

Werk

Jahr: 1939

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:15

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0015

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0015

LOG Id: LOG_0057

LOG Titel: Zur Frage der regionalen Verkoppelung von Erdbeben II

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Versuch kann ja ohnehin nur ausgeführt werden in einem Raum ziemlich konstanter Temperatur und wurde deshalb aufgegeben, weil wir in solchen Räumen stets künstlich gestörte Werte von dq/dz vorfinden müssen. Der Wert von dq/dz wird wahrscheinlich schwanken zwischen 0 und etwa 0.6 mgal/m. Man wird jedenfalls rohe Werte wohl erhalten können, wenn man das Eötvössche Prinzip verwendet und den Stab mit den beiden kleinen Gewichten an einen horizontalen Faden aufhängt, dessen Torsion zur Messung benutzt wird.

Zur genauen Bestimmung des Schwerpunktes der störenden Massen würden wir freilich nicht dq/dz , sondern d^2q/dz^2 brauchen; aber auch die Messung von dq/dz wird bereits einen Vorteil für die Lagerstättenforschung bedeuten.

Zur Frage der regionalen Verkoppelung von Erdbeben II

Von E. Tams, Hamburg. — (Mit 2 Abbildungen)

Dem in der Überschrift genannten Problem wird nach einer früheren Untersuchung des Verfassers darüber auf Grund der Daten über die gefühlten Beben in Bosnien und der Herzegowina (1896 bis 1912) wie über die zerstörenden Erdbeben in Italien (1700 bis 1929) weiter nachgegangen. Nach Darlegung und Erörterung des Häufigkeitsganges bei verschiedener Auslese des Materials wird insbesondere auch die wahrscheinlichkeitstheoretische Formel von Poisson angewandt und das mittlere Schwankungsquadrat ermittelt und diskutiert. In den Ergebnissen dürfte eine Bestätigung der Auffassung von einer vielfach vorhandenen regionalen Verkoppelung von Erdbeben zu sehen sein. Bezüglich der italienischen Erdbeben wurden schließlich auch wieder einige bezeichnende Einzelfälle besprochen, welche eine solche Ansicht unmittelbar nahelegen.

1. In einer im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift veröffentlichten Arbeit [5] hatten wir u. a. auf Grund von Beispielen aus *Island*, *Österreich* und den *Philippinen* dargetan, daß in Regionen, welche in seismotektonischer Beziehung einen wesentlich gleichartigen Charakter tragen, auch an sich als selbständig erscheinende Beben bei räumlichen Abständen bis zu mehreren 100 km und zeitlichen Abständen bis zu gut 1 Jahr sehr wohl ursächlich miteinander verknüpft gewesen sein können, indem sie die Auswirkungen eines einheitlichen, ein größeres Gebiet umspannenden endogenen Vorgangs waren. Wir hatten diesen Nachweis sowohl für schwächere Beben (Österreich, nicht stärker als VII⁰ Mercalli-Cancani) als auch für stärkere Beben (Philippinen, VIII bis XII⁰ Mercalli-Cancani) zu erbringen gesucht. Jetzt stellen wir uns die Aufgabe, für beide Stärkeklassen von Erdbeben dieser Frage einer regionalen Verkoppelung noch eingehender statistisch und vor allem auch, wie es E. Wanner [6] nach den Daten des International Seismological Summary für die Erdbeben der ganzen Erde in den Jahren 1925 bis 1930 getan hat, nach wahrscheinlichkeitstheoretischen Prinzipien nachzugehen. Als Unterlagen wählen wir nunmehr die sehr sorgfältigen durch 17 Jahre für 1896 bis 1912 veröffentlichten Übersichten über die in den ehemaligen Gebieten von

Bosnien und der Herzegowina gefühlten Erdbeben [1] bzw. die Reihe der zerstörenden Erdbeben in Italien, während der 230 Jahre von 1700 bis 1929, wie sie einem von A. Cavasino [2] zusammengestellten Katalog über die zerstörenden Beben im Mittelmeerbecken von 1501 bis 1929 zu entnehmen ist.

2. In Bosnien und der Herzegowina fanden bei einer Flächenausdehnung von rund 51 000 qkm (Bayern ohne Rheinpfalz rund 70 000 qkm) von 1896 bis 1912 insgesamt 569 Einzelbeben statt, welche keinen kleineren zeitlichen Abstand als einen halben Tag (d. h. 12 Stunden) voneinander hatten. Nur gelegentlich wurde zunächst auch bei einer größeren Zeitdifferenz bis zu 24 Stunden von vornherein das zweite Beben nicht mitgezählt, wenn dasselbe offenkundig ein eigentliches Nachbeben war. Es handelt sich hier ausschließlich um makroseismische Daten,

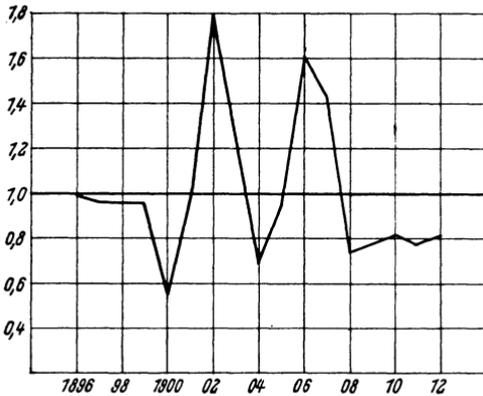


Fig. 1. Häufigkeit der Erdbeben in Bosnien und der Herzegowina nach Jahren. (Tabelle 1, Kolumne a; das Jahresmittel des ganzen Zeitraums 33.5 ist gleich 1 gesetzt)

verteilt. Nur in drei Fällen lagen Ausstrahlungen von bedeutenderen Beben außerhalb der Grenzen des betrachteten Gebietes vor, so von einem Erdbeben bei Skutari am 1. Juni 1905 und von Beben im Kulpatal (Kroatien) am 8. und 10. Oktober 1909. Im Jahresdurchschnitt traten 33.5 Beben auf oder rund 1 Beben alle 11 Tage.

