



Erdbebengerechtes Bauen

Zürich, 23.08.2019

Quelle web

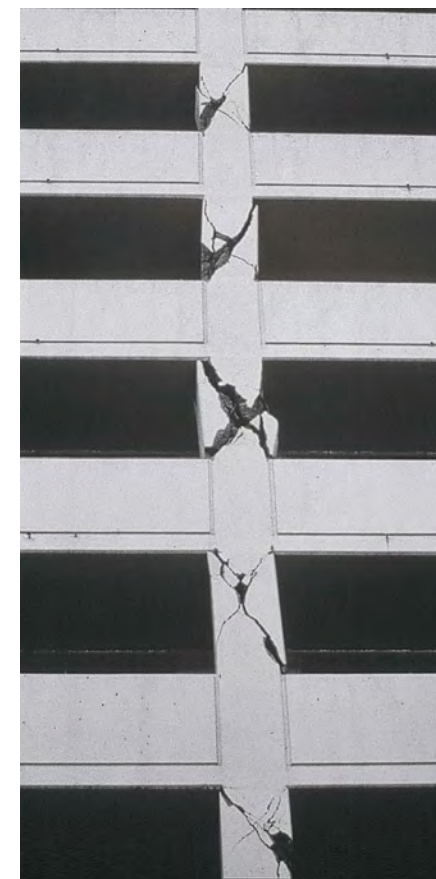
Erdbebenland Schweiz - Informationsanlass des SED & BAFU | 23.08.2019 | YM

Basler & Hofmann

Ausgangslage Erdbebengerechtes Bauen

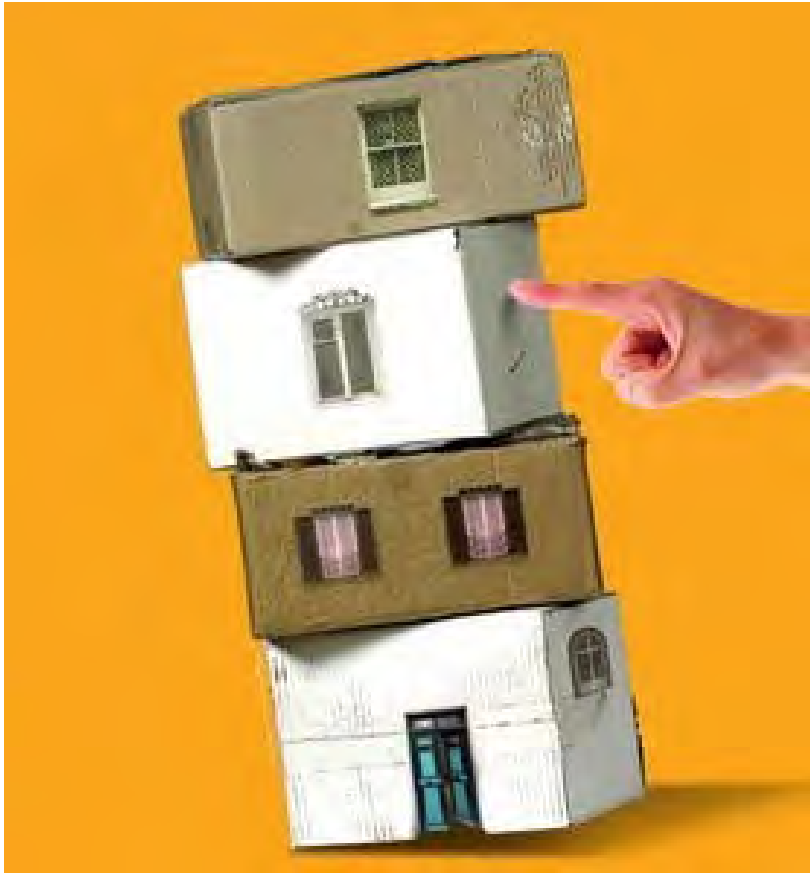
**Wir wissen, dass ein Erdbeben kommt –
wir wissen nicht, wann es kommt.**

Wie verhindern wir das?



Quelle web

Inhalt



Quelle web

Auswirkungen eines Erdbebens

Anforderungen an ein Bauwerk

Erdbebengerechtes Tragwerk

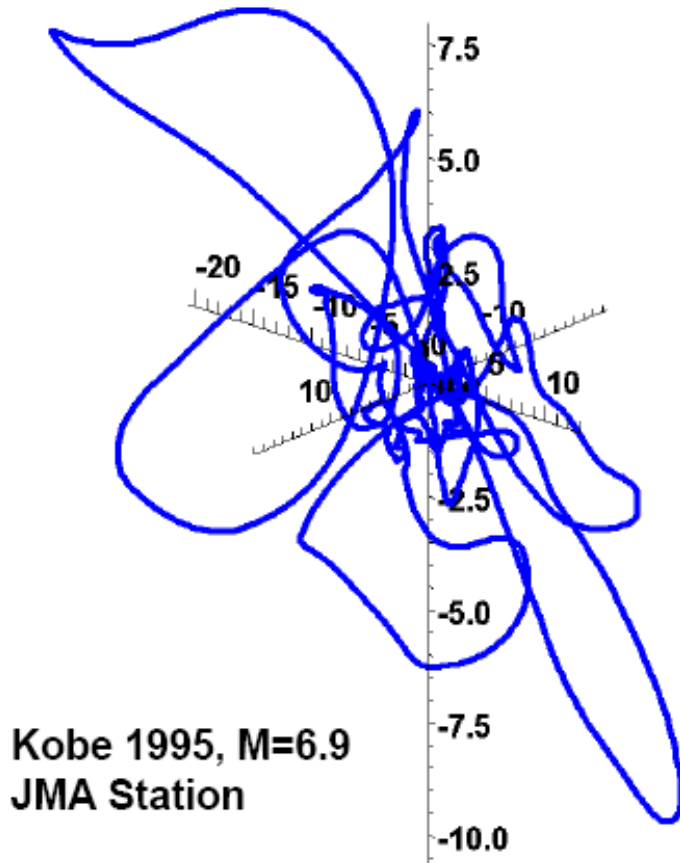
Erdbebengerechte sekundäre Bauteile,
Installationen und Einrichtungen (SBIE)

