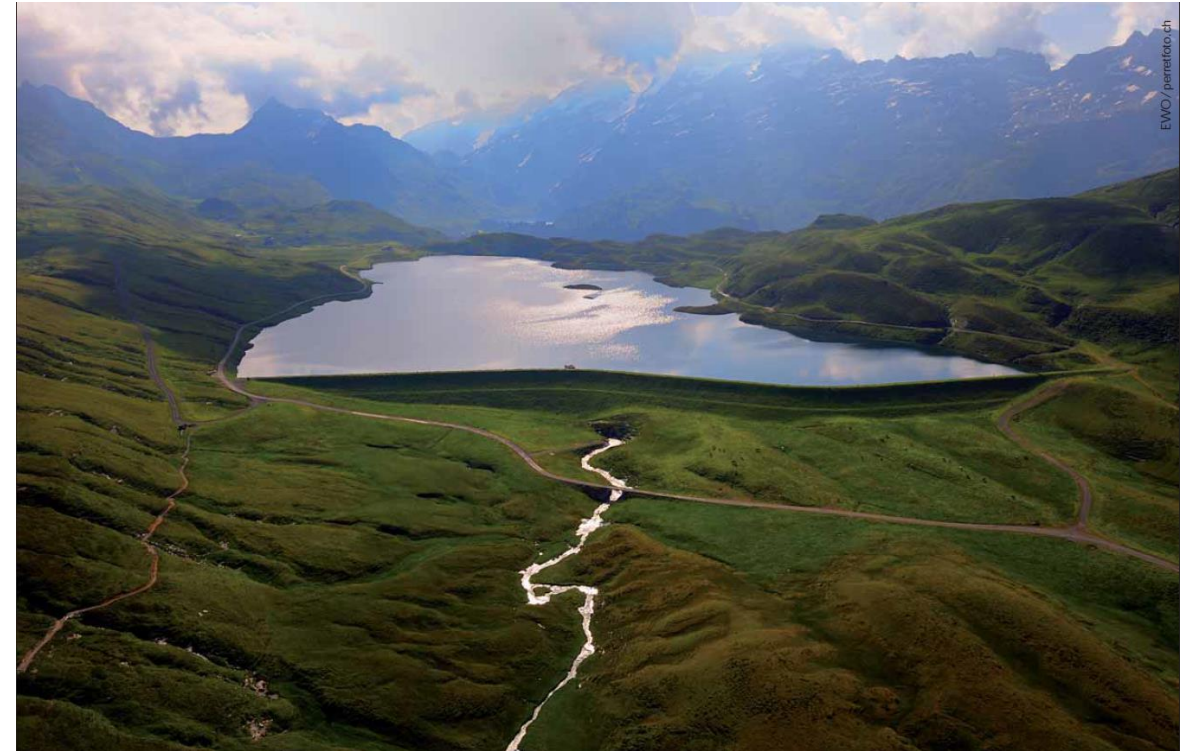




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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



# **RICHTLINIE TEIL C3**

# **INFORMATIONSVERANSTALTUNG**

## **FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG GEMÄSS C3 -2025**

INFORMATIONSVERANSTALTUNG: TOTALREVISION DES RICHTLINIENTEILS C3 ▪ BFE/ASI/TS ▪ 27.05.2025



# DISKUSSIONSTHEMEN

---

## Festlegung der seismischen Einwirkung, Teil C3 - 2025

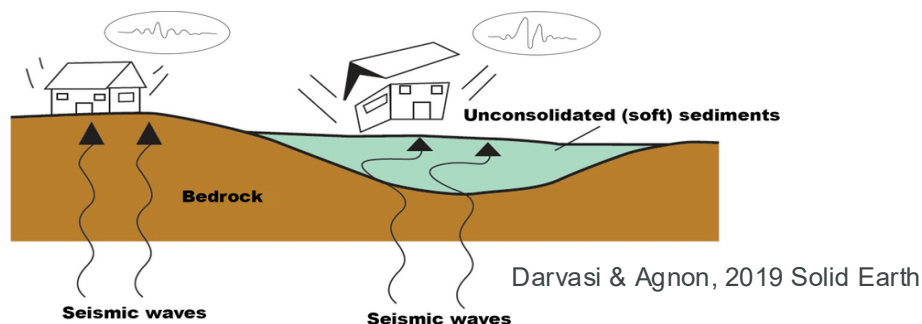
- Definition
- Allgemeines Konzept und verschiedene Ansätze
- Erdbebengefährdung auf dem Referenzfelsen
- Seismische Gefährdung vor Ort
- Beschleunigungszeitverläufe

# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG DEFINITION IN DER RICHTLINIE TEIL C3-2025

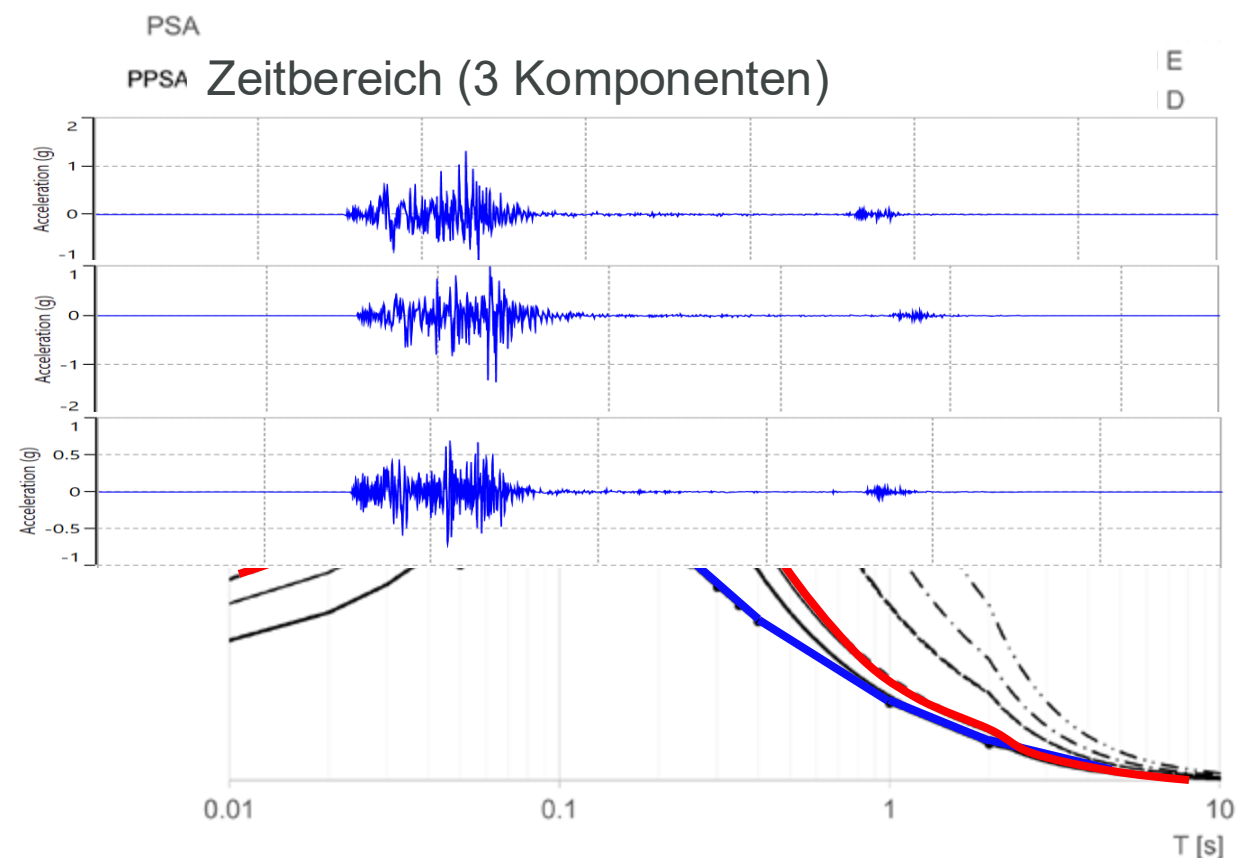
4.3.1.1. Die Erdbebeneinwirkung setzt sich aus den folgenden Elementen zusammen:

- Elastisches Antwortspektrum
- Beschleunigungszeitverläufe

4.3.1.2. Die elastischen Antwortspektren werden **aus der probabilistischen Erdbebengefährdung** und **unter Berücksichtigung der Standorteffekte** abgeleitet.



Frequenzbereich





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

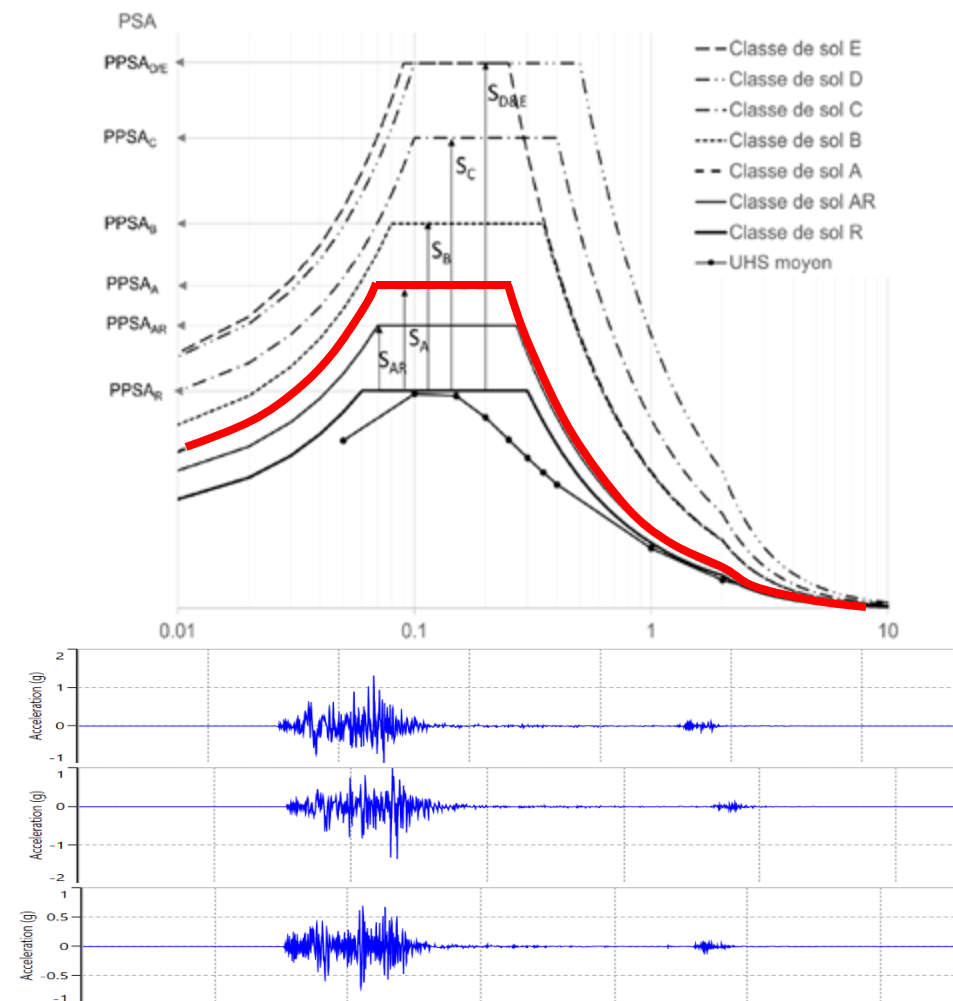
## DEFINITION IN DER RICHTLINIE TEIL C3-2025

4.3.1.1. Die Erdbebeneinwirkung setzt sich aus den folgenden Elementen zusammen:

- Elastisches Antwortspektrum
- Beschleunigungszeitverläufe

4.3.1.2. Die elastischen Antwortspektren werden aus der probabilistischen Erdbebengefährdung und unter Berücksichtigung der Standorteffekte abgeleitet.