Stellt man nun den Gang der jährlichen Häufigkeit graphisch dar (Fig. 1 und Tabelle 1, Kolumne a), so fällt unmittelbar auf, daß in den ersten 4 Jahren von 1896 bis 1899 eine praktisch gleichmäßige Frequenz, die im ganzen mit jährlich 32.3 Beben nur um ein geringes unter dem Gesamtmittel liegt, statthat, dann bis 1908 beträchtliche Schwankungen bei einem deutlich über dem Gesamtdurchschnitt gelegenen Jahresmittel im Betrage von 38.6 Beben für die 8 Jahre von 1900 bis 1907 folgen und schließlich die Bebenätigkeit wieder einen gleichmäßigen Verlauf annimmt, wobei sich nun aber (von 1908 bis 1912) das Jahresmittel mit 26.2 Beben merklich unter dem totalen Durchschnitt befindet. Mit anderen Worten:

die indessen bei gutem Beobachtungsnetz, welches hier vorlag, eher vollständig sein können, als seismometrisch gewonnene Daten, da zur Erreichung von Lückenlosigkeit auch für letztere ein dichtes Stationsnetz mit hochempfindlichen Apparaten erforderlich ist, wie es bisher kaum oder doch nur wenig vorhanden sein dürfte. In 24 Fällen wurde die Intensität VI⁰ und VI bis VII⁰, sowie in je zwei Fällen die Intensität VII⁰ bzw. VII bis VIII⁰ Mercalli-Cancani erreicht. Die Störungsherde sind, wenn auch nicht gleichmäßig und im einzelnen von verschiedener Bedeutung, wesentlich über das ganze Gebiet

nach einer zunächst konstant bleibenden normalen seismischen Regsamkeit in zwei klaren Häufigkeitswellen, die durch eine Entspannung eingeleitet und abgeschlossen werden, im ganzen eine ausgesprochen stärkere Entfaltung der endogenen

Tabelle 1. Häufigkeit der Erdbeben in Bosnien und der Herzegowina in dem 17jährigen Zeitraum von 1896 bis 1912 nach Jahren

Jahr	a	b	Jahr	a	b	Jahr	a	b
1896	33	26	1902	60	35	1908	25	19
1897	32	20	1903	41	26	1909	26	18
1898	32	18	1904	23	21	1910	27	23
1899	32	19	1905	32	19	1911	26	20
1900	18	15	1906	54	37	1912	27	23
1901	33	25	1907	48	27	Summe	569	391

a) Anzahl der Beben mit zeitlichen Abständen nicht kleiner als 12 Stunden und unter Ausschluß eigentlicher Nachstöße innerhalb von 24 Stunden.

b) Anzahl der Beben unter Ausschluß aller derjenigen, die innerhalb von dreimal 24 Stunden auf ein anderes Beben gefolgt sind.

Aktivität und sodann wiederum eine wesentlich gleichmäßige, doch entschieden unternormale Äußerung derselben. *Diese Verhältnissa, bei denen bereits unzweifelbare Nachstöße innerhalb von 24 Stunden eliminiert sind, lassen zweifellos auf Gruppenbildung, d. h. auf zeitweise vorhandene Abhängigkeit aufeinander folgender Beben schließen.* Das Bild bleibt aber bis auf den Anfang in der Hauptsache selbst dann dasselbe, wenn man einmal die 178 Beben ausschließt, welche innerhalb von 3 Tagen (d. h. dreimal 24 Stunden) nach einem anderen Beben stattfanden. Insbesondere bestehen die beiden starken Maxima in den Jahren 1902 und 1906 weiter fort (Fig. 2 und Tabelle 1, Kolumne b). Auch jetzt dürfte noch Gruppenbildung vorliegen. Bei einem Gesamtmittel von jährlich 23.0 Beben liegt das Mittel in den ersten 4 Jahren bei 20.8, in den darauf folgenden 8 Jahren mit wieder zwei deutlichen Wellen bei 25.6 und in den abschließenden 5 Jahren bei 20.6.

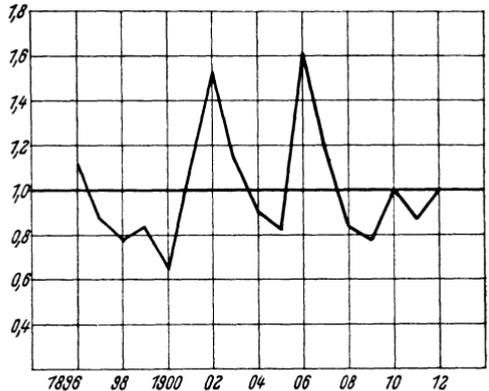


Fig. 2. Häufigkeit der Erdbeben in Bosnien und der Herzegowina nach Jahren. (Tabelle 1, Kolumne b; das Jahresmittel des ganzen Zeitraums 23.0 ist gleich 1 gesetzt)

