

## Verletzbarkeit

### Die Komponenten des Erdbebenrisikomodells der Schweiz

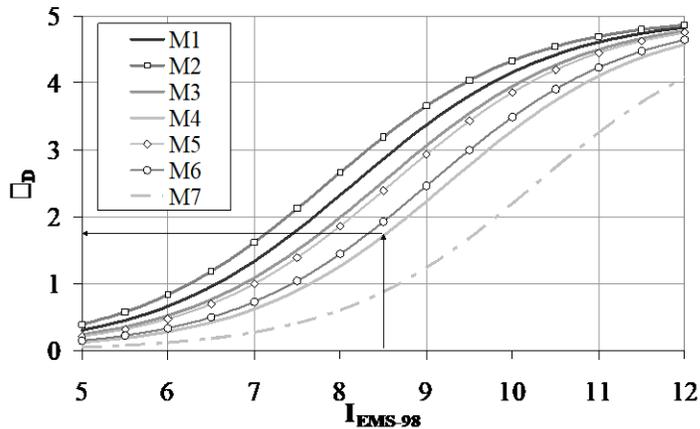
Dr. Pierino Lestuzzi, Dozent, Bauingenieur  
École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)



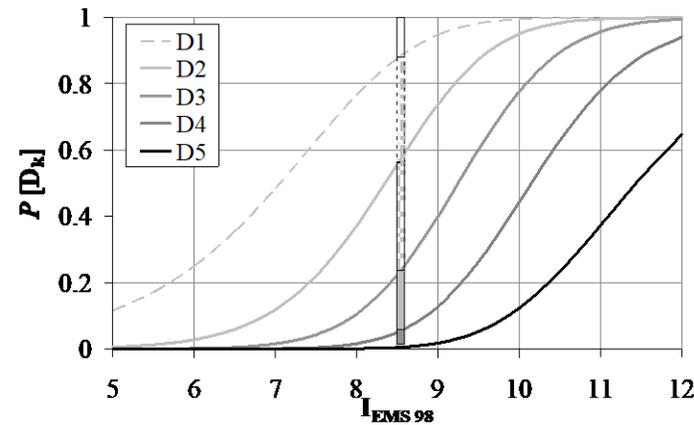
## Definition der Verletzbarkeit

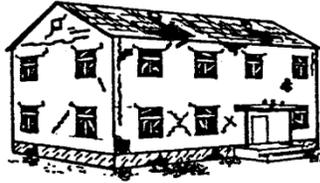
- Die Verletzbarkeit stellt die inhärente Schadensanfälligkeit eines Bauwerks bei einem Erdbeben mit vorgegebener Stärke dar
- 5 Schadensgrade entsprechend der Definitionen der EMS-98.
- Darstellung durch verschiedene Kurven:

### Verletzbarkeitskurve



### Fragilitätskurve



Classification of damage to masonry buildings	
	<p><b>Grade 1: Negligible to slight damage</b> (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.</p>
	<p><b>Grade 2: Moderate damage</b> (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.</p>
	<p><b>Grade 3: Substantial to heavy damage</b> (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).</p>
	<p><b>Grade 4: Very heavy damage</b> (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.</p>
	<p><b>Grade 5: Destruction</b> (very heavy structural damage) Total or near total collapse.</p>



