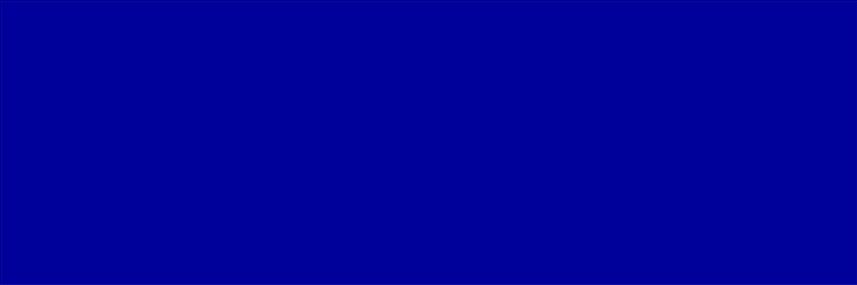


# Forschungsprojekt „Erdbebensicheres Holzhaus“ der Firma Ökohaus



**Entwicklung einer schlanken,  
vakuumverleimten Scheibe aus  
Brettsperrholz mit optimierter Brettlage  
und spezieller Verankerungstechnik zur  
Aufnahme hoher Erdbebenlasten**



**Entwickelt von:  
Institut für Architekturwissenschaften –  
Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau  
Technische Universität Wien  
O. Univ. Prof. DDI W. Winter**

**O. Univ. Prof. DDI W. Winter, Dr. DI K. Tavoussi, T. Pixner**

Institut für Architekturwissenschaften  
Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau,  
Technische Universität Wien

o. Univ. Prof. W. Winter

Karlsplatz 13 / 259.2, A-1040 Wien, Tel: ++ 431/ 58801-25401,

Fax: ++ 431/58801-25499



# 1. AUFGABENSTELLUNG

Anfang 2006 wurde mit der Firma Ökohaus, ein Forschungsprojekt begonnen, das eine innovative, erdbebensichere Holzbauweise mit möglichst offenen Grundrissen und Einsatz weniger, schlanker Scheiben zum Ziel hatte.

Aus einigen, von Architekt Steinklammer zur Disposition gestellten Varianten wurde die „3 Zimmerwohnung zweigeschossig“ infolge ihrer relativ geringen Torsionssteifigkeit für die Erdbebenberechnung herangezogen.

Es wurde ein „Propellersystem“ aus horizontalen Deckenscheiben entwickelt, die horizontale Lastabtragung zu den aussteifenden Wandscheiben übernehmen sollen. Die Deckenkonstruktion im übrigen Bereich sollte nach konventionellen Methoden konstruiert werden können (im Folgenden als Nebenstruktur bezeichnet).



Abbildung: Grundrisse: Die roten Wände stellen die aussteifenden Wände dar. Die strichlinierten roten Deckenelemente stellen die steifen Deckenelemente (Hauptstruktur) dar.

Das gebaute Holzmodell (M: 1:50) sollte die tragende Hauptstruktur zur horizontalen Lastabtragung darstellen.