Vorgehen im Bauprozess seitens Bauherr

Fazit, Fragen und Diskussion

Auswirkungen eines Erdbebens

Bodenbewegung



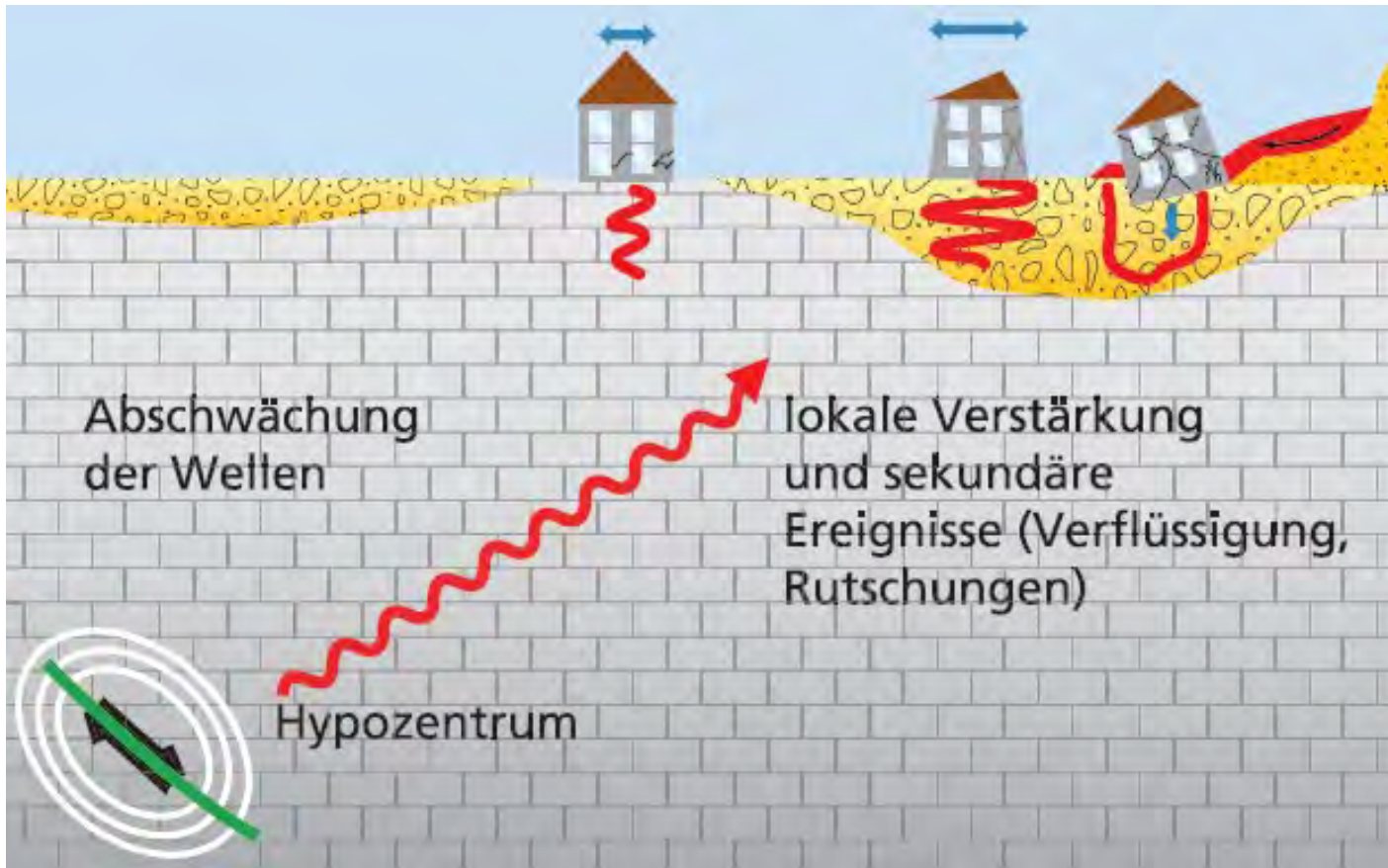
Quelle BAFU

Der Boden bewegt sich in alle Richtungen

- **Verschiebungen**
einige Zentimeter bis Dezimeter
- **Beschleunigungen**
einige Prozent bis 50% der Erdbeschleunigung
- **Dauer**
einige Sekunden (10 - 20 Sek.)

(Angaben für mittelstarkes Erdbeben)

Bodenbewegung



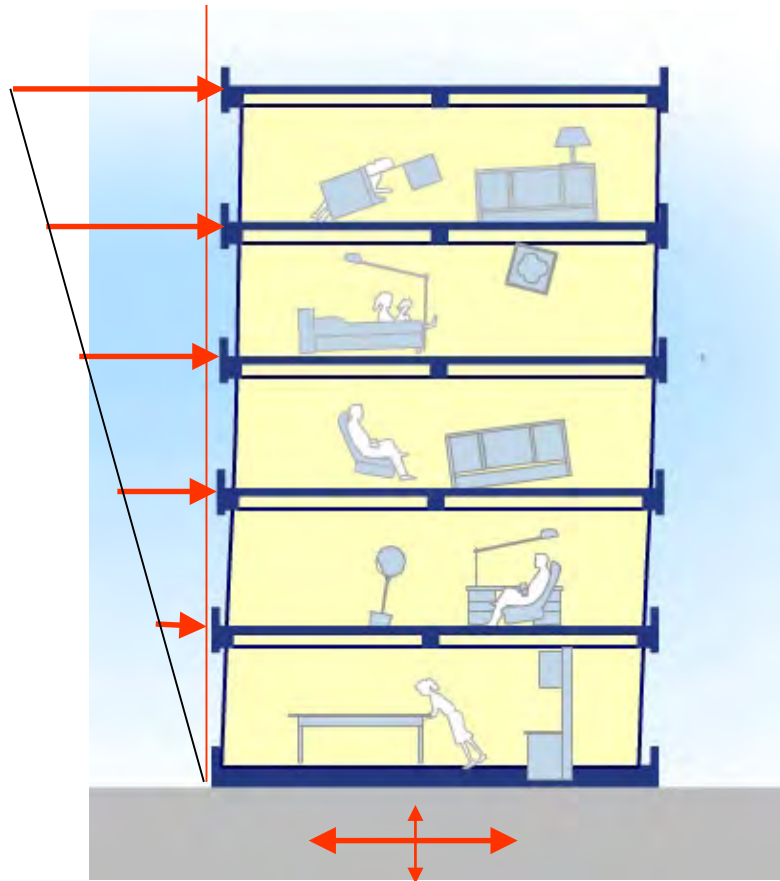
Quelle BAFU

Grosser Einfluss der lokalen Geologie

Lockergesteinsschichten verstärken die Erdbebenerschütterungen

SIA Norm 261:
Baugrundklassen A bis F,
Einfluss Faktor bis 2,6

Bauwerksbewegung



Quelle BAFU

Der Boden bewegt sich,
das Gebäude schwingt,
die Tragstruktur verformt sich.

