

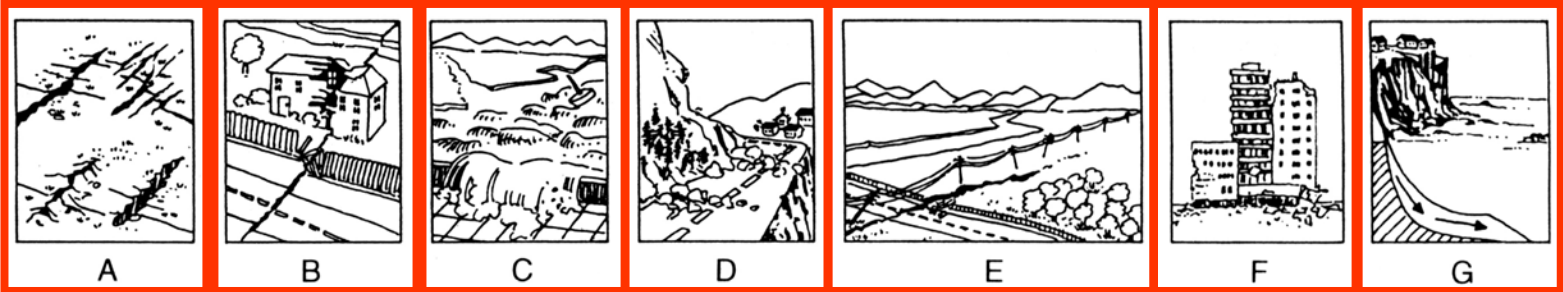
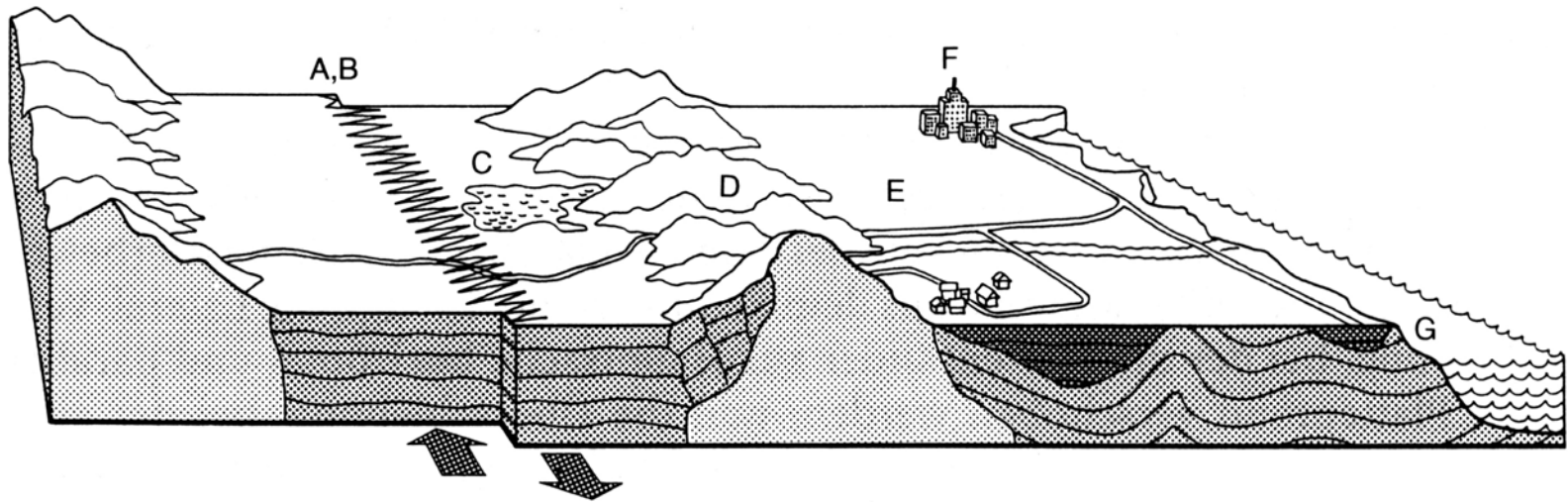
**Erdbebengerechte Bauten und Infrastruktur -
was der Erdwissenschaftler in der Praxis wissen sollte**

Dr. J. Studer
STUDER ENGINEERING
8038 Zürich

Inhalt

- Wirkungen von Erdbeben auf Bauten und Infrastruktur
- Definitionen und Begriffe
- Grundsätzliche Möglichkeiten, Erdbebenrisiken zu minimieren
- Erdbebengerechte Bauweise

Wirkungen von Erdbeben



Primärwirkungen

Primärwirkungen	Einfluss auf:	Gegenmassnahmen
Erschütterungen / Schwingungen	<ul style="list-style-type: none">• Hochbauten• Gebäudeinhalt	<ul style="list-style-type: none">• Gebäudelayou• Duktile Bauweise• Befestigungen
Verschiebungen	<ul style="list-style-type: none">• Tiefbauten• Hochbauten	<ul style="list-style-type: none">• Standortwahl

Sekundärwirkungen

Sekundärwirkungen	Gegenmassnahmen
wassergesättigte, locker gelagerte, kohäsionslose Sandschichten: Festigkeitsreduktion oder-Verlust infolge Erschütterungen	<ul style="list-style-type: none">• Standortwahl• Bodenverbesserung• Pfahlfundationen
Feuer	<ul style="list-style-type: none">• Überbauungsdichte• Materialwahl• Sicherheitssysteme
Überschwemmungen (Seiches, Tsunamis, Dambruch)	<ul style="list-style-type: none">• Standortwahl
Sekundärwirkungen Infrastrukturanlagen (Energieunterbruch, Nachbarbauten etc.)	<ul style="list-style-type: none">• Redundanzen• Abstände zu Anlagen

Definitionen

Größen zur Angabe der Erdbebenstärke

"Magnitude":

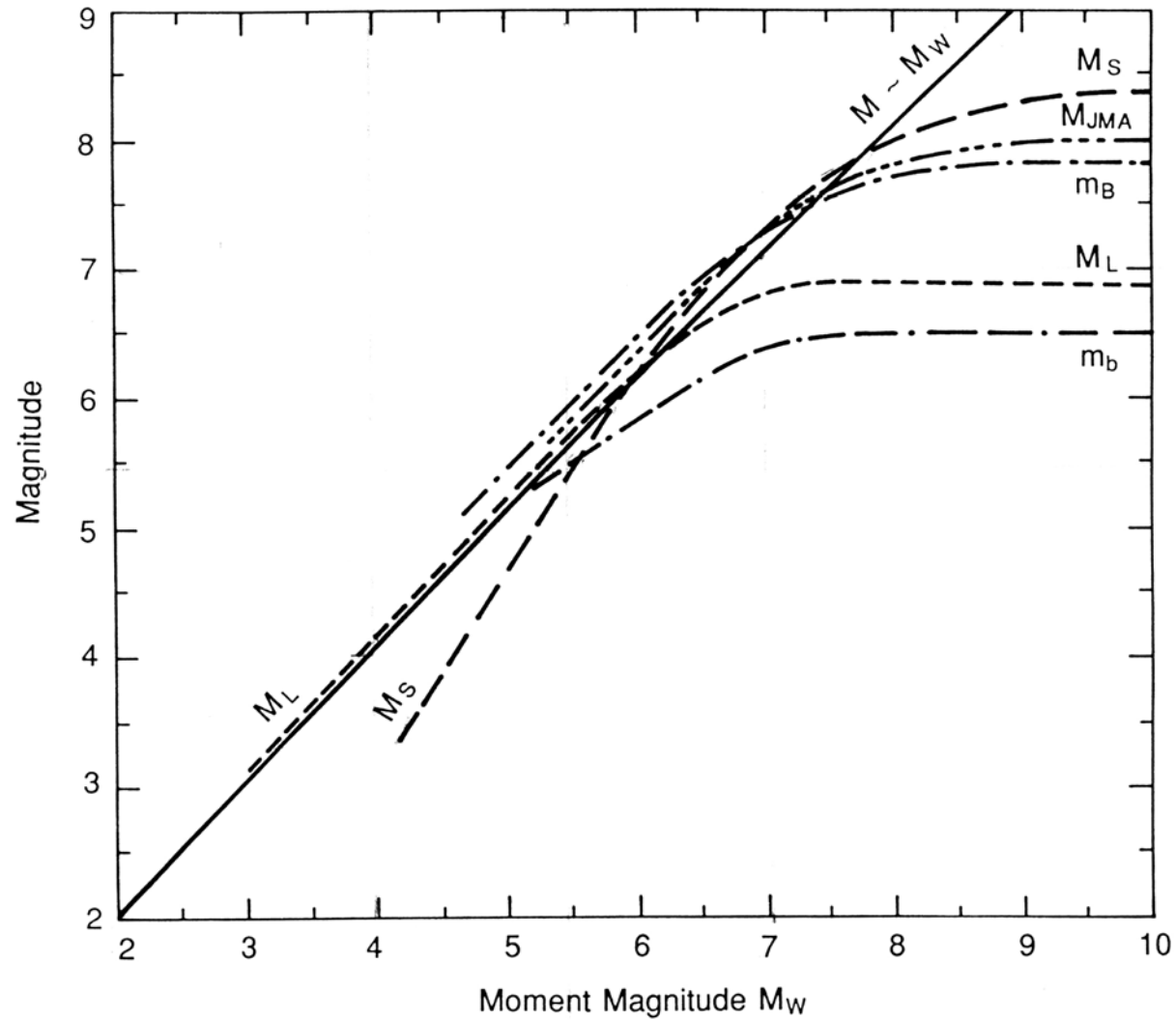
- Energieabstrahlung, ab Herd gemessen
- Verschiedene Definitionen, je nach Wellentyp
- Arabische Zahlen; pro Einheit: Energie ca. 32 x höher