**4.3.1.4. Die Erdbebeneinwirkung ist als Einwirkung im Freifeld auf die Geländeoberfläche von horizontalem Gelände gegeben .**





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ALLGEMEINES KONZEPT - ANSÄTZE IN DER C3-2025

Seismische Gefährdung auf dem Referenzfelsen

Seismische Gefährdung vor Ort

Wiemer et al., 2016 SED

Standorteffekte

1

2

Wiemer et al., 2016 SED

Seismische Einwirkung

Auswahl der kompatiblen Erdbeben

4

3

Bestimmung des elastischen Antwortspektrum  
z.B.: Baugrundklasse A



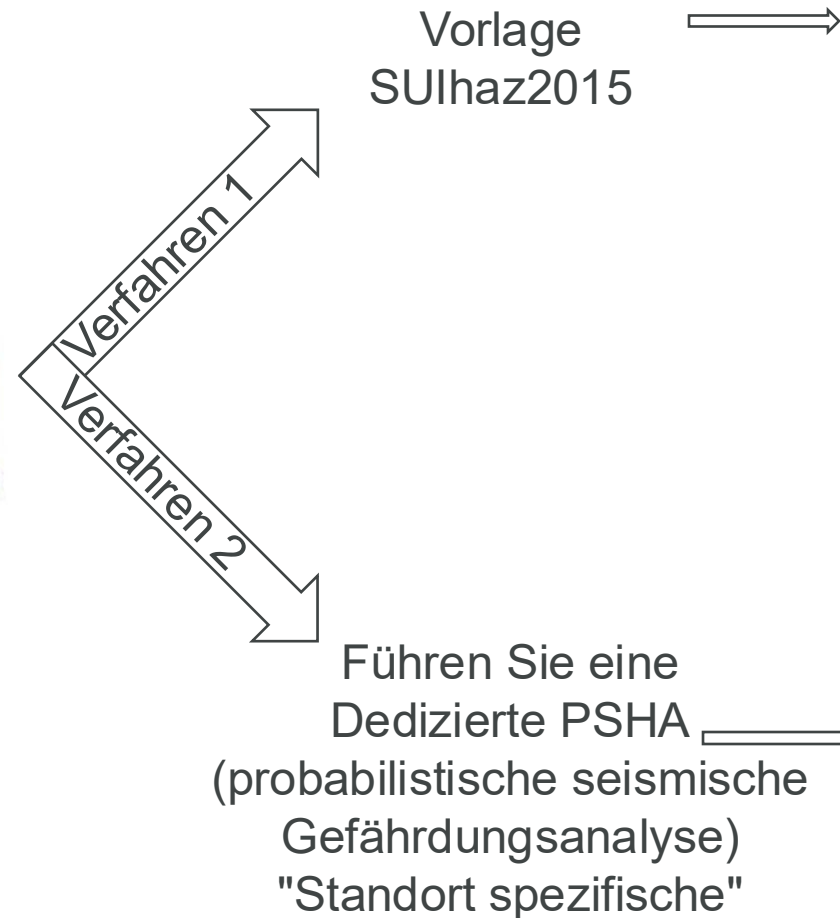
# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG AUF DEM REFERENZFELSEN

Seismische Gefährdung auf dem Referenzfelsen



2 Möglichkeiten

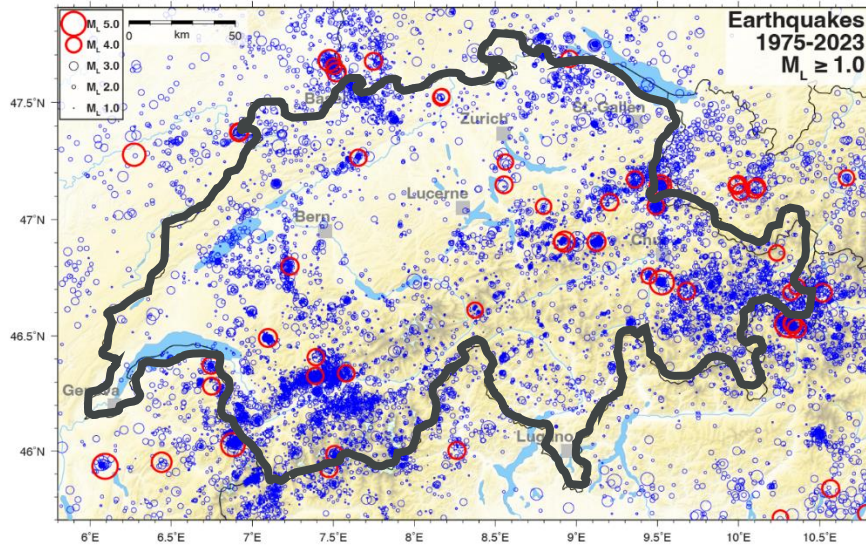




# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG AUF DEM REFERENZFELSEN

### Quellen

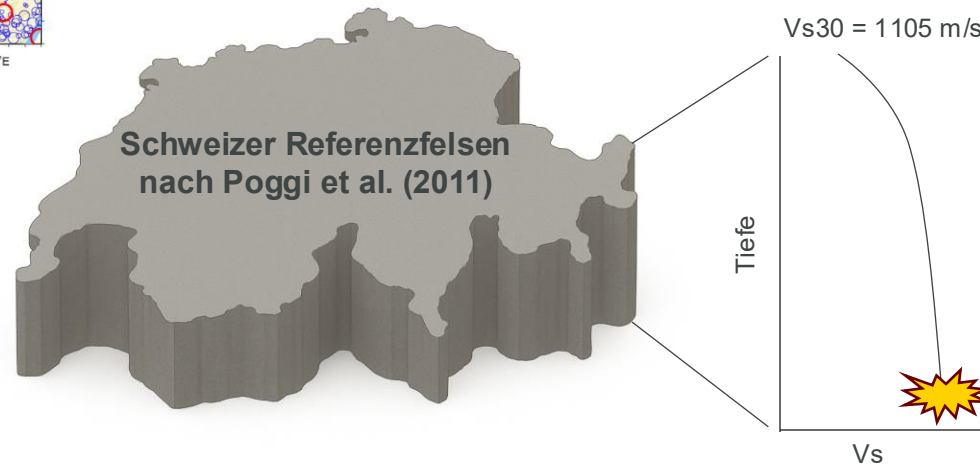


Bose et al., 2024 NHESS

### Seismische Gefährdung



### Geologie (homogen)





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG AUF DEM REFERENZFELSEN

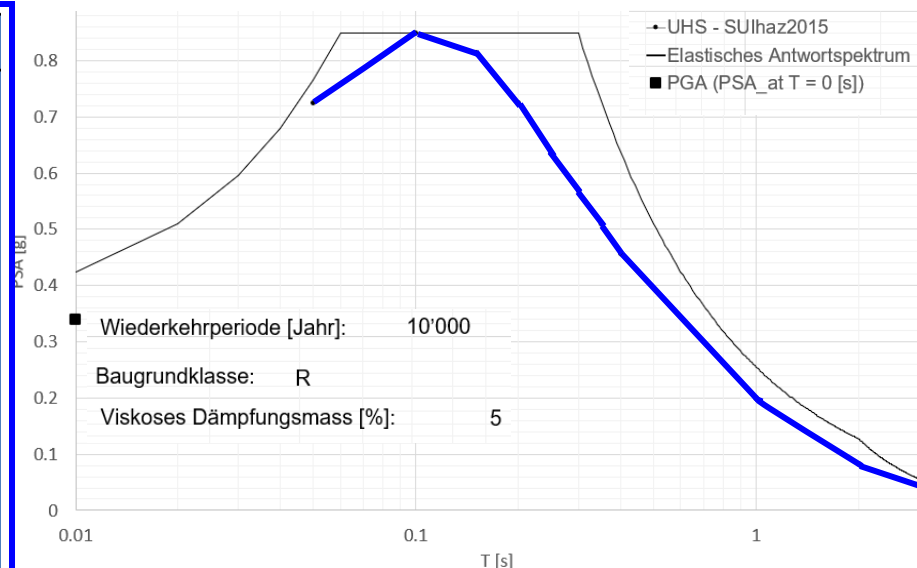
Wiederkehrperiode [Jahr]	E (Ost) CH1903+ [m]	N (Nord) CH1903+ [m]
10'000	2'821'097.71	1'187'790.84

Baugrundklasse	Längengrad des nächstgelegenen grid point [°]	Breitengrad des nächstgelegenen grid point [°]	PPSA <sub>R</sub> [g]
R	10.3	46.8	0.850

Viskoses Dämpfungsmass $\zeta$ [%]	Amplifikationsfaktor - S <sub>x</sub> [-]	PPSA <sub>x</sub> [g]	PGA (PSA_0sec) [g]
5	1.00	0.850	0.340

TB [s]	TC [s]	TD [s]
0.06	0.3	2

Elastisches Antwortspektrum		UHS - SUIhaz2015	
T [S]	PSA [g]	T [S]	PSA [g]
0.0001	0.341	0	0.3630
0.01	0.425	0.05	0.7247
0.02	0.510	0.1	0.8496
0.03	0.595	0.15	0.8144
0.04	0.680	0.2	0.7259
0.05	0.765	0.25	0.6352
0.06	0.850	0.3	0.5681
0.07	0.850	0.35	0.5101
0.08	0.850	0.4	0.4577
...	...	...	...