Recht überzeugend tritt die Tatsache einer zeitweiligen Steigerung der Beben-tätigkeit noch bei der folgenden einfachen, aber detaillierteren Betrachtungsweise auf. Teilt man den ganzen siebzehnjährigen Zeitraum unter Fortlassung der letzten 9 Tage, welche übrigens bebenfrei waren, in 100-Tage-Abschnitte ein, so erhält man genau 62 solcher Abschnitte. Dann fallen zwar auf die erste und zweite Hälfte

von je 3100 Tagen praktisch gleich viele Beben, nämlich 292 und 277, doch gehören davon den ersten und letzten 16 Abschnitten von je 1600 Tagen nur 131 bzw. 121 Beben an, während auf die beiden mittleren Zeiträume von nur je 15 Abschnitten oder je 1500 Tagen 161 bzw. 156 Beben kommen. Bei im großen gleichmäßiger Verteilung wären in den einleitenden und abschließenden je 16 Abschnitten insgesamt 294 Beben und in den mittleren 30 Abschnitten 275 Beben zu erwarten gewesen. Statt daß also in den mittleren 3000 Tagen 19 Beben weniger auftraten als in den übrigen 3200 Tagen ereigneten sich 65 Beben mehr; das ist ein Überschuß von 14.8 % der Gesamtzahl gegenüber der mittleren Frequenz. Schließt man *alle* Beben aus, die innerhalb von 24 Stunden auf ein anderes Beben gefolgt sind, so bleiben 510 Beben übrig, die sich wieder mit 260 und 250 recht gleichmäßig auf die erste und zweite Hälfte des ganzen Zeitraums verteilen. Doch behauptet sich für die mittleren 30 100-Tage-Abschnitte ein Mehr von 11.4 % gegenüber der durchschnittlichen Bebedichte in der Zeit. Und dieser Prozentsatz steigt wieder auf 13.2 %, wenn man alle diejenigen Beben unberücksichtigt läßt, welche innerhalb von *zweimal* 24 Stunden nach einem anderen Stoß eintraten. Die Gesamtsumme beträgt dann 441, wovon 219 der ersten Hälfte und 222 der zweiten Hälfte des Zeitraums zugehören. Elininiert man endlich alle Beben, die innerhalb von *dreimal* 24 Stunden nach einer anderen Erschütterung stattfanden, so sinkt zwar der Überschuß für den mittleren Zeitabschnitt von 3000 Tagen wieder, bleibt aber immer noch gut 10 % (10.7 %) gegenüber einer gleichmäßigen Verteilung. Von der Gesamtzahl der jetzt noch in Frage kommenden 391 Beben fallen 194 auf die ersten und 197 auf die zweiten 3100 Tage, indessen nur 86 und 95 Beben auf die einleitenden bzw. abschließenden je 16 Abschnitte, aber 108 und 102 Beben auf die beiden mittleren Gruppen von je 15 Abschnitten.

In entsprechender Weise kommen diese Verhältnisse natürlich im Gang der betreffenden Mittelwerte zum Ausdruck. So stellt sich z. B. im ersten Fall (569 Beben) das Mittel für 100 Tage im ganzen auf 9.2 Beben und für die aufeinanderfolgenden Gruppen von 16, 15, 15 und 16 100-Tage-Abschnitten auf 8.2 bzw. 10, 7, 10.4 und 7.6, und im letzten Fall (391 Beben) beläuft sich das Gesamtmittel auf 6.3, während die übrigen Mittelwerte 5.4 bzw. 7.2, 6.8 und 5.9 betragen. An der zeitweilig stärkeren seismischen Tätigkeit haben sowohl Bosnien wie die Herzegowina Anteil. *Die erörterte Sachlage ist demnach ein Hinweis darauf, daß das betrachtete Gebiet mehr oder weniger in seiner ganzen Ausdehnung gelegentlich in erhöhtem Maße endogenen Spannungen ausgesetzt ist, die es dann auch bei wechselnden räumlichen und zeitlichen Abständen sprunghaft häufiger zu Erdbeben kommen lassen. Diese Beben sind daher letztlich genetisch miteinander verknüpft.* Im einzelnen ist der Gang der Bebenhäufigkeit nach 100-Tage-Abschnitten naturgemäß verwickelter als derjenige nach Jahren und erscheint dem letzteren gegenüber auch zum Teil etwas verschoben, da die 100-Tage-Abschnitte mehrfach erheblich von einem Jahr ins andere übergreifen. Bei den im allgemeinen wesentlich kleineren Zahlen kommt ihm aber auch kein so großes Gewicht zu, weshalb wir von einer Wiedergabe absehen.

3. Einen guten Aufschluß über die Zufälligkeit im Auftreten von Erdbeben kann nun in unserem Falle nach einer gewissen Richtung auch die Anwendung strengerer wahrscheinlichkeitstheoretischer Kriterien gewähren. Hinsichtlich der zu benutzenden Formeln und ihrer Ableitung sei auf die Behandlung der Wahrscheinlichkeitsrechnung durch R. von Mises [3] hingewiesen.

Wir gingen nun auf 30-Tage-Abschnitte zurück und fragten, wie viele von diesen 207 Intervallen des ganzen 6209 Tage zählenden Zeitraums, von denen nur der letzte mit 29 Tagen 1 Tag weniger umfaßt, 0 oder 1 oder 2 usw. Beben aufweisen, und verglichen diese tatsächliche Verteilung mit der bei zufälligem Auftreten der Beben wahrscheinlichkeitstheoretisch zu erwartenden Verteilung. Wir führten diese Untersuchung für die bereits oben unterschiedenen vier Fälle durch, d. h. bei Berücksichtigung von 569 bzw. 510, 441 und 391 Erdbeben. Bedeutet e die Basis der natürlichen Logarithmen und d allgemein die jetzt auf 30 Tage berechnete Bebedichte, welche sich also in unseren Fällen auf $d_1 = 2.75$ bzw. $d_2 = 2.46$, $d_3 = 2.13$ und $d_4 = 1.89$ beziffert, so soll bei Zufälligkeit die Anzahl der Intervalle mit 0 Beben $q_0 = 207 \cdot e^{-d}$ und mit m Beben (m eine positive ganze, von 0 verschiedene Zahl) $q_m = 207 \cdot \frac{d^m \cdot e^{-d}}{m!}$ betragen. Die von dem

Faktor 207 befreiten Terme stellen die Wahrscheinlichkeit dafür dar, daß in einem Intervall 0 oder ... m Beben auftreten, die q_0, \dots, q_m geben demnach die „Erwartung“ für die betreffenden Intervalle an [Poissonsche Formel, deren Anwendung an die Voraussetzung gebunden ist, daß bei hinlänglich großer Gesamtzahl der Ereignisse (hier der Beben) d klein bleibt (seltene Ereignisse); siehe a. a. O., S. 146 ff]. Auszählung und Rechnung lieferten das in Tabelle 2 zusammengestellte Resultat.

