
Zur Erdgebenauslösung durch Gezeitenkräfte

G. Duma und B. Meurers

ZAfMuG, U Wien

1. Einleitung

Die zeitliche Aufeinanderfolge von Beben ist im 20. Jahrhundert Gegenstand vieler Untersuchungen, nicht zuletzt zum Zweck von Risikoanalysen und Erdbeben-Vorhersagen. Eine umfangreiche Abhandlung darüber liefert schon CONRAD (1932). TOPERCZER und TRAPP (1950) stellen ein ausgeprägtes Maximum der Erdbebenhäufigkeit in den Morgenstunden (Lokalzeit) fest. Dieses Phänomen bearbeiten auch TAMS (1926), SHIMSONI (1971) und KNOPOFF und GARDNER (1972) und ziehen auch die Auslösung von Erdbeben durch meteorologische Einflüsse in Betracht. Arbeiten, welche zum Teil positive Resultate bezüglich der Triggerung durch Gezeiten aufweisen, sind: ALLEN (1936), DIX (1964), SHLIEN (1972), HEATON (1975), KLEIN (1976) YOUNG, ZÜRN (1979). Keine signifikanten Ergebnisse erhielt z.B. KNOPOFF (1964). Erfolgreicher scheinen Untersuchungen über den Zusammenhang von Vulkanausbrüchen und Gezeiten zu sein: MAUK, JOHNSTON (1973), MAUK, KIENLE (1973).

Die Resultate über die Bebenauslösung hängen wesentlich von der Wahl des zu untersuchenden Gezeiten-Parameters ab: Potential und Phase zwischen Potentialmaxima, Gezeitenbeschleunigung und deren Komponenten oder Gezeiten des Erdkörpers (Spannungstensor). Die letztgenannte Größe dürfte der anschaulichste Parameter für die Analyse der Gezeitenwirkung in einer bestimmten Region, in Zusammenhang mit bekannten Herdmechanismen sein (s. HEATON, 1975 und YOUNG, ZÜRN, 1979).

Die Frage nach der Auslösung durch Gezeiten wurde durch den Nachweis getriggelter Mondbeben (VOSS, 1976) neu belebt. Sie beziehen möglicherweise sogar Energie aus den Gezeitenkräften.

Die mögliche energiemäßige Beteiligung der Gezeiten an Erdbeben wird in Zukunft noch zu prüfen sein. Immerhin erreichen die Deformationen der Erdkruste durch Gezeiten etwa 50 cm (radial), was auch in einem kleineren Bebengebiet bedeutende Verformungen mit sich bringen dürfte, verglichen mit Ergebnissen von Präzessionsnivelements an aktiven Zonen. Gezeitenspannungen bis zu 100 mbar werden in Rechnung gesetzt (HEATON). Es stellt sich die Frage nach der durch die Gezeiten gespeicherten Deformationsenergie im "Herdvolumen" eines Erdbebens.

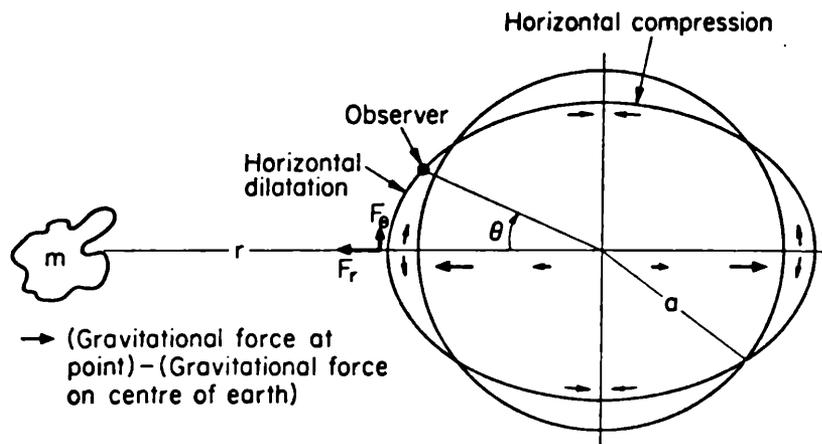


FIG 1. Schematic for tidal forces and deformation along any great circle passing directly beneath the mass.

$$\text{Tidal potential} \equiv W_2 = \frac{Gm}{2} \frac{a^2}{r^3} (3 \cos^2 \theta - 1)$$

$$F_\theta = - \frac{\partial W_2}{a \partial \theta} \quad F_r = - \frac{\partial W_2}{\partial a}$$

$$u_r = \frac{h}{g} W_2 \quad u_\theta = \frac{l}{g} \frac{\partial W_2}{\partial \theta}$$

$$e_{rr} = \frac{\partial u_r}{\partial r} \quad e_{\theta\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r}{r}$$

G = universal gravitation constant, 6.67×10^{-8} dyne $\text{cm}^2 \text{g}^{-2}$

g = acceleration of gravity, 980 cm s^{-2}

$h \approx 0.6$
 $l \approx 0.07$

} Love numbers

2. Untersuchungen über Erdbeben in Österreich und Friaul

Die Bebenserien in Friaul seit 1976 lieferten ausreichend viele Daten für eine statistische Bearbeitung. Es wurde geprüft, ob zu den Herdzeiten jeweils ähnliche Gezeitenbeschleunigungen vorlagen. Erste Berechnungen wiesen auf eine Systematik bezüglich der Horizontalkomponente hin, besonders im Falle der stärksten Beben. Abb. 2 zeigt das Vektorverhalten einige Stunden vor und nach 11 Hauptbeben der Jahre 1976-1978. Es scheint eine Häufung in SW-Richtung vorzuliegen. Die Amplitude ist nicht immer maximal.