### C3-HDT

Automatische Extraktion  
des UHS aus den  
Standortkoordinaten und  
der Wiederkehrperiode  
(die von der  
Stauanlageklasse  
abhängt)



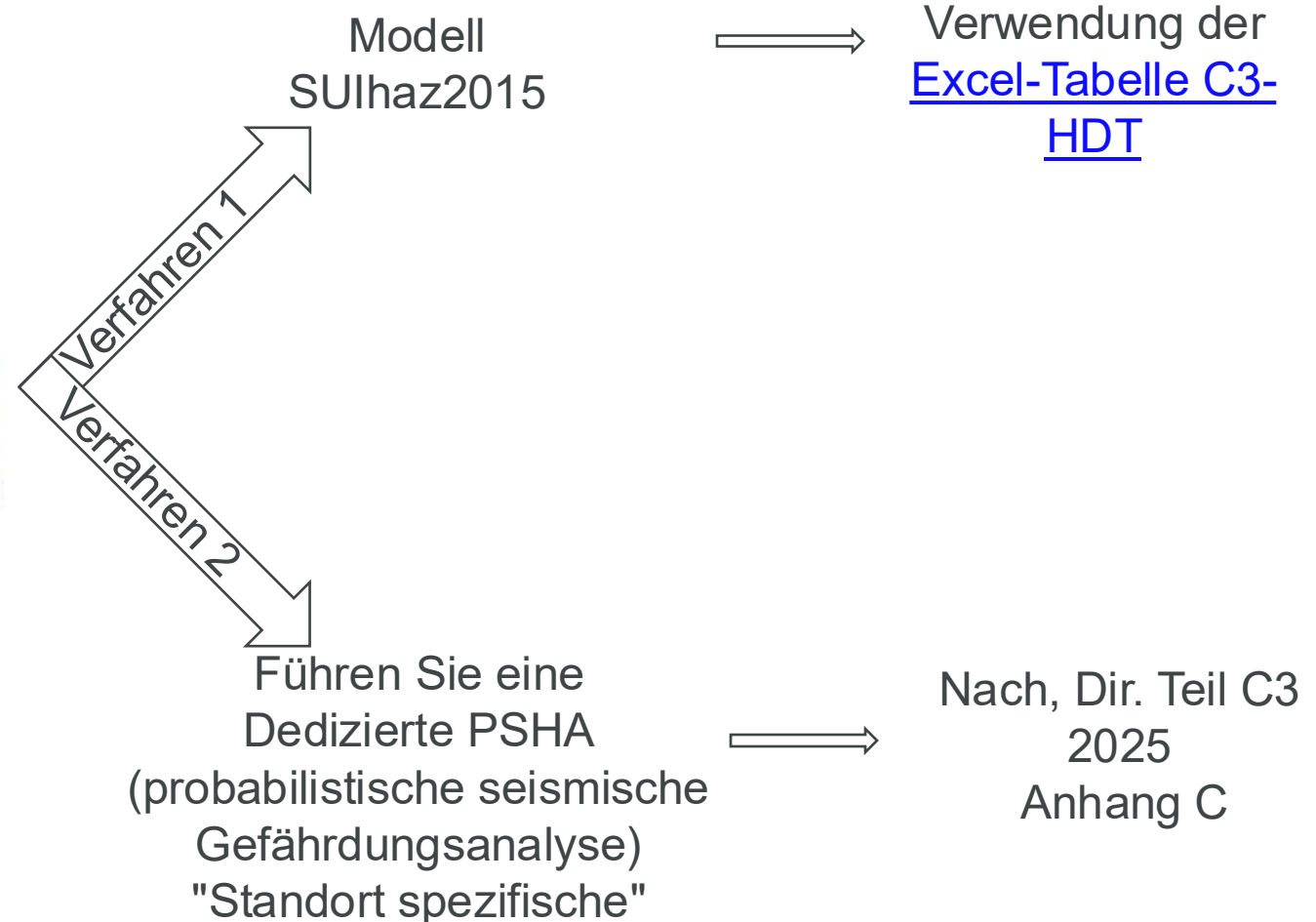
# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG AUF DEM REFERENZFELSEN

Seismische Gefährdung auf dem Referenzfelsen



2 Möglichkeiten





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG SEISMISCHE GEFÄHRDUNG AUF DEM REFERENZFELSEN

---

## Analyse der Erdbebengefährdung nach, Dir. Teil C3 - 2025, Anhang C

- Probabilistische Analyse der Erdbebengefährdung auf Referenzfelsen
- Mittelwerte der Gefährdung verwenden
- Referenzfelsen mit  $V_{s_{\min}} \geq 1000$  m/s und  $V_{s_{30}} \geq 1105$  m/s
- **Lokale Lockergesteinparameter direkt in** Bodenbewegungsmodellen (*GMM*) ist nicht erlaubt.

### Verfahren: Nicht SSHAC\* und SSHAC\* N1

- Participatory *Peer Review* Panel (PPRP)
- Getrennte Studie in 4 verschiedenen Phasen
  - Studienplan
  - Evaluierungsphase
  - Integrationsphase
  - Dokumentation
- Eventuell Benchmarking nach der Studie (falls signifikante Abweichungen von SUIhaz2015)

### Verfahren: SSHAC\* N2 oder höher

- Die SSHAC-Empfehlungen für die jeweilige Stufe legen die Mindestanforderungen fest

\*SSHAC = Senior Seismic Hazard Analysis Commission



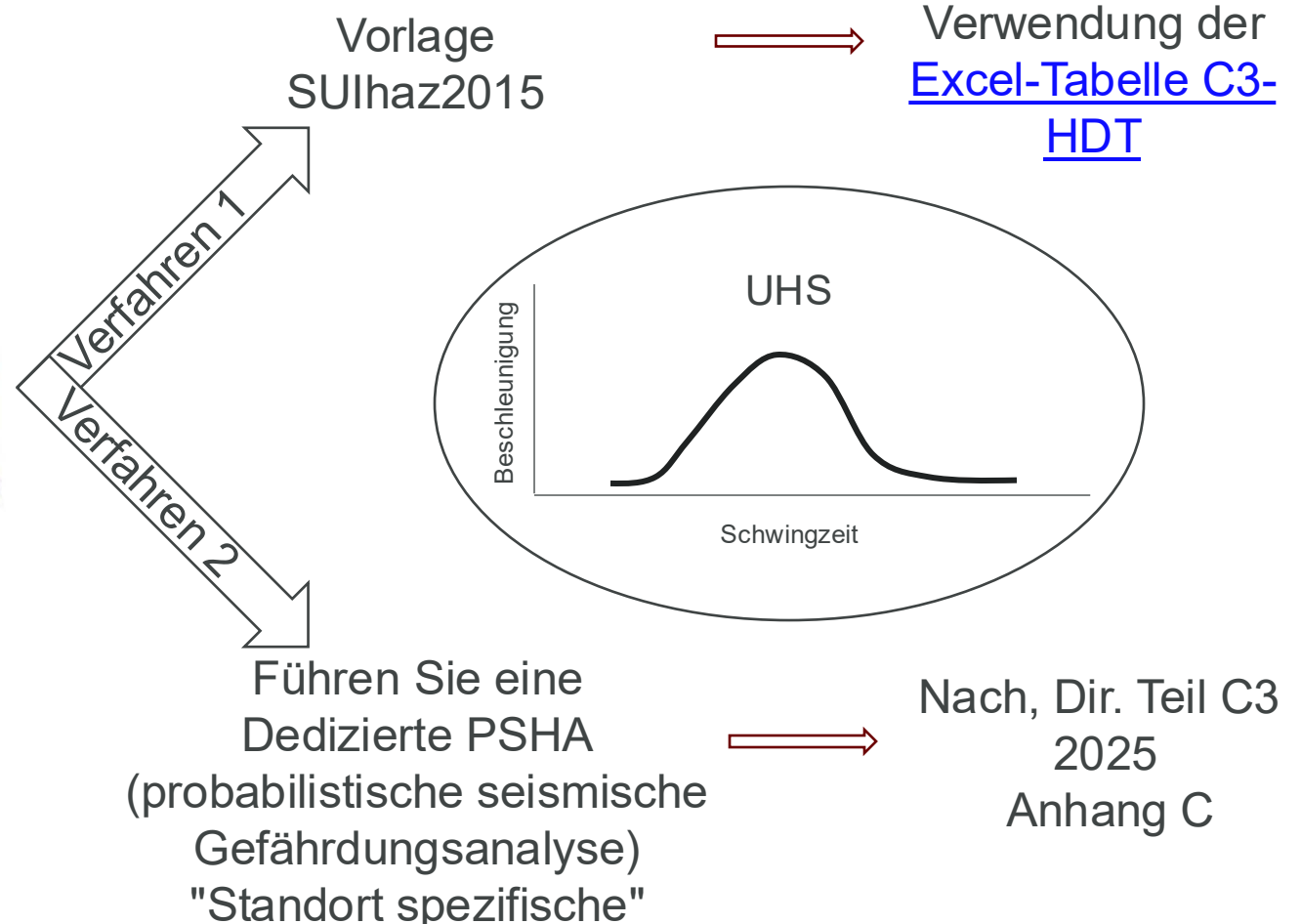
# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG AUF DEM REFERENZFELSEN

Seismische Gefährdung auf dem Referenzfelsen



2 Möglichkeiten





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT

Seismische Gefährdung auf dem Referenzfelsen

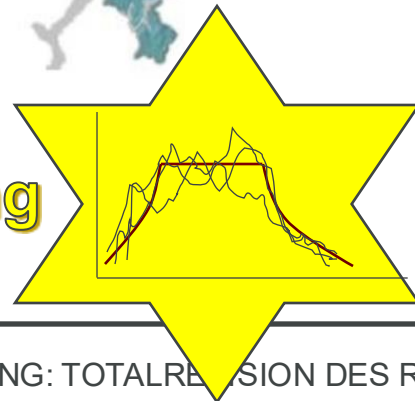


Standorteffekte

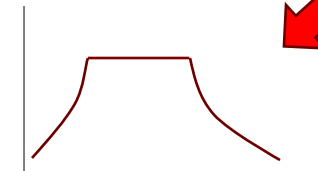
Seismische Gefährdung vor Ort



Seismische Einwirkung



Auswahl der kompatiblen Erdbeben



Bestimmung des elastischen Antwortspektrum  
z.B.: Baugrundklasse A



# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT

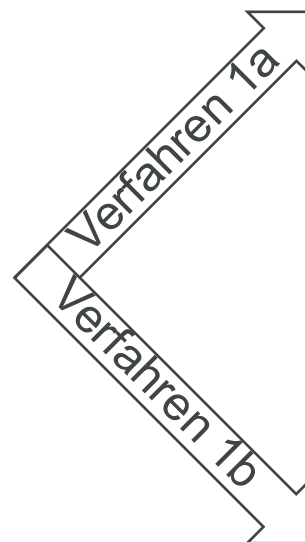
### Seismische Gefährdung vor Ort



Ansatz nach  
Baugrundklasse (BGK)



Verwendung des  
Blattes  
[Excel C3-HDT](#)



Durchführen einer  
Standortstudie  
(SRA, *Site Response Analysis*)



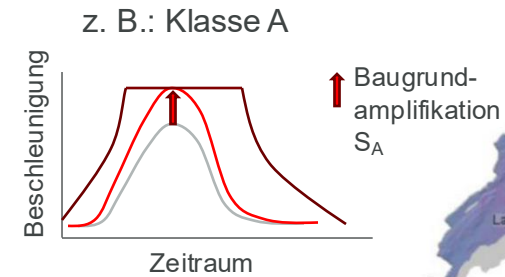
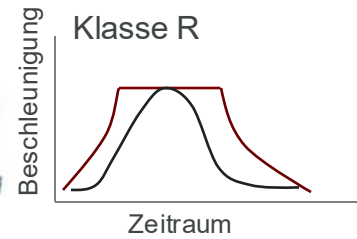
Nach, Dir. Teil C3  
2025  
Anhang C