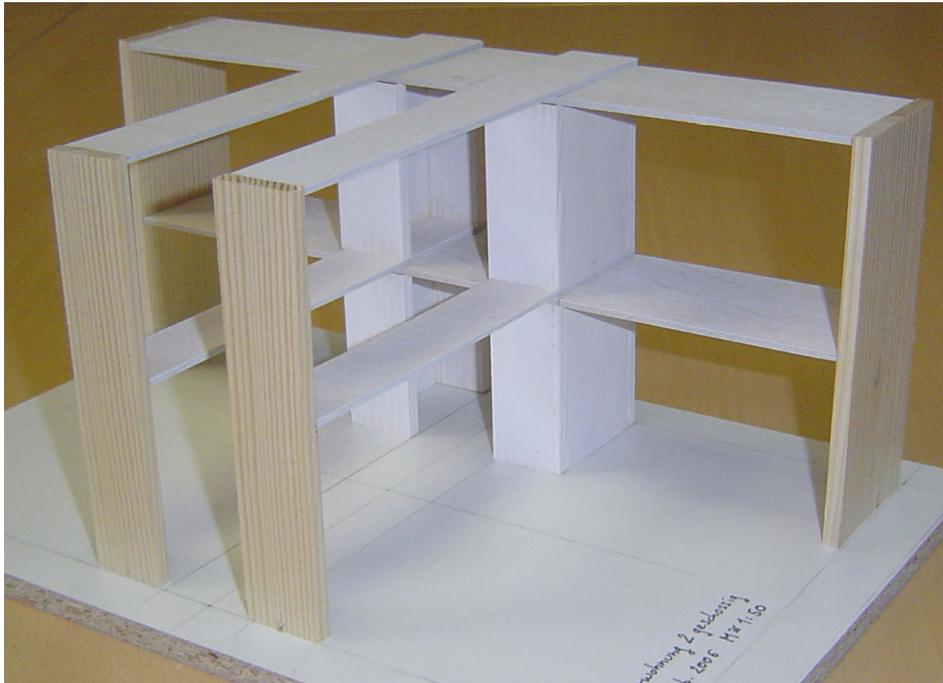


Abbildung: Holzmodell (M: 1:50) der tragenden Hauptstruktur zur horizontalen Lastabtragung

## 2. BELASTUNGSANNAHMEN

Die Lastaufstellung für den Erdbebennachweis erfolgt nach EN 1990.

Eigenlast Decke ü. EG

$g_1 = 2,00 \text{ KN/m}^2$

Eigenlast Decke ü. 1.OG

$g_2 = 3,10 \text{ KN/m}^2$

Nutzlast Decke ü. EG

Terrasse:

$p_1 = 4,0 \text{ KN/m}^2$

Wohnbereich:

$p_1 = 2,0 \text{ KN/m}^2$

Gewichtung der Nutzlasten nach der Grundrissfläche:

$P_{\text{mittl.}} = 2,4 \text{ KN/m}^2$

Schneelast Decke ü. 1.OG

Lt. Italienischer Norm „Testo Unico 35/2005“ wurde die Schneelast für eine maximale Seehöhe von **570 m** in Zone1 in Italien ermittelt, siehe Abbildung.

$s = 2,60 \text{ KN/m}^2$

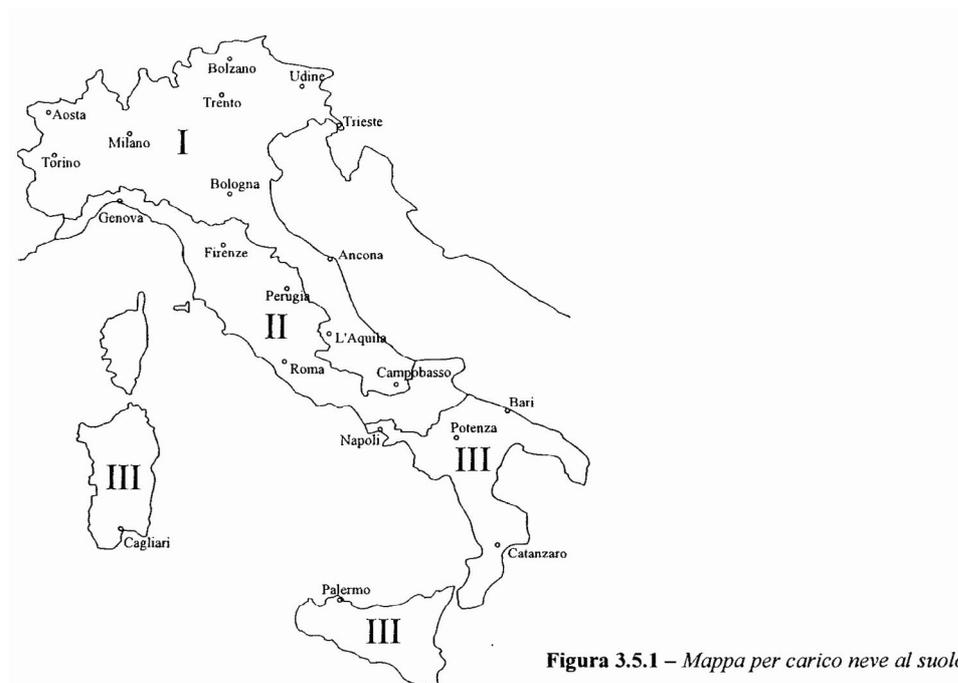


Abbildung: Italienische Schneekarte unterteilt in drei Zonen

### Erdbebenlasten

Als Grundlage zur Berechnung der Erdbebenlasten dient die Italienische Erdbebennorm „Normativa sismica Edifici-bozza aggiornata al 25/03/03“, welche im Wesentlichen auf dem Eurocode 8 basiert. Für die Erdbebenberechnung wurde die Erdbebenzone 1 (rot) mit einer horizontalen Bodenbeschleunigung von 0,35g (3,43 m/s<sup>2</sup>) herangezogen.