"Intensität":

- Strukturierte Beobachtung der Auswirkungen (auf Bauten, Landschaft, Lebewesen)
- Verschiedene Skalen vorhanden
- Römische Zahlen; pro Einheit: ca. Verdopplung der Beschleunigung

Magnituden und Intensitäten sind nicht einfach ineinander überführbar!

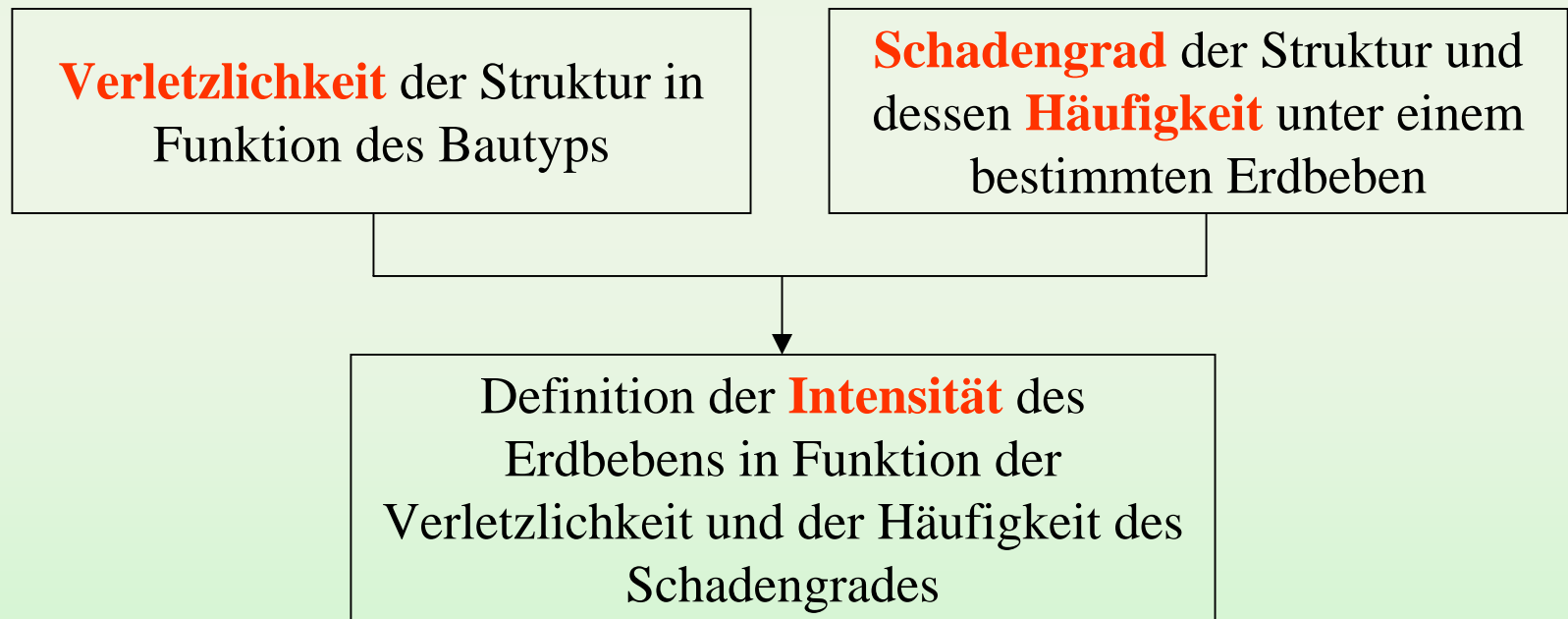
Magnituden



Intensität: Vergleich von Intensitätsskalen

EMS MSK	MM	RF	U.S.S.R. GEOFIAN	Japan	MS
II	I	II	I	0	II
	II		II		III
III	III	III	III	I	IV
	IV				IV
IV	V	V	V	II	VI
	VI				VI
V	VII	VII	VII	III	VIII
	VIII				VIII
VI	IX	VIII	IX	IV	X
	X				X
VII	XI	IX	X	V	XII
	XII				XI
VIII		X	XI	VI	
					XII
IX		X	XII	VII	
X					
XI					
XII					

Intensitäten: European Macroseismic Scale (EMS-98)

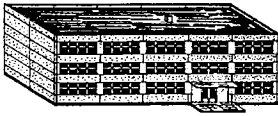
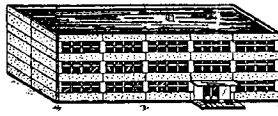





EMS-98: Verletzlichkeit

	Type of Structure	Vulnerability Class						
		A	B	C	D	E	F	
MASONRY	rubble stone, fieldstone							○
	adobe (earth brick)							○—
	simple stone							○—
	massive stone							○—
	unreinforced, with manufactured stone units							○—
	unreinforced, with RC floors							○—
	reinforced or confined							○—
REINFORCED CONCRETE (RC)	frame without earthquake-resistant design (ERD)							○—
	frame with moderate level of ERD							○—
	frame with high level of ERD							○—
	walls without ERD							○—
	walls with moderate level of ERD							○—
	walls with high level of ERD							○—
STEEL	steel structures							○—
WOOD	timber structures							○—

○ most likely vulnerability class; — probable range;
 range of less probable, exceptional cases

EMS-98: Schadengrad

Classification of damage to buildings of reinforced concrete	
	<p>Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage) Fine cracks in plaster over frame members or in walls at the base. Fine cracks in partitions and infills.</p>
	<p>Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in columns and beams of frames and in structural walls. Cracks in partition and infill walls; fall of brittle cladding and plaster. Falling mortar from the joints of wall panels.</p>
	<p>Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Cracks in columns and beam column joints of frames at the base and at joints of coupled walls. Spalling of concrete cover, buckling of reinforced rods. Large cracks in partition and infill walls, failure of individual infill panels.</p>
	<p>Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Large cracks in structural elements with compression failure of concrete and fracture of rebars; bond failure of beam reinforced bars; tilting of columns. Collapse of a few columns or of a single upper floor.</p>
	<p>Grade 5: Destruction (very heavy structural damage) Collapse of ground floor or parts (e. g. wings) of buildings.</p>

EMS-98: Intensität

(Auszug I=VII-VII)