Für weitere Untersuchungen verschiedener Regionen wurde zur Überprüfung der Signifikanz der Vektor-Häufigkeitsverteilungen die Histogramm-Darstellung der Azimuthäufigkeiten gewählt. Um nachzuweisen, daß eine Häufung der Vektorrichtungen in einem bestimmten Azimutbereich (je 10°) signifikant ist, wurde die Verteilung mit einer Zufallsverteilung gleich vieler Ereignisse im gleichen Untersuchungszeitraum (1901-1978) verglichen. Abb. 3 zeigt zunächst solche Verteilungen für 25,75 und 100 "Zufallsbeben". Mit zunehmender Ereigniszahl bildet sich eine gleichmäßige Funktion mit einem Maximum in südlicher Richtung aus. Dies bestätigt eine Zufallsverteilung mit 1000 Ereignissen (Abb. 4) für das Jahr 1976 bzw. den Zeitraum 1901-1978. Zum Vergleich ist die tatsächliche Aufenthaltszeit des Vektors () in den verschiedenen 10° -Sektoren für das Jahr 1976 dargestellt. Die Kurven gleichen einander sehr, so daß eine mittlere Kurve als Wahrscheinlichkeitsfunktion definiert wurde.

Weiters mußte bestimmt werden, wie weit Verteilungen der relativen Häufigkeit mit kleineren Ereigniszahlen, wie dies für verschiedene Bebenzonen zutrifft, durchschnittlich von der Wahrscheinlichkeitsverteilung abweichen.

Die einzelnen Bebenregionen in Abb. 5 entsprechen den Seismizitätszentren (z.B. Semmering, Innsbruck), bzw. Zonen einer (vermuteten) einheitlichen Tektonik. Abb. 6 bis 9 zeigen die jeweiligen Häufigkeitsverteilungen, wobei auch typmäßig gleichartige und benachbarte Regionen zusammengefaßt wurden. Weiters wurden Histogramme für alle Beben mit $I_0 \geq 4.5^\circ$ und für $I_0 > 5^\circ$ unterschieden (dünn bzw. dick ausgezogen). Es fällt auf, daß mit Ausnahme der Region 3 Verteilungen mit dominierender SW-SE-Richtung vorliegen. Dies wird auch in der Verteilung für alle Beben (Abb. 10, $I_0 \geq 5^\circ$) deutlich.

Um die Signifikanz der Azimut-Häufigkeitsverteilungen abzuschätzen, wurden für die Ereigniszahlen der verschiedenen Regionen jeweils 10 Zufallsverteilungen berechnet und ihre Abweichungen von der Wahrscheinlichkeitsverteilung (in o/oo der Gesamtbebenzahl der Region) dargestellt (Abbildungen 11-16).