Die Beschleunigungen in den Stockwerken
induzieren Trägheitskräfte aufgrund der
beschleunigten Massen im / in den

- Tragwerk
- sekundären Bauteilen, Installationen und
Einrichtungen (SBIE)

Bauwerksbewegung



Schäden

Brechen und Einstürzen sowie Abreißen, Verschieben und Kippen bei Erdbebeneinwirkung führen zu Schäden an

Gebäude (Tragwerk)



Inhalt (SBIE)



Infrastruktur



Quelle BAFU

Schäden vermeiden!

Risiko = Gefährdung × Baugrund × **Verletzbarkeit** × Wert

Gefährdung nicht beeinflussbar

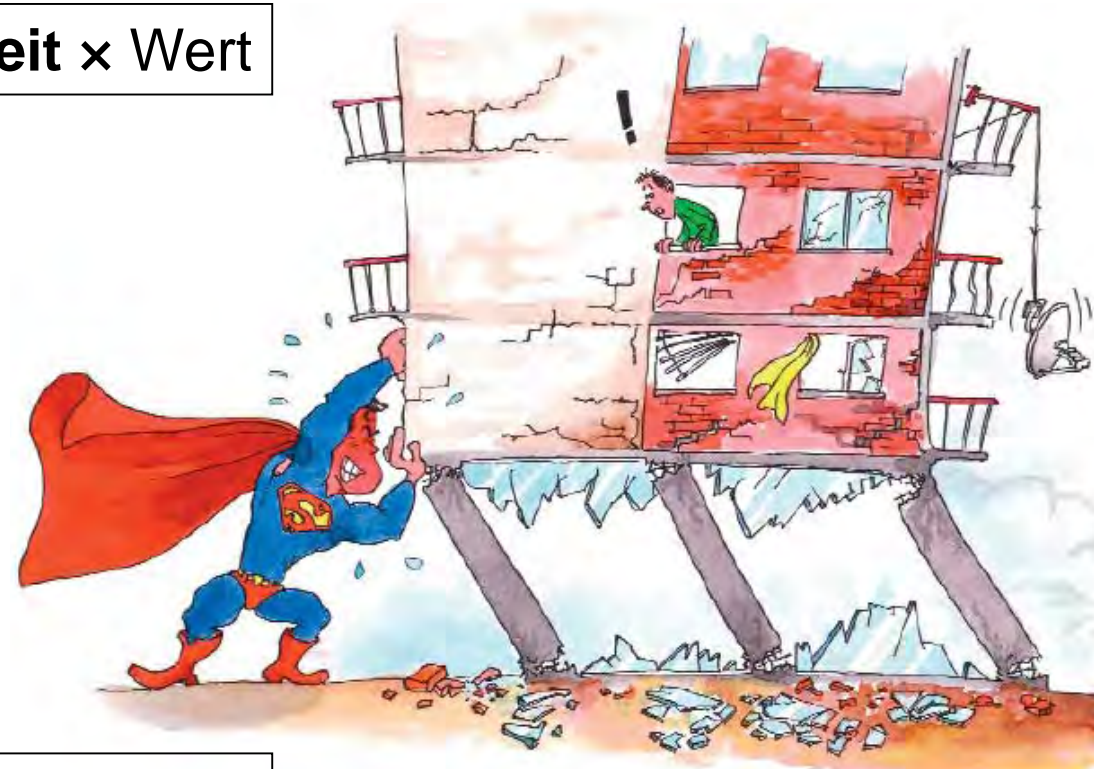
Baugrund kaum beeinflussbar,
„wertvoller und knapper“ Boden

**Verletzbarkeit senken,
d.h. erdbebensicher Bauen**

Werte kaum beeinflussbar,
hohe Bevölkerungsdichte und Lebensstandard

"... earthquakes do not kill people, poorly designed structures do ..."

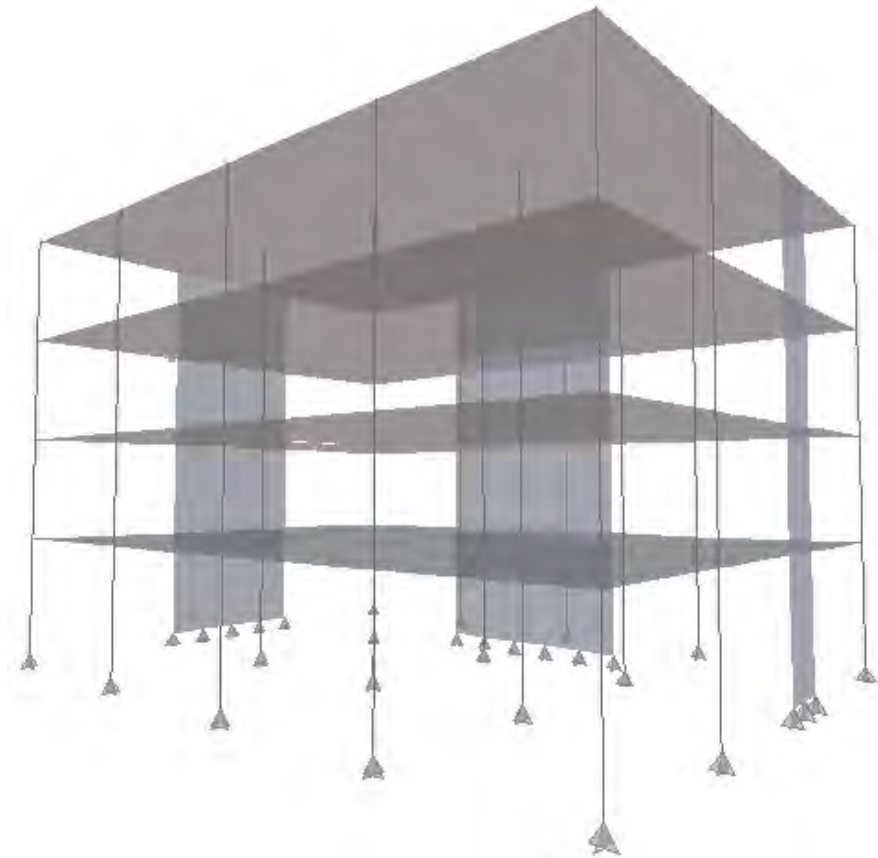
Zitat Professor C. Christopoulos¹, Toronto