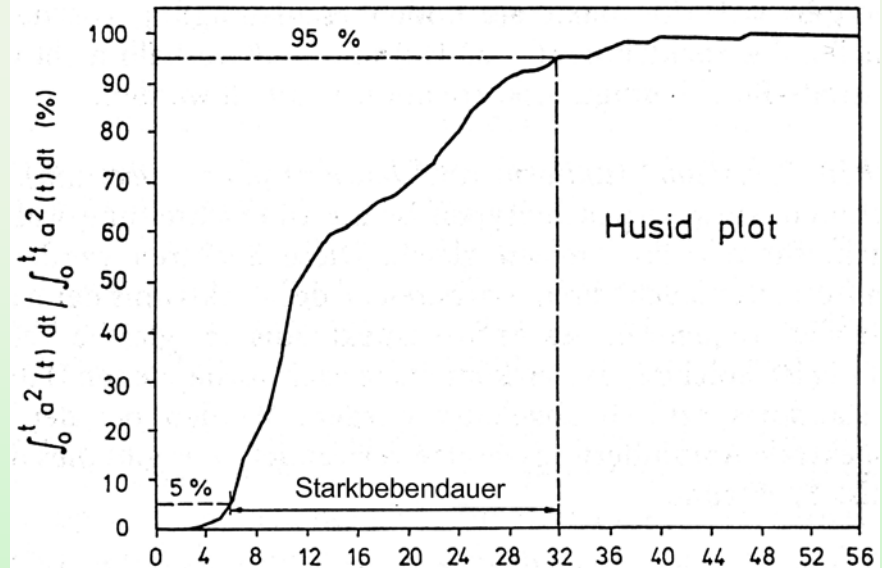
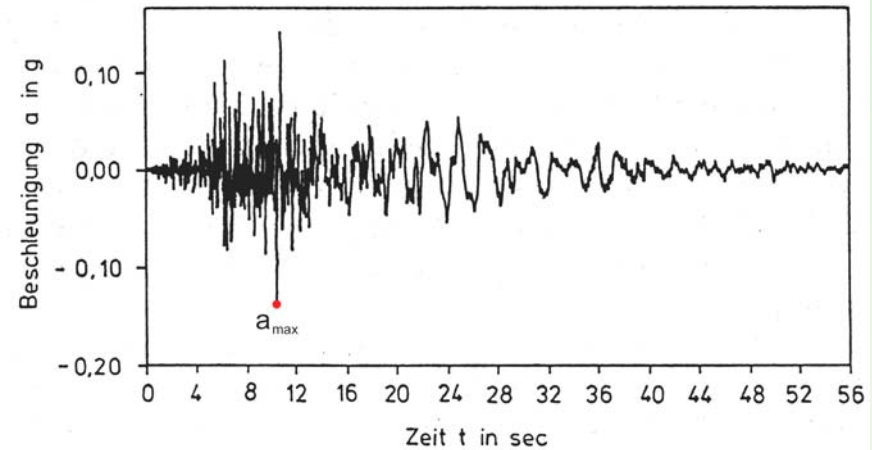
VII. Damaging

- a) Most people are frightened and try to run outdoors. Many find it difficult to stand, especially on upper floors.
- b) Furniture is shifted and top-heavy furniture may be overturned. Objects fall from shelves in large numbers. Water splashes from containers, tanks and pools.
- c) Many buildings of vulnerability class A suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class C sustain damage of grade 2. A few buildings of vulnerability class D sustain damage of grade 1.

VIII. Heavily damaging

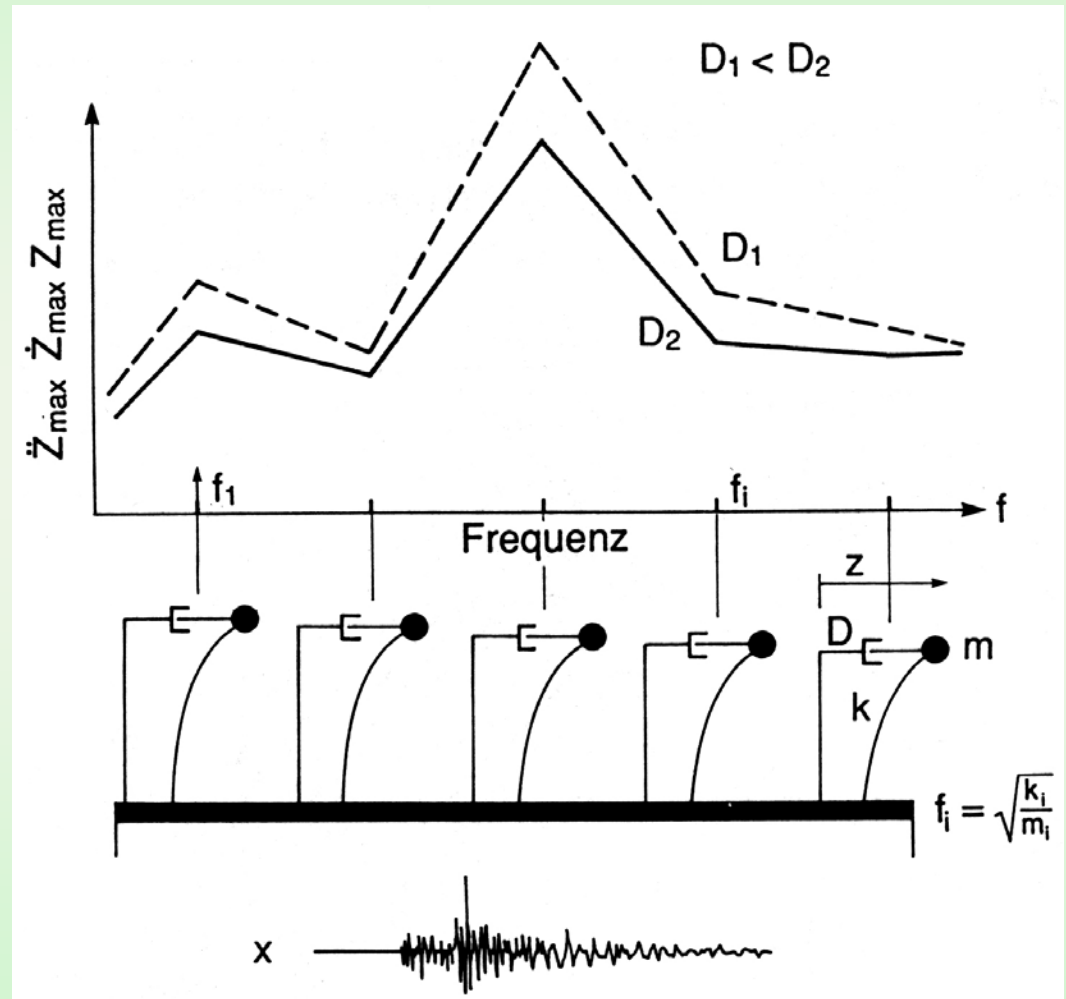
- a) Many people find it difficult to stand, even outdoors.
- b) Furniture may be overturned. Objects like TV sets, typewriters etc. fall to the ground. Tombstones may occasionally be displaced, twisted or overturned. Waves may be seen on very soft ground.
- c) Many buildings of vulnerability class A suffer damage of grade 4; a few of grade 5. Many buildings of vulnerability class B suffer damage of grade 3; a few of grade 4. Many buildings of vulnerability class C suffer damage of grade 2; a few of grade 3. A few buildings of vulnerability class D sustain damage of grade 2.

Starkbeben- dauer



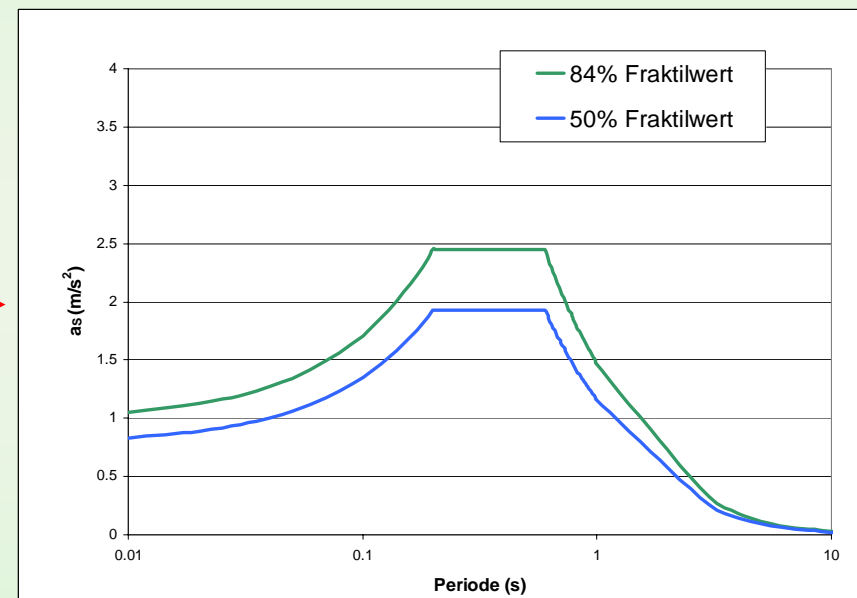
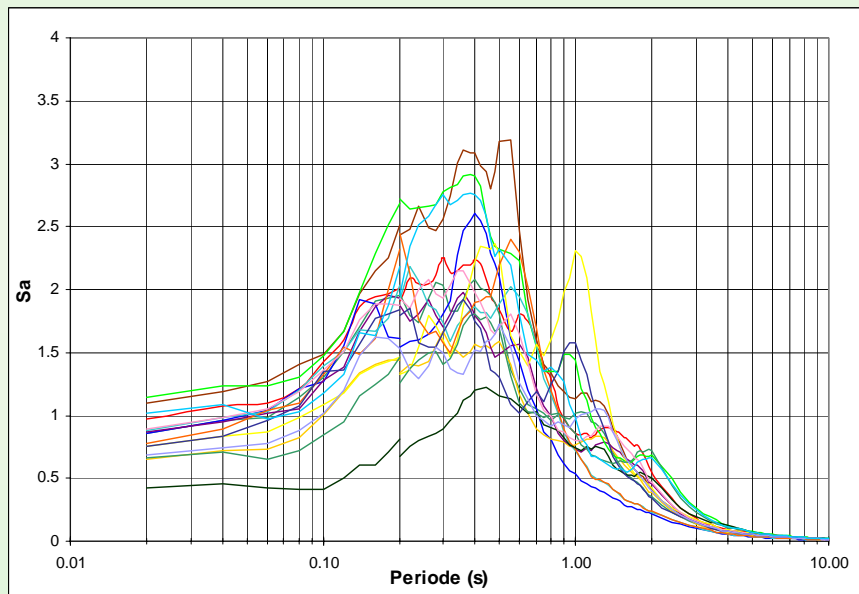
Antwortspektrum

