Kanton Zürich
Baudirektion
Tiefbauamt

Fachstelle Oberbau und Geotechnik

12. Fachkolloquium Werkhof Urdorf

Erdbebensicherheit von Brücken

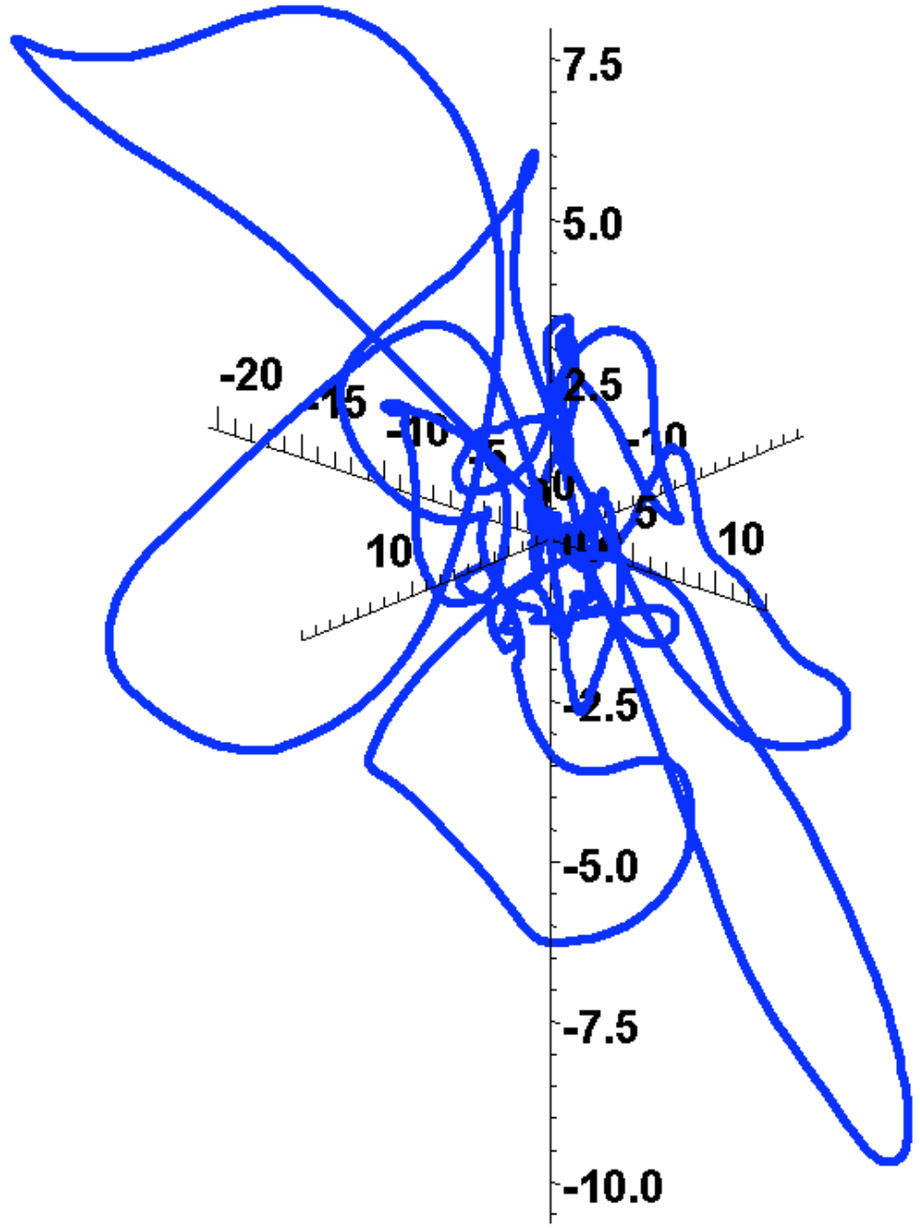
Gefährdung, Schadenbilder, Massnahmen

Thomas Wenk, Zürich

12. September 2012

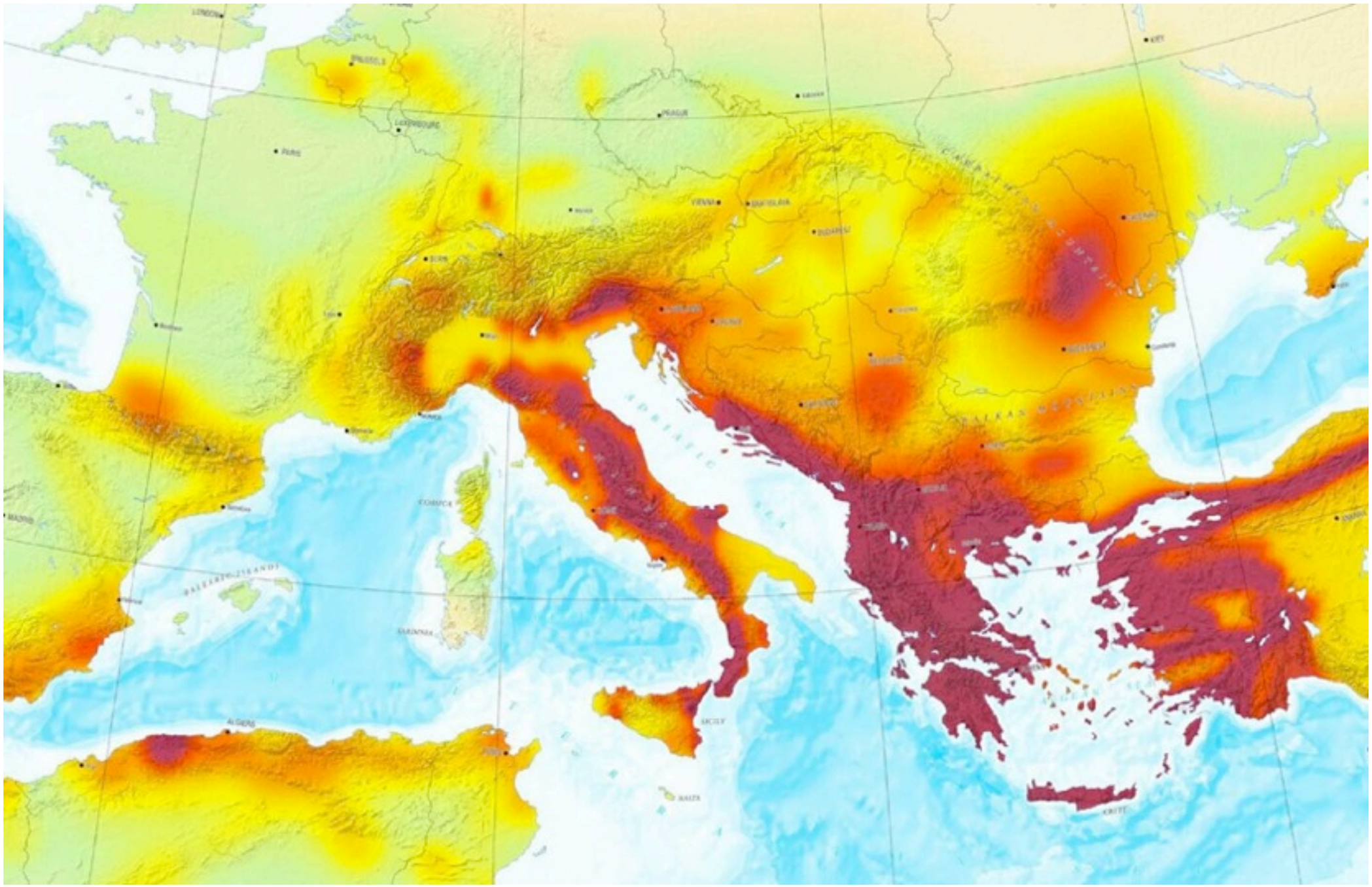
1. Erdbebengefährdung: Was passiert während eines Erdbebens?

- **Erdbeben bewirken rasche horizontale und vertikale Bodenbewegungen von kurzer Dauer:**
  - **Bodenbeschleunigungen von wenigen % g bis ca. 2 g**
  - **Bodenverschiebungen von wenigen mm bis wenigen dm**
- **Bauwerke wie Brücken sind primär auf das Abtragen von Schwerelasten ausgelegt.**
- **Mit Überfestigkeit können vertikale Beschleunigung bis 2 g meist problemlos aufgenommen werden.**
- **Ziel der Erdbebensicherung ist primär die Sicherstellung der Tragfähigkeit und des Verformungsvermögens für horizontale Einwirkung.**