Ein geeignetes Maß zur Gewinnung eines Urteils über den Grad der Übereinstimmung bzw. Abweichung zwischen Beobachtung und Rechnung ist das

Tabelle 2. Beobachtete und berechnete Anzahl der 30-Tage-Intervalle mit 0 bzw. 1, ... 10 Beben. (Bosnien und Herzegowina, 1896 bis 1912)

Anzahl der Beben	1. Fall: 569 Beben, $d_1 = 2.75$ Anzahl der Intervalle		2. Fall: 510 Beben, $d_2 = 2.46$ Anzahl der Intervalle		3. Fall: 441 Beben, $d_3 = 2.13$ Anzahl der Intervalle		4. Fall: 391 Beben, $d_4 = 1.89$ Anzahl der Intervalle	
	beobachtet	berechnet	beobachtet	berechnet	beobachtet	berechnet	beobachtet	berechnet
0	24	13.23	24	17.69	24	24.60	25	31.27
1	38	36.39	42	43.51	48	52.40	60	59.10
2	41	50.04	46	53.51	57	55.80	55	55.85
3	40	45.87	43	43.88	44	39.62	50	35.19
4	26	31.53	23	26.99	23	21.10	14	16.63
5	20	17.34	22	13.28	11	8.99	3	6.28
6	8	7.95	5	5.44	0	3.19	0	1.98
7	5	3.12	1	1.91	0	0.97	0	0.53
8	3	1.07	1	0.59	0	0.26	0	0.13
9	2	0.33	0	0.16	0	0.06	0	0.03
10	0	0.09	0	0.04	0	0.01	0	0.01
Summe	207.0 Intervalle 569 Beb. 568.9 Beb.		207.0 Intervalle 510 Beb. 509.1 Beb.		207.0 Intervalle 441 Beb. 440.9 Beb.		207.0 Intervalle 391 Beb. 391.3 Beb.	

mittlere Abweichungs- oder Schwankungsquadrat σ^2 (siehe a. a. O., S. 452ff). Bezeichnet wieder d die mittlere Bebedichte oder den Durchschnittswert der Häufigkeit je Intervall und ferner y_x die Anzahl der Intervalle mit x Beben, n die Gesamtzahl der Beben und N die Gesamtzahl der Intervalle, so ist

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum x y_x (x - d)^2.$$

Bei Voraussetzung der Unabhängigkeit oder Zufälligkeit im Auftreten der Beben, wie sie unseren Berechnungen zugrunde lag, ist, wie sich zeigen läßt, dies mittlere Schwankungsquadrat einfacher nach der Formel

$$\sigma^2 = \frac{n}{N^2} (N - 1)$$

zu berechnen, welche zugleich zeigt, daß der bei zufälliger Verteilung zu erwartende Wert von σ^2 , sagen wir $\mathfrak{E}(\sigma^2)$, bei hinlänglich großem N nur wenig von dem Durchschnittswert $d = \frac{n}{N}$ abweicht, denn $\mathfrak{E}(\sigma^2) = d \cdot \left(1 - \frac{1}{N}\right)$. Für die „Streuung“ von $\mathfrak{E}(\sigma^2)$ ergibt sich weiter die Formel

$$\text{Str}[\mathfrak{E}(\sigma^2)] = \frac{2n^3}{N^4} (N - 1) \left(1 - \frac{1}{n}\right),$$

so daß die „wahrscheinlichen Grenzen“, innerhalb welcher σ^2 zu erwarten ist,

$$\frac{n}{N^2} \left[N - 1 \pm 0.674 \sqrt{2(N - 1) \left(1 - \frac{1}{n}\right)} \right]$$

sind. In Tabelle 3 ist für die vier verschiedenen Fälle der wirkliche und der zu erwartende Wert des mittleren Schwankungsquadrats eingetragen und zu letzterem Betrag auch die wahrscheinliche Dispersion hinzugefügt.

Tabelle 3. Mittleres Schwankungsquadrat σ^2
(Bosnien und Herzegowina, 1896 bis 1912)

1. Fall:		2. Fall:		3. Fall:		4. Fall:	
Beobachtet	Berechnet [$\mathfrak{E}(\sigma^2)$]						
3.87	2.74 ± 0.18	2.74	2.45 ± 0.16	1.81	2.12 ± 0.14	1.40	1.88 ± 0.12

