

 **KIT**  
Karlsruher Institut für Technologie

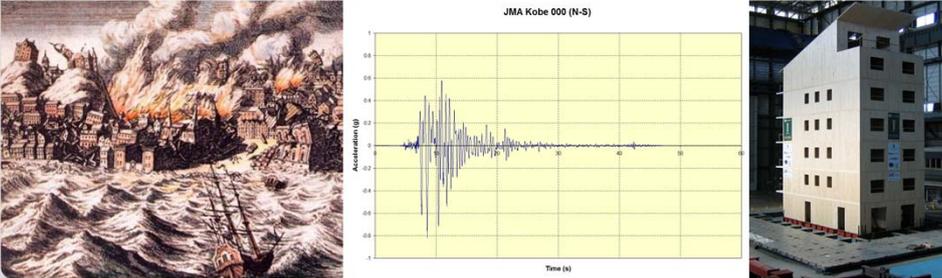
  **IVALSA - CNR**

## Erdbebenverhalten von mehrgeschossigen Gebäuden aus Brettsperrholz

Karlsruher Tage 2012 – Holzbau: Forschung für die Praxis

Carmen Sandhaas

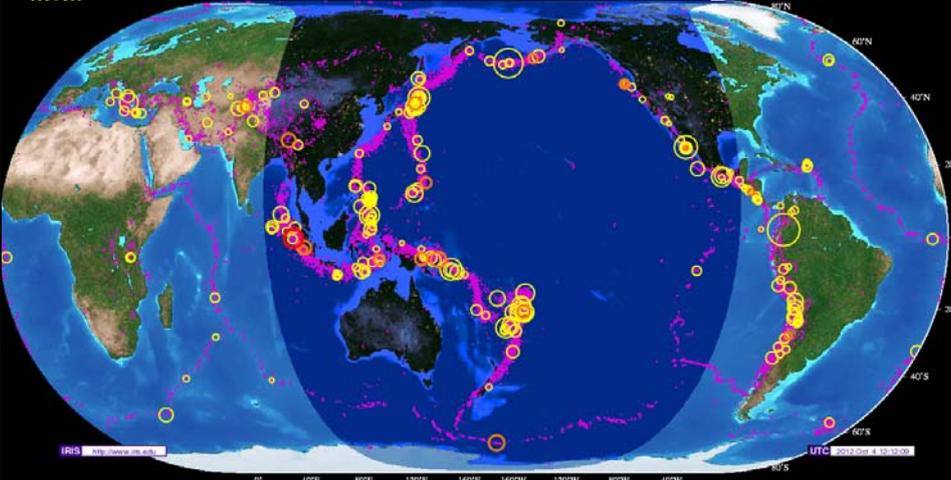
Holzbau und Baukonstruktionen



KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

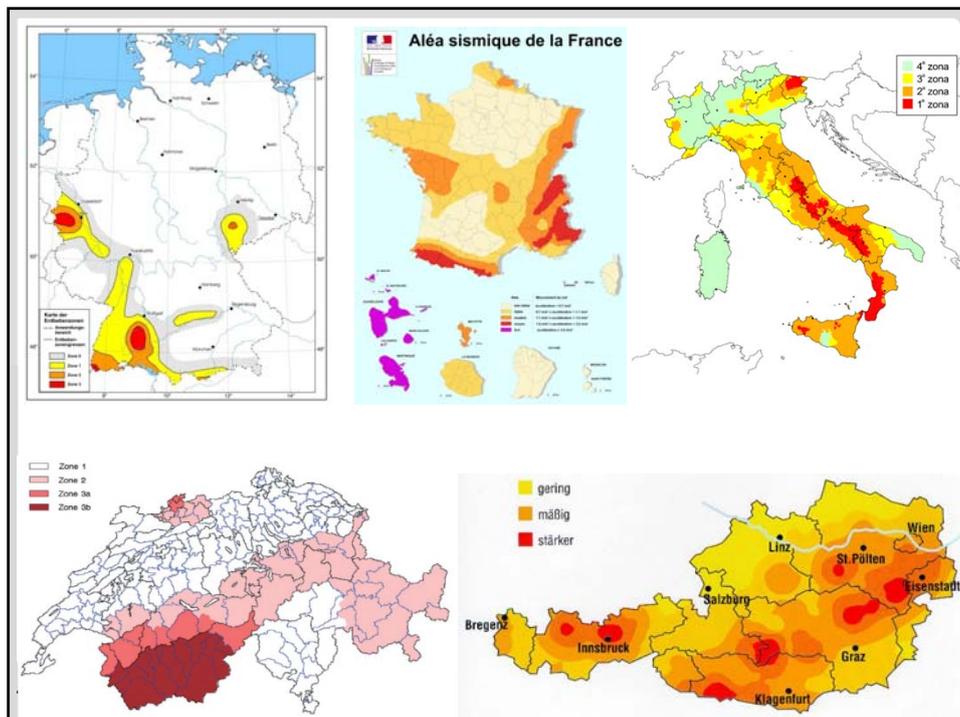
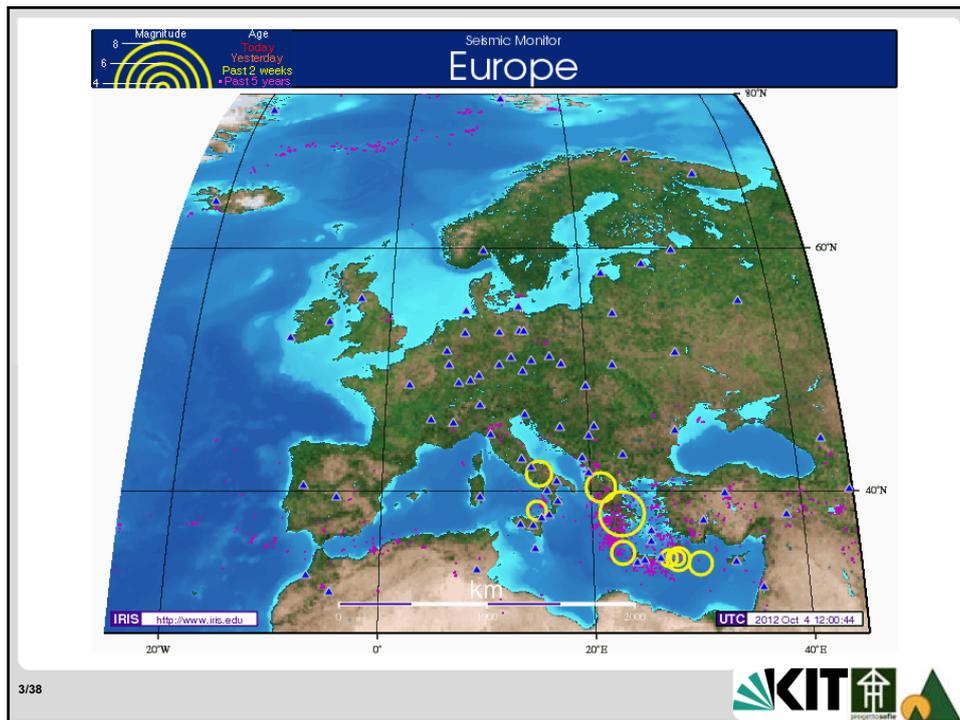
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

### Seismic Monitor



Abgerufen am 4.10.2012

[www.iris.edu](http://www.iris.edu)



## Sonderfall horizontaler Belastungen: Erdbeben

Forschungsprojekt Erdbebenverhalten  
mehrgeschossiger BSP- Gebäude (X-Lam)

Umsetzung in Erdbebennormen

5/38



## Europäische Normierung

### EN1998:2010 - Eurocode 8

2 Bemessungserdbeben:

- ~~Schadensbegrenzung  
(Wiederkehrperiode 95 Jahre)~~
- Standsicherheit  
(Wiederkehrperiode 475 Jahre)

6/38



## Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte (EC0)

Einwirkungsseite:

$$E_{\text{d}} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_1 A_{\text{Ek}} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Beispiel für  $\psi_{2,i}$ :  $\psi_{2,i} = 0.3$  für Nutzlasten in Wohngebäuden  
(ABER in D:  $\psi_{2,i} = 0.5$  für Schneelasten)

$\gamma_1$  = Bedeutungsbeiwert  
(Bedeutung für öffentliche Sicherheit, Bsp. Krankenhaus)

7/38



## Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte

Materialseite:  $\gamma_M$  - Wert

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

| Duktilitätsklasse | $\gamma_M$ |
|-------------------|------------|
| Niedrig - DCL     | 1.3        |
| Mittel - DCM      | 1.0        |
| Hoch - DCH        | 1.0        |

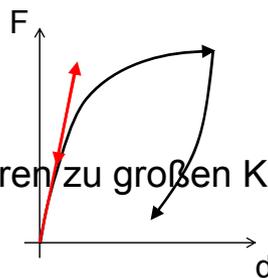
8/38



## Duktilitätsklasse?

Tragsysteme, die vor Erreichen ihres Grenzzustandes durch nichtlineares Verhalten Energie dissipieren, müssen kleinere Erdbebenkräfte aufnehmen.

→ Also je "duktiler", desto kleiner die seismischen Einwirkungen.



Große Massen führen zu großen Kräften ( $F = ma$ ).