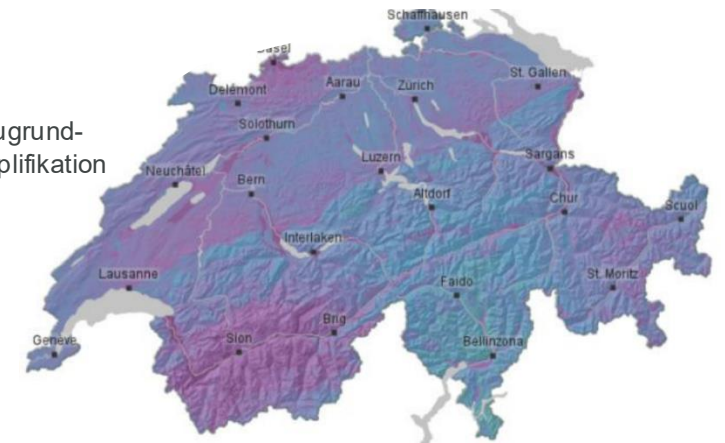
# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ERDBEBENGEFÄHRDUNG AM STANDORT, NACH BGK

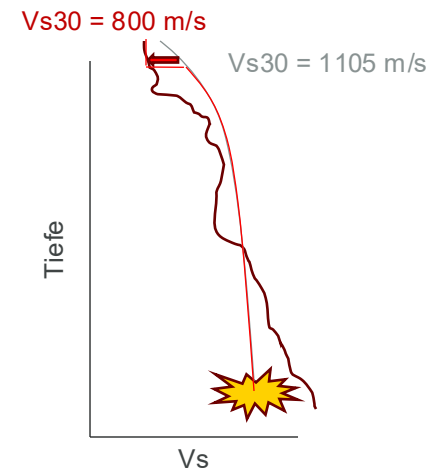
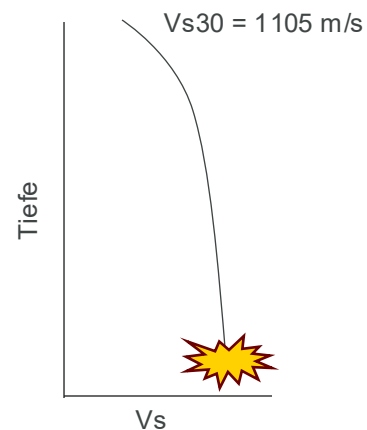
### Seismische Gefährdung auf dem Referenzfelsen



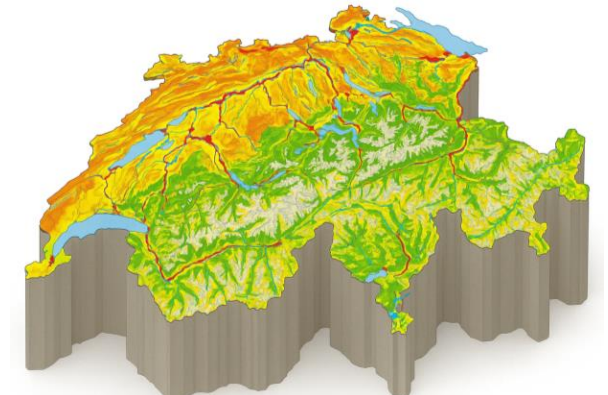
### Seismische Gefährdung vor Ort



### Geologie (homogen)



### $V_{s30}$ + Geologie (homogen)





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ERDBEBENGEFÄHRDUNG AM STANDORT, NACH BGK

BGK	Beschreibung des stratigraphischen Profils	$V_{s30}$ [m/s]	Baugrund- amplifikation ( $S_x$ )	TB [s]	TC [s]	TD [s]
R	Massiver Fels ohne bedeutende lokale Schwächungen, bedeutende Steifigkeitskontraste [...] mit Mindest- $V_s$ von 1000 m/s	$\geq 1105$	1.00	0.06	0.3	2.0
AR	Fels [...] mit $V_s > 760$ m/s	$> 800$	1.30	0.07	0.27	2.0
A	Fels oder andere felsähnliche geologische Formation, mit höchstens 5 m Lockergestein an der Oberfläche	$> 800$	1.4 (1.50*)	0.07	0.25	2.0
B	Ablagerungen von sehr dichtem Sand, und/oder Kies oder sehr steifem Ton, mit einer Mächtigkeit von einigen zehn Metern, gekennzeichnet durch einen allmählichen Anstieg der mechanischen Eigenschaften mit der Tiefe	500... 800	1.80	0.08	0.35	2.0
C	Ablagerungen von dichtem oder mitteldichtem Sand, Kies oder steifem Ton, mit einer Mächtigkeit von einigen zehn bis mehreren hundert Metern.	300... 500	2.20	0.10	0.4	2.0
D	Ablagerungen von Sedimenten mit geringer bis mittlerer Dichte oder weichen Tonschichten	$< 300$	2.55	0.10	0.5	2.0
E	Oberflächliche Schicht von Lockergestein entsprechend C oder D mit Mächtigkeit zwischen 5 und 20 m und mittlerem $V_s$ - Wert $< 500$ m/s über steiferem Bodenmaterial mit $V_s > 800$ m/s	-	2.55	0.09	0.25	2.0



# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ERDBEBENGEFÄHRDUNG AM STANDORT, NACH BGK

Baugrundklasse		R	AR	A	B	C	D	E
Klasse der Stauanlage								
I		Klassifizierung basierend auf: räumlich umfassende Untersuchung durch geophysikalische Messungen (Vs-Profile) + umfassende geologische Untersuchung  Die Kohärenz der Daten und die Klassifizierung werden von Experten bestätigt  (4.3.2.6 und 4.3.2.7)	Klassifizierung basierend auf: spezifischen geophysikalischen Studien + geologischer Untersuchung  Die Kohärenz der Daten und die Klassifizierung werden von Experten bestätigt  (4.3.2.4 and 4.3.2.5)					
II								
III	IIIa*		Klassifizierung basierend auf massgebenden geologischen und geotechnischen Informationen und von Spezialist bestätigt (4.3.2.5)					
	IIIb**							

\*) IIIa: Stauanlagen der Klasse III gemäss Kapitel 3 und wenn sich vulnerable kritische Infrastrukturen innerhalb des potenziellen Überflutungsgebiets befinden (siehe 4.3.2.5)

\*\*) IIIb: Stauanlagen der Klasse III gemäss Kapitel 3, die nicht die Kriterien der Untergruppe IIIa erfüllen, oder alle Stauanlagen zum Schutz vor Naturgefahren.



# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ERDBEBENGEFÄHRDUNG AM STANDORT, NACH BGK

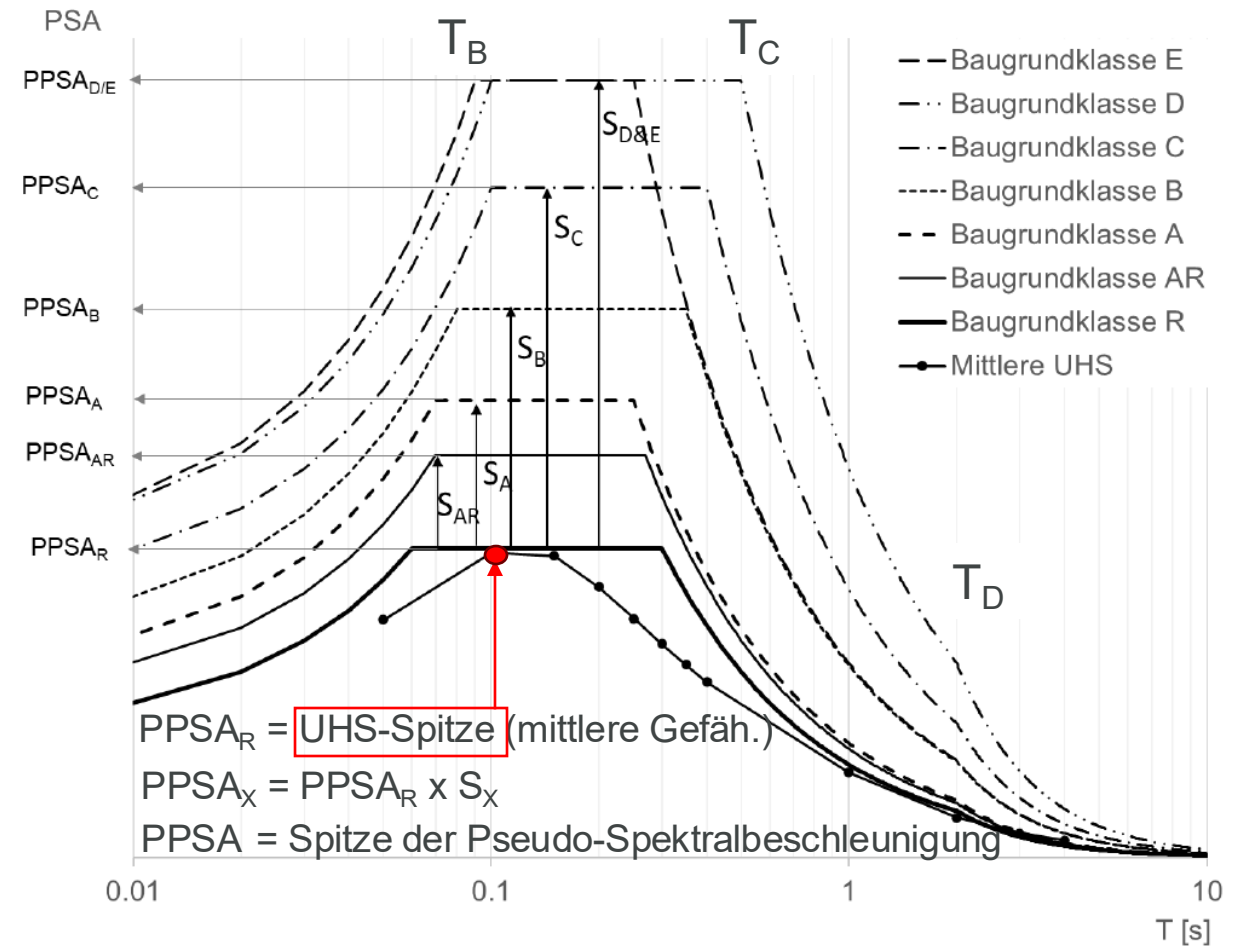
BGK	Beschreibung des stratigraphischen Profils	$V_{s30}$ [m/s]	Baugrundamplifikation bezogen auf Baugrundklasse R ( $S_x$ )	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
R	Massiver Fels ohne bedeutende lokale Schwächungen, bedeutende Steifigkeitskontraste oder Lockergesteinseinschlüsse; umfassend und quantitativ untersucht mit Mindest- $V_s$ von 1000 m/s	$\geq 1105$	1.00	0.06	0.3	2.0
AR	Fels; umfassend und quantitativ untersucht mit Minimum- $V_s$ 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

$$PSA(T) = PPSA_x / 2.5 \cdot \left[ 1 + ((2.5 \cdot \eta - 1) \cdot T) / T_B \right] \quad (0 \leq T \leq T_B)$$

$$PSA(T) = PPSA_x \cdot \eta \quad (T_B \leq T \leq T_C)$$

$$PSA(T) = PPSA_x \cdot \eta \cdot T_C / T \quad (T_C \leq T \leq T_D)$$

$$PSA(T) = PPSA_x \cdot \eta \cdot (T_C \cdot T_D) / T^2 \quad (T_D \leq T)$$





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ERDBEBENGEFÄHRDUNG AM STANDORT, NACH BGK

