

Dissertation ETH No. 14446

# **Seismic vulnerability of existing buildings**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by  
Kerstin Lang  
MEng, Imperial College, University of London, England  
D.E.A., Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France  
born 12 November 1971  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Hugo Bachmann, examiner  
Prof. Dr. Marc Badoux, co-examiner  
Prof. Dr. Gian Michele Calvi, co-examiner  
Prof. Dr. Domenico Giardini, co-examiner

2002

# Abstract

In order to assess the seismic risk for Switzerland, and particularly for the city of Basel, a joint project on the subject of “Earthquake Scenarios for Switzerland” was launched by the Swiss Seismological Service (SED) and the Institute of Structural Engineering (IBK) at the ETH Zurich. The goals of the study are to improve the assessment of seismic hazard, to investigate the vulnerability of the built environment and finally, to combine the results to elaborate risk scenarios as the first fundamental step in the mitigation process. The objective of this work is the evaluation of the seismic vulnerability of existing buildings with a focus on the residential building stock in the city of Basel. Since no major damaging earthquake has occurred in Switzerland in recent times, vulnerability functions from observed damage patterns are not available. A simple evaluation method based on engineering models of the building structures suitable for the evaluation of a larger number of buildings is therefore proposed.

First, the general idea of the evaluation method based on nonlinear static procedures is introduced in Chapter 3 which briefly discusses the two key elements of a vulnerability analysis, the capacity (strength and deformation capacity) of a building and the seismic demand. The results are vulnerability functions expressing the expected damage of a building as a function of the seismic input.

The application of the evaluation method to unreinforced masonry buildings and to reinforced concrete buildings is discussed in more detail in Chapters 4 and 5 respectively. Special attention is paid to the frame action due to the coupling of the walls by floors and spandrels. Comparisons with test results from model buildings in the case of masonry buildings and with a recently proposed and thoroughly checked deformation orientated method in the case of reinforced concrete buildings show that the proposed method suitably forecasts the capacity of a building.

Finally, a comprehensive inventory of the buildings in a small target area in Basel was established based on plans and a street survey. The inventory comprised a total number of 87 buildings which were then assessed using the evaluation method. Based on the results of the assessment, building classes were defined depending on the type of structure and the number of storeys. Corresponding fragility curves were determined, expressing the probability of a building belonging to a certain building class of reaching or exceeding a particular damage grade given a deterministic estimate of the spectral displacement. The classification of the buildings allows an extrapolation of the results to a larger area or to the whole city. A statement on the actual seismic risk, however, is not possible without the knowledge of the local seismic hazard which is not yet available.

# Zusammenfassung

Zur Abschätzung des Erdbebenrisikos der Schweiz, und insbesondere der Stadt Basel, wurde vom Schweizerischen Erdbebendienst (SED) und dem Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich ein gemeinsames Forschungsprojekt mit dem Thema “Erdbebenszenarien der Schweiz” ins Leben gerufen. Das Ziel ist eine verbesserte Abschätzung der Erdbebengefährdung sowie der Verletzbarkeit der bestehenden Bausubstanz und, durch eine Zusammenführung der Ergebnisse, die Berechnung des Risikos möglicher Erdbebenszenarien als erster Schritt zur Risikoabminderung.

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Bewertung der Erdbebenverletzbarkeit bestehender Gebäude, wobei der Schwerpunkt auf der Bewertung der Bausubstanz von Basler Wohngebieten liegt. Aus Mangel an stärkeren Erdbeben in der Schweiz in der letzten Zeit sind Verletzbarkeitsfunktionen aufbauend auf beobachteten Schadensbildern jedoch nicht verfügbar. Es wird daher eine einfache Evaluationsmethode vorgeschlagen, die sich auf Ingenieurmodelle der Tragwerke stützt und zur Bewertung einer größeren Anzahl von Gebäuden geeignet ist.

Zunächst wird die Grundidee der Evaluationsmethode, die auf nichtlinearen statischen Berechnungsverfahren beruht, in Kapitel 3 eingeführt. Die beiden Hauptaspekte einer Verletzbarkeitsstudie, die Kapazität (Tragwiderstand und Verformungsvermögen) eines Gebäudes und der Kapazitätsbedarf werden kurz diskutiert. Das Ergebnis sind Verletzbarkeitsfunktionen, die den zu erwartenden Schaden eines Gebäudes als Funktion der Bodenbewegung beschreiben.

Die Anwendung der Evaluationsmethode auf Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk und aus Stahlbeton wird in Kapitel 4 und 5 näher betrachtet. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Rahmenwirkung, die durch die Koppelung der Wände durch Riegel und Decken entsteht. Vergleiche mit Versuchsergebnissen im Falle von Gebäuden aus unbewehrtem Mauerwerk und mit einem kürzlich vorgeschlagenen und gründlich geprüften verformungsorientierten Berechnungsverfahren im Falle von Stahlbetongebäuden zeigen, daß die vorgeschlagene Methode die Kapazität eines Gebäudes gut erfaßt.

Schließlich wurde anhand von Plänen und einer Besichtigung von außen ein umfassendes Inventar der Gebäude in einem kleinen Zielgebiet in Basel erstellt. Das Inventar umfaßt insgesamt 87 Gebäude, die anschließend mit der Evaluationsmethode bewertet wurden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Bewertung wurden Gebäudeklassen definiert, die durch ihren Tragwerkstyp und die Anzahl Stockwerke zu unterscheiden sind. Für jede Gebäudeklasse wurde eine “fragility” Kurve definiert, die die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, daß ein Gebäude einer bestimmten Gebäudeklasse für eine gegebene spektrale Verschiebung einen bestimmten Schadensgrad erreicht oder übersteigt. Die Bildung von Gebäudeklassen erlaubt eine Extrapolation der Ergebnisse auf ein größeres Zielgebiet. Eine Angabe zum Erdbebenrisiko ist jedoch ohne die noch nicht vorliegende Kenntnis der lokalen Erdbebengefährdung nicht möglich.