"Fingerabdruck" des Erdbebens



Antwortspektren → Bemessungsspektren

(→ wichtigstes Instrument des Ingenieurs)



Bemessungsspektren sind keine Umhüllenden, sondern Fraktilewerte

Grundsätzliche Möglichkeiten, Erdbebenrisiken zu minimieren

Unterschiede zu anderen Naturgefahren

Erdbeben	Andere Naturgefahren
Wirkungen treten <u>überall</u> auf	Wirkungen treten nur <u>lokal</u> auf
Stärke und Typ von Geologie und Topographie abhängig → Einfluss auf Gefahrenkarten (Mikrozonierung)	Zonen, in denen keine Wirkung auftritt → Klassische Gefahrenkarten wie Lawinen / Überschwemmungen

Erdbebenrisiken mindern

- Hilfsmittel Erdbebengerechte Standortwahl
 - Mikrozonierung (Einbezug in Zonenplanung)
 - Standortstudie
- Hilfsmittel Erdbebengerechte Bauweise
 - Einwirkung je nach Region / Baugrund definiert
 - Layout des Baues
 - Baumaterialien, konstruktive Gestaltung
 - Dimensionierung

Mikrozonierung

Probleme:

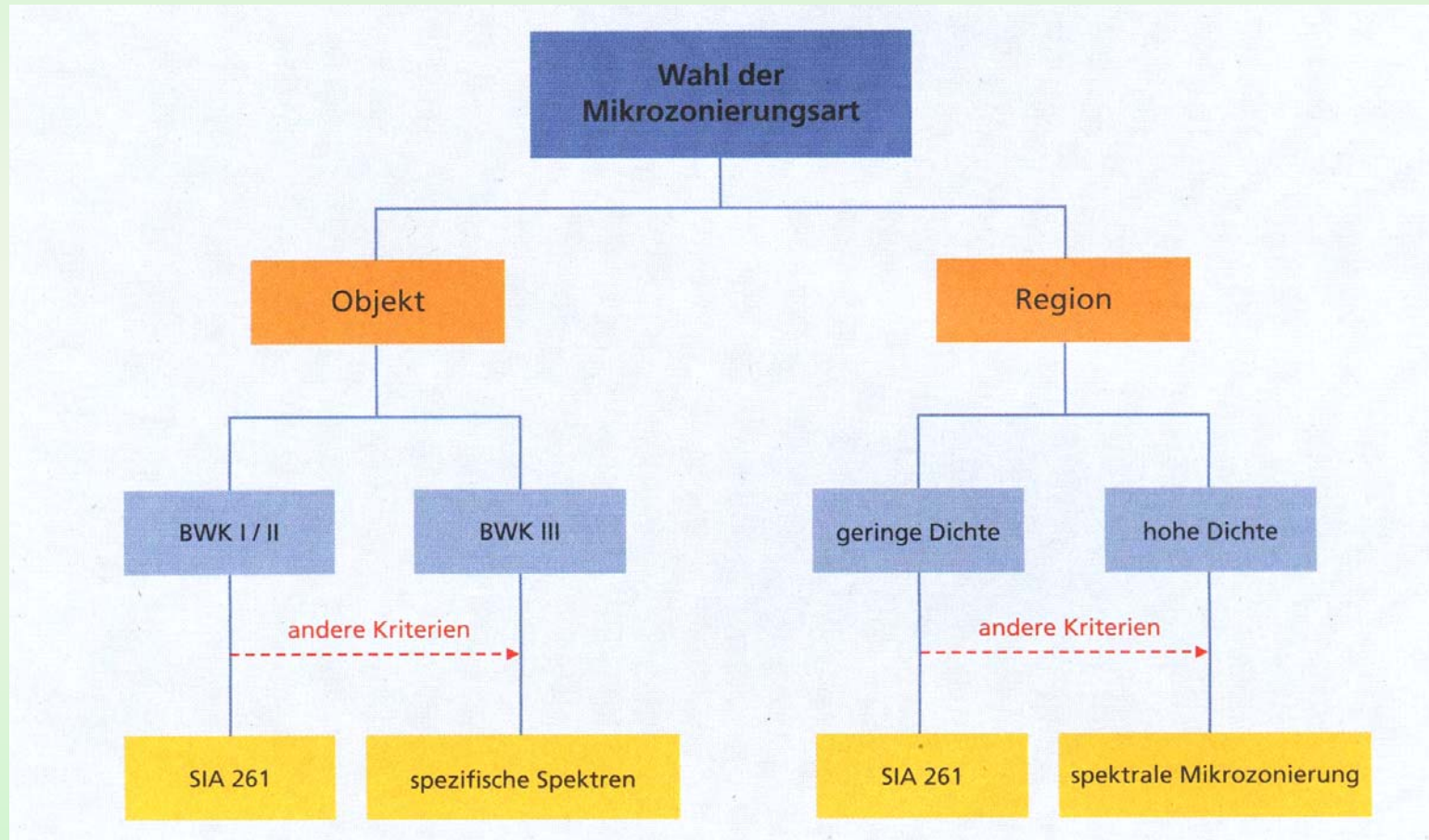
- Der Begriff "Mikrozonierung" ist nicht einheitlich und klar definiert (bezüglich Typ, Massstab, Anwendung etc.)
- Viele wissenschaftliche Studien sind vorhanden, sind aber kaum umgesetzt

➔ Die Mikrozonierung wäre aber ein wichtiges Instrument, um Risiken zu verringern