Abb. 2

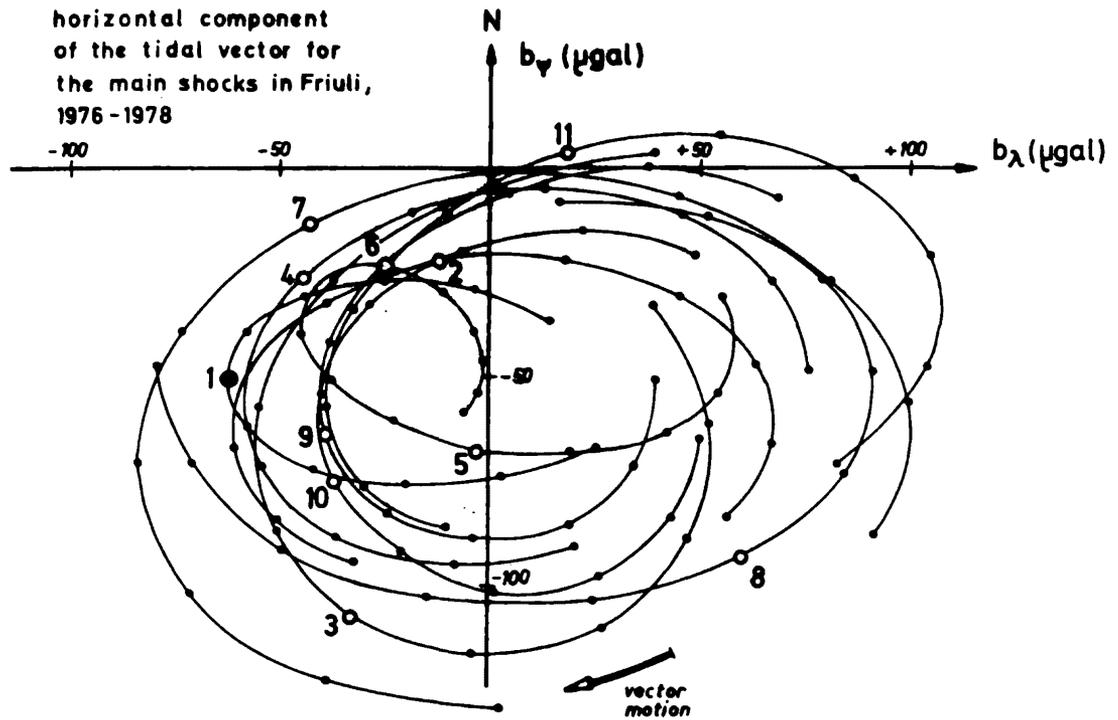
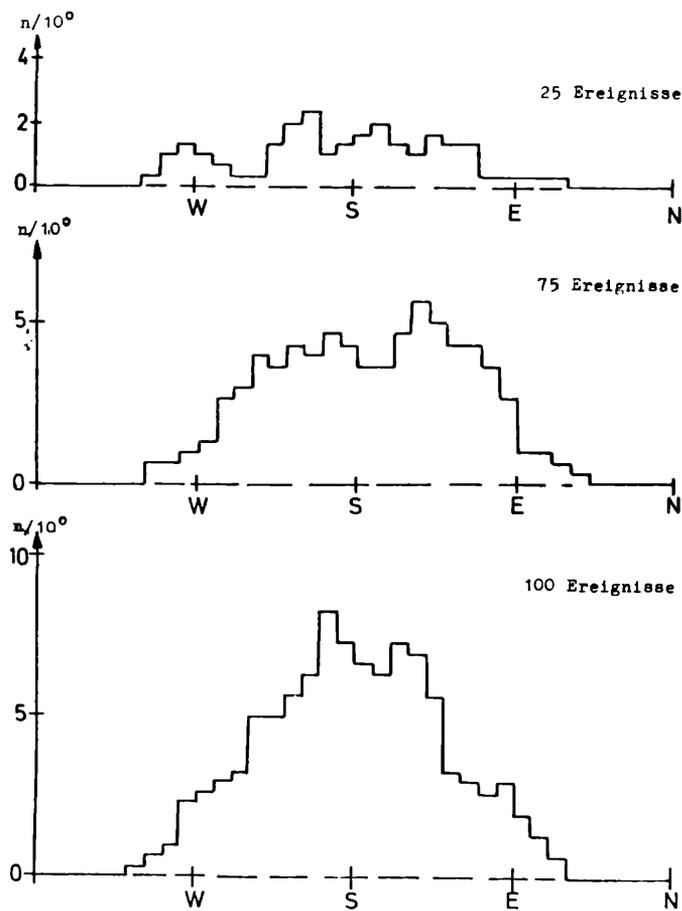


Abb. 3



ZUFALLSVERTEILUNGEN
Zeitraum 1901 - 1978
(geglättet)