Zeichnung E. Rosales

Anforderungen an ein Bauwerk

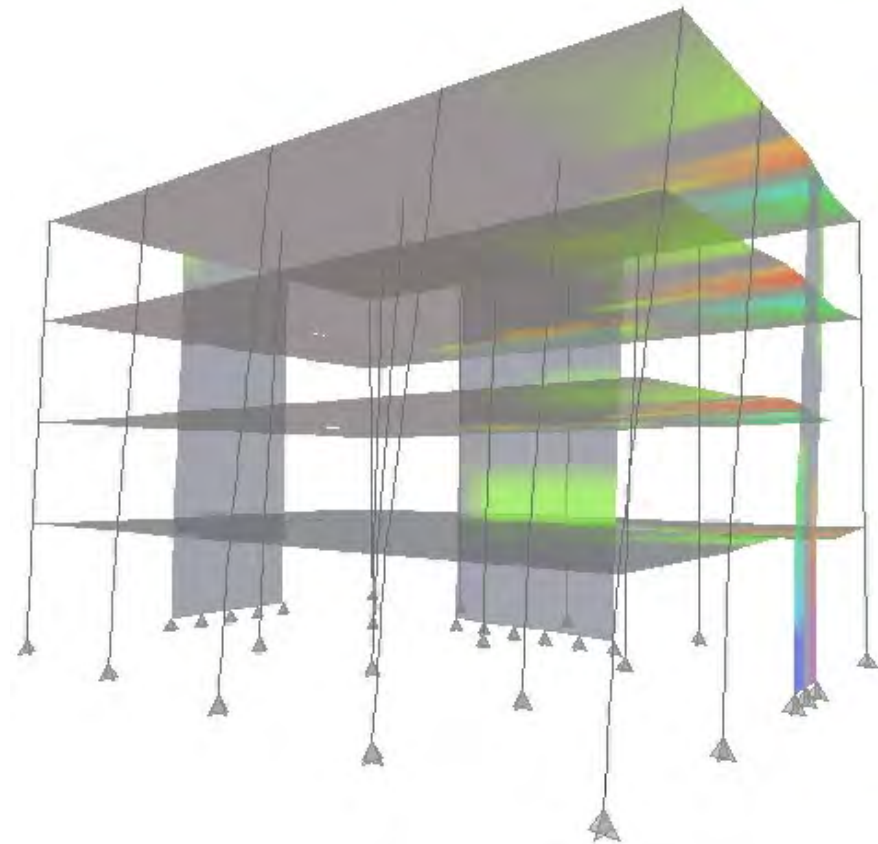
Statik



Normalerweise ruht ein Bauwerk, ist unbewegt und für die Aufnahme von zeitlich relativ konstanten vertikalen Schwerelasten ausgelegt, wie

- Eigengewicht
- Schnee
- Nutzlasten
- **Statik**
Stabilität ruhender, unbewegter Systeme
- **Kerngeschäft des Bauingenieurs**

Dynamik



Erdbeben (wie auch Wind) ist eine zeitlich veränderliche dynamische vertikale und horizontale Einwirkung auf das Bauwerk

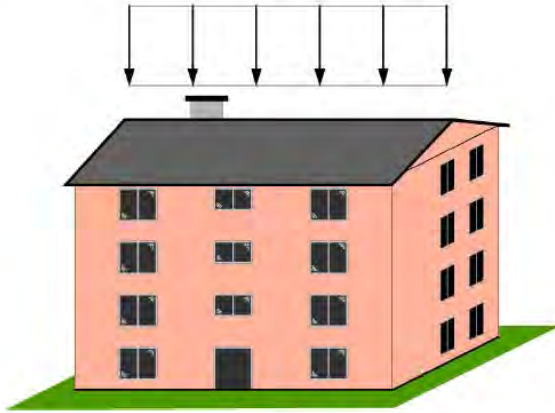
➤ Dynamik

Stabilität schwingender, sich bewegender Systeme

Dynamik ist viel komplexer als Statik und erfordert anderes Wissen und andere Berechnungsverfahren

➤ Dynamik erfordert einen spezialisierten Bauingenieur

Tragwerk



Quelle P. Lestuzzi

Ein Bauwerk muss ein Tragwerk aufweisen für

— vertikale Einwirkungen

statische Kräfte, andauernd vorhanden,
i.d.R. unproblematisch

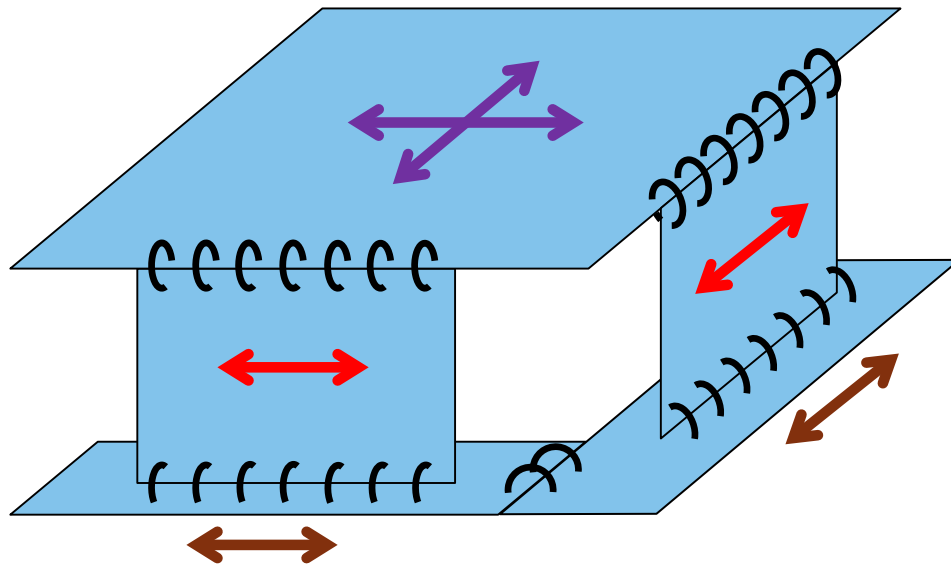
und auch für

— horizontale Einwirkungen

dynamische Kräfte und aufgezwungene Verformungen,
nur selten und kurzzeitig vorhanden (aussergewöhnlich),
problematisch, wenn kein adäquates Tragsystem vorhanden

Erdbebengerechtes Tragwerk

Elemente des erdbebengerechten Tragwerks



Aussteifende Elemente

Steife Decken

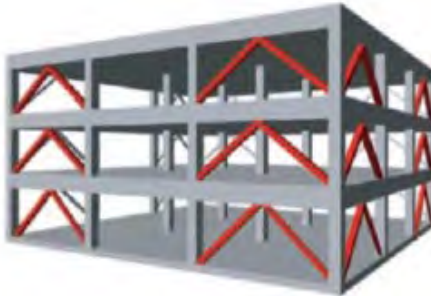
Feste Verbindungen

Fundament

Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept

Erdbebengerechte konstruktive
Durchbildung

Aussteifung



Prinzipiell drei Möglichkeiten zur Abtragung der horizontalen Kräfte durch eine horizontalen Aussteifung

- Wände und Kerne (Scheiben)
- Fachwerke
- Biegesteife Rahmen

(können auch kombiniert werden)