## Gebäudetypologie

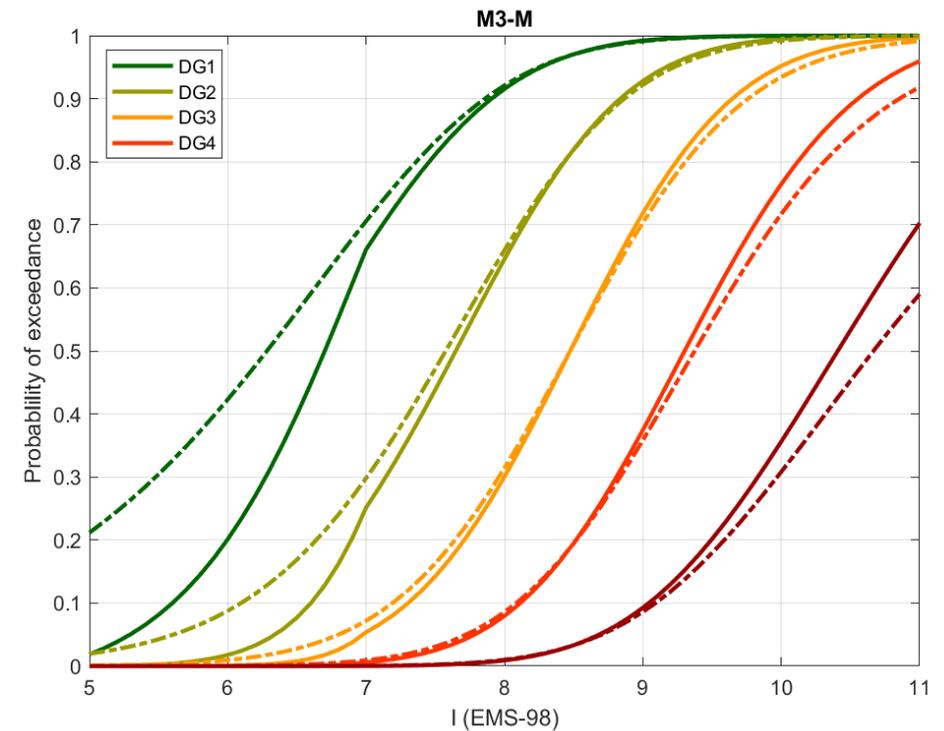
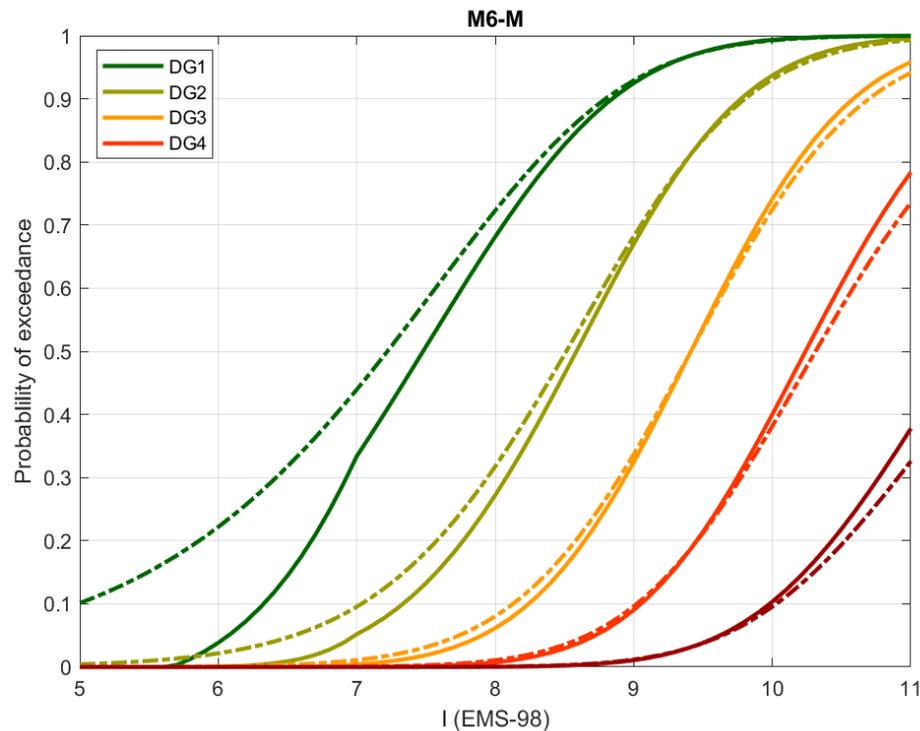
- 12 Tragwerksysteme
  - Mauerwerk (M1 bis M6)
  - Stahlbeton(RCF, RCW)
  - Mischbauweise (RCmix)
  - Stahlbau (S)
  - Holzbau (T)
  - Industriebauwerke (ind)
- 3 Gruppen von Gebäudehöhen
  - Tief (Low-rise, L)
  - Mittel (Mid-rise, M)
  - Hoch (High-rise, H)
- Gebäude werden anhand ihrer Attribute mithilfe von zwei Methoden einem Gebäudetypen zugewiesen
  - Korrelationsmatrizen (mapping scheme)
  - Zufallswald (random forest)