Abb. 4

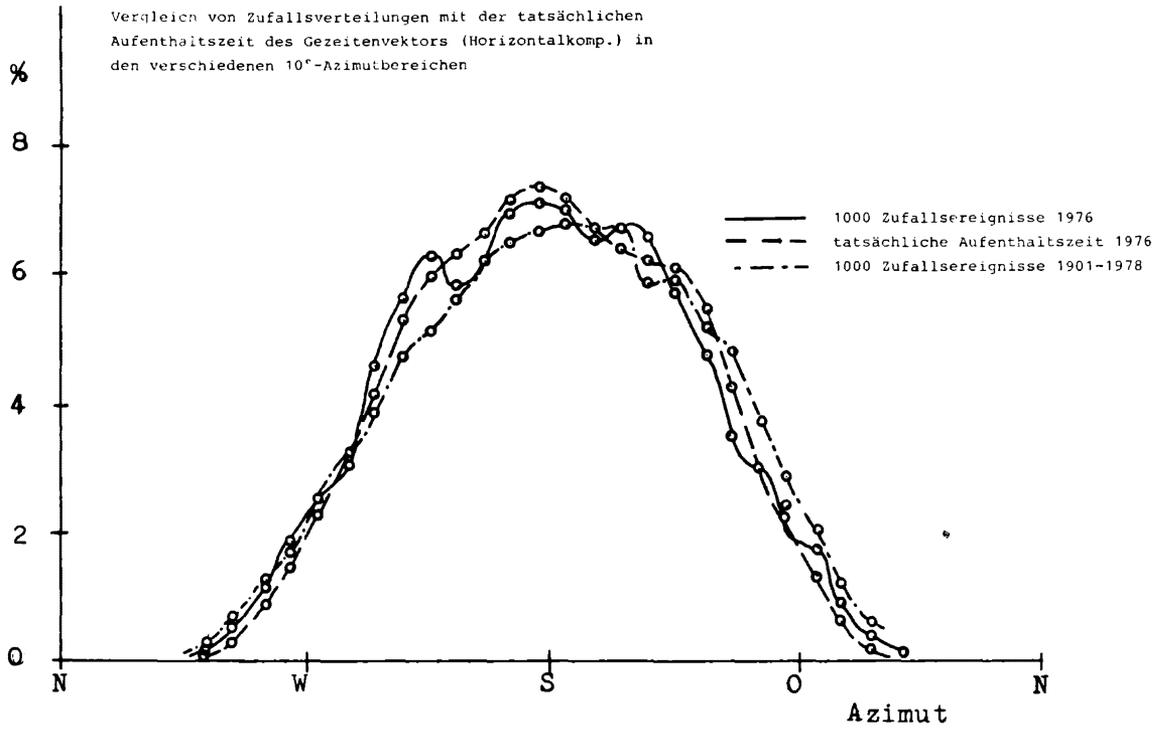
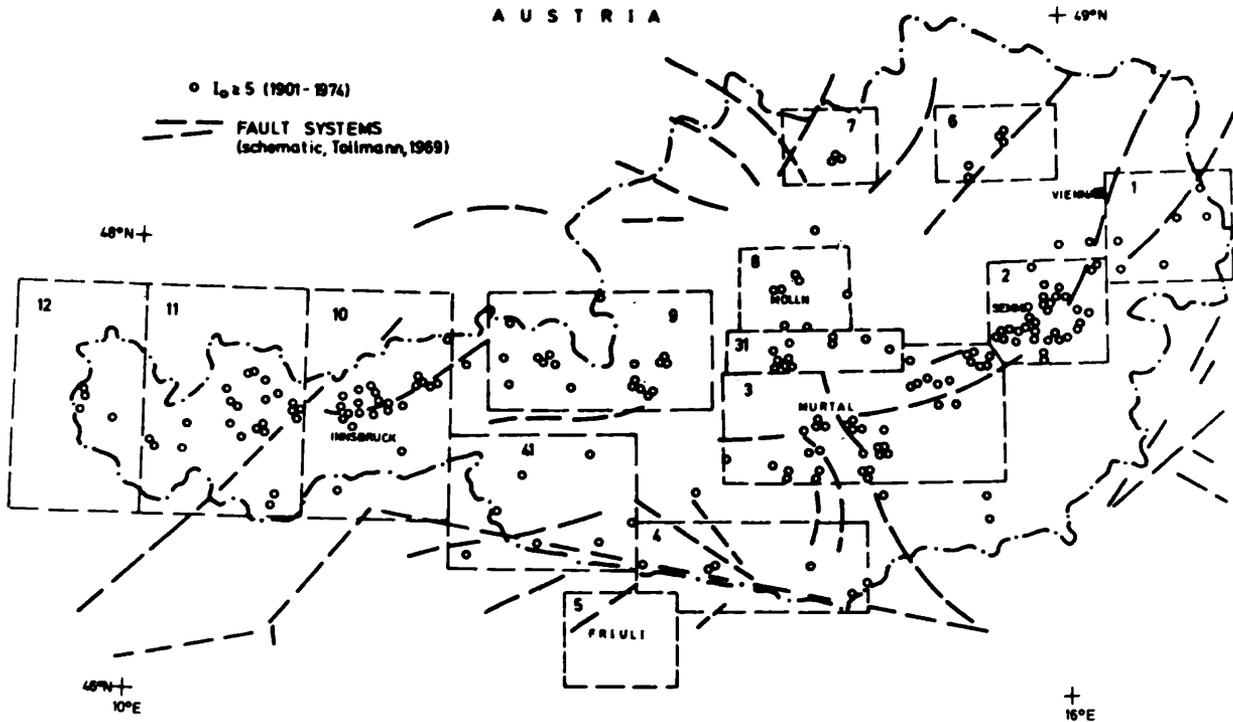


