

Earthquake statistics and likelihood model testing in California

Doctoral Thesis

Author(s):

Schorlemmer, Danijel

Publication date:

2004

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004937819>

Rights / license:

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

Diss. ETH No. 15741

Earthquake Statistics and Likelihood Model Testing in California

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

for the degree of

DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

DANIJEL SCHORLEMMER

Diploma of Geophysics (Dipl. Geophys.)

Technical University Berlin

born November 23, 1969

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Domenico Giardini, examiner

Dr. Stefan Wiemer, co-examiner

Prof. Dr. David D. Jackson, co-examiner

Prof. Dr. Max Wyss, co-examiner

Zürich, 2004

Kapitel 1

Zusammenfassung

In dieser Arbeit entwickle ich neue statistische Methoden, mit denen mehr Information aus Erdbebenkatalogen gewonnen werden können. Ein wichtiger Parameter der Erdbebenstatistik ist der b -Wert der Magnituden-Häufigkeitsverteilung $\log N = a - bM$. Räumliche sowie zeitliche Variationen sind vielfach dokumentiert, obwohl für Bestimmungen von b -Werten Kataloge von hoher Qualität benötigt werden. Ich führe Methoden ein, mit denen verlässlich b -Wert-Anomalien und deren Signifikanz in Regionen mit niedriger seismischer Aktivität bestimmt werden können. Dies wird exemplarisch an der Subduktionszone im Tyrrenischen Meer vorgestellt.

Trotz vielfältiger Messungen von Variationen des b -Wertes, bleibt deren physikalische Ursache unklar. Experimente mit akustischen Emissionen und Mikroerdbeben in Bergwerken haben deutlich einen Zusammenhang zwischen b -Werten und Spannungen aufgezeigt. b -Werte als Funktion der Dislokationsrichtung, bestimmt aus den Herdmechanismen der Erdbeben, zeigt eine deutliche Abhängigkeit: Abschiebungsbeben haben hohe, Überschiebungsbeben niedrige und Horizontalverschiebungsbeben durchschnittliche b -Werte. Da diese drei Klassen von Erdbeben verschiedene Spannungsregime repräsentieren und weil die fünf verwendeten Erdbebenkataloge den gesamten Magnitudenbereich regionaler und globaler Kataloge umfassen, beweist diese Studie, daß Spannungen einen großen Beitrag zu verschiedenen b -Werten liefern.

Die Abhängigkeit des b -Wertes von Spannungen wird in einem statistischen Seismizitätsmodell (H^1) ausgeschöpft. Dieses Modell extrapoliert die zukünftige Seismizität aus den räumlich unterschiedlichen Magnituden-Häufigkeitsverteilungen. Hierbei nehme ich an, daß räumlich variierende b -Werte wichtige Informationen über zukünftiges Erdbebenaufreten enthalten. Der erste Schritt, um diese Hypothese zu beweisen, ist eine Überprüfung der Stationarität von b -Werten. Als Testregion habe ich das Parkfield Segment der San Andreas Verwerfung gewählt, da qualitativ hochwertige Katalogdaten verfügbar sind und es bereits intensiv durch verschiedene geophysikalische Verfahren untersucht worden ist. Für einen Querschnitt entlang der Verwerfung zeige ich, daß die b -Werte zum überwiegenden Teil und über drei Jahrzehnte stationär sind. Der zweite Schritt umfaßt einen rigorosen Likelihood-Test dieses Modells gegen ein alternatives Modell (H^0), das zukünftige Seismizität mittels Extrapolation räumlich variierender a -Werte bestimmt. Bei diesem Modell wird allerdings ein konstanter b -Wert angenommen, der dem Mittelwert der gewählten Region ($b \approx 0.9$) entspricht. Ausführliche Tests, in denen die Lern- und Beobachtungsperiode sowie die b -Wertbestimmungsparameter variiert werden, zeigen die höhere Prognosequalität des Modells H^1 . Das Modell H^0 kann für die meisten Parameterkombinationen zu Gunsten des Modells H^1 für das gegebene Signifikanzniveau von 0.05 verworfen werden.

Diese Testmethode wird zu einer vollständigen Testsuite weiterentwickelt und umfaßt verschiedene Aspekte von Likelihood-Tests für Erdbeben: Dazu gehören Tests zur Datenkonsistenz als auch Tests, die die räumliche Prognosequalität zwischen Modellen vergleichend bewerten. Diese Suite wird in Kalifornien im Rahmen des RELM-Projektes (Regional Earthquake Likelihood Models) verwendet, um die Prognosefähigkeiten verschiedenster quasi-stationärer und vollumfänglich zeitabhängiger Modelle zu evaluieren. Mein Modell H^1 wird hierbei auch während einer fünfjährigen Testperiode (2005-2010) gegen zukünftiges Erdbebenaufreten getestet.

Chapter 2

Abstract

I develop advanced statistical methods to extract more information from earthquake catalogs. One important parameter of earthquake statistics is the b -value in the frequency-magnitude distribution $\log N = a - bM$. Its spatial and temporal variations have been established in numerous publications, however, computing b -values requires high quality datasets. Here I introduce a number of methods for estimating the significance of b -value anomalies for low seismicity regions, exemplarily shown for the subducting slab in the Tyrrhenian Sea.

Although variations in b have been observed, their physical causes still remain unclear. Acoustic emission experiments and microearthquakes in mines show a clear stress dependence of the b -value. b -values as a function of the rake angles of earthquake focal mechanisms show a clear dependence: Normal events exhibit high b -values, thrust events low b -values, and strike-slip events intermediate ones. Because the three classes of events are representing different stress regimes and because the investigated five earthquake catalogs span the entire magnitude range of instrumental data for regional and global catalogs ($M2 - M8$), this study establishes that stress is the major contributor to different size distributions of earthquakes.

The dependence of b on stress is exploited in a statistical seismicity model (H^1) describing future seismicity by extrapolating the spatially varying fre-

quency-magnitude distributions in time and magnitude. I assume that spatially varying b -values contain important information about future earthquake occurrence. The first step in evaluating this hypothesis is establishing the stationarity of b -values. As a test region, I investigate the Parkfield segment of the San Andreas fault in California. Parkfield is chosen because it has been extensively studied with other geophysical techniques and possess a high quality earthquake catalog data. I show that b -values, mapped in cross-section, remain mostly stationary for about three decades (1969–2003). In a second step, a rigorous likelihood test of this model against an alternative model (H^0), which extrapolates future seismicity using also spatially varying a -values but a constant regional b -value ($b \approx 0.9$), is performed. Extensive testing, for varying learning and observation periods of the models as well as for varying parameters for b -value computation, show the superior performance of model H^1 . For most parameter selections, H^0 can be rejected in favor of H^1 at the given significance level of 0.05.

This testing method is further developed into a full testing suite covering different aspects of earthquake likelihood model testing: Data-consistency as well as spatial comparative performance tests. It will be used in the RELM (Regional Earthquake Likelihood Models) framework, evaluating the forecasting capabilities of a variety of quasi-stationary and fully time-dependent models for California. My model H^1 will also be tested in a prospective sense during a testing period of 5 years (2005-2010).