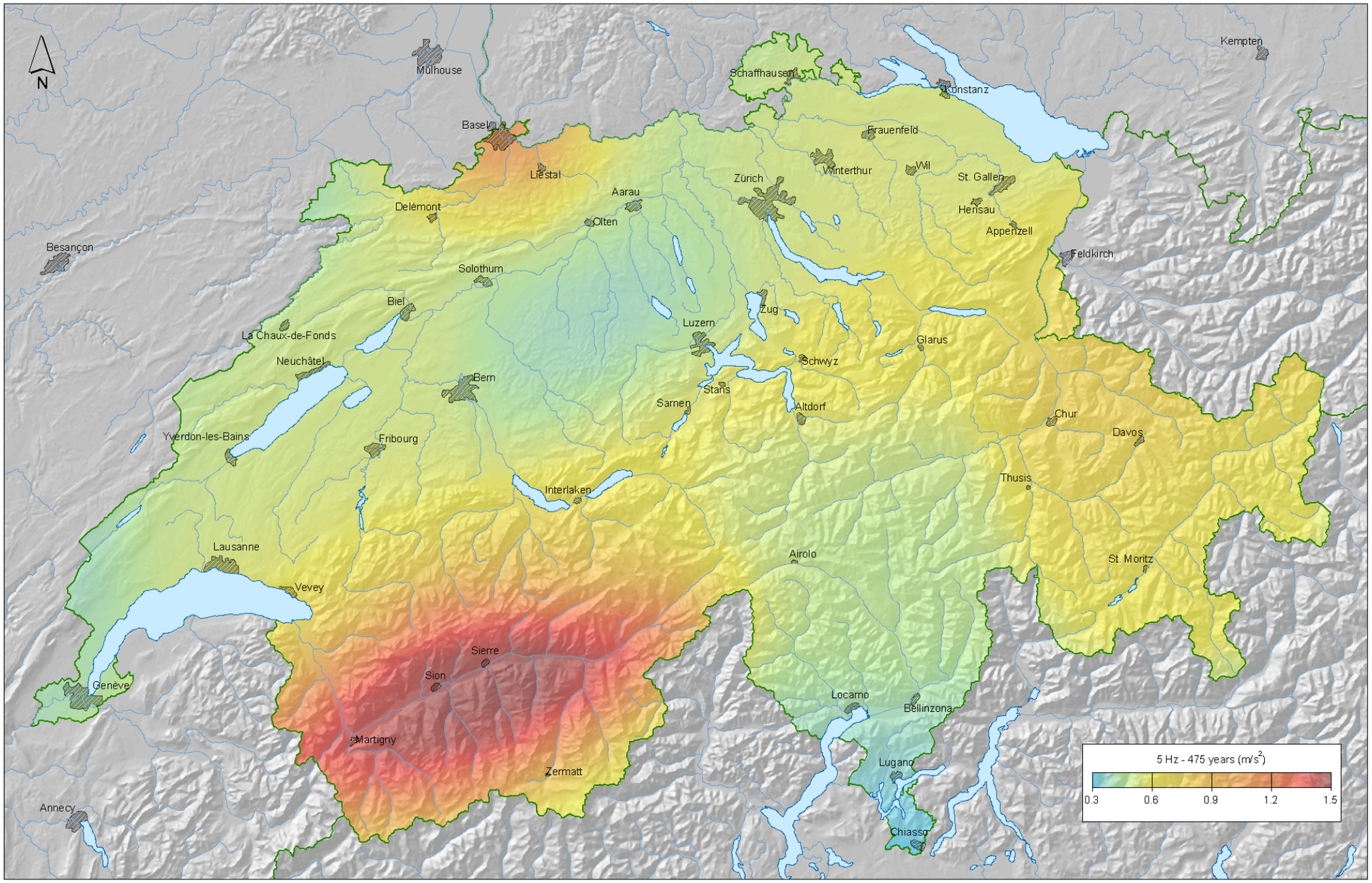
3D-Verlauf der Bodenverschiebung des Erdbebens von Kobe 1995 in cm [Dazio 2008]

Erdbebengefährdung in Europa



[Giardini 2005]