Abb. 5



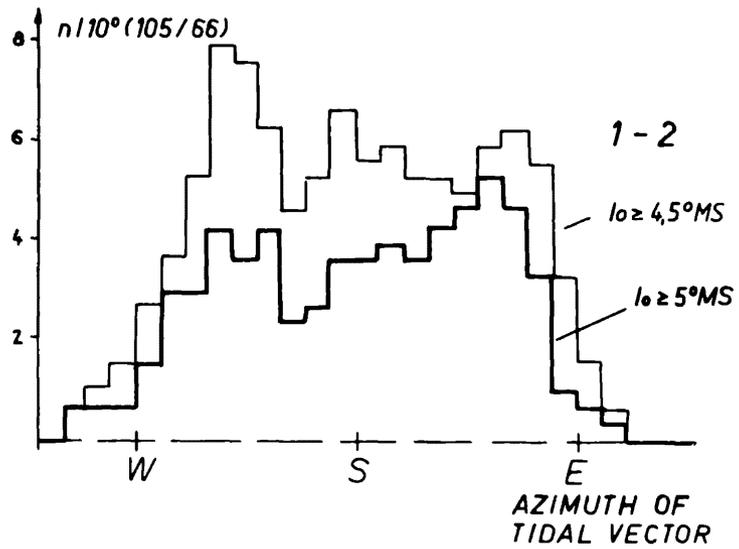
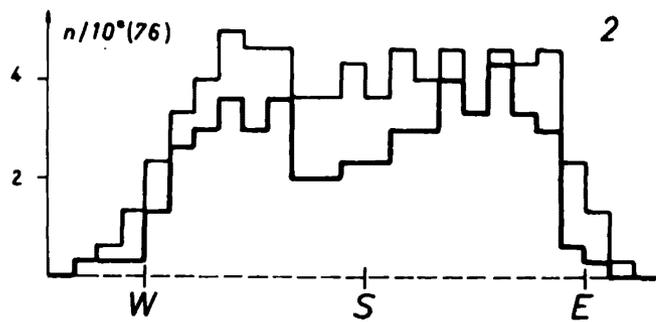
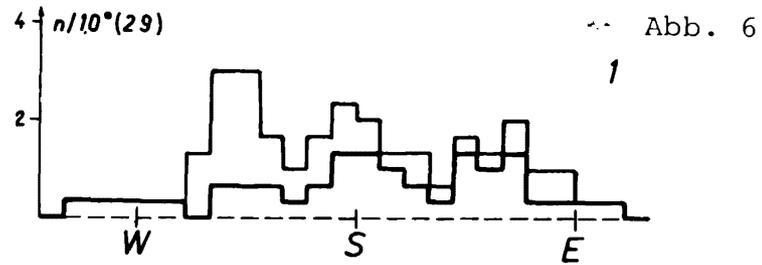
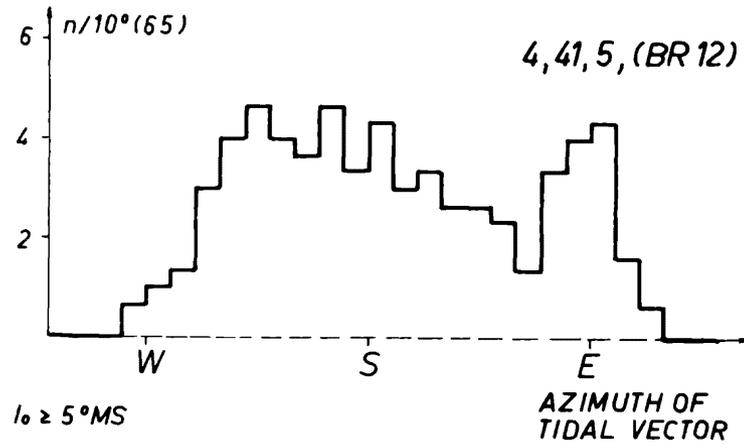
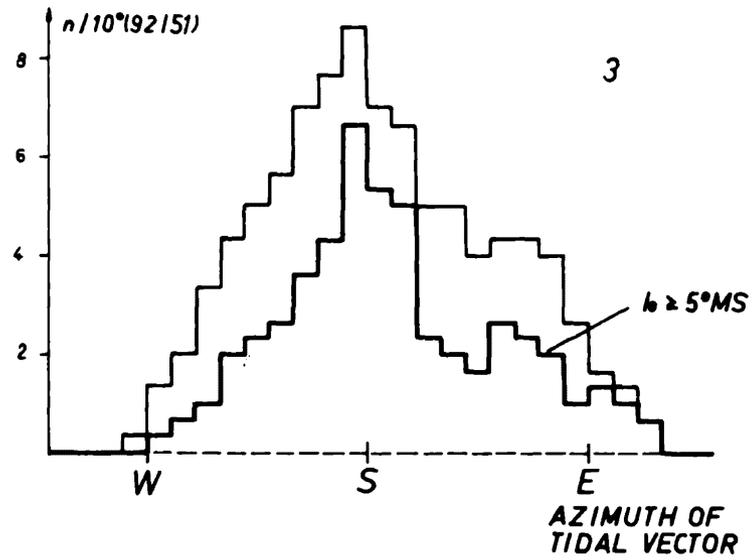