Die Lastfallüberlagerung basierte auf der obengenannten Norm.

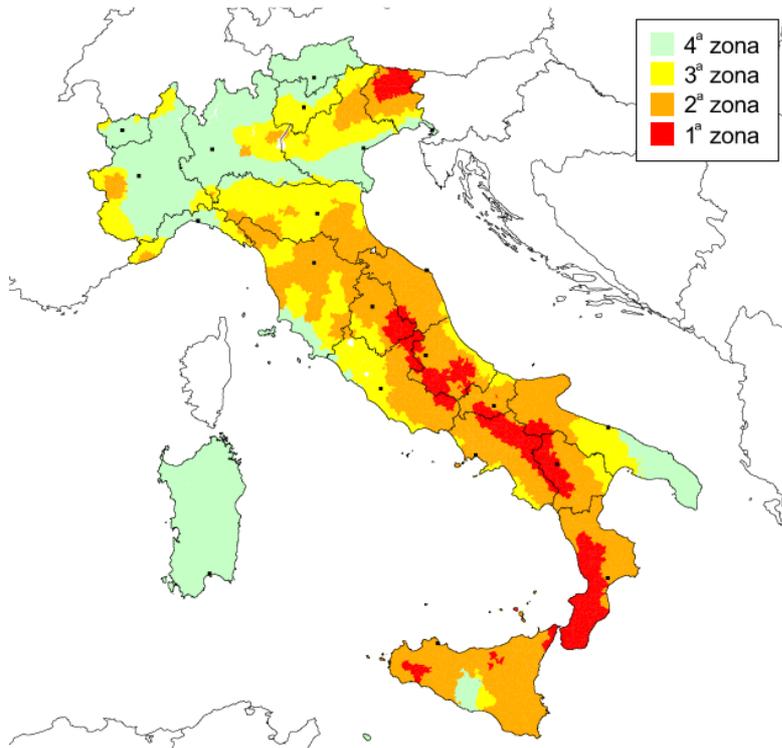


Abbildung: Italienische Erdbebenkarte unterteilt in vier Zonen.

Leider kann im Erdbebengebiet Norditaliens anhand der geologischen Karte keine eindeutige Aussage über die dort vorherrschende Bodenart gemacht werden. Aus diesem Grund wurde für die Erdbebenbemessung **Die Baugrundklasse D** (Ablagerungen von lockerem bis mitteldichtem kohäsionslosem Boden (mit oder ohne einige weiche kohäsive Schichten), oder von vorwiegend weichem bis steifem kohäsivem Boden) herangezogen. Erst bei genauer Kenntnis des Baugrundes könnte eine günstigere Bodenart gewählt werden.

### 3. DECKEN- UND WANDAUFBAU

#### 3.1. DECKENAUFBAU:

##### Hauptstruktur:

Pro Geschoss werden eine Deckenscheibe  $b=2,4$  m in Gebäudelängsrichtung sowie zwei Deckenscheiben  $b=1,2$  m in Gebäudequerrichtung angedacht (nicht getestet). Diese Teile sollten als Kassettenelemente ausgeführt werden, welche, wie schon erwähnt, die horizontalen Aussteifungselemente darstellen sollten. Der vorgeschlagene Aufbau ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

Für die statischen und dynamischen Berechnungen wurde ein Ersatzstabmodell angenommen (Steifigkeiten der OSB-Platte und der 3 Schichtplatte wurden in der Scheibenrichtung verhältnismäßig addiert und durch ein Stabrostsystem statisch äquivalent ersetzt und mit Balken in der Mittelachse miteinander verbunden). Dadurch war die Scheibensteifigkeit in horizontaler Richtung richtig eingegeben; die Plattensteifigkeit jedoch nicht, was für die Erdbebenberechnung aber keine Rolle spielte.