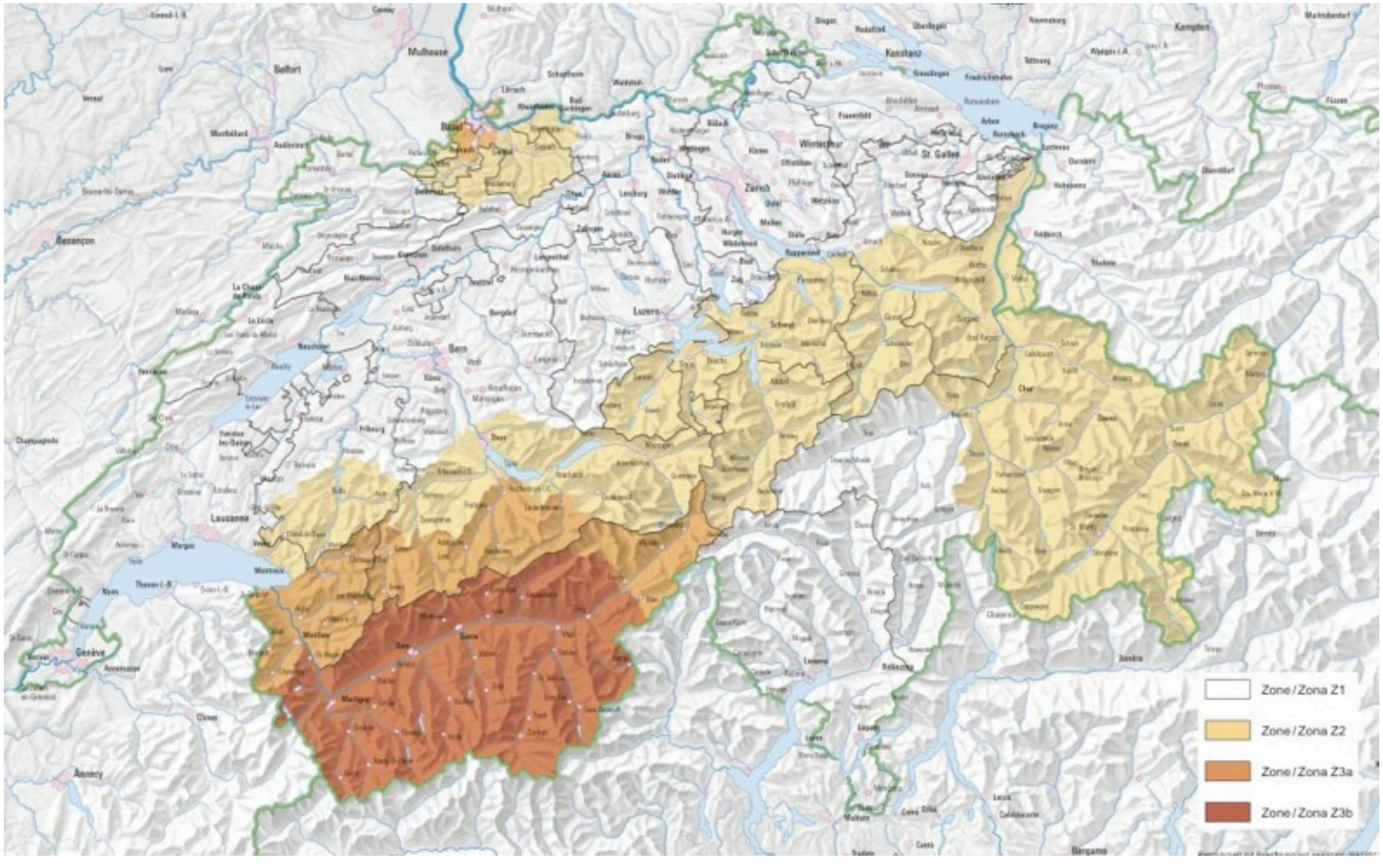
Erdbebengefährdung in der Schweiz



[Giardini et al. 2004]

Maximale horizontale Bodenbeschleunigung mit einer Wiederkehrperiode von 500 Jahren für Felsstandorte

Erdbebengefährdung in der Schweiz: Erdbebenzonenkarte der Norm SIA 261 (2003)



Maximale horizontale Bodenbeschleunigung mit einer Wiederkehrperiode von 500 Jahren für Felsstandorte

Erdbebengefährdung in der Schweiz: Bemessungsparameter

- **Die Grösse der Erdbebenbeanspruchung eines Bauwerks hängt neben der Erdbebengefährdung von weiteren Bemessungs-parametern ab.**
- **Über die ganze Schweiz betrachtet, beträgt die Spanne der wichtigsten Bemessungsparameter:**