Abb. 7



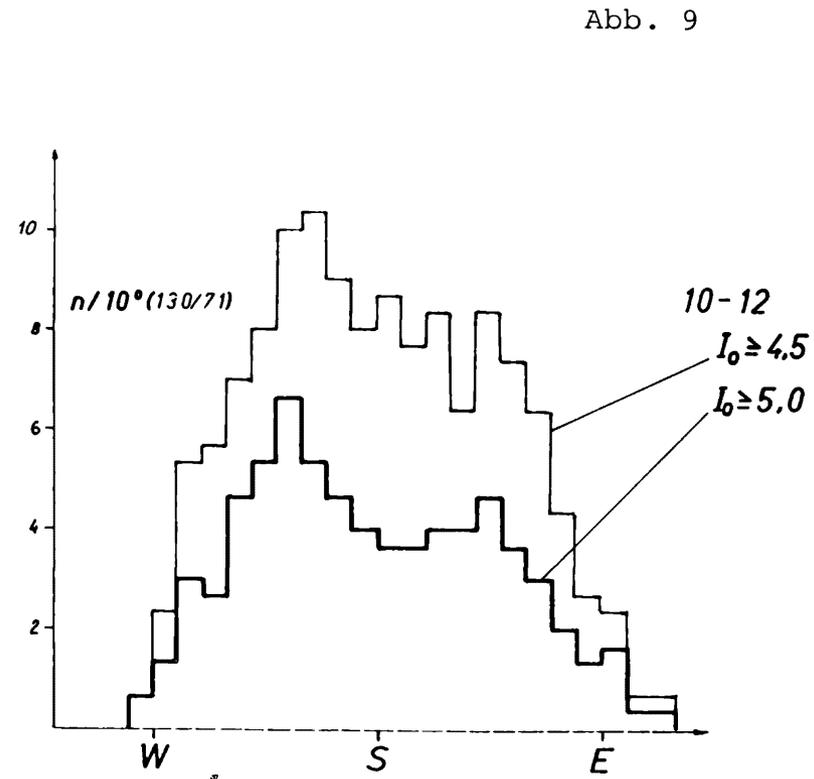
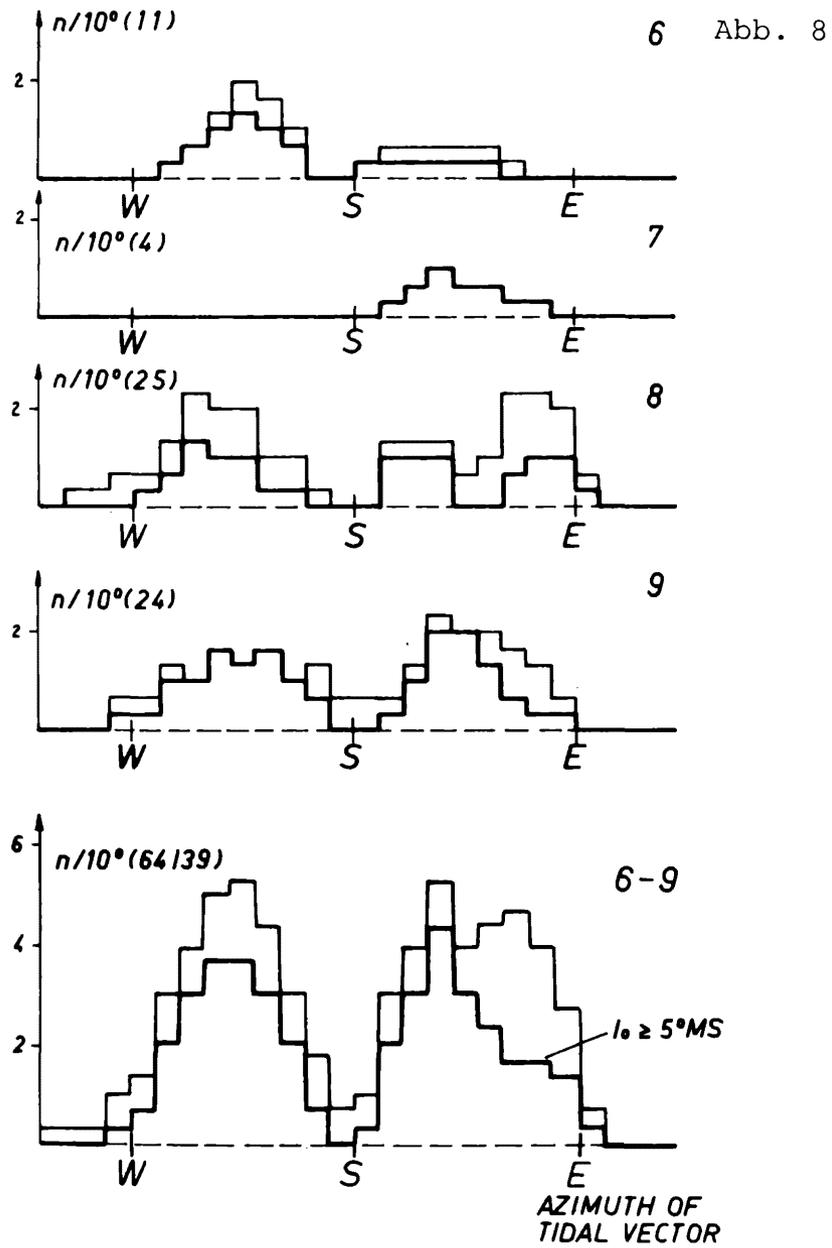