Im ersten Fall, wo nur diejenigen Beben nicht mitgezählt wurden, welche in einem zeitlichen Abstand kleiner als 12 Stunden auf ein anderes Beben folgten und außerdem noch eigentliche Nachstöße innerhalb von 24 Stunden unberücksichtigt blieben, liegt zweifellos auch bei den übrigen Beben keine volle Unabhängigkeit vor. Der wirkliche Wert von σ^2 weicht erheblich von $\mathfrak{E}(\sigma^2)$ bei unabhängigem Auftreten der Einzelbeben ab. Am nächsten kommen beide Werte einander im zweiten und dritten Fall, wo also *alle* Beben, die sich innerhalb von 24 bzw. 48 Stunden nach einem ersten Beben einstellten, ausgeschaltet wurden. Setzen wir die Dispersion des Erwartungswertes von σ^2 mit in Rechnung, so bleibt

nur noch eine geringe Differenz, nämlich 0.13 bzw. 0.17, übrig. Etwas größer aber wird der Unterschied zwischen dem wirklichen Wert von σ^2 und $\mathfrak{E}(\sigma^2)$ wieder im letzten Fall, wo nur die Beben gezählt wurden, deren zeitlicher Abstand voneinander größer als dreimal 24 Stunden war. Wenn im dritten und mehr noch im vierten Fall der beobachtete Wert von σ^2 *kleiner* als $\mathfrak{E}(\sigma^2)$ ist, so spricht das grundsätzlich ebenso sehr gegen eine zufällige Verteilung als wenn er größer ist. Je kleiner das wirkliche σ^2 ist, um so mehr müssen sich nach der obigen Formel die Differenzen $x - d$ der Null nähern, d. h. um so mehr muß eine gleichmäßige, also eben keine zufällige Verteilung vorliegen. Zieht man ferner in Betracht, daß das hier angewandte wahrscheinlichkeitstheoretische Verfahren allein darüber Auskunft gibt, wie viele Intervalle z. B. auch mit höherer Bebenzahl bei zufälliger Verteilung vorkommen können, ohne Berücksichtigung des Umstandes, wie dieselben aufeinander folgen, so *möchten wir* in Ansehung der Feststellungen und Überlegungen im zweiten Abschnitt dieser Arbeit wie der mehrfach in der ersten Untersuchung aus anderen Gegenden aufgezeigten Einzelfälle einer wahrscheinlichen regionalen Verkoppelung für das nunmehr herangezogene Gebiet von Bosnien und der Herzegowina eine Unabhängigkeit der Einzelbeben auch bei Eliminierung von Nachstößen im weiteren Sinne als nicht durchweg vorhanden annehmen.

4. Wenden wir uns nun den zerstörenden Beben in Italien (IX und X^o Mercalli, gleich IX bis XII^o Mercalli-Cancani) zu, so dürfte die von Cavasino [2] zusammengestellte Liste derselben seit etwa 1700 wohl im wesentlichen vollständig sein. Während von 1501 bis 1600 und von 1601 bis 1699 nur 30 bzw. 37 Beben angeführt werden konnten, beziffert sich ihre Anzahl für die 100 Jahre von 1700 bis 1799 und für die 130 Jahre von 1800 bis 1929 auf 57 bzw. 64 Beben. In den 23 Dezennien von 1700 bis 1929 fanden demnach 121 Beben statt (wobei aber auch Erdbeben vulkanischen Ursprungs mitgezählt worden sind), je Dezennium also 5.26 Beben. Ihre Verteilung auf die einzelnen Dezennien ist aus der mit a bezeichneten Reihe in Tabelle 4 ersichtlich. In der b-Reihe dieser Tabelle sind

Tabelle 4

Häufigkeit der zerstörenden Erdbeben in Italien von 1700 bis 1929 nach Dezennien

	1700 bis 1709	1710 bis 1719	1720 bis 1729	1730 bis 1739	1740 bis 1749	1750 bis 1759	1760 bis 1769	1770 bis 1779	1780 bis 1789	1790 bis 1799	1800 bis 1809	1810 bis 1819
Reihe a	6	5	3	5	6	3	6	0	16	7	4	2
Reihe b	4	5	2	5	6	3	6	0	7	6	4	2
	1820 bis 1829	1830 bis 1839	1840 bis 1849	1850 bis 1859	1860 bis 1869	1870 bis 1879	1880 bis 1889	1890 bis 1899	1900 bis 1909	1910 bis 1919	1920 bis 1929	Gesamt- summe
Reihe a	5	11	2	7	1	7	4	5	6	8	2	121
Reihe b	5	10	2	7	1	7	4	4	6	7	2	105

dagegen alle diejenigen Beben unberücksichtigt geblieben, welche innerhalb von rund 6 Monaten auf ein anderes Beben folgten, wenn die Epizentralgebiete um nicht mehr als rund 100 km auseinanderlagen. Durch eine so weitgehende Auslese wollten wir in dem nun vorliegenden Falle nur zerstörender Stöße die Vor-

kommissionen denkbarer endogener Nachwirkung eines vorausgegangenen seismischen Ereignisses nach Möglichkeit ausschließen. Es fallen dadurch 16 Beben fort, so daß sich die mittlere Bebenhäufigkeit je Dezennium nun auf 4.57 stellt.

Halbieren wir den ganzen Zeitraum von 230 Jahren, so zeigt sich bei Berücksichtigung aller Beben (a-Reihe) praktisch Gleichheit in der Verteilung: auf die ersten $11\frac{1}{2}$ Dezennien von 1700 bis 1814 entfallen 61 Beben und auf die zweiten $11\frac{1}{2}$ Dezennien von 1815 bis 1929 60 Beben. (Die beiden Beben des 12. Dezenniums von 1810 bis 1819 fanden im zweiten Jahrfünft statt.) Eine solche Gleichmäßigkeit ist indessen in der b-Reihe deutlich nicht mehr vorhanden, indem der ersten und zweiten Hälfte des Zeitraums 48 bzw. 57 Beben zugehören. Diese Ungleichheit hat ihren Grund vor allem darin, daß unter den 16 Beben in dem Jahrzehnt von 1780 bis 1789 allein 6 schwere kalabrische Beben im Februar und März 1783 waren.