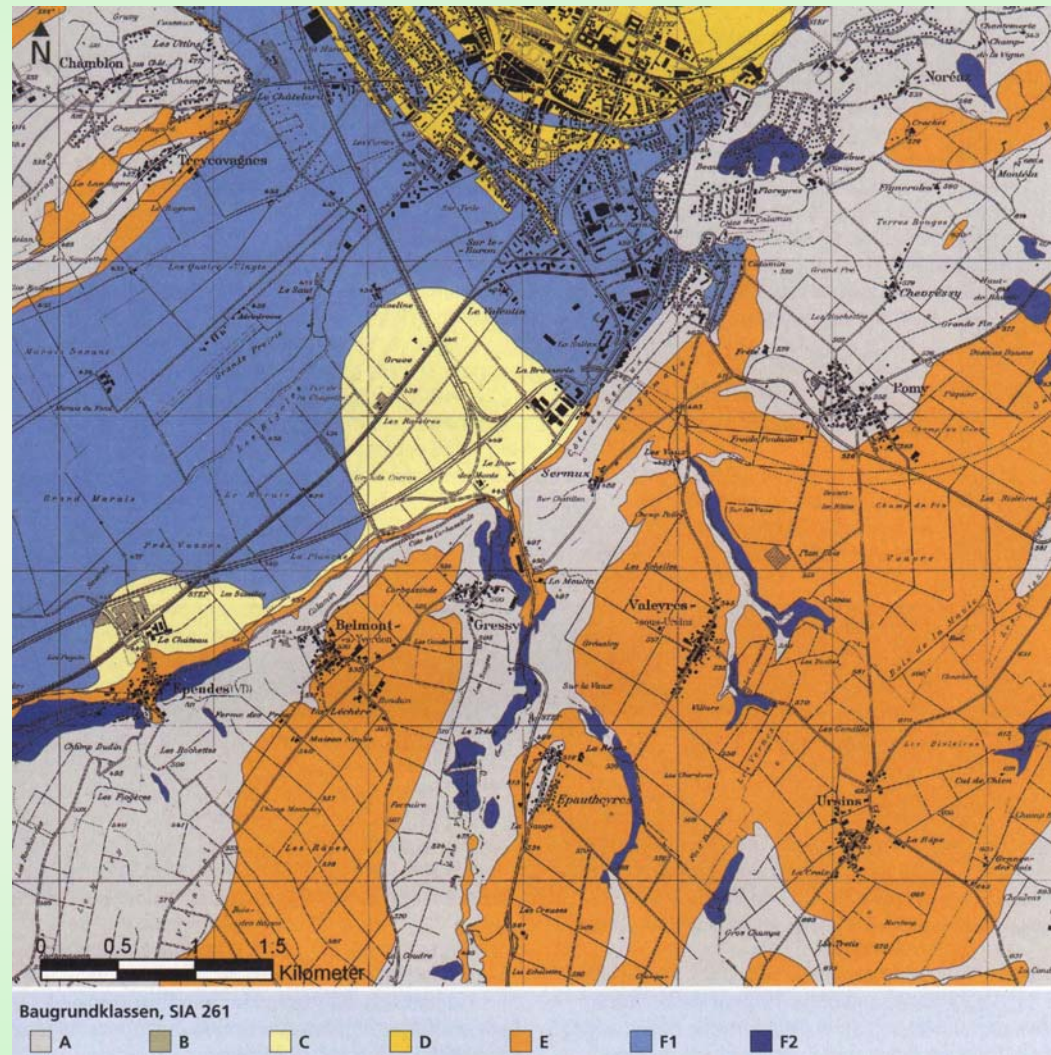
Typen von Mikrozonierung

Typ	Beschreibung
A	<u>Gefahrenkarte</u> , Raumnutzung mit zonenkonformen Nutztypen und Bauvorschriften (keine Dimensionierungsvorschriften) → am ehesten umsetzbar
B	<u>Gefahrenkarte</u> , Raumnutzung mit Baudimensionierungsvorschriften, z.B. zonenspezifische Bemessungsspektren → am schwierigsten umsetzbar
C	<u>Szenarien</u> , Gefahrenkarte + Verletzlichkeitskarte für spezifische Ereignisse, z.B. für Vorsorge, Planung von Rettungseinsätzen → meist nicht öffentlich (nur verwaltungsintern, deshalb weniger Probleme)

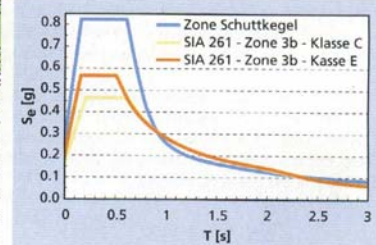
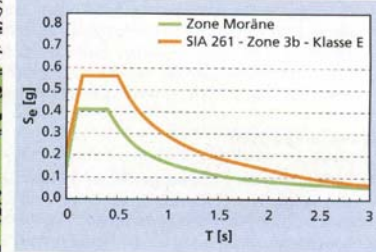
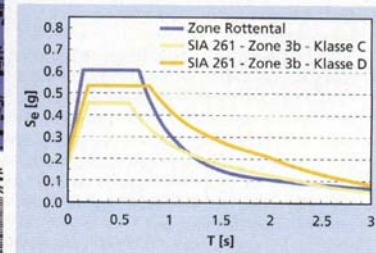
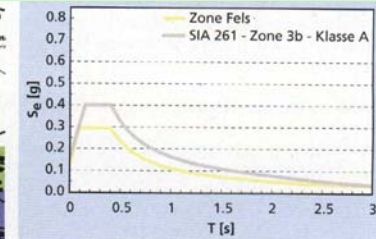
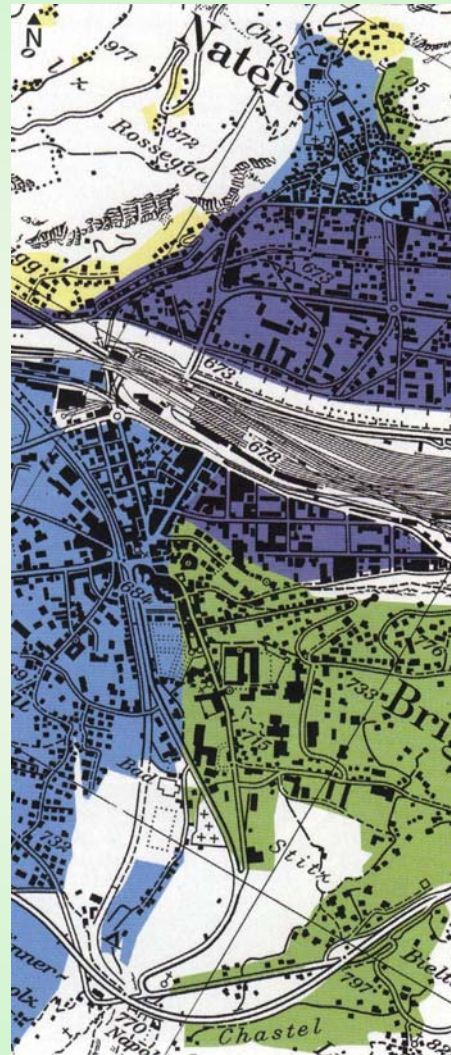
Wahl der Mikrozonierungsart