Building Type <sup>‡</sup>	Description
M1_L	Dry stone
M1_M	
M2_L	Adobe (earth bricks)
M3_L	Rubble stone
M3_M	
M3_H	
M4_L	Dressed stone
M4_M	
M4_H	
M5_L	Unreinforced masonry (bricks)
M5_M	
M5_H	
M6_L	Unreinforced masonry – RC floors
M6_M	
M6_H	
RCF_L	RC Frames
RCF_M	
RCF_H	
RCW_L	RC shear wall
RCW_M	
RCW_H	
RCmix_L	Mixed shear wall and RC frame
RCmix_M	
RCmix_H	
S	Steel structures
T	Timber structures
Ind	Industrial structures



## Integration in das Erdbebenrisikomodell

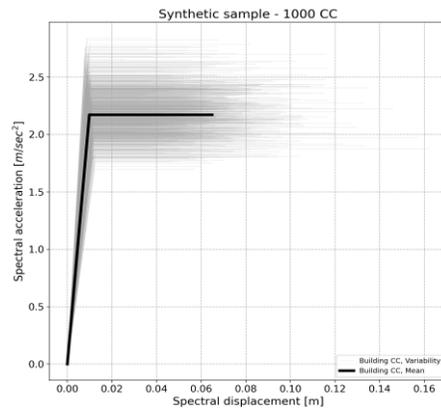
- Die Daten sind im Modell mittels Fragilitätskurven integriert
- Empirische Vorgehensweise: Fragilitätskurven in Abhängigkeit von der makroseismischen Intensität
- Anpassung der Kurven für kleine Intensitäten unerlässlich ( $I \leq 7$ )



## Integration in das Erdbebenrisikomodell

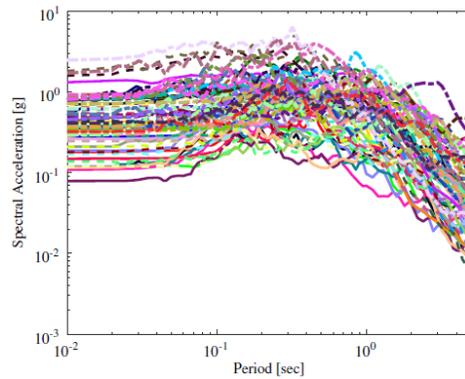
- Die Daten sind im Modell mittels Fragilitätskurven integriert
- Mechanische Vorgehensweise: Fragilitätskurven in Abhängigkeit von der spektralen Beschleunigung