Parameter	Anzahl	Quotient aus maximalem und minimalem Wert
Bauwerksklassen	3	1,4
Erdbebenzonen	4	2,6
Baugrundklassen	6	2,7
Bauweisen	27	3,3
dynamisches Verhalten	kontinuierlich	30

2. Erdbebenschadenbilder von Brücken

- **Schadenbilder von stärkeren Erdbeben in der Vergangenheit zeigten typische Schwachstellen von Brücken auf:**
  - **Absturz von Brückenträgern**
  - **Stützenversagen**
  - **Mauerwerk**
  - **Versagen der Horizontalkraftlager**
  - **Setzungen von Widerlagern**
  - **Schäden bei Fahrbahnübergängen**
- **Die Lehren aus den beobachteten Schadenbildern finden sich in den Entwurfs- und Bemessungsregeln für erdbebengerechte Brücken.**

Erdbebenschadenbilder: Trägerabsturz



Erdbeben von Chile 2010

Erdbebenschadenbilder: Trägerabsturz



Erdbeben von Chile 2010

Erdbebenschadenbilder: Trägerabsturz



Erdbeben von Kobe, Japan 1995

Erdbebenschadenbilder: Stützen



Erdbeben von Chile 2010

Erdbebenschadenbilder: Stützen



Erdbeben von Kobe, Japan 1995

Erdbebenschadenbilder: Mauerwerk



Puente Rio Claro
Erdbeben von Chile 2010

Erdbebenschadenbilder: Mauerwerk



Puente Rio Claro
Erdbeben von Chile 2010

Erdbebenschadenbilder: Mauerwerk



Ponte Secchia 1884
Erdbeben in der Emiglia-Romagna 2012

Erdbebenschadenbilder: Lager

- **Durchlaufträger ist in Querrichtung von den Lagern gefallen.**
- **Dank breiter Lagerbank ist der Träger nicht abgestürzt.**
- **Bezüglich Trägerabsturz in Längsrichtung wirkte sich der durchlaufende Träger günstig aus.**



Erdbeben von Kobe, Japan 1995

Erdbebenschadenbilder: Lager





Erdbeben in der Emiglia-Romagna 2012

Erdbebenschadenbilder: Widerlager



Erdbeben von Chile 2010

Erdbebenschadenbilder: Fahrbahnübergänge

- **Schäden an Fahrbahnübergängen werden in der Regel akzeptiert, d.h. die Dehnwege werden nicht auf Erdbeben ausgelegt.**
- **Ausnahme: Bauwerksklasse III oder seismisch isolierte Brücken.**





Erdbeben von Chi-Chi, Taiwan 1999

Erdbebenverletzbarkeit von Brücken

- **Die Erdbebenverletzbarkeit von Brücken ist meist kleiner als diejenige von Gebäuden.**
- **Ungefähre Rangliste der Erdbebenverletzbarkeit von Bauwerken:**
  - **Tunnel**
  - **im Boden verlegte Leitungsnetze**
  - **Stützmauern**
  - **Brücken**
  - **Gebäude**

zunehmende Verletzbarkeit

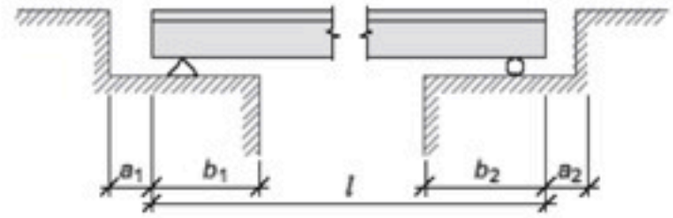
- **Eine grössere Erdbebenverletzbarkeit weisen Bauten auf, die horizontal steif und spröde aus dem Boden ragen.**
- **Im Gegensatz zu Gebäuden, bei denen als Schutzziel der Erdbeben-bemessung der Schutz der Personen im Vordergrund steht, ist bei Brücken die Aufrechterhaltung des Betriebs nach einem Ereignis ein wichtiges Schutzziel.**