Abb. 10

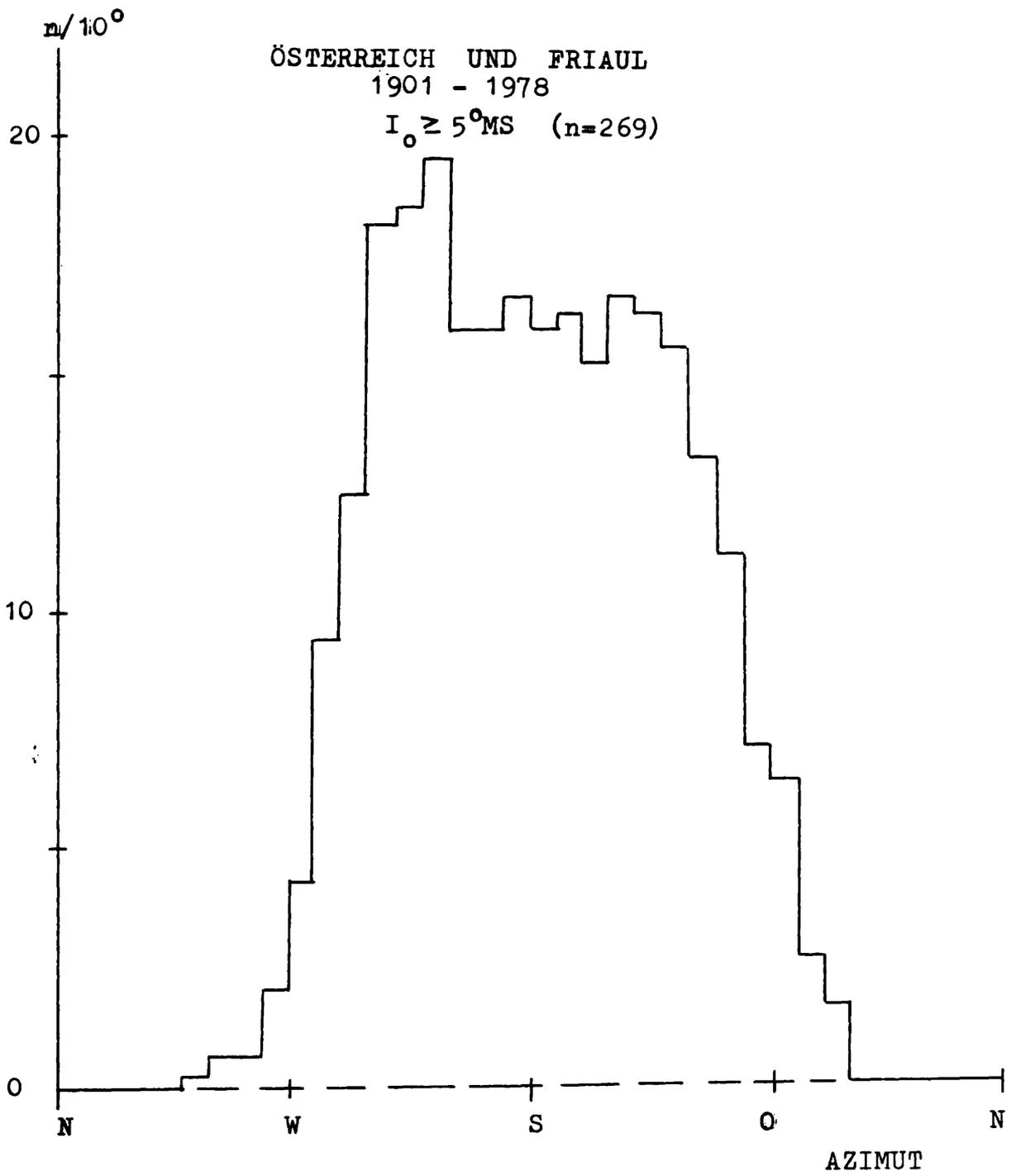


Abb. 11

105 Zufallereignisse
1901 - 1977
47,0° N / 14,0° O

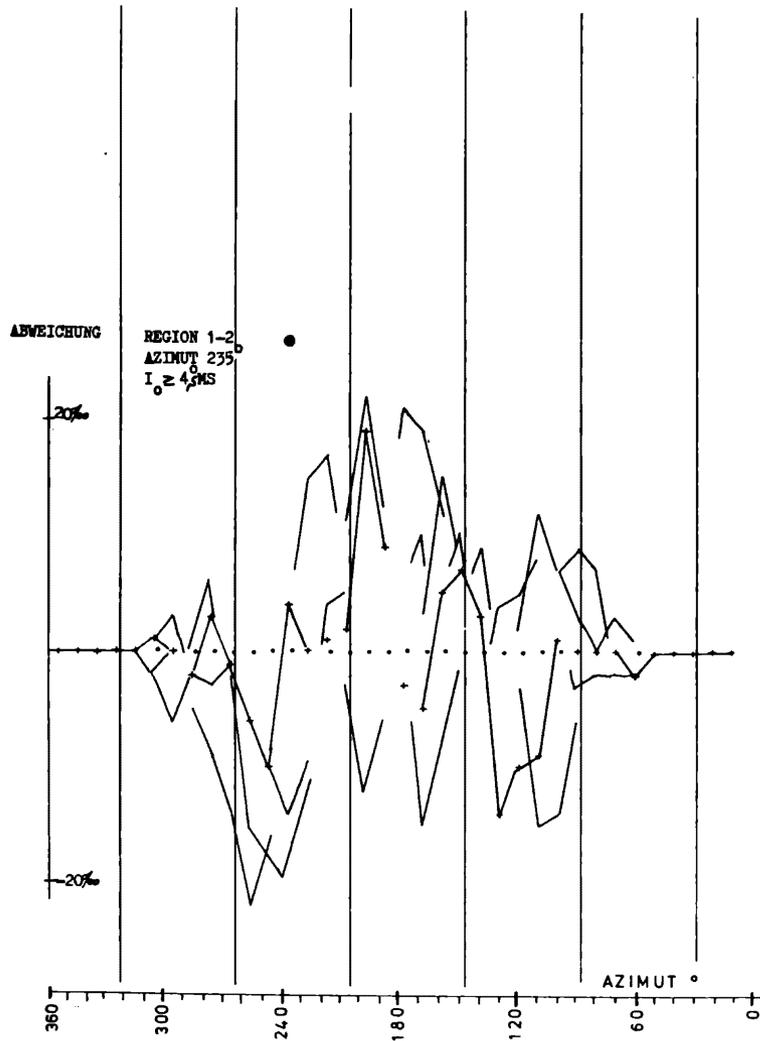


