

Earthquake clustering and time-dependent probabilistic seismic hazard analysis for California

Doctoral Thesis

Author(s):

Gerstenberger, Matthew Charles

Publication date:

2003

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004708258>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 15215

Earthquake Clustering and Time-Dependent Probabilistic Seismic Hazard Analysis for California

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCE

presented by

MATTHEW CHARLES GERSTENBERGER

Master of Science

University of Texas at El Paso (USA)

born August 28, 1970

citizen of the USA

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Domenico Giardini, examiner

Dr. Stefan Wiemer, co-examiner

Dr. Lucile M. Jones, co-examiner

Zurich, 2003

Zusammenfassung

Mehr als 50% des gesamten jährlichen Erdbebenrisikos der Vereinigten Staaten von 4.4 Milliarden US\$ befinden sich in Kalifornien. Ein notwendiger Schritt zur Verminderung dieses Risikos ist die Weiterentwicklung von seismischen Gefährdungskarten. Basierend auf einem etablierten Modell der Nachbebenaktivität und auf zwei fundamentalen Gesetzen der Seismologie (dem Gutenberg-Richter Gesetz sowie dem Omori Gesetz) habe ich einen Mechanismus entwickelt, der es ermöglicht, seismische Gefährdungskarten für kurze Zeiträume zu berechnen. Diese Karten zeigen die Wahrscheinlichkeit in den nächsten 24 Stunden eine modifizierte Mercalli Intensität von VI zu erreichen. Sie werden alle 30 Minuten berechnet und auf dem web Servern des, United States Geological Survey publiziert. Drei verschiedene Komplexitätsebenen sind im Modell integriert, die Modelle werden mithilfe des Akaike Informationskriteriums miteinander verbunden. Die drei Modelle sind in aufsteigender Komplexität ein generisches kalifornisches Modell, ein isotropes Modell basierend auf adjustierten Parametern für jede Sequenz, sowie ein Modell, welches räumliche Heterogenität einschließt.

Nach einem großen Beben (Magnitude ≥ 6) treten in der Regel genügend Nachbeben auf für eine Auskartierung der räumlichen Unterschiede in der Nachbebenproduktivität, ihrer Abklingrate und ihrer Magnituden-Größenverteilung. Ich habe diese Unterschiede für vier kalifornische Nachbebensequenzen sowie eine aus Alaska untersucht. Dabei wurde insbesondere klar, dass unser Modell die besten Resultate liefert wenn die Datenqualität hoch ist. Obwohl die Qualität der Daten der einzelnen Sequenzen variiert, lassen sich nichts desto trotz immer räumliche Heterogenitäten finden, welche zu klaren Un-

terschieden im Nachbebenrisiko führen. Es lässt sich beweisen, dass die Berücksichtigung dieser räumlichen Unterschiede zu einer signifikanten Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit des Modells führt. Einzelne Regionen, wie etwa das nördliche Ende der Bruchzone des 1999 M_w 7.2 Hector Mine Erdbebens, zeigen aufgrund der räumlichen Variationen in Seismizitätsparametern eine deutlich erhöhte Gefährdung. Ich habe zudem die Änderung der Magnituden-Größenverteilung in Kalifornien als Funktion der Tiefe analysiert, dabei zeigte sich, dass der b-Wert mit der Tiefe signifikant abnimmt.

Um unser neues Seismizitätsmodell zu untersuchen und zu optimieren, habe ich Seismizitätsvorhersagen mittels verschiedener statischer Tests untersucht. Dieses ist ein notwendiger Schritt, bevor ein Vorhersagemodell akzeptiert und implementiert werden sollte. Mithilfe von Likelihood Tests habe ich gezeigt, dass die zeitunabhängigen Gefährdungskarten, für Kalifornien sowie das isotrope Modell sich mit einer 5% Signifikanz zurückweisen lassen, wenn man sie testet gegen das Gesamtmodell, welches räumlich Änderungen in den Parametern zulässt. Allerdings ist auch unter Gesamtmodell noch nicht konsistent mit den beobachteten Daten. Mittels Parameteroptimierung habe ich versucht, die Vorhersagefähigkeit weiter zu optimieren. Es zeigte sich, dass eine kleinräumige Auflösung der Seismizität einer Großräumigeren überlegen ist, und dass es von Vorteil ist die Seismizitätsparameter zeitlich, mittels eines gleitenden Zeitfensters, zu aktualisieren. Es zeigt sich zudem, dass die Bestimmung der Vollständigkeitsmagnitude kritisch ist und in der Zukunft verbessert werden sollte.

Abstract

California accounts for more than one half of the entire U.S. annual earthquake risk of \$4.4 billion. A necessary step in the mitigation of this risk is the continued development of seismic hazard mapping techniques. Using an established aftershock forecasting model based on earthquake clustering and two fundamental laws in seismology (the Gutenberg-Richter relationship and the modified Omori law) I have developed a short term probabilistic seismic hazard mapping routine. The maps, exhibiting the probability of exceeding Modified Mercalli Index VI in the next 24 hours, are currently calculated every 30 minutes and are available on a United States Geological Survey web site. Using a multimodel approach based on the Akaike Information Criterion, I allow for three levels of complexity in the calculations: a generic California model; an isotropic model based on an overall aftershock sequence; and a model including spatial heterogeneities within an aftershock sequence.

After large mainshocks (\gtrsim Magnitude 6) sufficient aftershocks are generally available to map differences in aftershock productivity, decay rate and frequency-magnitude distribution. I have investigated these differences in four large California aftershock sequences and one from Alaska. The ability to obtain results is clearly dependent on data quality. While quality is variable throughout the sequences, heterogeneities large enough to effect the subsequent hazard calculations appear to be common. I have demonstrated that by including these spatial variations the forecasting ability of our seismicity based model can be significantly improved. Regions, such as the northern end of the 1999 M_w 7.1 Hector Mine, California aftershock zone that produced anomalous numbers of large aftershocks clearly represent a larger hazard than regions producing only smaller aftershocks. Further extending these ideas, I have examined the change in frequency-magnitude distribution

in depth for all of California. A clear and significant trend of a decrease with depth was observed.

To validate the model as well as to investigate and improve its overall performance, I have tested the earthquake forecasts using various statistical tests; a necessary step before the acceptance and implementation of any forecasting routine. Using likelihood based testing I have shown that standard long term hazard maps, the generic California model and the isotropic model can be rejected with a 5% significance when compared to the added complexity of including spatial variations. Additionally, and as expected, I have shown that probabilistic seismic hazard mapping still has a long way to go before it can be described as consistent with the data; even though our model significantly outperforms less complex models, it can still be rejected over the long term when compared to observed earthquakes. Using these same statistical testing procedures, I have examined assumptions made in the model. Unfortunately, due to computational expense the results were largely inconclusive. However, observations include that in the initial months of an aftershock sequence, including spatial variability on a local scale (10km) performs better than smoothing over a larger region and the use of moving time windows in estimating seismicity parameters may be provide more accurate forecasts that using a time period of the entire aftershock sequence. I have also discovered how weaknesses in the magnitude of completeness estimation and aftershock zone definition can be improved for future implementations.