3. Massnahmen

- **Massnahmen bei neuen Brücken:**
  - **Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen SIA 260 bis SIA 267 aus dem Jahre 2003 einhalten.**
- **Massnahmen bei bestehenden Brücken:**
  - **Überprüfung der Erdbebensicherheit gemäss SIA-Tragwerksnormen**
  - **Erdbebenertüchtigung soweit verhältnismässig.**
- **Bei der Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Brücken empfiehlt sich ein stufenweises Vorgehen:**
  - **1. Stufe: Checkliste mit Filterkriterien**
  - **2. Stufe: Überprüfung gemäss SIA-Tragwerksnormen.**
- **Das ASTRA hat ein zweistufiges Verfahren für die Überprüfung der bestehenden Strassenbrücken der Nationalstrassen entwickelt.**

Erste Stufe des ASTRA-Verfahrens

- **Checkliste A4**
- **Negative Filterkriterien basierend auf konstruktiven Schwachstellen:**
  - **Gerbergelenke oder Zwischenfugen**
  - **ungenügende Absturzsicherung**
  - **grosse Krümmung oder Schiefe**
  - **extreme Quersteifigkeits-unterschiede**
  - **angehängte Rampenbrücken**
  - **Zuglager**
  - **Gasleitung**
  - **rutschungsgefährdet.**
- **2005 - 2006 bei 4100 National-strassenbrücken angewandt:**
  - **81% sind in Ordnung**
  - **19% durchlaufen die 2. Stufe.**

Strasse:		Kanton:	Bauwerksname:
Objekt Nr. (ASTRA-Kostenstelle):		km:	Jahr der Inbetriebnahme:
BWK:	Erdbebenzone:	Baugrundklasse:	Norm (Einwirkungen):
Brückentyp:			Rahmenbrücke oder Sprengwerk ohne Fugen (Ja/Nein):
Anzahl Brückenfelder:		Gesamtlänge:	Brückenfläche > 6000 m^2 (Ja/Nein):
Anzahl Dilatationsfugen:			Anzahl Gerbergelenke oder Zwischenfugen:
Längslagerungssystem:			Querlagerungssystem:
Istwerte $b_{i,Ist}$ der Absturzsicherung bei den Widerlagern eintragen: 			
Mindestabmessungen (Sollwerte) $b_{1,Soll}$:		$b_{2,Soll}$:	Minimum $b_{i,Ist}/b_{i,Soll}$ in %:
Krümmung über 35° (Ja/Nein):			Schiefe über 45° (Ja/Nein):
Lichte Widerlagerhöhe links:			Lichte Widerlagerhöhe rechts:
Absturzgefährdet quer (Ja/Nein):			angehängte Rampenbrücken (Ja/Nein):
Zuglager (Ja/Nein):			extreme Quersteifigkeitsunterschiede (Ja/Nein):
Rutschungsgefährdet(Ja/Nein):			Gasleitung (Ja/Nein):
Zusammenfassende Beurteilung in der 1. Stufe:			Erdbebensicherheit genügend (Ja/Nein): Andernfalls 2. Stufe der Beurteilung erforderlich.
Prioritätensetzung falls 2. Stufe der Beurteilung erforderlich: Sofortmassnahmen:		1. Priorität:	2. Priorität:
Weitere Schwachstellen, Bemerkungen:			
Datum:			Name:

Erste Stufe des ASTRA-Verfahrens

- **Effiziente positive Filterkriterien der ersten Stufe des ASTRA-Verfahrens:**
  - **monolithische Rahmenbrücken**
  - **monolithische V-Stiel-Brücken**
  - **monolithische Sprengwerkbrücken**
- **Diese Brückentypen sind frühe Vertreter der integralen Stahlbeton-bauweise von Brücken mit gutem Erdbebenverhalten.**
- **Für die in der Schweiz vorherrschende niedrige bis mittlere Seismizität können sie im Ist-Zustand als genügend erdbebensicher akzeptiert werden.**





Massnahmen: Beispiel Erdbenertüchtigung
Brunnenbrücke A9 Simplonstrasse



- **Istzustand:**
  - **Ungenügende feste Längslagerung der beiden durch eine Zwischenfuge getrennten Brückenhälften bei den Widerlagern.**
  - **Überbeanspruchung der kurzen Stützen in Querrichtung.**
- **Ertüchtigung:**
  - **Wechsel auf schwimmende Längslagerung mit hochdämpfenden Elastomerlagern auf den Widerlagern und den kurzen Stützen.**