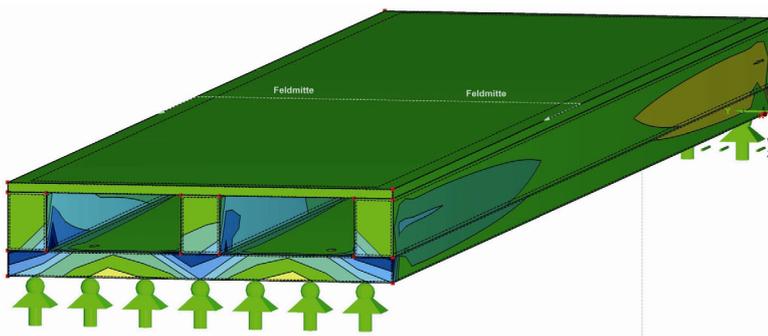


Abbildung: Schmales Kassettenelement

##### Nebenstruktur:

Die entworfene Decke besteht aus Trägern (12/24 cm ca. alle 60 cm) mit 3 cm OSB-Bepunktung die unter Berücksichtigung der Stiege in Gebäudequerrichtung gespannt sind.

### 3.2. WANDAUFBAU:

Der Wandaufbau stellte eine zentrale Rolle des Forschungsprojektes dar. Mit Rücksicht auf die Möglichkeit der Firma Ökohaus, mit Hilfe einer Vakuumpresse mehrschichtige Brettsperrwände herzustellen, wurde eine **Mehrschichtige Brettsperrwand** als Wandtypus festgelegt.

Es wurden schmale Wandelemente mit den Abmessungen 120/280 cm unter statischer und zyklischer Belastung geprüft (genaue Daten der Prüfungen sind dem Bericht „Endbericht, August 2007; Forschungsprojekt Erdbebensicheres Holzhaus der Firma Ökohaus“ zu entnehmen). Dabei hat sich folgende Anordnung der Schichten unter einigen getesteten Varianten als optimal herausgestellt:

\\ \ / / / III / / / \\ \ (Neigungswinkel 45°) 33/33/40/33/33  
(Schichtstärken in mm; S10)

Für die statischen und dynamischen Berechnungen wurde für das „Wand-Flächenelement“ ein Ersatzstabmodell als Stabrost mit einzelnen quadratischen Elementen mit den Seitenlängen 60/60 cm generiert um ein gängiges Stabwerksprogramm anwenden zu können (in dem Fall Programm R-Stab von Fa. Dlubal). Mit diesem Programm wurde dann die Belastung des Gebäudes durch 7 künstlich generierten Beben (nach EC-8) im Zeitverlaufsverfahren simuliert.

Die Verankerung der hohen Zugkräfte, die zufolge horizontaler Erdbebenbelastung zu erwarten waren, (ca. 400 kN, errechnet bei Annahme eines wenig duktilen Gebäudeverhaltens), war mit bisher bekannten konventionellen Verbindungselementen nicht möglich. Dies war der Anlass, eine neue Verbindungstechnik zu entwickeln.

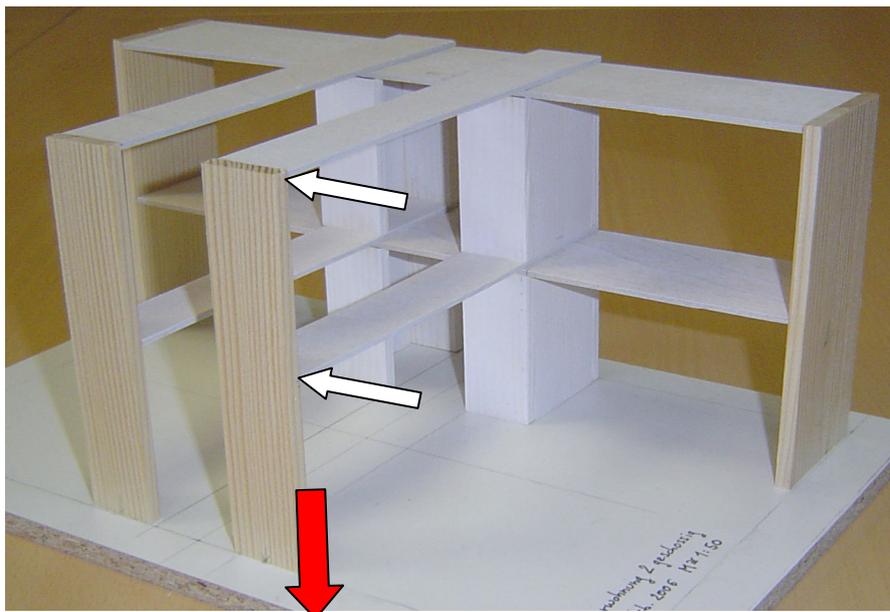


Abbildung: aufzunehmende Zugkraftverankerung (roter Pfeil, ca. 400 kN) zufolge horizontaler Erdbeben-Belastung (weiße Pfeile)





Abbildung: Befestigung der Stahlschuhe auf den „Verbundprüfkörper“ für zyklische Versuche mittels Hilti-Nägeln.