1



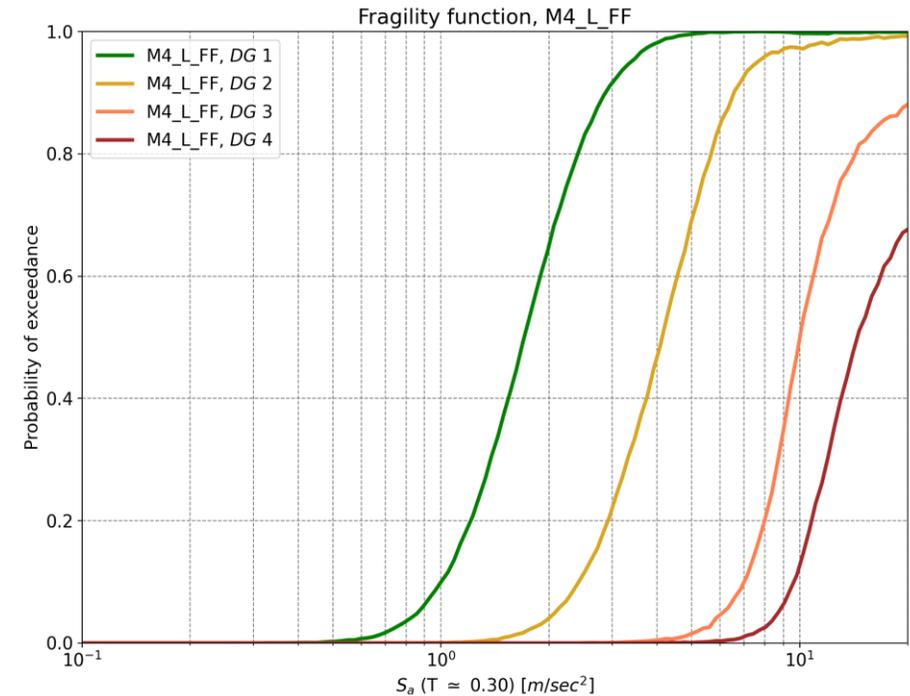
Capacity curves

2



Response spectra

Capacity  
spectrum method  
&  
Damage model





## Unsicherheiten und Weiterentwicklungen

- Unsicherheiten wurden auf der Ebene der Typologie und der Fragilitätskurven berücksichtigt
  - a) Typologie
    - epistemische Unsicherheiten mit den 2 Methoden (Korrelationsmatrizen und Zufallswald)
    - Zufallsunsicherheiten mit statistischer Zuordnung von Gebäudetypen (Korrelationsmatrizen)
  - b) Fragilitätskurven
    - in Abhängigkeit von der Intensität, 3 Werte des Verletzbarkeitsindex (Variationsbereich abdecken)
    - in Ab. von der spektralen Beschl., epistemische Unsicherheit mit Unterklassen (Baujahr, Stockwerke)
    - in Ab. von der spektralen Beschl., epistemische Unsicherheit mit Variation der Materialkennwerte
- Die Daten bilden nicht ab:
  - besondere Gebäudekonfigurationen und ihre Auswirkungen (z. B. Gebäudezeilen, Häuserblocks usw.)
  - die Auswirkungen von Unregelmässigkeiten zwischen benachbarten Gebäuden (Stockwerkversatz, usw.) - besondere Gebäude (Kirchen, Museen, Baudenkmäler usw.)
- Weiterentwicklungen:
  - Regionalisierung der Zuweisung von Gebäudetypen (Stadt-Land, regionale Besonderheiten usw.)
  - Einführung von Gebäudezeilen und Unregelmässigkeiten zwischen benachbarten Gebäuden (Städte)
  - Verbesserung bestimmter Fragilitätskurven für Schweizer Verhältnisse (z. B. Industriegebäude)
  - Berücksichtigung von Umbauten und Ertüchtigungen
  - neue Gebäudetypen für zukünftige Aktualisierungen (Bemessung nach SIA-Normen, Holzbauwerke)



## Wichtigste Erkenntnisse

- Verletzbarkeit in Abhängigkeit von der Intensität und der spektralen Beschleunigung - getrennte Entwicklung der Fragilitätskurvenfamilien
- Detaillierte Validierung der Zwischenergebnisse
  - Kapazitätskurven, mit Kurven aus der Literatur und mit Kurven aus anderen Projekten
  - Fragilitätskurven, mit Kurven aus der Literatur und mit Kurven aus anderen Projekten
  - Fragilitätskurven, Kreuzvalidierung zwischen Kurven in Abhängigkeit von Intensität und spektraler Beschleunigung
- Berücksichtigung der Unsicherheiten – epistemische Unsicherheiten und Zufallsunsicherheiten
- Inhärente Begrenzungen der Ergebnisse
  - Nicht gültig für einzelne Gebäude und kein Ersatz für eine spezifische Beurteilung aus 2 Gründen:
    - statistische Zuteilung des Gebäudetyps
    - mittlere Parameterwerte und Annahmen, realistischer, aber ohne die üblichen Partialfaktoren