Wiederkehrperiode [Jahr]	E (Ost) CH1903+ [m]	N (Nord) CH1903+ [m]
10'000	2'821'097.71	1'187'790.84

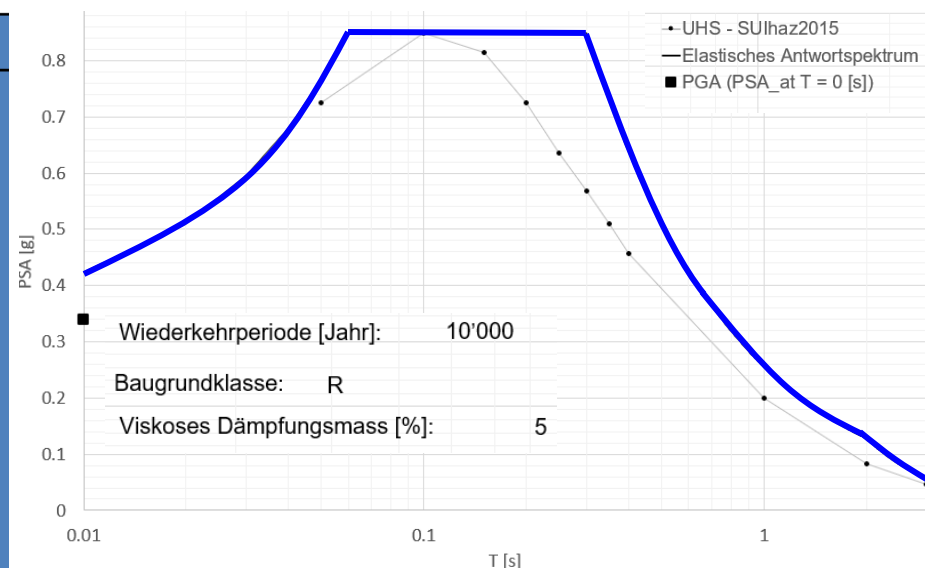
Baugrundklasse	Längengrad des nächstgelegenen grid point [°]	Breitengrad des nächstgelegenen grid point [°]	PPSA <sub>R</sub> [g]
R	10.3	46.8	0.850

Viskoses Dämpfungsmass $\zeta$ [%]	Amplifikationsfaktor - S <sub>x</sub> [-]	PPSA <sub>x</sub> [g]	PGA (PSA_0sec) [g]
5	1.00	0.850	0.340

TB [s]	TC [s]	TD [s]
0.06	0.3	2

### Elastisches Antwortspektrum UHS - SUIhaz2015

T [S]	PSA [g]	T [S]	PSA [g]
0.0001	0.341	0	0.3630
0.01	0.425	0.05	0.7247
0.02	0.510	0.1	0.8496
0.03	0.595	0.15	0.8144
0.04	0.680	0.2	0.7259
0.05	0.765	0.25	0.6352
0.06	0.850	0.3	0.5681
0.07	0.850	0.35	0.5101
0.08	0.850	0.4	0.4577
...	...	...	...



### Teil-C3, 2025-HDT

Automatische Extraktion  
des elastischen  
**Antwortspektrums** aus  
den **Standortkoordinaten**,  
der **Baugrundklasse**, der  
**Stauanlageklasse** und dem  
**Grad der viskosen  
Dämpfung**



# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

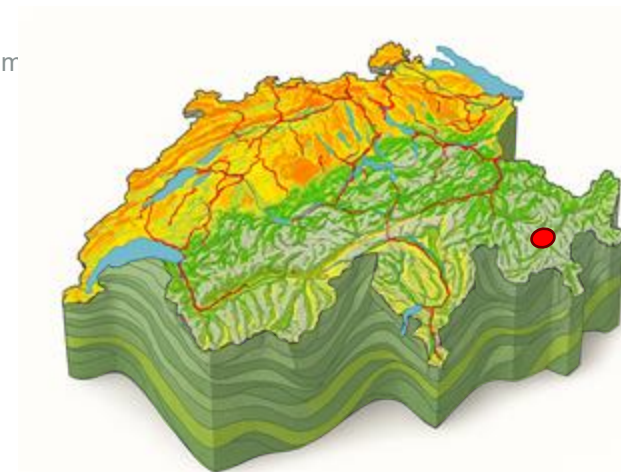
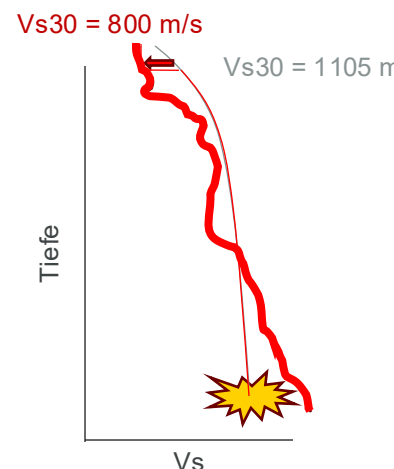
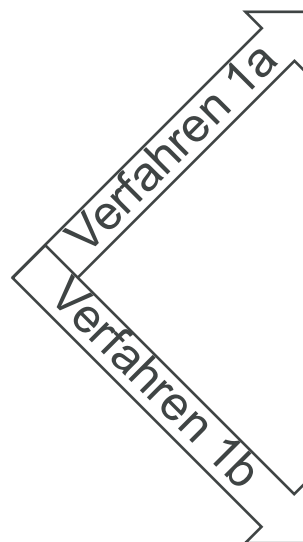
## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT

Seismische  
Gefährdung  
vor Ort



Ansatz nach  
Baugrundklasse

Verwendung des Tools  
[Excel C3-HDT](#)



Durchführen einer  
Standortstudie  
(SRA, Site Response Analysis)

Nach, Dir. Teil C3  
2025  
Anhang C

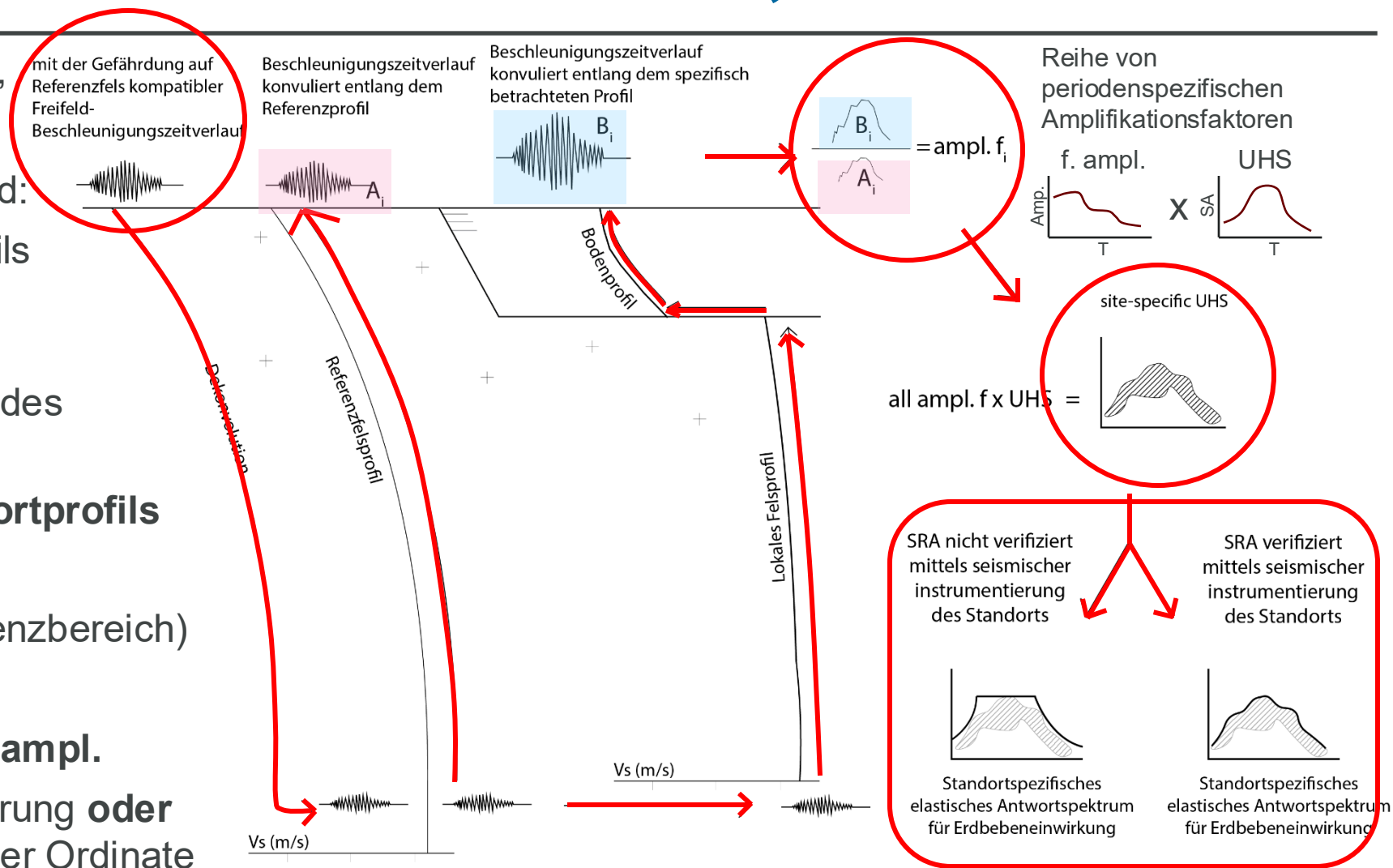


# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT, SRA

Aus 11 Beschleunigungszeitverläufe, die mit der Erdbebengefährdung auf dem Referenzfels **kompatibel** sind:

1. **Dekonvolution** entlang des Profils
  - I. des Referenzfelsens oder
  - II. der Aufnahmestation
2. **Ausbreitung** entlang des Profils des **Referenzfelsens** (A im Bild)
3. **Ausbreitung** entlang des **Standortprofils** (B im Bild)
4. **B durch A dividieren** (im Frequenzbereich) → f. ampl.
5. **Multiplikation** von **UHS** durch f. ampl.
6. **Überprüfung** durch Instrumentierung oder Einhaltung der **Grenzwerte** auf der Ordinate