Halten wir uns zunächst an den Häufigkeitgang in der a-Reihe, in welcher wir zufolge ihrer Vollständigkeit einen besonders guten Maßstab für den Grad der endogenen Aktivität sehen dürfen, so fällt auf, daß das einzige Jahrzehnt, das keine zerstörenden Beben aufweist (1770 bis 1779), gerade dem Jahrzehnt größter Entfaltung seismischer Energie (1780 bis 1789) vorausgeht, so daß es den Anschein hat, daß die nach mehreren Jahrzehnten einer im wesentlichen mittleren Tätigkeit eingetretene Zeit der Ruhe zugleich doch wieder eine Zeit des allmählichen An sammelns von Spannungen war, welches dann nach langer Pause zu um so zahlreicheren und heftigeren Paroxysmen führte. In den folgenden 3 Jahrzehnten (bis 1819) ebbt sodann die Energie bis auf 2 Beben in 10 Jahren langsam wieder ab. Bemerkenswert ist wohl ferner, daß die beiden Dezennien 1840 bis 1849 und 1860 bis 1869 mit auch nur 2 bzw. 1 Beben eingerahmt sind von Dezennien mit der beachtlichen Aktivität von 11 bzw. 7 Beben, so daß diese Fälle ebenfalls als deutliche Beispiele einer abwechselnd statthabenden Anspannung und Entspannung der endogenen Kräfte gewertet werden können. Dem letzten hier berücksichtigten Dezennium 1920 bis 1929 mit wiederum nur 2 Beben geht des gleichen ein 10-Jahres-Abschnitt mit der relativ hohen Häufigkeit von 8 Beben voraus. In entsprechender, zum Teil aber natürlich gemildeter Weise spiegeln sich diese Verhältnisse in der b-Reihe wieder.

Eindringlich tritt im großen auch eine zeitweilig gruppenweise Anordnung der zerstörenden Erdbeben in Italien hervor, wenn wir die 220 Jahre von 1700 bis 1919 in 11 20-Jahres-Abschnitte unterteilen, wie es in Tabelle 5 geschehen ist. In den beiden Kolumnen neben den Häufigkeitszahlen, die wieder den Daten der a- und der b-Reihe in Tabelle 4 entsprechen, ist angegeben, ob die Häufigkeit dem am Fuß dieser Kolumnen angeführten Durchschnittswert entspricht (normal) oder darüber (+) bzw. darunter (—) liegt. So ist nun deutlich erkennbar, daß nach *beiden* Reihen die Abschnitte 4, 5, 6 und 7 abwechselnd eine besonders niedrige bzw. hohe Bebenzahl aufweisen; und dem letzten Abschnitt 11 mit hoher Bebenzahl folgen in beiden Fällen jedenfalls zunächst auch wieder 10 Jahre mit nur 2 Beben (in Tabelle 5 nicht mehr aufgenommen). Bei alleinigem Walten des Zu-

falls wäre wohl eine andere Verteilung dieser Vorkommnisse abnorm geringer und abnorm großer Häufigkeit auf die 11 Abschnitte zu erwarten gewesen. Es sei jedoch noch betont, daß wir natürlich nicht der Meinung sind, es beständen etwa zehnjährige oder zwanzigjährige Perioden im Auftreten der zerstörenden Erdbeben in Italien. Die in den Tabellen 4 und 5 zugrunde gelegte Zeiteinteilung wurde primär aus rein statistischen, nicht aus genetischen Gründen vorgenommen. *Die so erhaltenen Ergebnisse zeigen aber, daß es hinsichtlich der schweren seismischen Äußerungen der endogenen Energie einheitlich für ein ausgedehntes Gebiet von der Größe Italiens ein zeitweilig klar ausgeprägtes gesetzmäßiges Aufundab gibt.*

Tabelle 5. Häufigkeit der zerstörenden Erdbeben in Italien von 1700 bis 1919 nach 20-Jahres-Abschnitten

Laufende Nummer	Zeitabschnitt	Reihe a:		Reihe b:	
		Anzahl der Beben		Anzahl der Beben	
1	1700 bis 1719	11	normal	9	normal
2	1720 „ 1739	8	—	7	—
3	1740 „ 1759	9	—	9	normal
4	1760 „ 1779	6	—!	6	—!
5	1780 „ 1799	23	+!	13	+!
6	1800 „ 1819	6	—!	6	—!
7	1820 „ 1839	16	+!	15	+!
8	1840 „ 1859	9	—	9	normal
9	1860 „ 1879	8	—	8	—
10	1880 „ 1899	9	—	8	—
11	1900 „ 1919	14	+!	13	+!
1 bis 11	1700 „ 1919	119	In 20 Jahren 10.82 Beben	103	In 20 Jahren 9.36 Beben

5. Unterziehen wir wieder die im vorstehenden Abschnitt diskutierte Bebenverteilung einer Durchrechnung nach den wahrscheinlichkeitstheoretischen Prinzipien, welche wir bereits im 3. Abschnitt näher erörtert und angewandt haben, so erweist sich, um eine größere Anzahl von Intervallen zu erreichen, eine Aufteilung des ganzen 230jährigen Zeitraums in 5-Jahres-Abschnitte als zweckmäßig. Unter Zugrundelegung des Materials der a-Reihe ist dann unter Beibehaltung der weiter oben angeführten Bezeichnungsweise: $N = 46$, $n = 121$ und $d = 2.63$, während für die b-Reihe die Werte $N = 46$, $n = 105$ und $d = 2.28$ gelten. Die Anzahl der in beiden Fällen wirklich vorhandenen Intervalle mit 0 bzw. 1 oder 2 usw. Beben und die Anzahl dieser Intervalle, welche auf Grund der Poissonschen Formel bei Unabhängigkeit der einzelnen Beben voneinander zu erwarten gewesen wäre, ist Tabelle 6 zu entnehmen. Die unterste Zeile derselben enthält ferner abschließend das beobachtete und das bei zufälliger Verteilung zu erwartende mittlere Schwankungsquadrat σ^2 ; dem letzteren Wert, also $\mathcal{E}(\sigma^2)$, ist wieder der Betrag seiner wahrscheinlichen Dispersion hinzugefügt.