Quelle FEMA

Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept

Soft Story Versagen



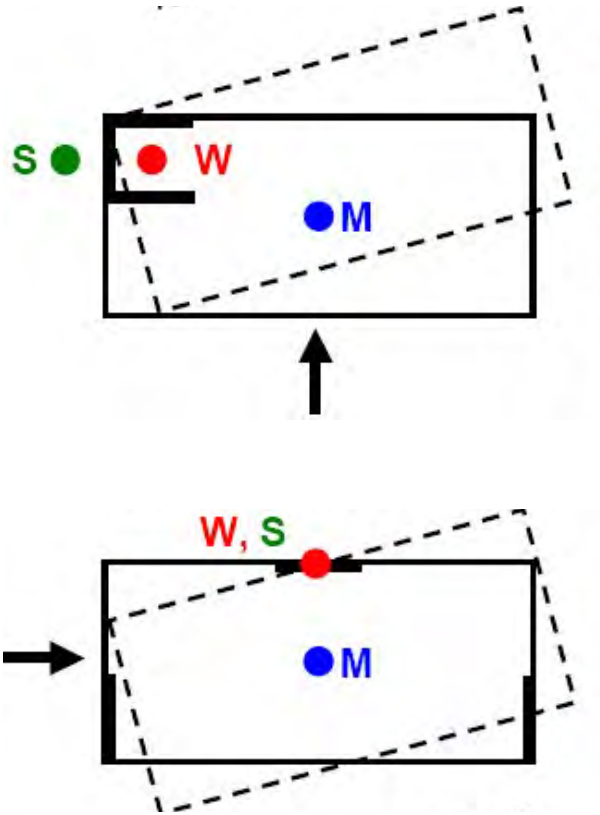
Quelle BWG, Web

Aussteifung
vertikal
kontinuierlich
durchlaufend
(kein Soft Story)



Quelle P. Lestuzzi

Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept



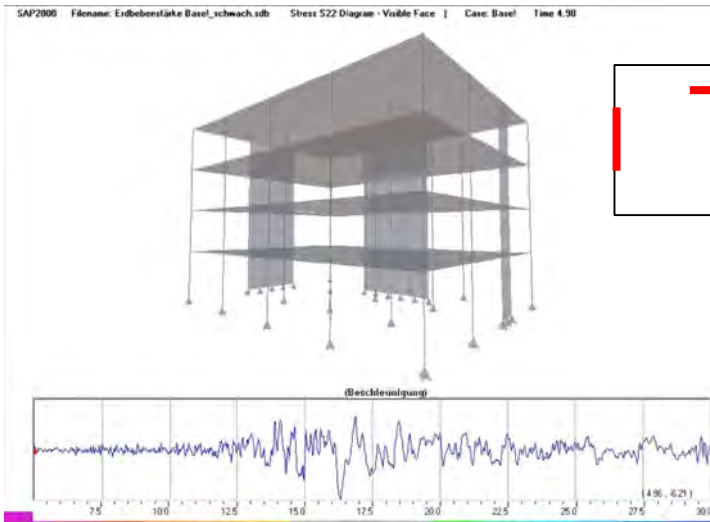
Aussteifung
symmetrisch
im **Grundriss**
angeordnet
(keine Torsion)



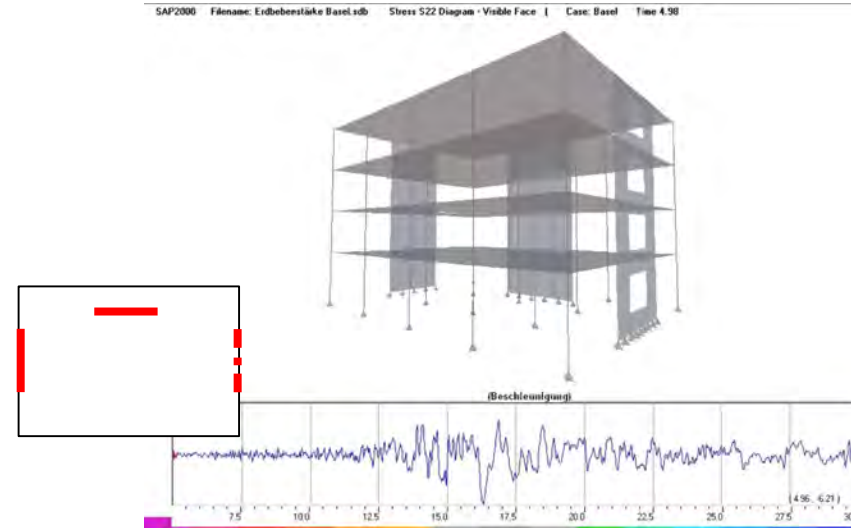
Quelle P. Lestuzzi

Vermeidung von Torsion

schlechtes Gebäudeverhalten,
ungenügende Erdbbensicherheit



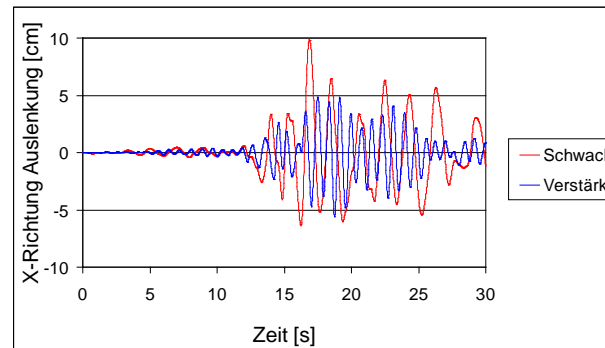
besseres Gebäudeverhalten,
erdbbensicherer dank Verstärkung



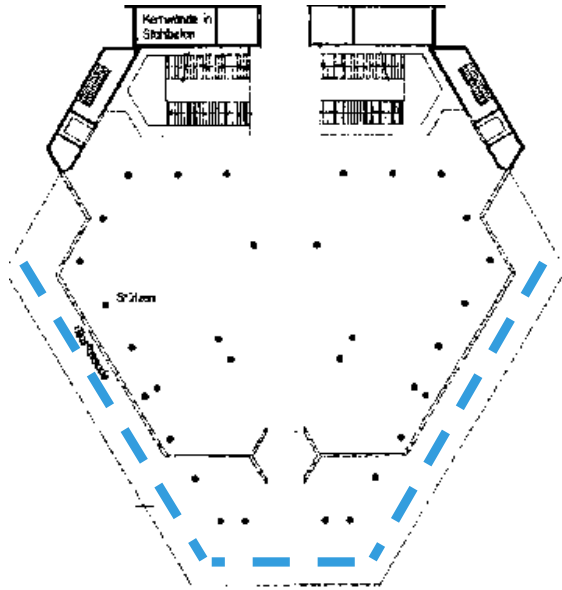
Erdbebeeinwirkung: 475 jährliches Erdbeben
BS/VS, Magnitude ≈ 6 bis 6,5