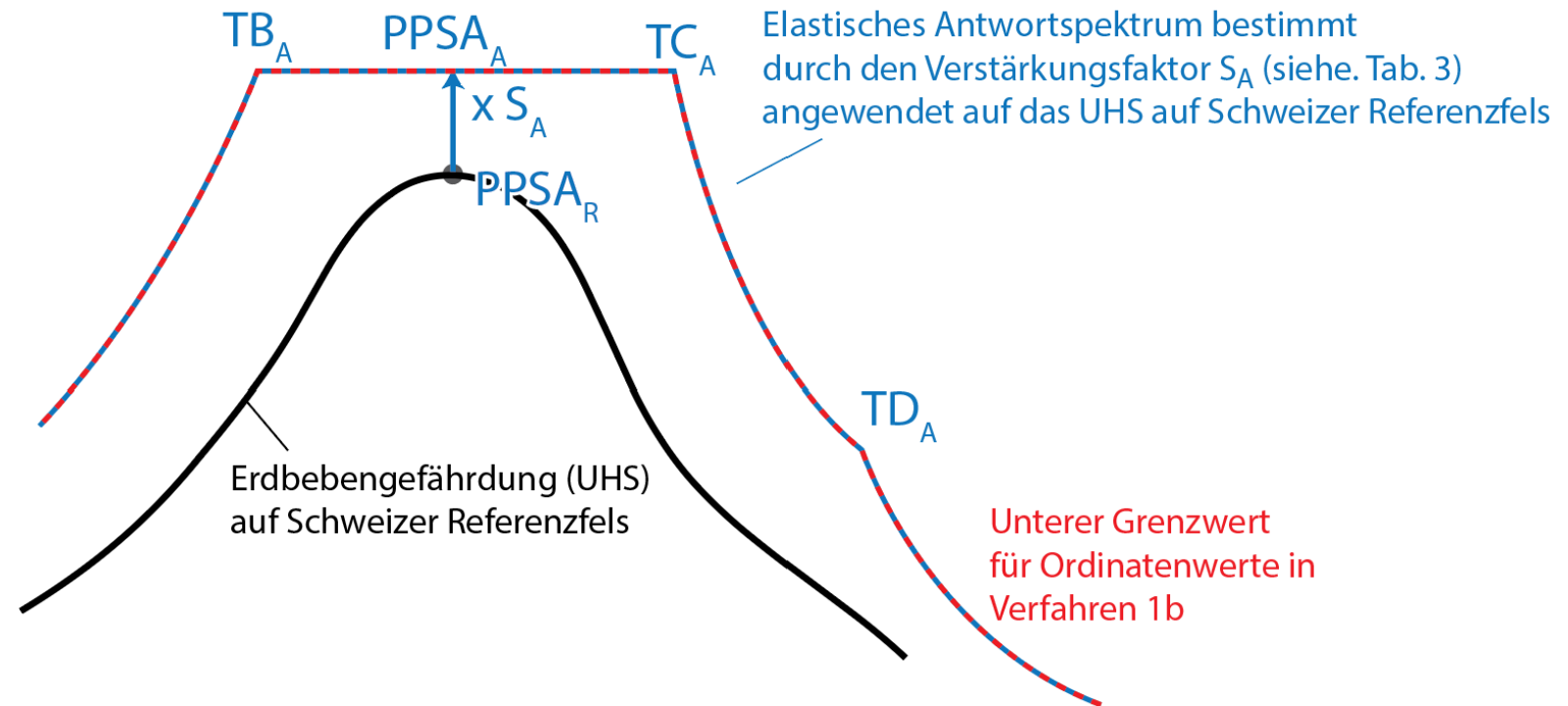




# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT, SRA

SRA: **Beschränkungen der Ordinaten** des elastischen Antwortspektrums, wenn Erdbebengefährdung gemäss SUIhaz2015 und  $V_{s30}$  lokal  $< 800$  m/s

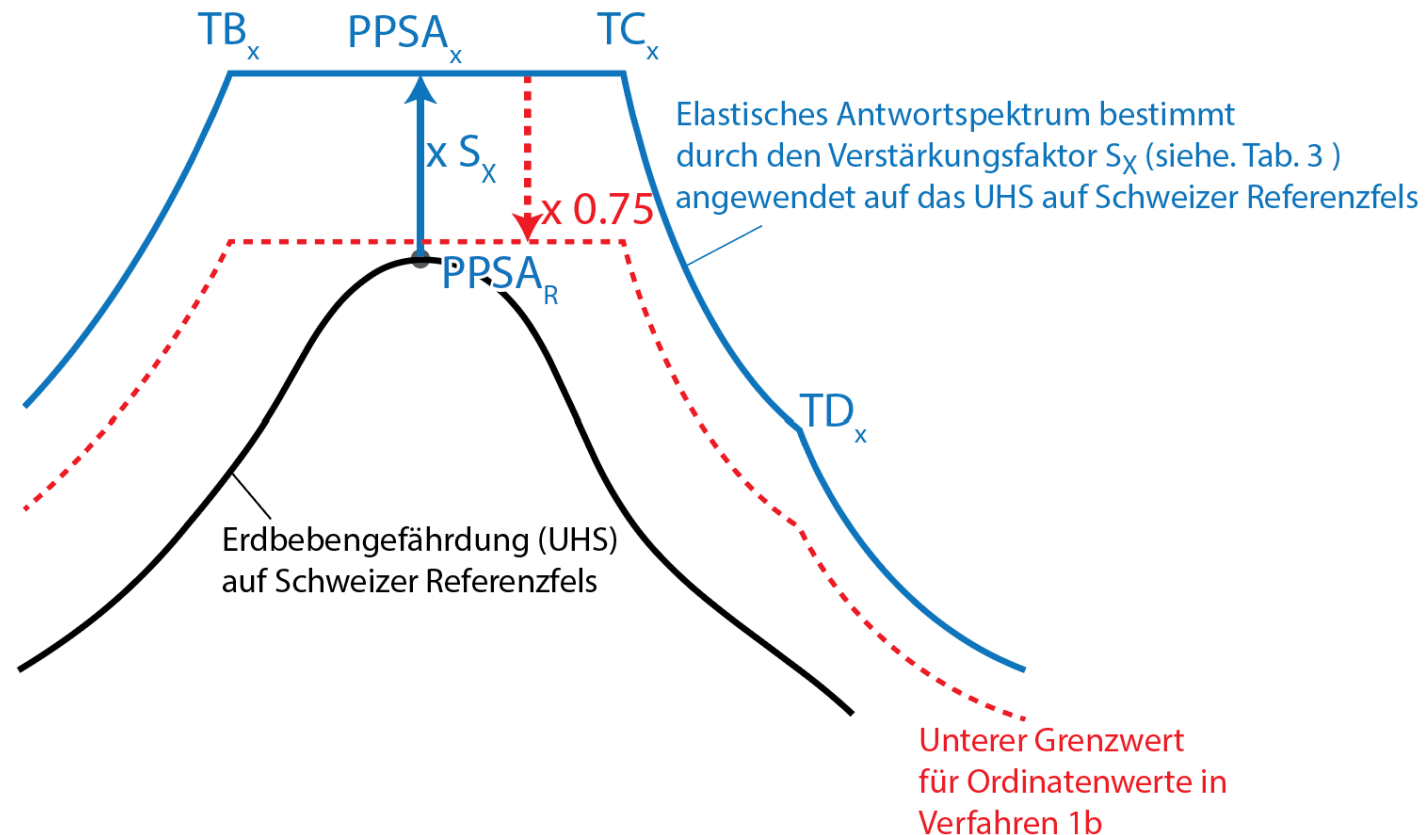




# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT, SRA

SRA: Begrenzungen der Ordinaten des elastischen Antwortspektrums bei Erdbebengefährdung nach  
SUIhaz2015 und  $V_{s30}$  lokale  $800 \text{ m/s} \leq V_{s30} < 1105 \text{ m/s}$

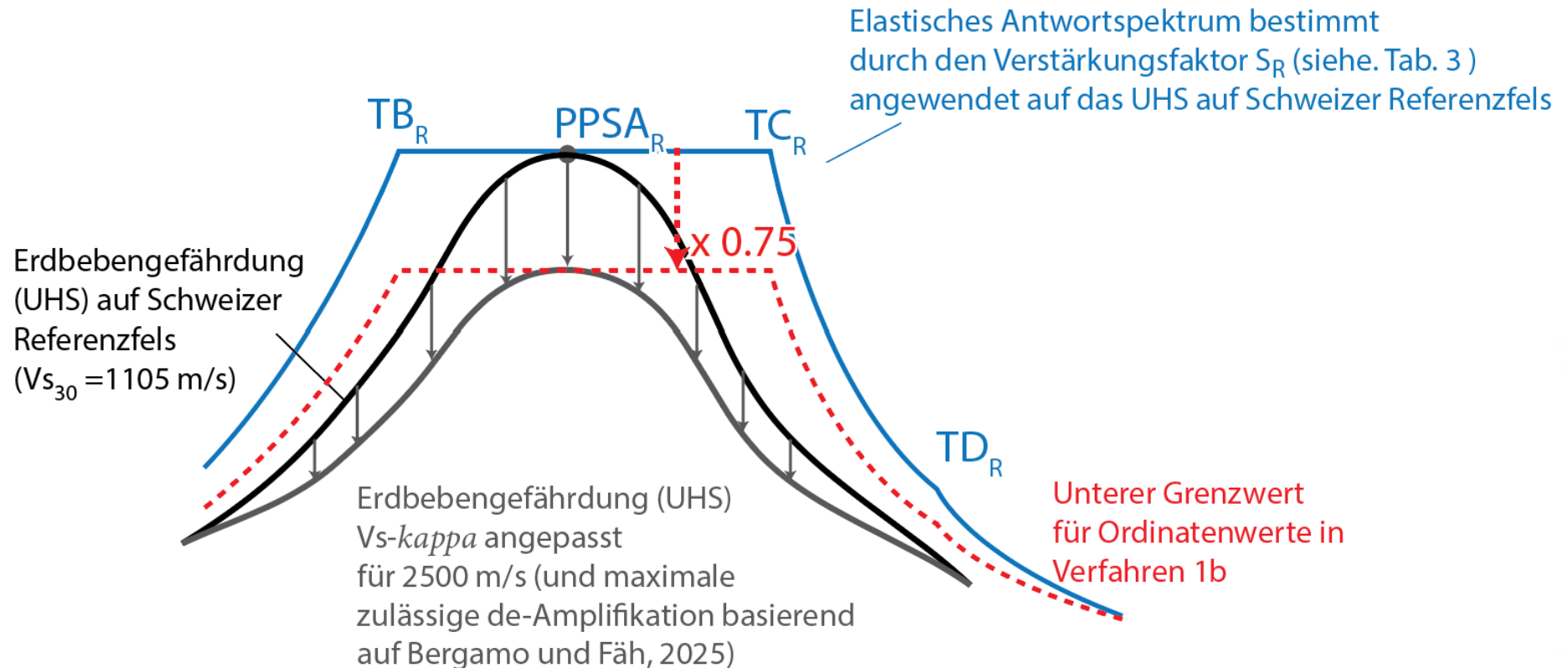




# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT, SRA

SRA: Begrenzungen der Ordinaten des elastischen Antwortspektrums bei Erdbebengefährdung nach  
SUIhaz2015 und  $V_{s30}$  lokale  $\geq 1105$  m/s