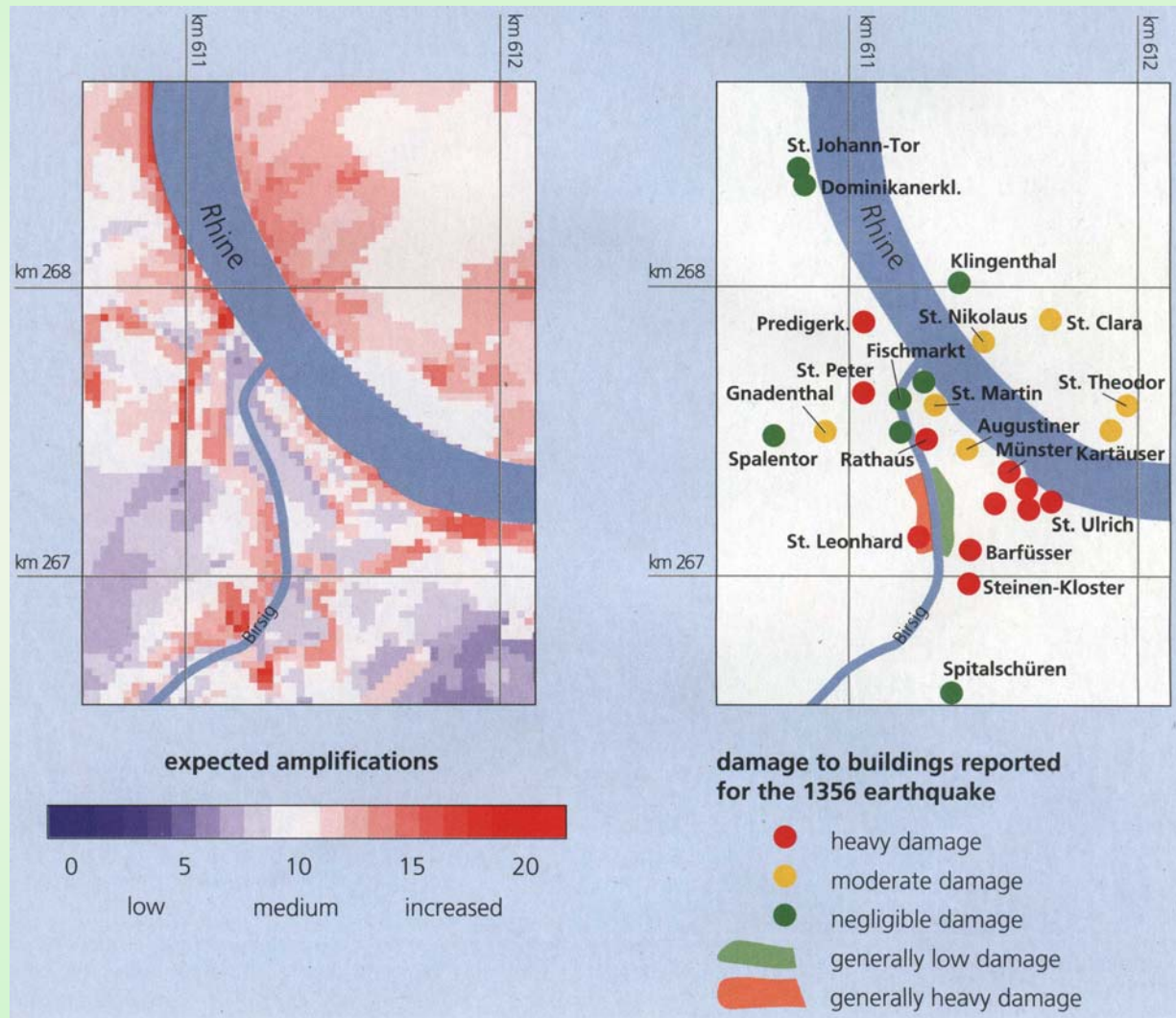
Karte der Baugrundklassen



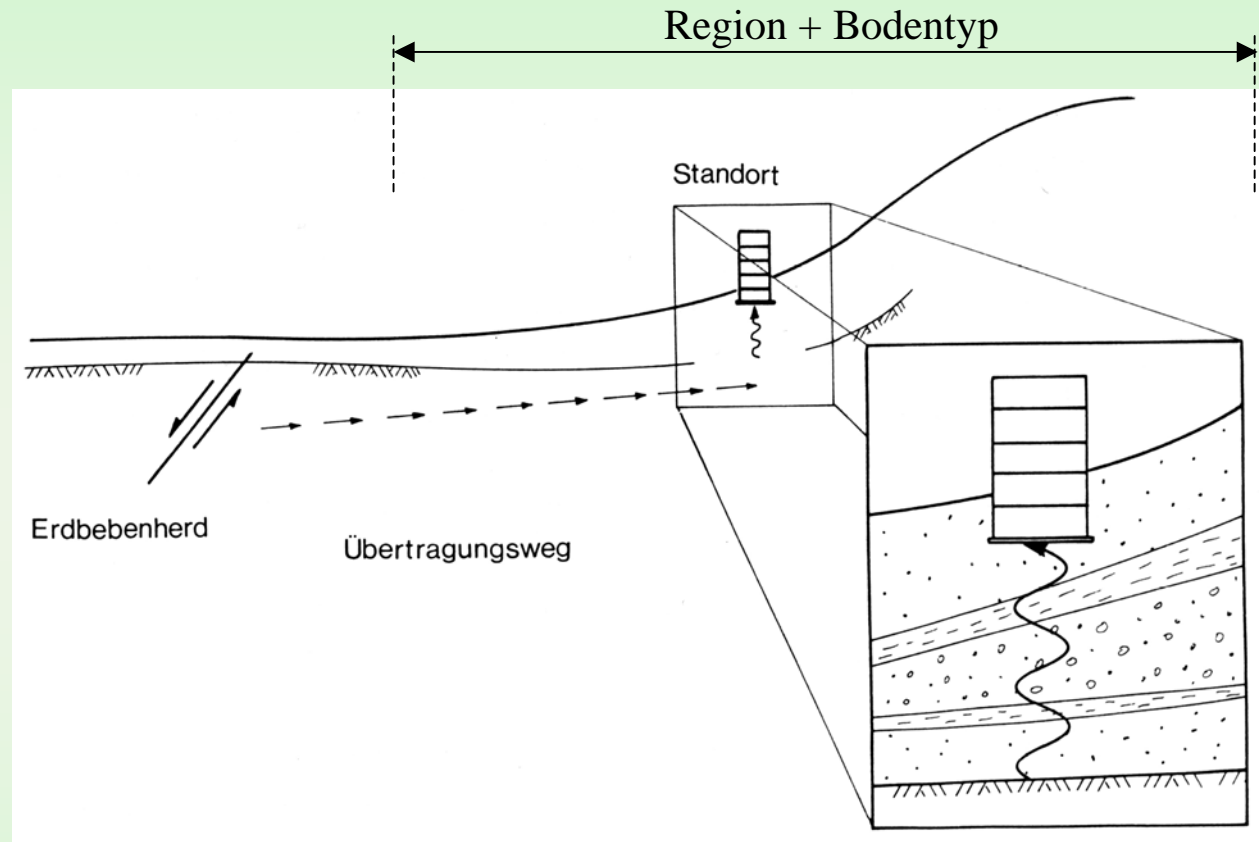
Spektrale seismische Mikrozonierung



Basler Erdbeben (1356)



Ermittlung der Erdbebenlasten (1)



Erschütterung = f (Herd, Übertragungsweg, Standort)

Standortspezifisch

Erdbebengerechte Bauweise –

Ermittlung der Erdbebenlasten (2)

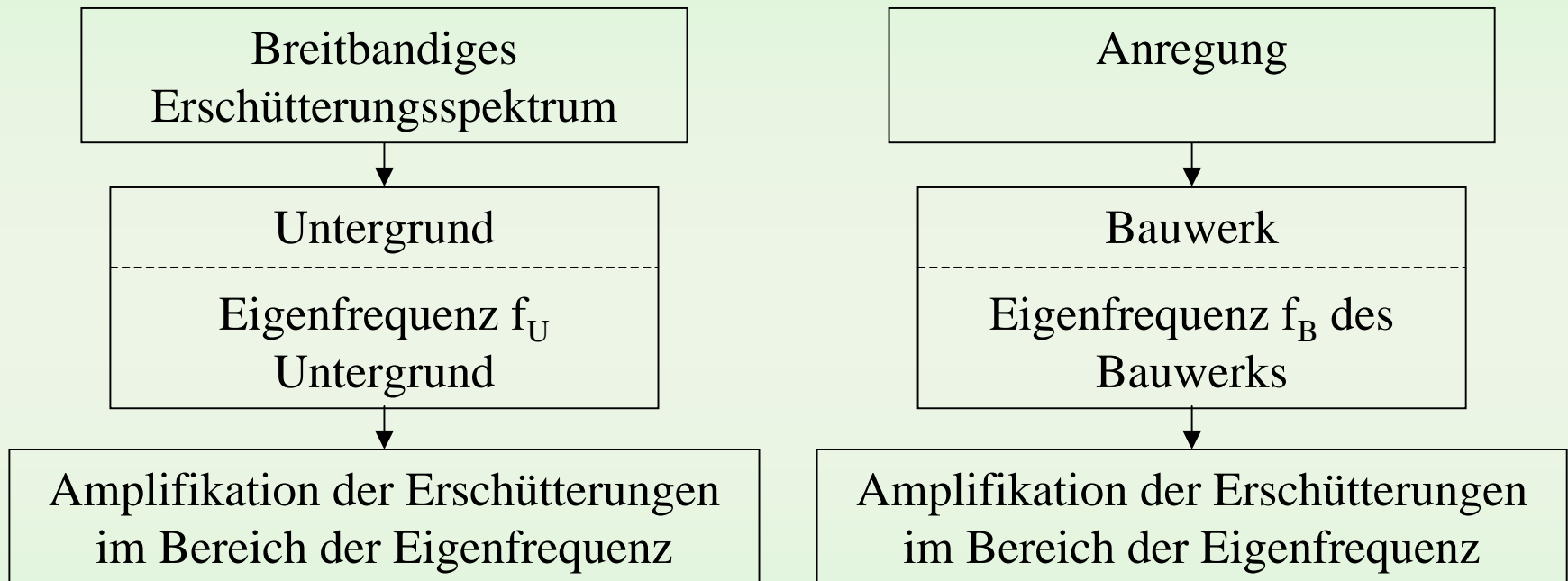
- Regional für normale Anforderungen, z.B. nach SIA-Normen

- Standortspezifisch für wichtige Bauten

Standortspezifisch
+ SIA-Normen

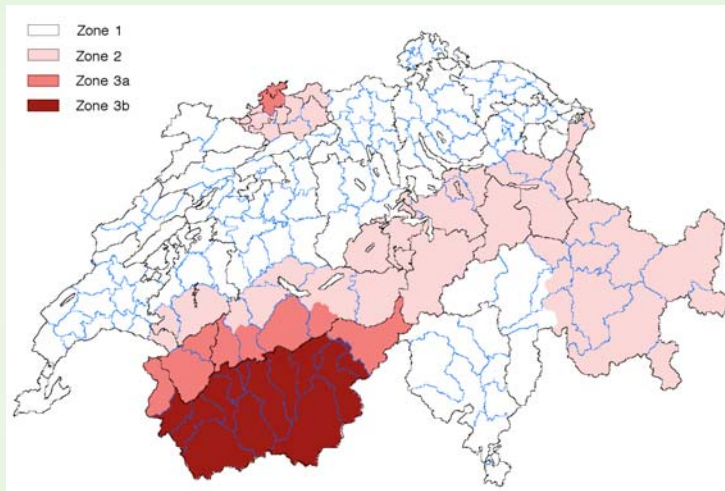
Standortspezifisch +
spezielle
Bemessung (z.B.
KKW, Stauanlagen)

"Worst case"



Wenn $f_U \sim f_B \rightarrow$ Resonanzkopplung!