Brunnenbrücke A9 Simplonstrasse

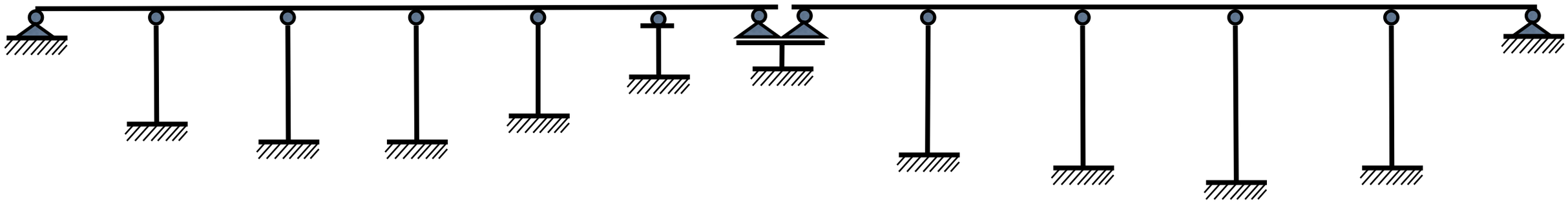


Brunnenbrücke A9 Simplonstrasse

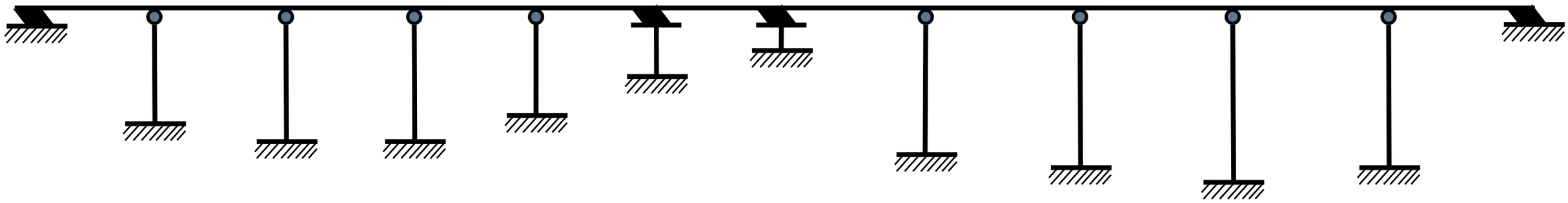


Brunnenbrücke A9 Simplonstrasse

Längslagerung im Istzustand



Längslagerung erdbebenertüchtigt



Brunnenbrücke A9 Simplonstrasse



Kenndaten

Baujahr	**1978**
Jahr der Ertüchtigung	**2005**
Bauwerksklasse	**BWK II**
Erdbebenzone	**Z3b**
Baugrundklasse	**A**
Erfüllungsfaktor α_{eff}	**0,1**
Erfüllungsfaktor α_{int}	**1,0**
Grundschwingzeit $T_{isoliert}$	**2,5 s**
Kosten der Erdbeben-ertüchtigung	**CHF 150‘000**
Kosten der Erdbeben-ertüchtigung relativ zum Anlagewert	**2%**
Ingenieur	**VWI Ingenieure AG Truffer Ingenieur-beratung AG**

Massnahmen: Beispiel Erdbenertüchtigung Singerbrücke A2 in Basel

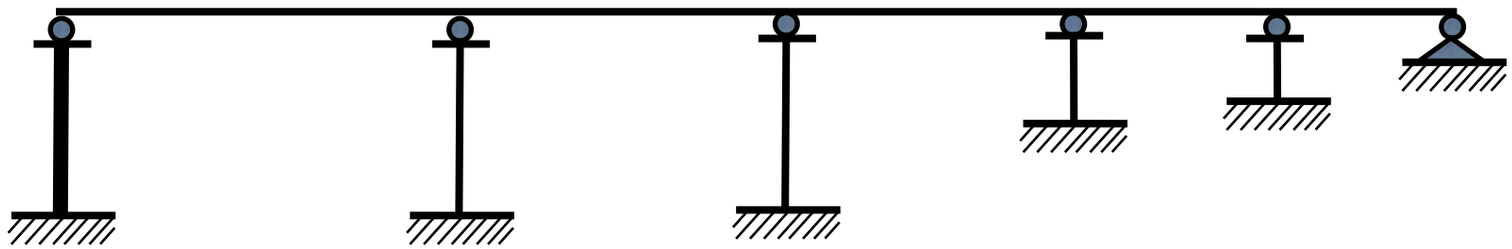


- **Istzustand:**
  - **Ungenügende feste Längslagerung beim Widerlager rechts im Bild.**
- **Ertüchtigung:**
  - **Wechsel auf schwimmende Längslagerung mittels seitlicher Nocken bei zwei Mittelstützen.**