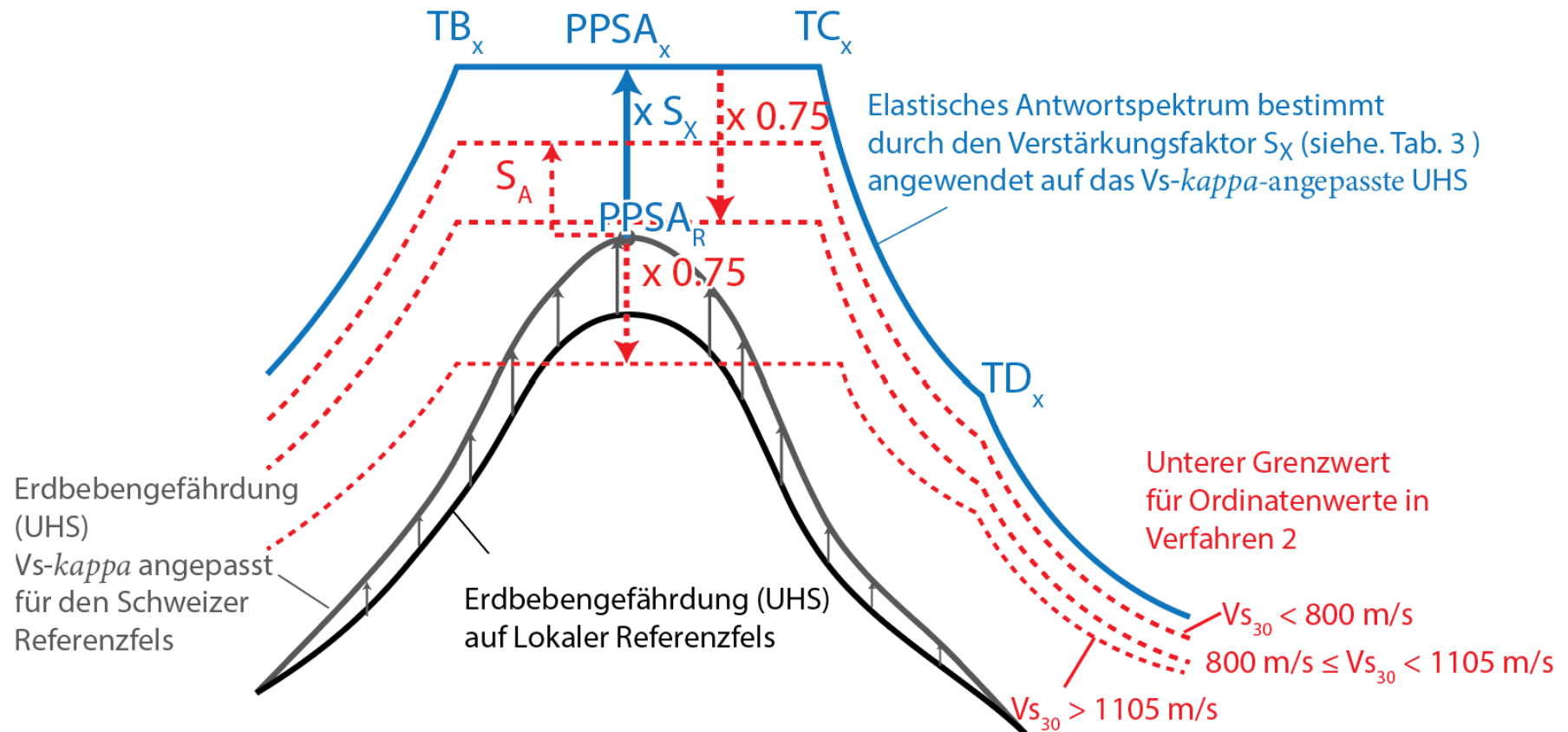




# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## SEISMISCHE GEFÄHRDUNG VOR ORT, SRA

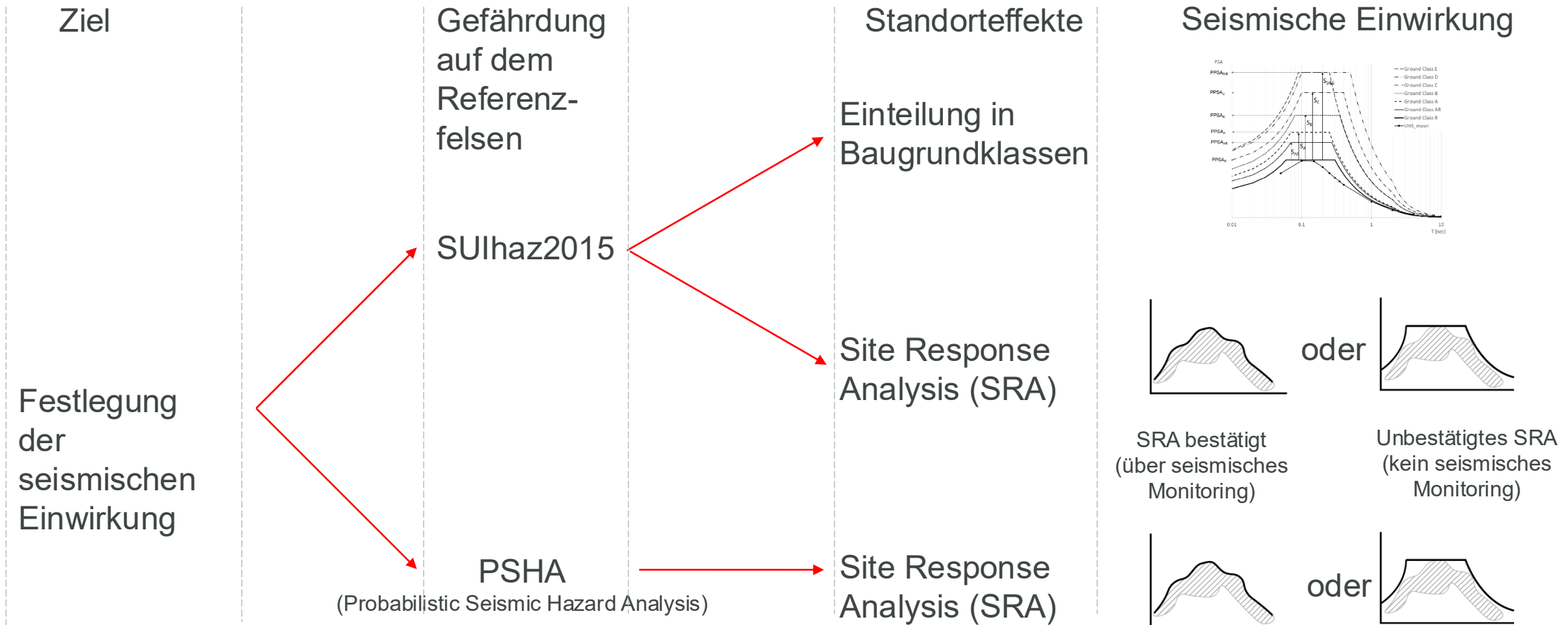
SRA: Begrenzungen der Ordinaten des elastischen Antwortspektrums bei Erdbebengefährdung nach PSHA gewidmet und für alle  $V_{s30}$  lokalen