Man ersieht sogleich, daß bei Berücksichtigung aller der in dem Katalog von Cavasino für die Zeit von 1700 bis 1929 notierten zerstörenden Beben von Italien auch die Anwendung der Poissonschen Formel lehrt, daß eine volle Unabhängigkeit der Beben voneinander nicht besteht: der aus der Beobachtung

abzuleitende Wert 4.06 von σ^2 weicht von $\mathfrak{E}(\sigma^2)$ selbst bei Inbetrachtung der Dispersion noch um 1.13 ab. Ein solches Resultat entspricht jedenfalls dem Umstande, daß eigentliche Nachbeben nicht ausgeschaltet sind. Anders aber stellt sich das Ergebnis dar, wenn, wie ja in der b-Reihe geschehen, alle Beben eliminiert werden, die innerhalb von rund 6 Monaten auf ein anderes Beben folgten, falls ihre Epizentralgebiete nicht mehr als rund 100 km voneinander entfernt waren.

Tabelle 6. Beobachtete und berechnete Anzahl der 5-Jahres-Intervalle mit 0 bzw. 1, . . . 10 Beben und mittleres Schwankungsquadrat σ^2 (Italien, 1700 bis 1929)

Anzahl der Beben	Reihe a: 121 Beben, $d = 2.63$		Reihe b: 105 Beben, $d = 2.28$	
	Anzahl der Intervalle		Anzahl der Intervalle	
	beobachtet	berechnet	beobachtet	berechnet
0	5	3.32	5	4.71
1	10	8.72	11	10.73
2	13	11.47	13	12.23
3	4	10.05	7	9.29
4	5	6.61	5	5.30
5	5	3.48	3	2.42
6	2	1.52	2	0.92
7	1	0.57	0	0.30
8	0	0.19	0	0.09
9	1	0.06	0	0.02
10	0	0.01	0	0.00
Summe	46.0 Intervalle		46.0 Intervalle	
σ^2	121 Beben	120.9 Beben	105 Beben	104.9 Beben
	4.06	2.57 ± 0.36	2.46	2.23 ± 0.32

Nun liegt der Wert 2.46 des der Beobachtung entsprechenden mittleren Schwankungsquadrats σ^2 noch ganz innerhalb der wahrscheinlichen Grenzen von $\mathfrak{E}(\sigma^2)$. Dennoch aber möchten wir auch jetzt auf Grund der eingeschränkten Bedeutung der Poissonschen Formel (siehe am Ende des 3. Abschnitts) und nach der im 4. Abschnitt durchgeführten Diskussion der Daten der b-Reihe eine durchgehende Unabhängigkeit der Einzelereignisse voneinander nicht annehmen. Vergleiche ferner die Betrachtungen im folgenden letzten Abschnitt.

6. Zum Schluß seien noch, ähnlich dem Verfahren, das wir in unserer ersten Veröffentlichung über diese Frage [5] einschlugen, einige markante Einzelfälle unter den zerstörenden italienischen Beben herausgegriffen, welche die Annahme einer Verkoppelung über größere Entfernungen und größere Zeiträume hinweg nahelegen. Hingewiesen sei bei dieser Gelegenheit auch auf eine frühere Arbeit von A. Riccò [4] über die Epizentren der zerstörenden Erdbeben in den Apenninen, welche zwar hinsichtlich der Untersuchung ihrer Lage und Regsamkeit eine etwas andere Zielsetzung hatte als unsere Studie, aber zu dieser eine gute Ergänzung abgibt.

Ein deutliches *Wandern des Epizentrums* liegt bei den Beben im Anfang des Jahres 1708 vor, wo in den zentralen Apenninen auf zwei Beben von X⁰ Mercalli am 14. und 16. Januar mit einem Epizentralgebiet zwischen Norcia und Leonessa in 17 Tagen Abstand am 2. Februar ein anderes Beben von X⁰ Mercalli folgte, dessen

Epizentrum nur etwa 50 km weiter südöstlich bei Aquila gelegen war. Und Entsprechendes gilt von drei Beben des Jahres 1781. Zwischen zwei Beben von IX⁰ Mercalli am 4. April und 17. Juli in Faentino und Forlivese schob sich am 8. Juni ein Beben von X⁰ Mercalli mit einem Epizentrum am Monte Nerone in den Marken; die Entfernung Forli-Monte Nerone beträgt gut 80 km.

Ganz eng, in der Art der Verbindung zwischen Hauptstoß und Nachstößen, war zum Teil die Verknüpfung bei den sechs schweren kalabrischen Beben (X⁰ Mercalli) vom 5., 6., 7. Februar und 1. und 28. März 1783, die im wesentlichen den südlichen Teil von Kalabrien betrafen. Aber auch hier verlagerte sich das Epizentrum beträchtlich. Während die Epizentralregion des ersten Stoßes am 5. Februar zwischen Bagnara und Gioia lag, hatte sich u. a. der Herd des vierten Stoßes am 7. Februar um rund 30 km südwestlich nach Messina verschoben; und das pleistoseiste Gebiet des sechsten Stoßes am 28. März lag in der Gegend von Borgia und Girifalco, gut 100 km nordöstlich von Messina.