9/38



## Wie wird das in einer Erdbebenbemessung umgesetzt?

Vereinfachtes Antwortspektrumverfahren nach EC 8  
(anwendbar unter bestimmten Bedingungen)

→ Ermittlung von horizontalen Ersatzkräften,  
damit Durchführung einer linearen Berechnung

10/38



$$F_b(T_1) = S_d(T_1) \cdot m \quad F = ma$$

$$S_d(T_1) = \gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$F_b$  = Gesamterdbebenkraft

$m$  = Gesamtgewicht des Bauwerks

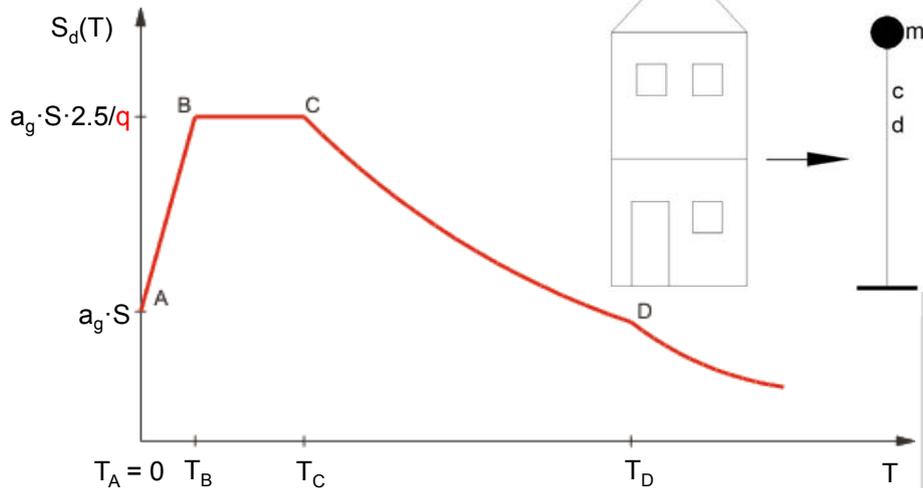
$S_d$  = Bemessungsspektrum, abhängig von:

$a_{gR}$  = Referenzwert der Bodenbeschleunigung

$S$  = Bodenparameter;  $T$  = Periode Tragwerk;  $\gamma_I$

$q$  = Verhaltensbeiwert

11/38



Elastisches Antwortspektrum: Einwirkung eines Erdbebens auf ein Bauwerk mit einer bestimmten Eigenfrequenz  $T$

12/38



## Verhaltensbeiwert $q$ in EC8:

“**Beiwert, der bei der Bemessung zur Reduzierung der durch lineare Berechnung ermittelten Kräfte verwendet wird, um der nichtlinearen Antwort** eines Tragwerks in Abhängigkeit von Baustoff, Tragsystem und dem verwendeten Bemessungsverfahren **Rechnung zu tragen.**”

13/38



## Verhaltensbeiwerte $q$ - Beispiele

| Duktilitätsklasse | $q$ | Tragsysteme, Bsp.               |
|-------------------|-----|---------------------------------|
| Niedrig - DCL     | 1.5 | Zwei- oder Dreigelenkbögen      |
| Mittel - DCM      | 2   | Verleimte Wandscheiben          |
| Hoch - DCH        | 3   | Fachwerke mit Nagelverbindungen |
|                   | 5   | Genagelte Wandscheiben          |

14/38



## Projekt SOFIE (**S**istema Casa **F**iemme):

- finanziert von der autonomen Provinz Trient;
- ausgeführt vom Institut IVALSA.

Untersuchung von Gebäuden aus Brettsperrholz (X-Lam) unter Berücksichtigung folgender Aspekte: Brandverhalten, Akustik, Bauphysik, Dauerhaftigkeit, soziologische Untersuchungen und **Erdbebenverhalten**

15/38



## Warum überhaupt Forschung über Erdbebenverhalten?

- Italien → Erdbebenzone;
- über Erdbebenverhalten von X-Lam-Gebäuden ist nichts bekannt;
- für Umsetzung in Normen müssen Parameter wie bspw. **Verhaltensbeiwerte** ermittelt werden.

16/38



## Testreihen:

- 1:1-Versuche eines dreistöckigen X-Lam-Gebäudes auf dem 12x12m 1D Erdbebentisch des NIED in Tsukuba, Japan
- 1:1-Versuche eines siebenstöckigen X-Lam-Gebäudes auf dem 25x20m 3D Erdbebentisch des NIED in Kobe, Japan

17/38



## Dreistöckiges Gebäude



18/38



Stahlwinkel, Zuganker (in Ecken und bei Öffnungen)

Stoßdeckleisten mit Schrauben

Selbstbohrende Holzschrauben

Selbstbohrende Holzschrauben

Decke – untere Wände: geneigte selbstbohrende Schrauben  
Deckenstöße: selbstbohrende Schrauben  
Geschossdecke: zwei Zuganker mit durchgehender Gewindestange