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ZUSAMMENFASSUNGEN DER IN DER C3-2025 VORGESEHENEN ANSÄTZE





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG

## ALLGEMEINES KONZEPT - ANSÄTZE IN DER K3-2025

Seismische Gefährdung auf dem  
Referenzfelsen



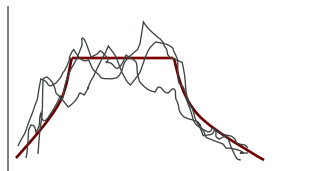
Seismische Gefährdung  
vor Ort



Standorteffekte



4



Auswahl der kompatiblen  
Erdbeben



3



Bestimmung des  
elastischen Antwortspektrum  
z.B.: Baugrundklasse A

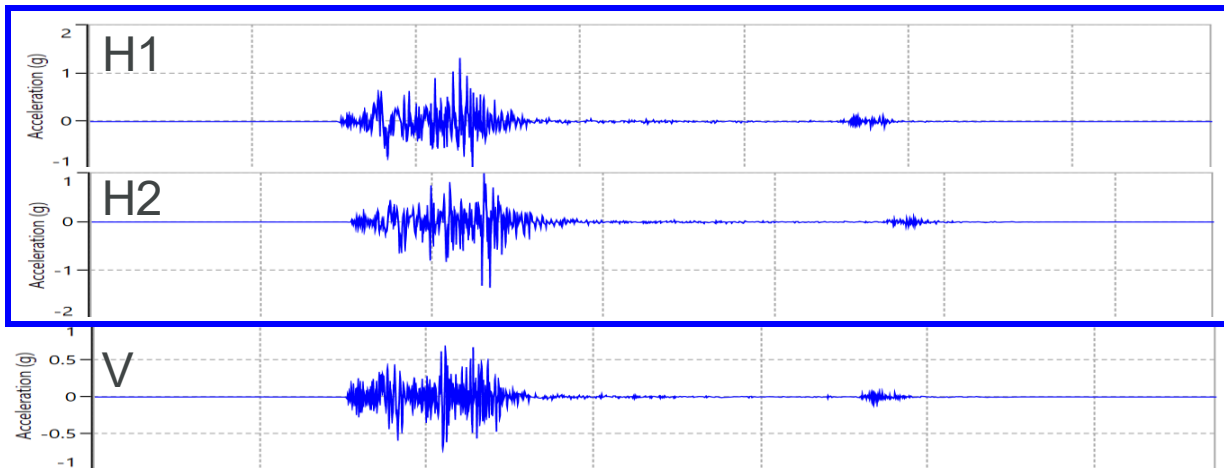


# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLÄUFE

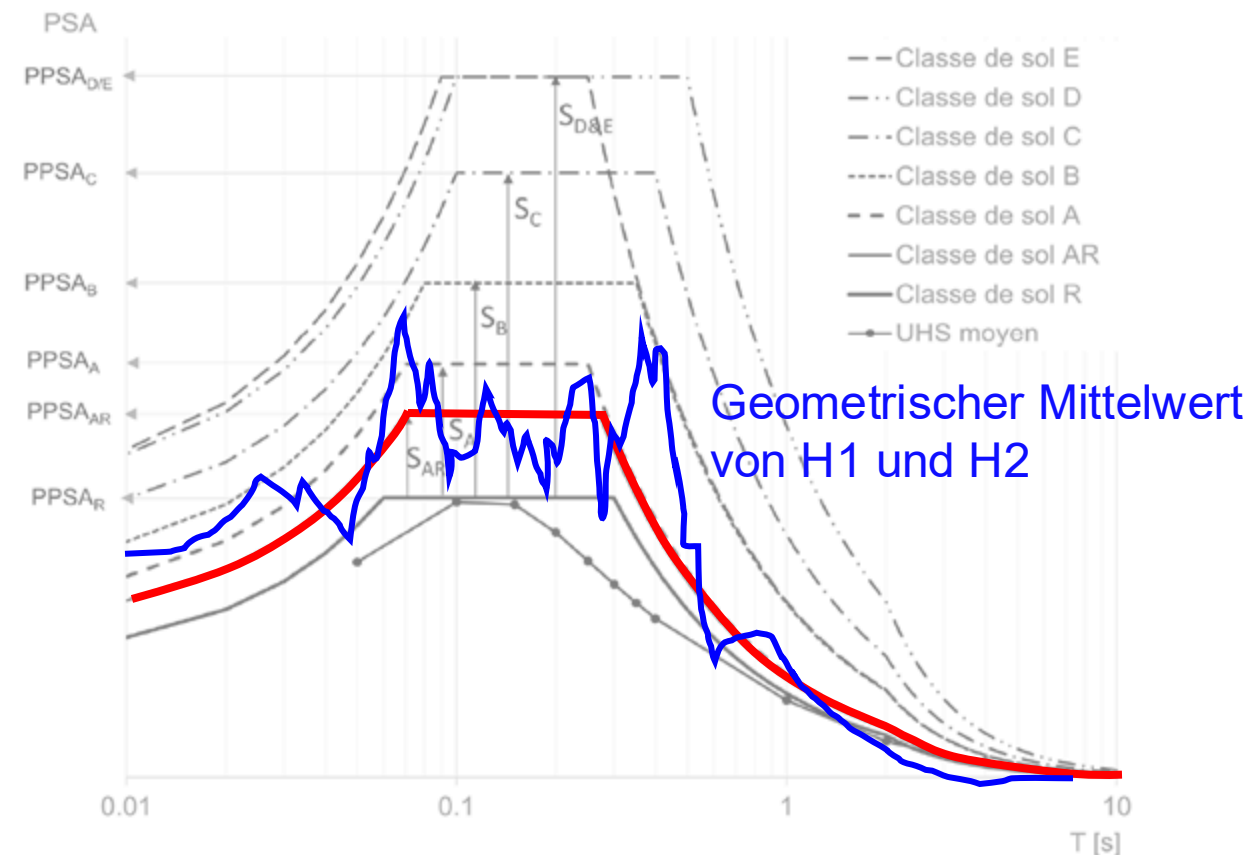
Auswahl von mindestens **7 Beschleunigungszeitverläufe**  
(jeweils 3 Komponenten)

- **Kompatibel** mit der  $V_{s30}$  der Seite
- Kompatibel mit dem **Erdbebenszenario**  
(Deaggregation der Gefährdung ( $M_w$ ,  $R_{JB}$ )  $\rightarrow$   $A_i$ ,  $D_{5-95}$  und tektonischer Kontext)
- Kompatibel mit dem elastischen **Antwortspektrum**

Zeitbereich

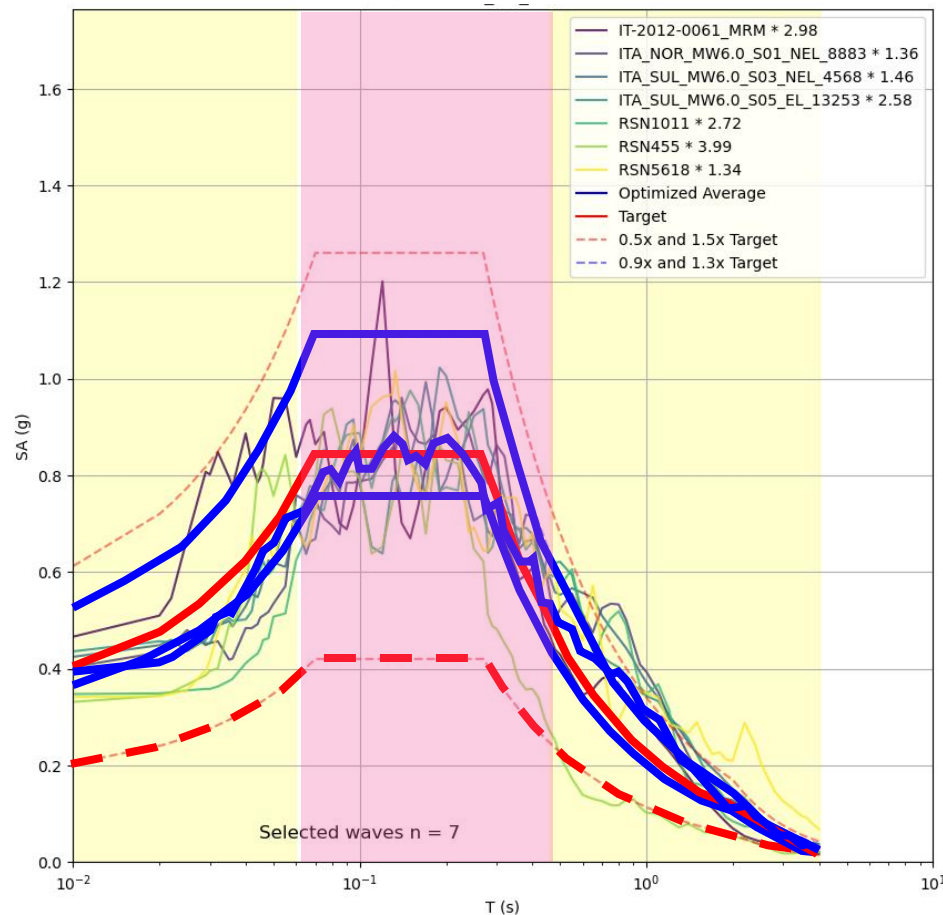


Frequenzbereich





# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLÄUFE



Aufzeichnungen von Erdbeben oder physikalisch simulierte Erdbeben (z. B. BB-Speed).

Möglichkeit zur linearen Skalierung von Beschleunigungsamplituden  
→ Skalierungsfaktoren zwischen 0.25 und 4.

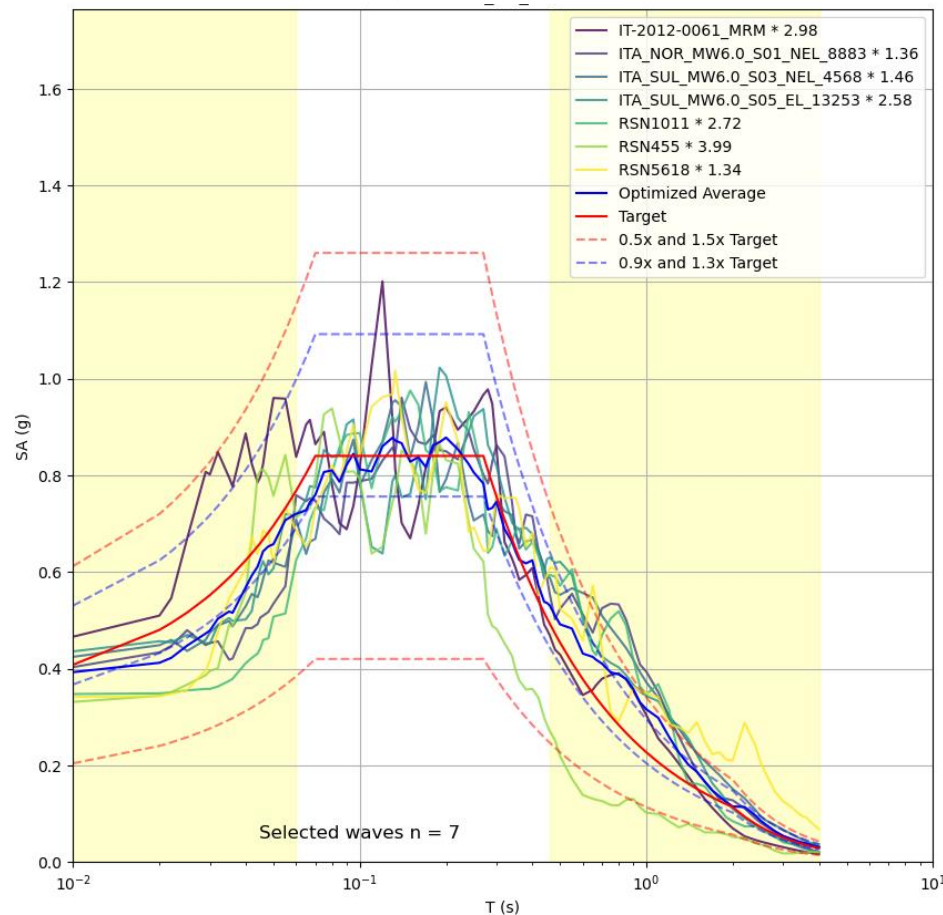
Wenn die Suche erfolglos ist → Möglichkeit, *Spectral Matching* zu nutzen

Kriterien für die Kompatibilität mit dem Zielpektrum (innerhalb des relevanten Periodenbereichs →  $0.2 T_1$  bis  $1.5 T_1$ )

- Für jede einzelne Spur die spektralen Beschleunigungen  $\geq 50\%$  des Targets
- Für jede Schwingungsperiode muss der Mittelwert der spektralen Beschleunigungen der Auswahl zwischen 90 und 130 % des Targets liegen.
- Der Mittelwert für alle Zeiträume der Verhältnisse zwischen dem arithmetischen Mittel der Antwortspektren aller Zeitreihen und dem Zielantwortspektrum darf nicht kleiner als 0,95 sein.



# FESTLEGUNG DER SEISMISCHEN EINWIRKUNG BESCHLEUNIGUNGSZEITVERLÄUFE



Für die Auswahl gibt es drei Möglichkeiten:

- Unabhängige Recherche durchführen und Kapitel 4.3.5 der Richtlinie C3-2025 einhalten. Validierung der Auswahl durch die Aufsichtsbehörde
- Nutzung der vom BFE zur Verfügung gestellten Zonenauswahl und Skalierung der Beschleunigungszeitverläufe entsprechend den Beschleunigungen des Zielspektrum (Bereich der relevanten Perioden: 0.02 bis 1.2 s). Validierung der Skalierung durch die Aufsichtsbehörde.
- Beantragen Sie beim BFE eine spezifische Auswahl für die jeweilige Stauanlage (Besonderheit: Zielspektrum und relevanter Periodenbereich).

Empfohlene Lösung



# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!



Federico Galster  
Fachspezialist Aufsicht Talsperren

UVEK BFE TS

[federico.galster@bfe.admin.ch](mailto:federico.galster@bfe.admin.ch)

energieplus.com