Verstärkung einer unsymmetrischen Aussteifung

Reduktion der Gebäudeverformungen um 50 %



Vermeidung von Torsion – Beispiel Ertüchtigung



Ertüchtigung durch
Fachwerkstützen in Stahl
entlang der Fassade zur
Aufnahme der Torsion

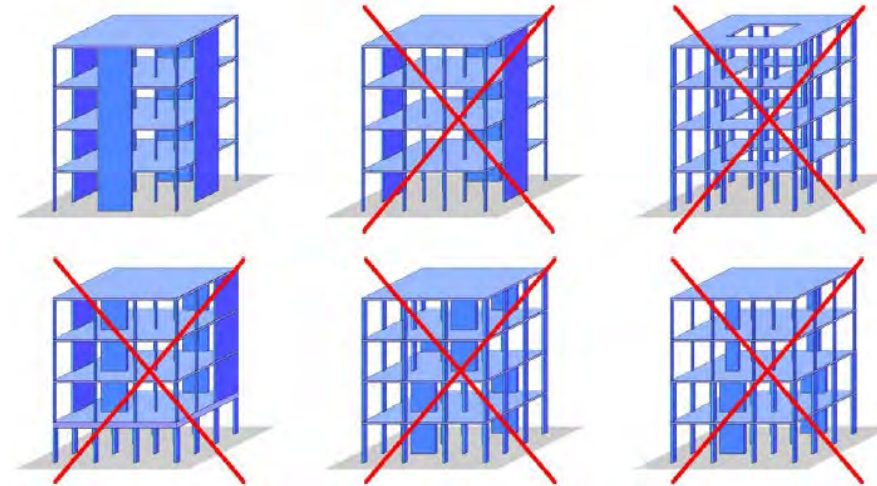


Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept



Foto Philomène Hoël, Eik Frenzel

Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept bedarf **frühzeitige und gute Zusammenarbeit von Architekt und Bauingenieur** sowie Gebäudetechnikplaner



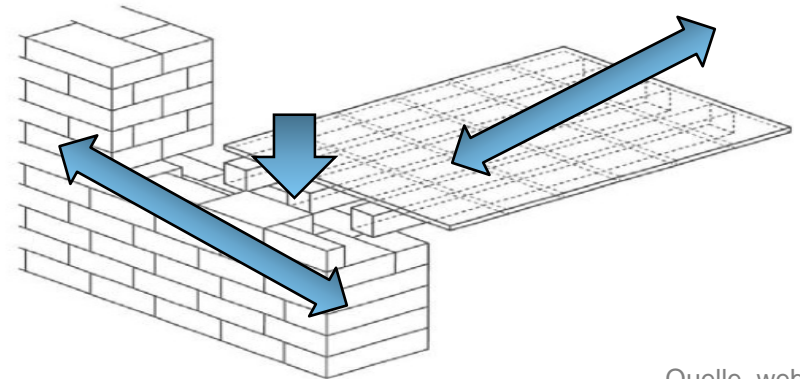
Quelle P. Lestuzzi

Steife Decken und feste Verbindungen

Ausreichend steife Decken und feste Verbindungen mit den aussteifenden Elementen

- Ableitung der Trägheitskräfte zu den aussteifenden Elementen
- Zusammenwirken aller Tragelemente und Gewährleistung des Kräfteflusses
- Gewährleistung eines globalen Verhaltens, Verhinderung lokaler Versagensmechanismen

Holz, Stahl und Stahlbeton i.a. geeigneter als Mauerwerk, Vorfabrikation u.U. problematisch



Quelle web

Erdbebengerechte konstruktive Durchbildung

Quelle BWG (2002)

Konstruktive Details und genaue Bauausführung sind entscheidend

- Sensibilisierung des Baumeisters und Baukontrollen durch den Bauingenieur

Ausknicken der Längsbewehrung infolge ungenügender Verbügelung und deren Verankerung (90°- anstatt 135°-Haken)



Erdbebengerechte SBIE

Grosses Schadenpotential

Sekundäre Bauteile, Installationen, Einrichtungen

- SB: **Abgehängte Decken**, Doppelböden, **sekundäre Wände**, **Fassaden/Verkleidungen**, Brüstungen, Treppen, Verglasung/Türen, **Tafeln/Schilder/Vordächer**, Kamine/Schornsteine/Dachdeckung
- I: Notstromversorgung, Brandschutz, **Transformatoren**, **Schalt- und Steuerschränke**, Klimatechnik, **Tanks/ Kessel/Behälter**, **Rohrleitungen/Lüftungs-/Kabelkanäle**, Beleuchtung, Kommunikation, Aufzüge/Rolltreppen, Schwingungsisolatoren
- E: IT-Elemente, **Elektro-/Steuerschränke**, Schänke/ (Hoch-)Regale, **Gefährliche Substanzen**, Innendekoration, **mobile Kulturgüter**



Quelle FEMA E-74

Typische Schadenbilder



Quelle FEMA E-74



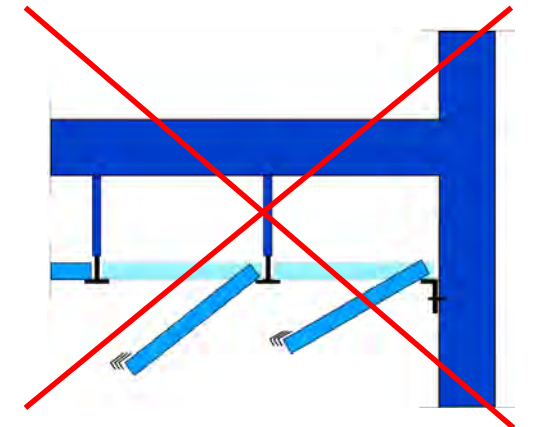
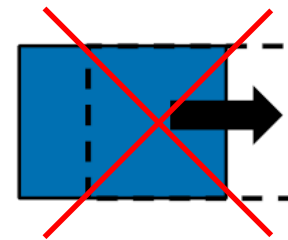
Relevante SBIE befestigen



Relevant, wenn Gefährdung von Personen, Tragwerk oder Betrieb wichtiger Anlagen

SBIE am Tragwerk befestigen

- kein Kippen, Gleiten, Abreißen oder Herunterfallen



"Erschütterungsfestes" SBIE verwenden

- Kein Ablösen oder Herunterfallen von Teilen

Vorgehen im Bauprozess seitens Bauherr

Sensibilisierung und Zusammenarbeit



Foto Yves André

Bewusstsein und Wille zum erdbebensicheren Bauen

- Mehrkosten bei Neubauten 0 bis 1%
- Mehrkosten bei bestehenden Bauten
i.a. etwa 1 bis 10% der Gesamtsanierungskosten

Frühzeitige Zusammenarbeit

aller Beteiligten

Bewilligungsbehörde, Eigentümer / Bauherr, Betreiber / Nutzer, Denkmalpflege, TU / GU / GP, Architekt, Bauingenieur, Gebäude-technikingenieure, Fassadenplaner, Baumeister, Handwerker, ...