19/38

### Die drei geprüften Konfigurationen

Das Gebäude ist gleichmäßig in Grund- und Aufriss (außer Konfiguration C)

20/38

| Erdbeben     | Land    | Station         | Komponente | Dauer [s] | Spitzenbodenbeschleunigung [g] |
|--------------|---------|-----------------|------------|-----------|--------------------------------|
| Kobe         | Japan   | JMA             | N-S        | 48.0      | 0.821                          |
| El Centro    | USA     | Imperial Valley | N-S        | 40.0      | 0.313                          |
| Nocera Umbra | Italien | Nocera          | E-W        | 13.7      | 0.499                          |



Insgesamt 30 Tonnen Auflast

21/38



## Erdbebenbemessung ??

Bedingung der Regelmäßigkeit ist eingehalten  
(höhere Eigenformen haben keinen Einfluss)

→ Vereinfachtes Antwortspektrumverfahren nach EC 8

- horizontale Ersatzkräfte
- statische Bemessung

22/38



$$F_b(T_1) = S_d(T_1) \cdot m$$

$$S_d(T_1) = \gamma_I \cdot a_{gR} \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

Haus SOFIE mit:

$a_{gR} = 0.35g$ , Maximaler Spitzenbodenbeschleunigungswert in Italien

$q$  = Verhaltensbeiwert, hier  $q = 1$  (rein elastische Bemessung)

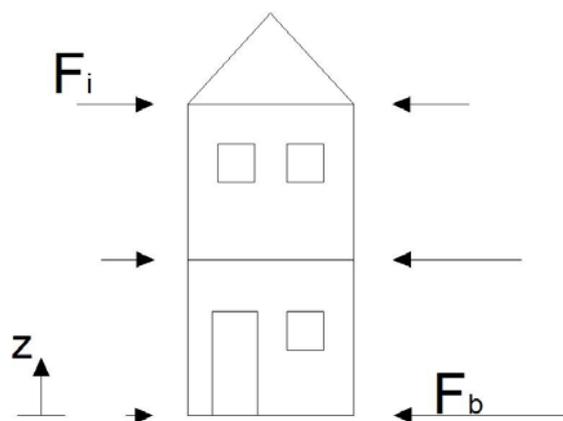
Vergleich: Deutschland  $a_{gR} = 0.8 \text{ m/s}^2 \approx 0.08g$

23/38



Verteilung der horizontalen Ersatzkräfte:

$$F_i = F_b \frac{z_i m_i}{\sum_j z_j m_j}$$



24/38





12 Nägel im EG,  
9 Nägel im 1. OG,  
5 Nägel im 2. OG



Geschraubte Deckenstöße wurden  
verstärkt, um eine steife Decke zu  
erhalten

→ “Hierarchie” der Verbindungen:  
wichtige Verbindungen wie die Eckverbindungen oder die der  
Decken auf den Wänden dürfen nicht beschädigt werden

→ **zielgerichtetes Einsetzen von Duktilität**

25/38



## Verhaltensbeiwert $q$ ?

Konfiguration C (mit asymmetrischer  
Öffnung) wurde bis zum „near-collapse“-  
Zustand, dem Versagen eines oder  
mehrerer Zuganker, geprüft.

26/38





Bemessungserdbebenkraft (rein elastisches Verhalten  $q = 1$ ) bei "near-collapse":

$$S_d(T_1) = 0.35g \times S \times 2.5/1$$

Experimentelle Erdbebenkraft (reales nichtlineares, dissipatives Verhalten) bei "near-collapse":

$$S_d(T_1) = 1.20g \times S \times 2.5/q$$

Daraus folgt :  $q = \frac{1.2}{0.35} = 3.4$

29/38



progetto SOFIE  
Erdbebenversuche an einem siebenstöckigen Gebäude



30/38



Insgesamt 150 Tonnen Auflast  
30 Tonnen per Stockwerk

Bemessung durchgeführt mit  
**Verhaltensbeiwert  $q = 3$**

31/38



Beide Gebäude haben eine ganze Serie von zerstörerischen Erdbeben ohne bleibende Verformungen überstanden.

Die Brettsperrholzbauweise ist eine für Erdbebengebiete geeignete Bauweise.

Diese Bauweise scheint sehr vielversprechend für einen “no-damage-design-approach” in Erdbebengebieten zu sein.

Weitere Untersuchungen sind nötig, um den gefundenen q-Wert verallgemeinern zu können.

33/38





## Diskussion

### Brettsperrholz:

- starre Scheiben
- Wichtigkeit der Verbindungen zwischen BSP-Elementen
- Self-centering

### Holztafelbau:

- Viel weicherer System mit großen Verformungen
- Wichtigkeit der Klammern zwischen Beplankung und Holzstielen
- Dadurch "einfacher zu erfassen"

36/38