Abbildung: zyklischer Test der Wandscheibe

Die Versuche haben die Aufnahmefähigkeit der zu verankernden Zugkräfte für die entwickelte Verbindung bestätigt.  
Die Wandscheiben haben den auftretenden Belastungen ebenfalls standgehalten.

Einschränkungen und ergänzende Bemerkungen zu den Berechnungsannahmen sind dem Bericht „Endbericht, August 2007; Forschungsprojekt Erdbebensicheres Holzhaus der Firma Ökohaus“ zu entnehmen.

# 4. ANHANG:

## 4.1. VERWENDETE SOFTWARE:

RSTAB 5.14: Stabberechnungsprogramm für lineare dynamische Analyse  
 RFEM 2.0: Finite Elemente Programm für lineare quasistatische Analyse  
 SIMQKE: Programm zur Generierung künstlicher Erdbeben

## 4.2. VERSUCHSPROTOKOLLE:

Informationen zu verwendeten Materialien, Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung: siehe „Endbericht, August 2007; Forschungsprojekt Erdbebensicheres Holzhaus der Firma Ökohaus“

## 4.3. ANSCHLUSSTECHNIK:

siehe Auszug Befestigungstechnik der Firma Hilti:  
 Der verwendete Nagel X-EDS 27 P10 ist hier nicht im Katalog enthalten.

Handbuch der Befestigungstechnik **HILTI**  
**Produkte Information C3**

**2.9 X-EDNI, ENK, EDS Elemente für Stablanwendungen**

**Anwendungsgrenzen**

**Randabstände bzgl. Grundmaterial**  
 Gewalzte Profile  
 Kalzifforme Profile

**Randabstand und Befestigungsabstand**

**Befestigen von dicken Stahlblechen**

**ts ≤ 3 mm**  
 Nicht vorgebohrte Stahlblechen bis zu einer Dicke von 3 mm können im allgemeinen ohne Spalt zwischen Anbauteil und dem Grundmaterial befestigt werden.  
 Im Zweifelsfall sind Probebefestigungen zu empfehlen.

**ts > 3**  
 Ohne Vorbohren: Ist das Anbauteil dicker als etwa 3 mm, wird dieser Teil bei einer Verformung des Grundmaterials nicht deformiert, sodass zwischen dem Anbauteil und dem Grundmaterial ein Spalt auftritt.  
 Um eine Momentenbelastung auf den Nagelschaft zu vermeiden, sollten 3 Nägel als eine Gruppenbefestigung angeordnet werden.

**Zwängungskräfte**  
 Bei der Befestigung von größeren Stahlteilen muss die Einwirkung von Zwängungskräften berücksichtigt werden. Überschreitung von  $v_{lim}$  (bezogen auf den Elementeschaft) ist zu vermeiden!

**X-EDS-Nagel für Stahl**  
 (DX 76 und X-76-F-10, X-76-P-GR und X-76-PS)

Stab	Stahl	Stärke	Bezeichnung	Artikel	Stückzahl	Einheit	Preis	4/1
19	6-Vollstahl 4.5	X-EDS 10 P10	046554	100	B573	100	27,00	
22	6-Vollstahl 4.5	X-EDS 22 P10	046556	100	B573	100	27,00	

**Auszug aus dem Handbuch für Befestigungstechnik C31:**  
 Stahl: spritzförmiges Lackieren (IM)  
 Befestigungshöhe  $t_{ef}$  (mm): Zuglast: Querlast:  
 0,75 1,1 1,5  
 1,00 1,3 2,3  
 1,25 1,7 3,2  
 2,00 2,4 4,0  
 Untergrundstärke: min. 4 mm bis Vollstahl  
 Einzelbefestigung möglich

## 5. ERGÄNZUNGEN:

Die Auswirkungen eines Erdbebens an der Erdoberfläche (Intensitäten) hängen außer von der Magnitude (freigesetzte Energie nach Richterskala) stark von der Herdtiefe, der Entfernung, der Dauer des Bebens und den Untergrundverhältnissen ab.