Modell Bauplanung LHO SIA 112

SIA Phasen	Dokumente	Leistungserbringer		
		Auftraggeber	Gesamtleiter	Fachplaner
1 Strategische Planung	Projektdefinition	erstellen	(im Auftrag)	
2 Vorstudien 21 Definition Bauvorhaben 22 Auswahlverfahren	Projektpflichtenheft Leistungsbeschrieb			
3 Projektierung 31 Vorprojekt 32 Bauprojekt 33 Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt	Nutzungsvereinbarung Projektbasis inkl. Tragwerkskonzept	PPH genehmigen je Phase	PPH nachführen je Phase	erstellen erstellen
4 Ausschreibung		NV genehmigen je Phase		NV nachführen je Phase
5 Realisierung 51 Ausführungsprojekt 52 Ausführung 53 Inbetriebnahme				PB nachführen je Phase
6 Bewirtschaftung				

Strategische Planung und Vorstudien (SIA Phasen 1 und 2)



Foto Soliman Zurkirchen

Grundsätzliche Anforderungen an die Erdbebensicherheit festlegen und im **Projektpflichtenheft** festhalten

Planerauswahlverfahren so steuern, dass ein spezialisierter Bauingenieur im Planerteam vertreten ist und/oder Fachkompetenz auf Bauherrenseite (Bauherren-QS) bereitstellen

Erdbebengerechtes Tragwerk als ein weiteres **Kriterium bei der Jurierung** von Wettbewerben miteinbeziehen

Projektierung (SIA Phase 3) – Nutzungsvereinbarung

Basler & Hofmann		(Bauvorhaben) Nutzungsvereinbarung	18
Original	Kopie	Genehmigung	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bauherr, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		Ort, Datum	Unterschrift
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gesamtleiter / Generalplaner, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		Ort, Datum	Unterschrift
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Architekt, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		Ort, Datum	Unterschrift
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bauingenieur, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		Ort, Datum	Unterschrift
Zur Kenntnisnahme und Stellungnahme (Kopie)			
		– Nutzer, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		– Betreiber, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		– Elektroplaner, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		– HLKS Planer, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		– Brandschutzplaner, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		– Fassadenplaner, <i>Firmenname, PLZ Ort</i>	
		–	
		–	
Verteiler			
alle oben stehenden Firmen			

Festlegung der erdbebenspezifischen Anforderungen ans Bauwerk in der **Nutzungsvereinbarung (NV)**

Festlegung des **angestrebten Sicherheitsniveaus** mittels der **Bauwerksklasse BWK** nach SIA

NV im Vorprojekt erarbeiten und in den weiteren Projektphasen Bauprojekt, Realisierung, ... aktualisieren

NV ist vom Bauherr, Gesamtleiter / GP, Architekt und Bauingenieur zu genehmigen und den anderen Beteiligten zur Kenntnis / Stellungnahme zu senden

Norm SIA 261 (2014) – Bauwerksklasse BWK

**Stand 2014,
Rev. 2019 in Bearbeitung**

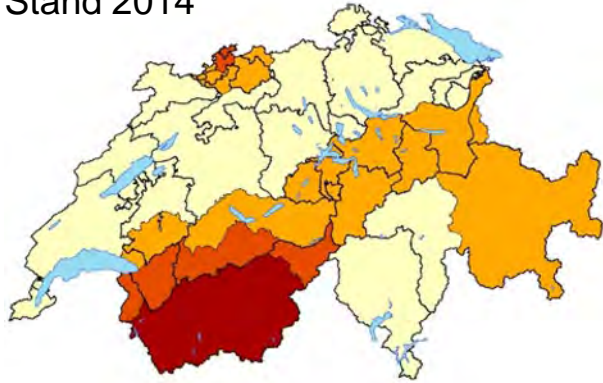
BWK und Merkmale		Bedeutungsbeiwert γ_f	Wiederkehrperiode der Bodenbewegung	Erforderliche Nachweise SIA 261
I	<ul style="list-style-type: none"> _ Personenbelegung $PB^1 \leq 50$ Personen _ keine grösseren Menschenansammlungen _ keine besonders wertvollen Güter und Einrichtungen _ Schädigung der Bevölkerung oder der Umwelt ausgeschlossen 	1.0	475 Jahre Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren	Tragsicherheit inkl. Nachweis der sekundären Bauteile
II	<ul style="list-style-type: none"> _ Personenbelegung $PB^1 > 50$ Personen _ grössere Menschenansammlungen wahrscheinlich _ besonders wertvolle Güter und Einrichtungen _ bedeutende Infrastrukturfunktion 	1.2	ca. 700 Jahre Überschreitungswahrscheinlichkeit von 7% in 50 Jahren	Tragsicherheit inkl. Nachweis der sekundären Bauteile
III	<ul style="list-style-type: none"> _ lebenswichtige Infrastrukturfunktion 	1.4	ca. 1'000 Jahre Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5% in 50 Jahren	Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit inkl. Nachweis der sekundären Bauteile

¹ Personenbelegung: über die Nutzungsdauer betrachteter Mittelwert der Anzahl der Personen in und um ein Bauwerk, die durch dessen Versagen gefährdet sind.

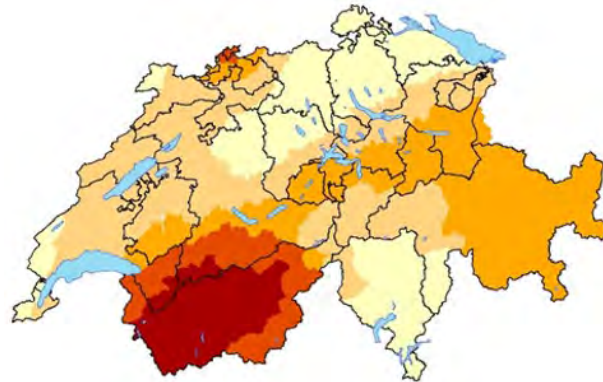
➤ Beispiele siehe Norm

Projektierung (SIA Phase 3) – Nutzungsvereinbarung

Norm SIA 261 Erdbebenzonen
Stand 2014



Rev. 2019 in Bearbeitung



Quelle BAFU

Erdbebenspezifischen Anforderungen in der **Nutzungsvereinbarung (NV)** festhalten:

- Bauwerksklasse BWK, Erdbebenzone Z, Baugrundklasse BGK (Mikrozonierung)
- Über SIA 261 hinausgehende Anforderungen?
- Relevante SBIE inkl. Erdbebenauswirkungen auf die SBIE und Zuständigkeiten im Planungs- und Bauprozess (letzteres fehlt in den SIA LHOs)
- Bei BWK III, konkreten Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit für die Gewährleistung der Funktionstüchtigkeit nach einem Erdbeben (für Tragwerk und relevante SBIE)

Projektierung (SIA Phase 3) – «Erdbebenkonzept»

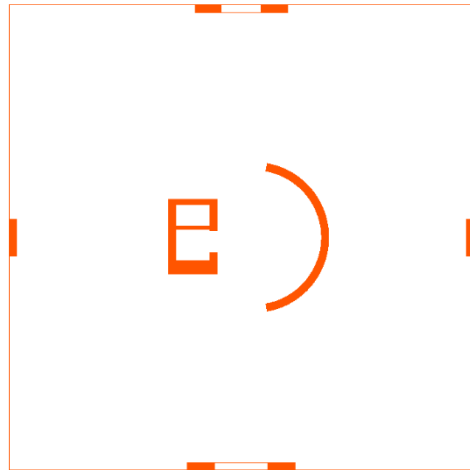


Foto Javier Miquel Verme

Konzept zur Erdbebensicherung

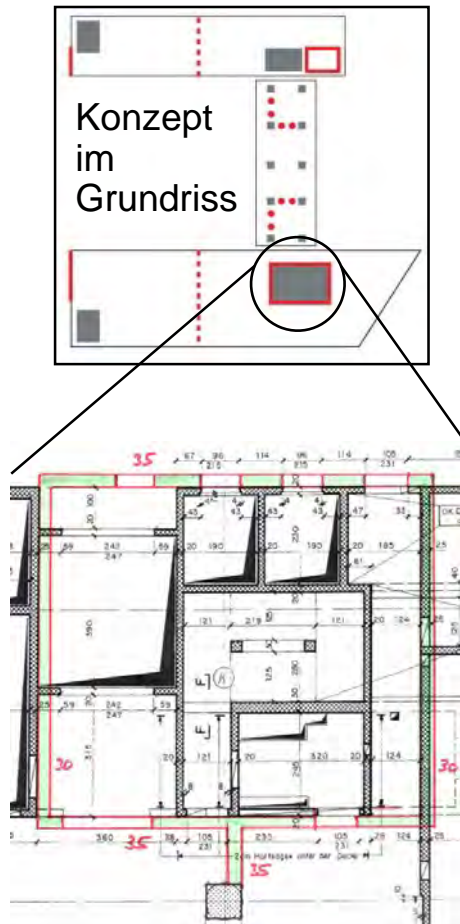
(als Teil vom Tragwerkskonzept)

vom Planerteam verlangen und dies auf Nachvollziehbarkeit und Plausibilität prüfen / prüfen lassen

- Frühzeitige, gute Zusammenarbeit?
- Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept?
- Massnahmen für relevante SBIE?

Konzept im Vorprojekt erarbeiten und in den weiteren Projektphasen Bauprojekt, Realisierung, ... aktualisieren

Projektierung (SIA Phase 3) – «Erdbebenkonzept»



Konzept zur Erdbebensicherung zweckmässiger Inhalt:

- Verweis auf Anforderungen definiert in NV
- Spezifikation der Erdbebeneinwirkung
- Tragwerkskonzept zur Erdbebensicherung (Erläuterung des erdbebengerechten Konzepts und Darstellung der aussteifenden Elemente in Grundrissen und Schnitten)
- Konzept zur Erdbebensicherung der SBIE
- Vorgehen Erdbebenberechnung/-bemessung
- Qualitätssicherung und Unterzeichnung

Ausschreibung, Realisierung (SIA Phasen 4 und 5)



Ausschreiben erdbebensicheres
Tragwerk (durch Bauingenieur)

Ausschreiben erdbebensichere SBIE
(durch Architekt, HLKSE Ing., Fassadenplaner, etc.)

- entweder Anforderungen an die SBIE hinsichtlich Erdbebensicherheit ausschreiben
- oder erdbebensichere SBIE ausschreiben

Erdbebensichere Ausführung prüfen
(Baukontrollen bei Tragwerk und SBIE)

Fazit, Fragen und Diskussion

Zusammenfassung Erdbebengerechtes Bauen

Erdbebensicher Bauen heisst das Tragwerk und die SBIE so auszubilden, dass sie den bei Erdbebeneinwirkung auftretenden Verformungen und Kräften standhalten

- Anforderungen hinsichtlich Erdbebensicherheit im Projektpflichtenheft und der Nutzungsvereinbarung festhalten, Konzept zur Erdbebensicherung erstellen
- Zuständigkeiten im Planungs- und Bauprozess regeln (insb. für die SBIE)
- Erdbebengerechtes Tragwerkskonzept mit Aussteifung für horizontale Kräfte frühzeitig im Bauprozess durch Zusammenarbeit von Arch. & Ing. erarbeiten
- «Erschütterungsfeste» SBIE verwenden und diese am Tragwerk befestigen

Fokus liegt im Personenschutz, d.h. auf der Tragsicherheit (BWK I und II) und bei BWK III zusätzlich auf der Funktionstüchtigkeit von Tragwerk und wichtigen SBIE

Fazit Erdbebensicheres Bauen

**Mit wenig Aufwand lässt sich
viel Schaden und Leid vermeiden,**

wenn

alle Beteiligten sensibilisiert, gewillt, frühzeitig
zusammenarbeiten und kompetent geführt sind.

Fragen, Diskussion und weitere Informationen



Faltblätter des BAFU und der Stiftung für Baudynamik und Erdbebensicherheit

www.baudyn.ch

Stiftung für Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen
Homepage mit Falterblätter und Informationen
z.B. zum SEISMIC AWARD – Architektur- und Ingenieurpreis erdbebensicheres Bauen

www.bafu.admin.ch – Thema Naturgefahren – Erdbeben

BAFU-Homepage mit vielen Informationen und Publikationen, u.a.

- _ Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten (2002)
- _ Erdbebenertüchtigung von Bauwerken (2008)

www.seismo.ethz.ch

SED-Homepage mit vielen Informationen und Publikationen zum Thema Erdbeben



Yves Mondet, Dipl. Bau-Ing. ETH / SIA

Leiter Bauliche Sicherheit bei Basler & Hofmann
yves.mondet@baslerhofmann.ch, +41 44 387 13 63

Dozent Erdbebeningenieurwesen HSR
yves.mondet@hsr.ch, +41 79 740 36 79

Vielen Dank!

Basler & Hofmann Zürich