Auffallend ist der Umstand, daß nach den Angaben im Katalog im Jahre 1854 ein Beben in der Provinz Perugia (Gegend von Bastia und Spello, IX⁰ Mercalli) und ein Beben in der Provinz Cosenza mit einer Epizentralzone in der Ebene von Crati und Rende (X⁰ Mercalli) am gleichen Tage (12. Februar) stattfanden. Die Entfernung zwischen beiden Schüttergebieten beläuft sich auf rund 500 km. Ob eine ursächliche Verbindung zwischen beiden Ereignissen bestand, bleibe dahingestellt.

Aus der neueren Zeit erscheinen uns zwei Fälle von besonderem Interesse. Die drei Beben in Kalabrien und auf Sizilien von X⁰ Mercalli am 8. September 1905 mit der Hauptschütterzone an der tyrrhenischen Küste bei Monteleone, am 23. Oktober 1907 auf der ionischen Seite bei Ferruzzano, gut 70 km südlich von Monteleone, und am 28. Dezember 1908 mit dem Epizentrum in der Straße von Messina, etwa 70 km südwestlich von Monteleone und gut 40 km westnordwestlich von Ferruzzano, sind auf italienischem Boden durch keine anderen Beben von IX oder X⁰ Mercalli voneinander getrennt. Das letzte zerstörende Beben vorher fand hier mit IX⁰ Mercalli am 24. Februar 1904 in der Provinz Aquila (Abruzzen) und das erste schwere Beben nachher ebenfalls mit IX⁰ Mercalli am 25. August 1909 in der Provinz Siena (Toskana) statt. Außerhalb der Apenninen-Halbinsel ereigneten sich während dieser Zeit in größerer Nähe Beben der Stärkegrade IX und X⁰ Mercalli nur in Albanien und zwar im Juni und Juli 1905, im März und September 1906, sowie im August 1907. *Man gewinnt daher die Vorstellung, daß sich während der Jahre 1905 bis 1908 im Bereich der italienischen Halbinsel die endogene Energie wesentlich auf deren südlichsten Teil, nämlich Kalabrien, konzentrierte, um hier dann paroxysmenartig in zeitlichen Abständen von großenordnungsmäßig 1 bis 2 Jahren räumlich sprunghaft zur Auswirkung zu kommen. Bei dieser Auffassung stehen dann naturgemäß die drei genannten Beben in einer gewissen Abhängigkeit voneinander.*

Analoges dürfte endlich auch für drei Beben der Jahre 1919 bis 1920 in den nordwestlichen Apenninen Gültigkeit haben, welche mit IX⁰ Mercalli am 29. Juni

1919 in der Provinz Florenz (Epizentrum bei Vicchio), am 10. September 1919 in der Provinz Siena (Epizentrum bei Piancastagnaio) und am 7. September 1920 in der Provinz Massa-Carrara (Epizentrum bei Fivizzano) stattfanden. Auch zwischen diesen Beben ereigneten sich innerhalb Italiens keine anderen Stöße von IX oder X⁰ Mercalli. Bei zeitlichen Zwischenräumen von rund 2¹/₂ bis 12 Monaten betragen hier die Entfernungen Vicchio-Siena rund 70 km und Siena-Fivizzano gut 140 km.

Literatur

[1] Zusammenstellung der im Jahre 1896, 1897, . . . 1912 in Bosnien und der Herzegowina stattgefundenen Erdbebenbeobachtungen. Aus den „Ergebnissen der meteorologischen Beobachtungen an den Landesstationen in Bosnien und der Herzegowina im Jahre 1896, 1897, . . . 1912. Wien und Sarajevo.

[2] A. Cavasino: Catalogo dei terremoti disastrosi avvertiti nel Bacino del Mediterraneo dal 1501 al 1929. R. Acc. Naz. dei Lincei, Pubbl. della Com. Ital. per lo studio delle Grandi Calamità Vol. II, Roma 1931, S. 37—60; und *Derselbe*, Note sul Catalogo dei terremoti distruttivi dal 1501 al 1929 etc. Ebenda S. 29—36.

[3] R. v. Mises: Vorlesungen aus dem Gebiete der angewandten Mathematik. Bd. I, Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung in der Statistik und theoretischen Physik. Leipzig und Wien 1931.

[4] A. Riccò: Epicentri dei terremoti disastrosi dell' Appennino e suoi prolungamenti. Boll. Soc. Sism. Ital. XIX, 35—47 (1915).

[5] E. Tams: Zur Frage der regionalen Verkoppelung von Erdbeben. Zeitschr. f. Geophys. 14, 241—259 (1938).

[6] E. Wanner: Zur Statistik der Erdbeben. I. Gerlands Beitr. z. Geophys. 50, 85—99 (1937).

Hamburg, Hauptstation für Erdbebenforschung.

Zur Frage

Schwingweg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsmesser*)

Von **H. Martin**, Jena. — (Mit 6 Abbildungen)

An einigen Beispielen wird gezeigt, mit welchen Fehlern man bei nichtsinusförmigen Bodenbewegungen zu rechnen hat, wenn man aus einer Schwingwegmessenkurve die Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerte berechnet oder wenn man aus einer Beschleunigungsmesseraufzeichnung die Schwingweg- und Geschwindigkeitswerte ermitteln will.

In einer früheren Arbeit [1] habe ich darauf hingewiesen, daß zu einer einwandfreien Beurteilung einer stoßähnlichen Erschütterung und damit einer nicht sinusförmigen Bewegung die gleichzeitigen Aufzeichnungen von einem Schwingweg- und einem Beschleunigungsmesser vorhanden sein müssen. In einer späteren

*) Teilweise vorgetragen auf der Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft in Jena am 20. Oktober 1938.