Dies bedeutet, dass eine eindeutige Zuweisung eines möglichen Erdbebens mit einer bestimmten Magnitude nach der Richterskala zu einer Erdbebengefahrenezone nicht möglich ist. Für die berücksichtigte Zone (Zone 1 in Italien) kann dies z.B. eine Schwankungsbreite der Magnitude des zu erwartenden Erdbebens von 5,5 bis 6,5 auf der Richterskala bedeuten.

Um die Erdbebengefahr von verschiedenen Regionen vergleichen zu können, sind Erdbebenkarten der horizontalen Bodenbeschleunigungen der gleichen Wiederkehrperiode heranzuziehen. Dies wird anhand von 2 Karten (GUS-Staaten, Italien) deutlich:

GSHAP Moscow Regional Center 7 - Chairman V. Ulomov ( UIPE RAS, Russia, ulomov@uipe-ras.scgis.ru ), 1997

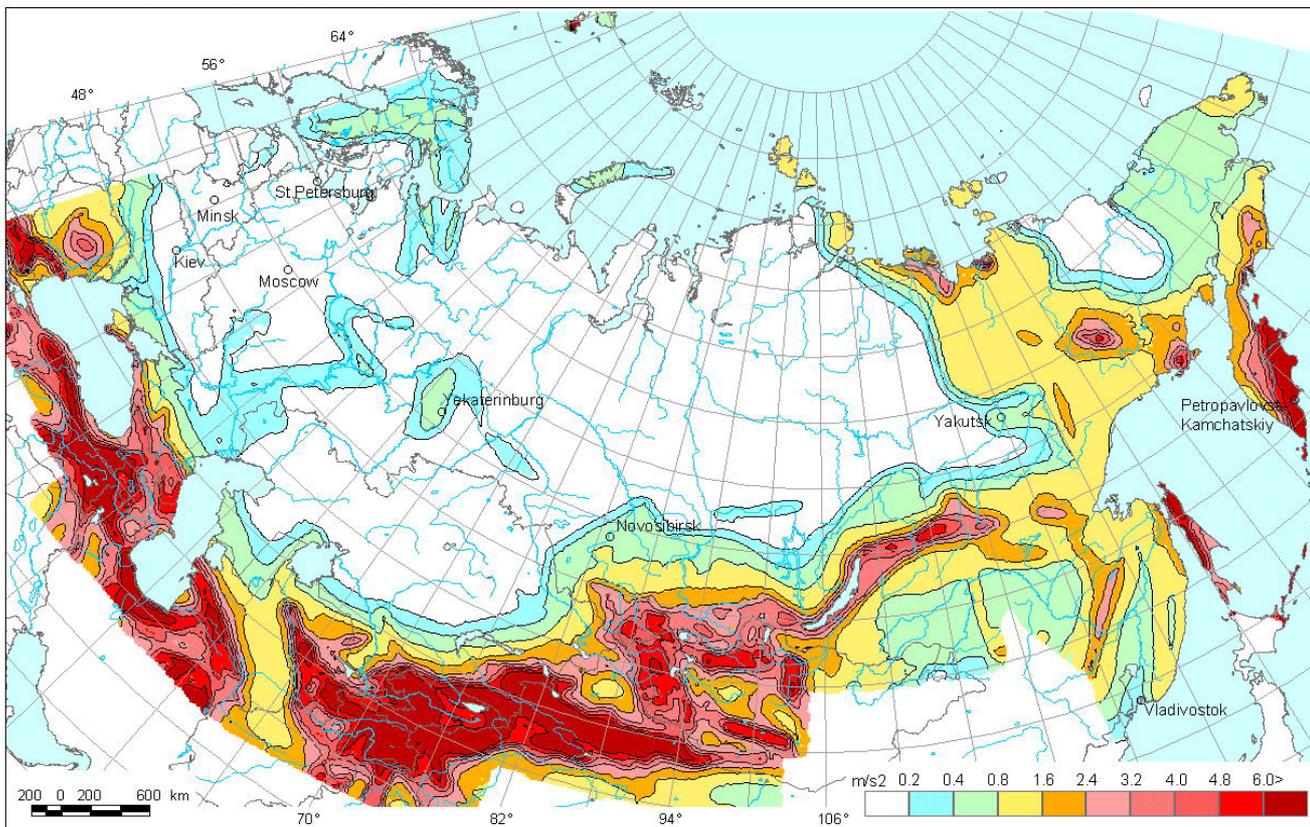
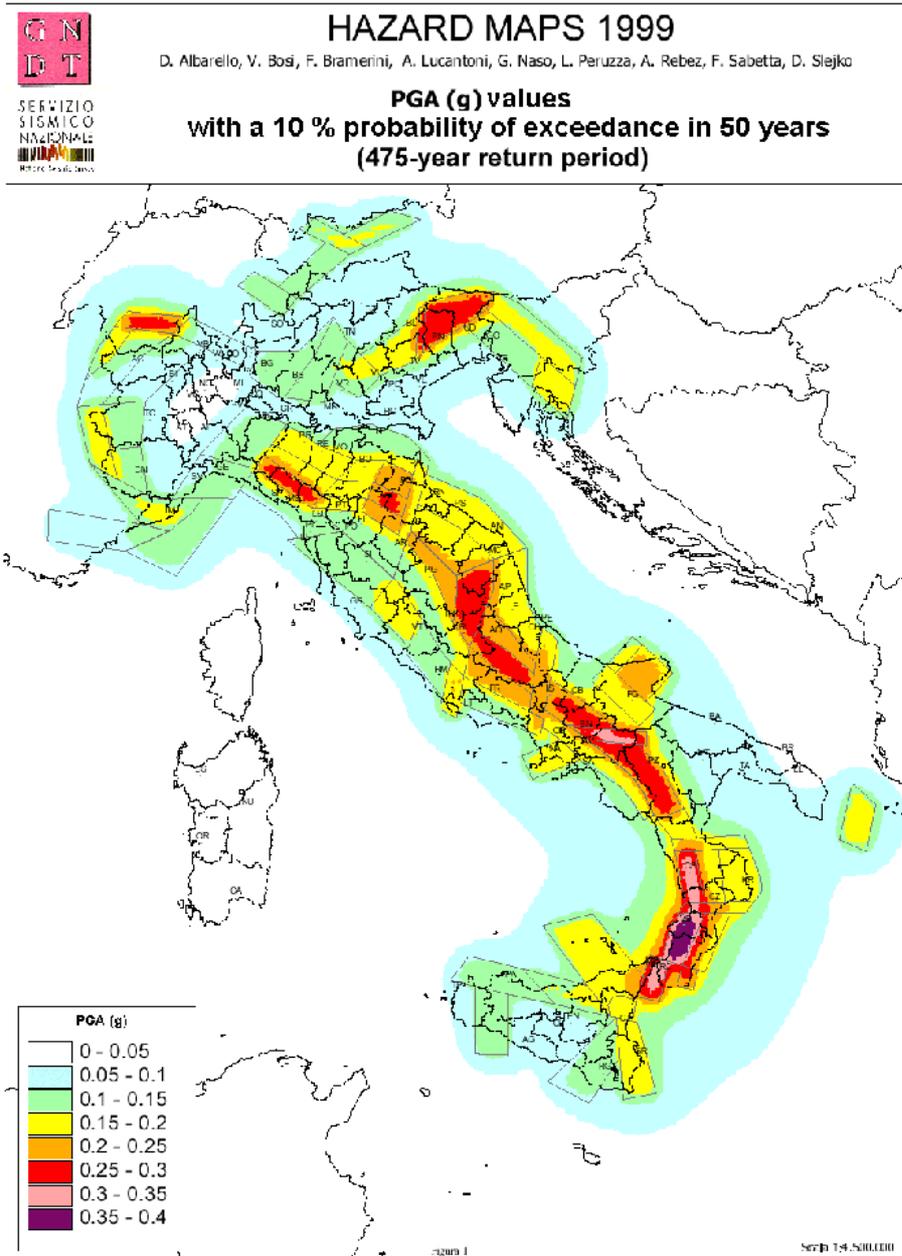


Fig. 10 : Peak Ground Acceleration (m/s<sup>2</sup>) Map with 10% Probability of Exceedance in 50 Years for Northern Eurasia

Quelle: <http://www.seismo.ethz.ch/gshap/neurasia/pga10.jpg>



Quelle: <http://spazioinwind.libero.it/sismica/index.html>

Umrechnungsbeispiel:  $0.35 \text{ g} = 3,5 \text{ m/s}^2$