Erdbebeneinwirkung nach SIA-Norm 261

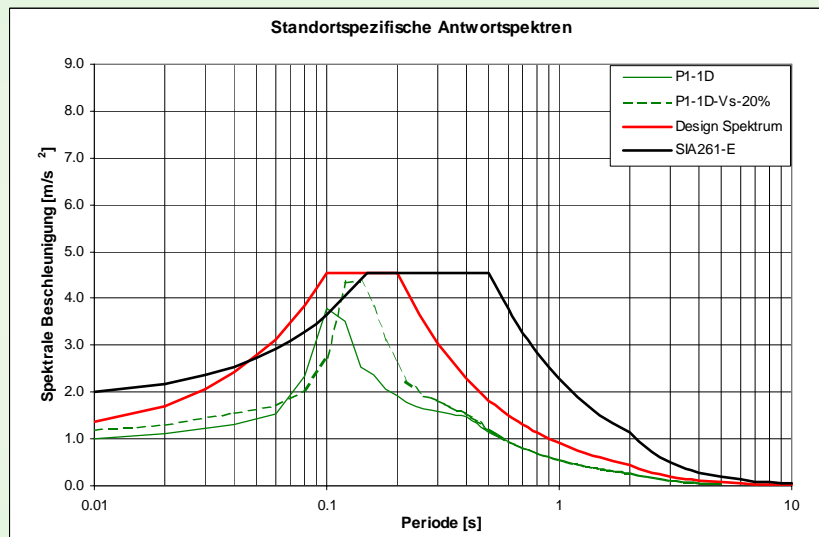


Baugrundklasse	Beschreibung	v_s [m/s]	N_{SP7}	s_u [kN/m ²]	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	Harter Fels (z.B. Granit, Gneis, Quarzit, Kieselkalk, Kalk) oder weicher Fels (z.B. Sandstein, Nagelfluh, Juramergel, Opalinuston) unter max. 5 m Lockergesteinsabdeckung	> 800	–	–	1,00	0,15	0,4	2,0
B	Ablagerungen von grossräumig zementiertem Kies und Sand und/oder vorbelastete Lockergesteine mit einer Mächtigkeit über 30 m	400...800	> 50	> 250	1,20	0,15	0,5	2,0
C	Ablagerungen von normal konsolidiertem und unzementiertem Kies und Sand und/oder Moränenmaterial mit einer Mächtigkeit über 30 m	300...500	15...50	70...250	1,15	0,20	0,6	2,0
D	Ablagerungen von nicht konsolidiertem Feinsand, Silt und Ton mit einer Mächtigkeit über 30 m	150...300	< 15	< 70	1,35	0,20	0,8	2,0
E	Alluviale Oberflächenschicht der Baugrundklassen C oder D mit einer Mächtigkeit zwischen 5 und 30 m über einer steiferen Schicht der Baugrundklassen A oder B	–	–	–	1,40	0,15	0,5	2,0
F	Strukturempfindliche und organische Ablagerungen (z.B. Torf, Seekreide, Rutschmassen) mit einer Mächtigkeit über 10 m	–	–	–	–	–	–	–

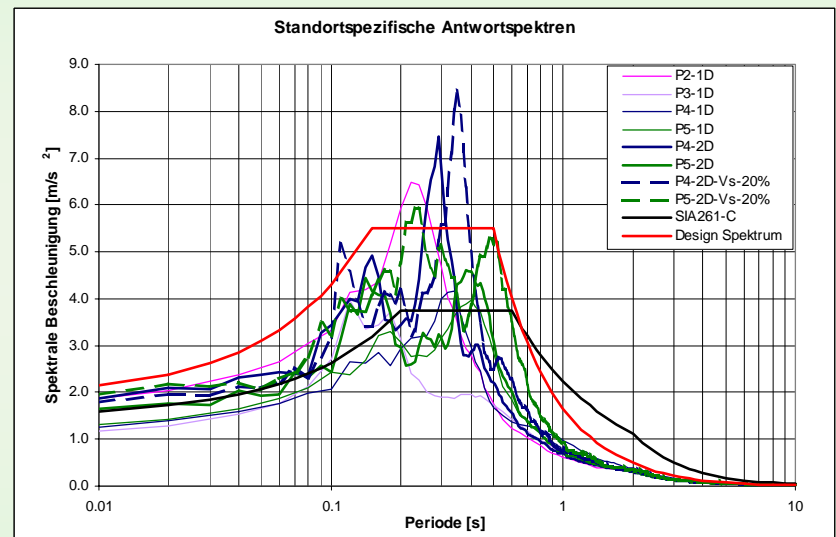
**Wichtig: Spektrum 50%
Fraktilwerte, keine Umhüllende**



Standortspezifische Studien



i.a. niedrigere Werte als Norm SIA 261



In grossem Bereich höhere Werte als Norm SIA 261

Erdbeibengerecht bauen

Heute kein Problem, Grundlagen sind bekannt und in den Normen (SIA, Eurocode, IBC etc.) vorgeschrieben.

Kostenüberlegungen:

- Neubauten: keine wesentlichen Mehrkosten (im Bereich 1-2%!)
- Bestehende Bauten: Eine Ertüchtigung ist oft sehr kostspielig oder finanziell nicht sinnvoll. In der Schweiz ist vom SIA eine Empfehlung für die Erdbebenüberprüfung von bestehenden Bauten ausgearbeitet worden (SIA Merkblatt 2018).

Erdbebengerecht bauen - Erschütterungen

Die Erschütterungsproblematik ist vor allem wichtig bei Hochbauten, weniger bei unterirdischen Bauten.

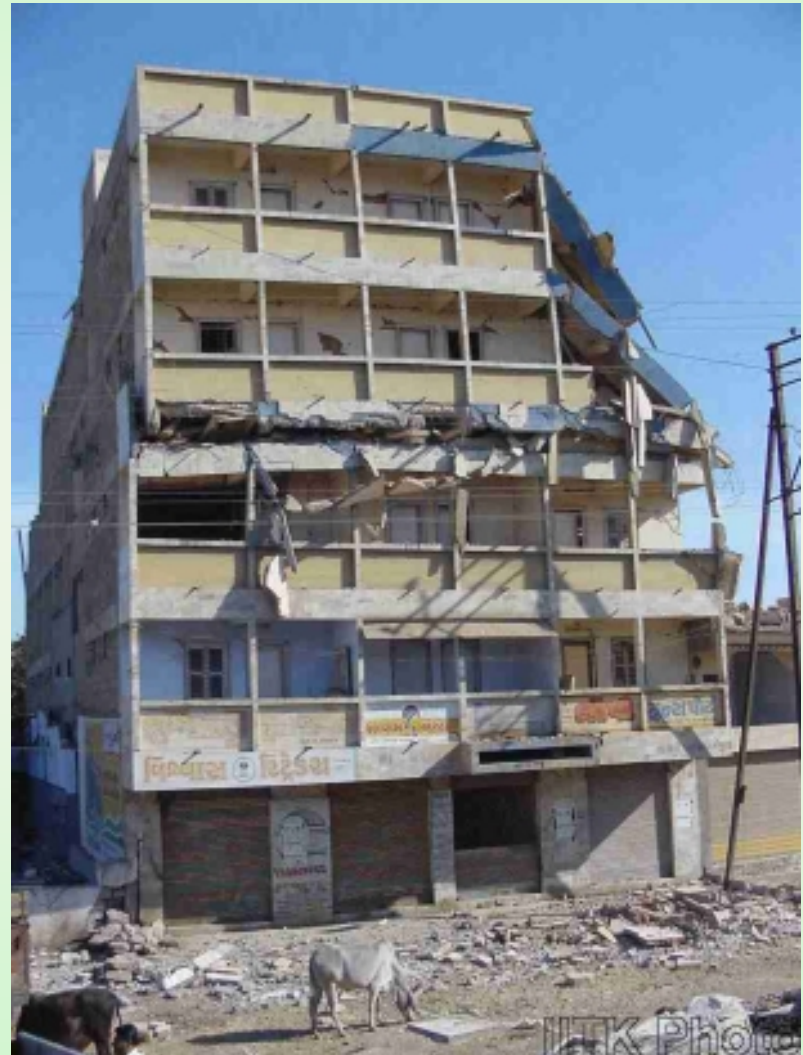
Einige Grundsätze:

- Resonanzen vermeiden
- Homogene Steifigkeits- und Massenverteilungen über die Gebäudehöhe (extreme Schwingungsformen vermeiden)
- Symmetrische Grundrisse in bezug auf Steifigkeit / Massen (Torsionsschwingungen vermeiden)
- Duktile Bauweise (Schutz gegen Überlastung, da die Erdbebeneinwirkungen 50% Fraktilwerte darstellen)
- Keine unzulässigen Verschiebungen der Foundation (geeigneter Untergrund ohne Gefahr von Bodenverflüssigung; Riegel oder Fundamentplatte)