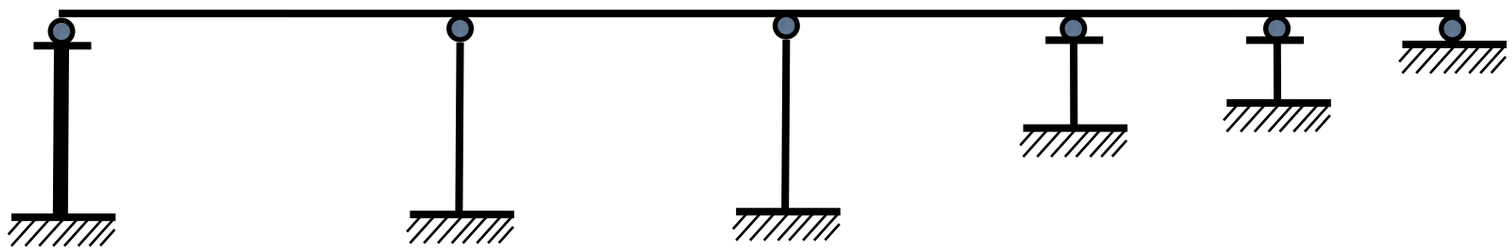
Singerbrücke A2 in Basel



Längslagerung im Istzustand



Längslagerung erdbebenertüchtigt



Singerbrücke A2 in Basel



Eine der beiden Mittelstützen mit nachträglich eingebauten seitlichen Nocken

Kenndaten	
Baujahr	**1969-73**
Jahr der Ertüchtigung	**2007**
Bauwerksklasse	**BWK II**
Erdbebenzone	**Z3a**
Baugrundklasse	**E bzw. A**
Erfüllungsfaktor α_{eff}	**0,08**
Erfüllungsfaktor α_{int}	**1,0**
Grundschwingzeit $T_{isoliert}$	**3,0 s**
Kosten der Erdbeben-ertüchtigung	**CHF 400‘000**
Kosten der Erdbeben-ertüchtigung relativ zum Anlagewert	**4,5 %**
Ingenieur	**A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG Schmid + Partner AG**

Massnahmen: Beispiel Erdbenertüchtigung
Brücke Stadtergasse A3 in Mels



- **Istzustand:**
  - **Ungenügende feste Längslagerung für Bremskraft, Längsstabilität und Erdbeben beim Widerlager links im Bild.**
- **Ertüchtigung:**
  - **Einbau von vorgespannten hydraulischen Dämpfern beim Widerlager (Preloaded Spring Damper PSD).**

Brücke Stadtergasse A3 in Mels



- **Ertüchtigung des festen Widerlagers für Bremskraft, Längsstabilität und Erdbeben**
  - **Verstärkung des Widerlagers**
  - **Verstärkung des Endquer-trägers**
  - **neue Zuglager**
  - **neue Lager für Horizontal-kraft in Querrichtung**
  - **neue vorgespannte Dämpfer**
- **Die beiden vorgespannten Dämpfer übertragen die Bremskraft und die Längsstabilisierungskraft steif auf das Widerlager.**
- **Bei grösserer Längskraft infolge Erdbeben reagieren die Dämpfer weich.**

Brücke Stadtergasse A3 in Mels



Einer der beiden beim Widerlager nachträglich eingebauten vorge-spannten Dämpfer

Kenndaten

Baujahr	**1973**
Jahr der Ertüchtigung	**2012**
Bauwerksklasse	**BWK II**
Erdbebenzone	**Z2**
Baugrundklasse	**E**
Erfüllungsfaktor α_{eff}	**0,3**
Erfüllungsfaktor α_{int}	**1,0**
Kosten der Erdbeben-ertüchtigung	**CHF 300‘000**
Kosten der Erdbeben-ertüchtigung relativ zum Anlagewert	**3 %**
Ingenieur	**dsp Ingenieure & Planer AG**