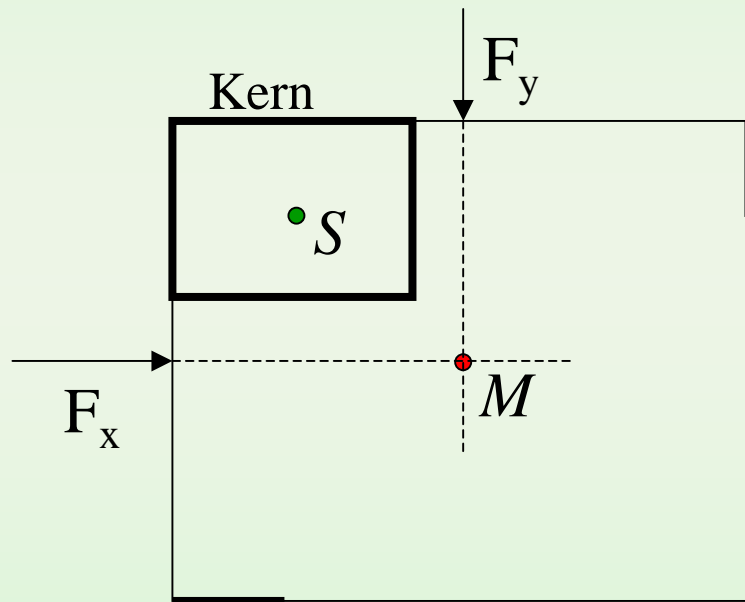
Inhomogene Steifigkeitsverteilung über die Höhe – Soft Storeys

"Soft storey", wenn die horizontale Steifigkeit kleiner als 70% des obenliegenden Stockwerks ist

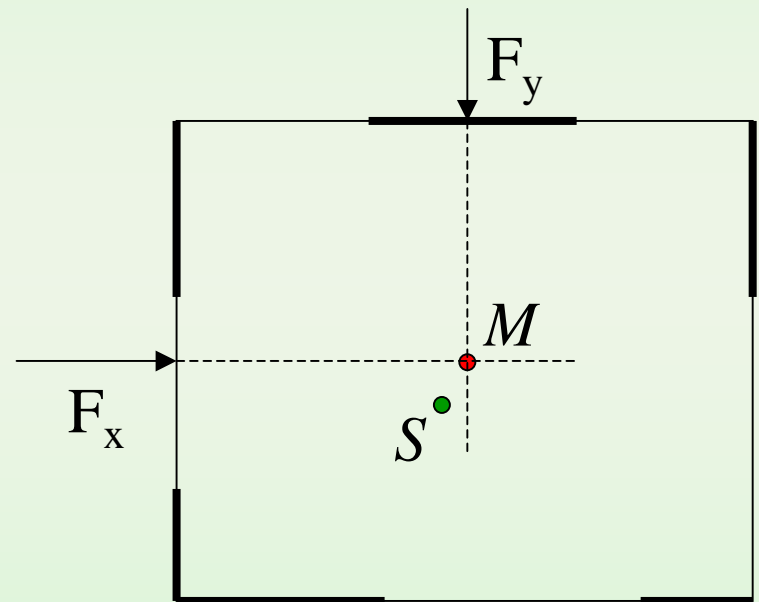
Erdbeben Bhuj (Gujarat), India, 26.1.2001
(Bild: ASC India)



Inhomogene Steifigkeitsverteilung im Grundriss – Torsion

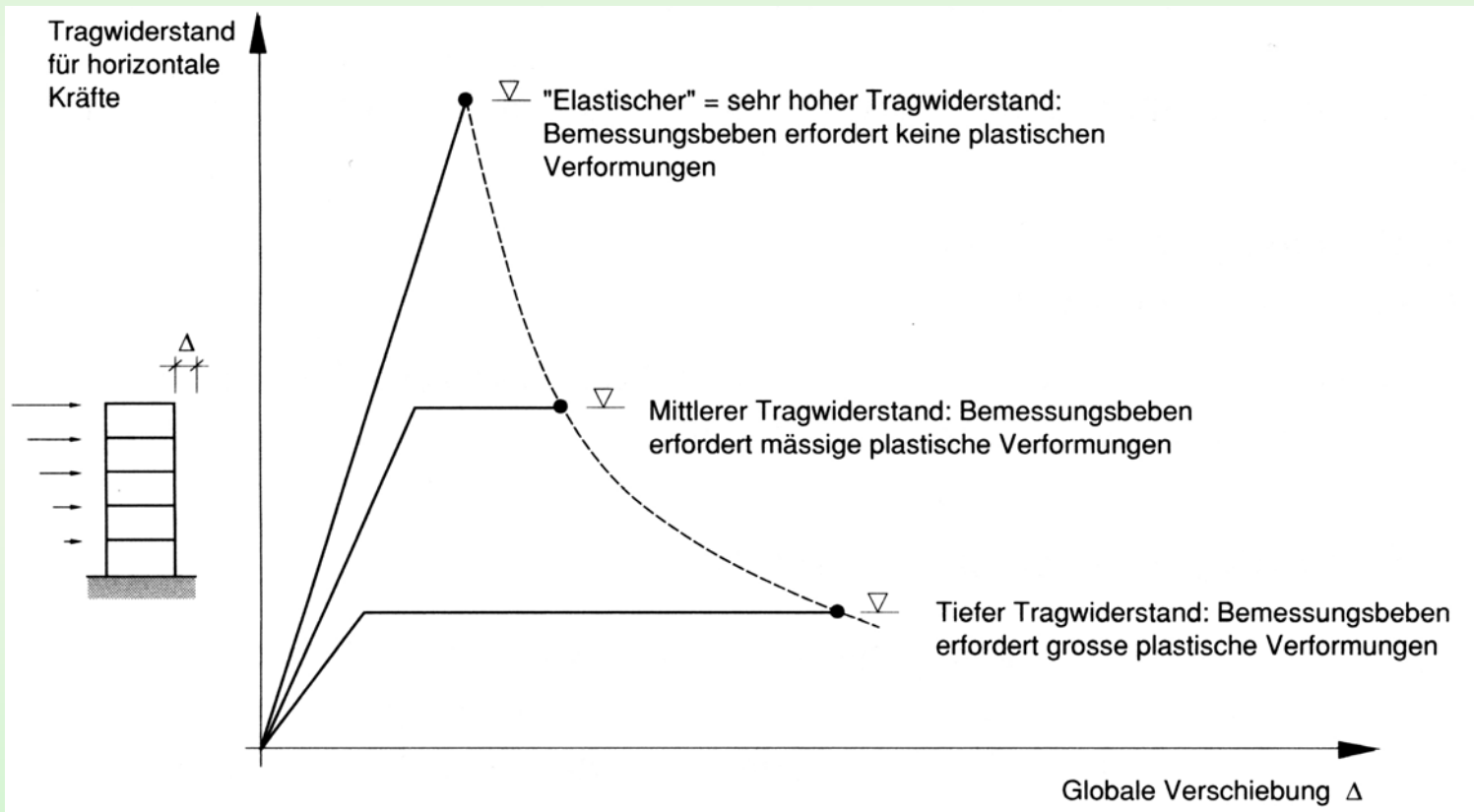


Grosse Torsionswirkung infolge Erdbeben (Schubmittelpunkt \neq Massenmittelpunkt)



Kleine Torsionswirkung infolge Erdbeben (Schubmittelpunkt nahe Massenmittelpunkt)

Duktile Bauweise als Schutz gegen Überbelastung



(Bild: H. Bachmann, "Erdbebensicherung von Bauwerken")

Erdbebengerecht bauen – Schutz gegen Verschiebungen

Vor allem wichtig bei Tiefbauten.

Einige Grundsätze:

- Vermeiden von:
 - Rutschgebieten
 - Gebiete mit Gefahr der Bodenverflüssigung
 - Exzessiv setzungsgefährdete Gebiete
- Bereitstellen von Redundanzen
- Evtl. Bodenverbesserungen (nur lokal sinnvoll)

Zukunft, Verbesserungsmöglichkeiten

- Bessere Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten (Standortstudien für wichtige Bauten)
- Mikrozonierung in Baunormen einbeziehen (gegenseitige Beziehungen)
- Detailverbesserungen bezüglich:
 - Nachweisverfahren
 - Konstruktive Ausbildung
 - Materialparameter
- "Performance Based Design"

Referenzliteratur

- Studer, J. A., Koller, M. G.: "*Bodendynamik. Grundlagen, Kennziffern, Probleme.*"; 2., völlig Neubearb. Aufl., Springer Verlag, 1997.
- SIA-Normen: *SIA Norm 261* (Einwirkungen auf Tragwerke) sowie *SIA Merkblatt 2018* (Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben)
- Comité européen de normalisation (CEN); *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*
- Bachmann, H.: "*Erdbebensicherung von Bauwerken*", Birkhäuser, 1995.