Abb. 12

51 Zufallereignisse
1901 - 1977
47,0° N / 14,0° O

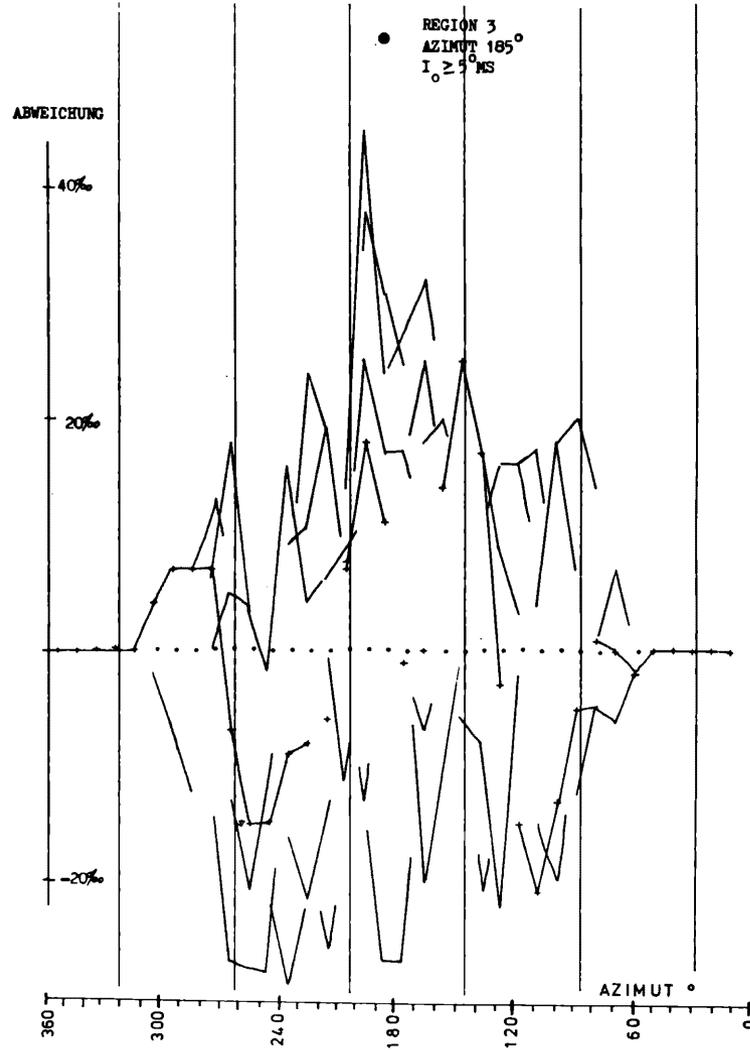


Abb. 13

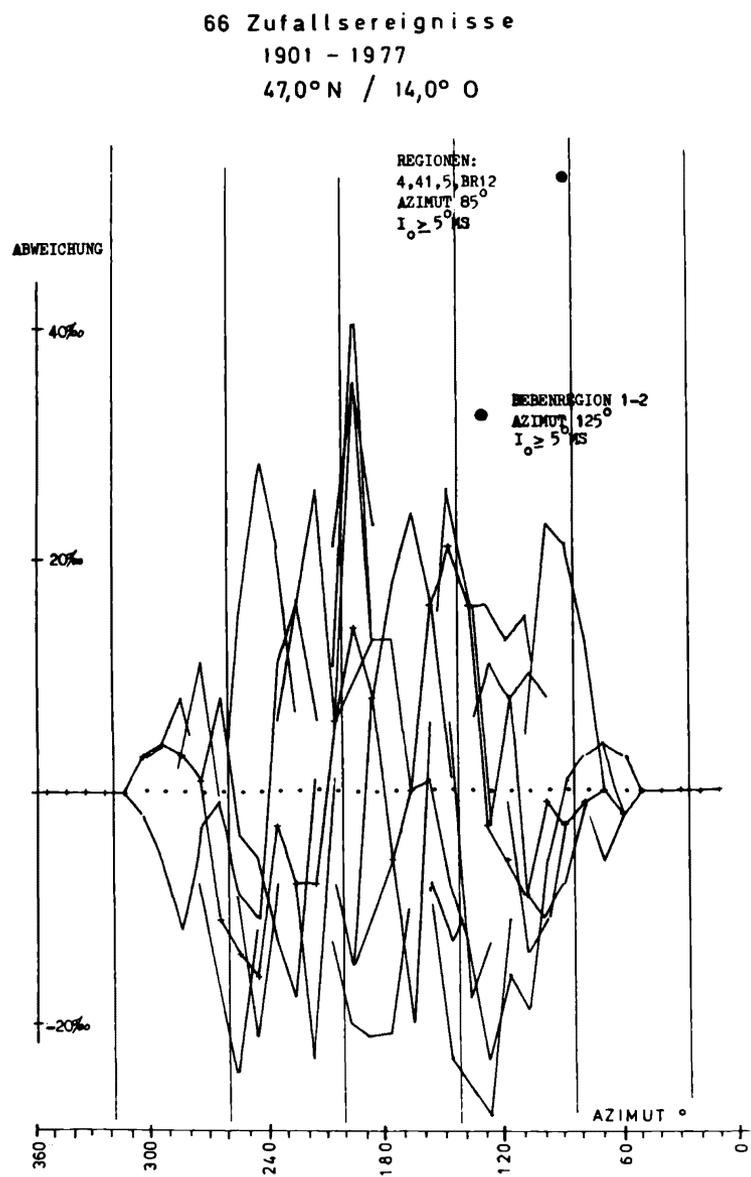


Abb. 14

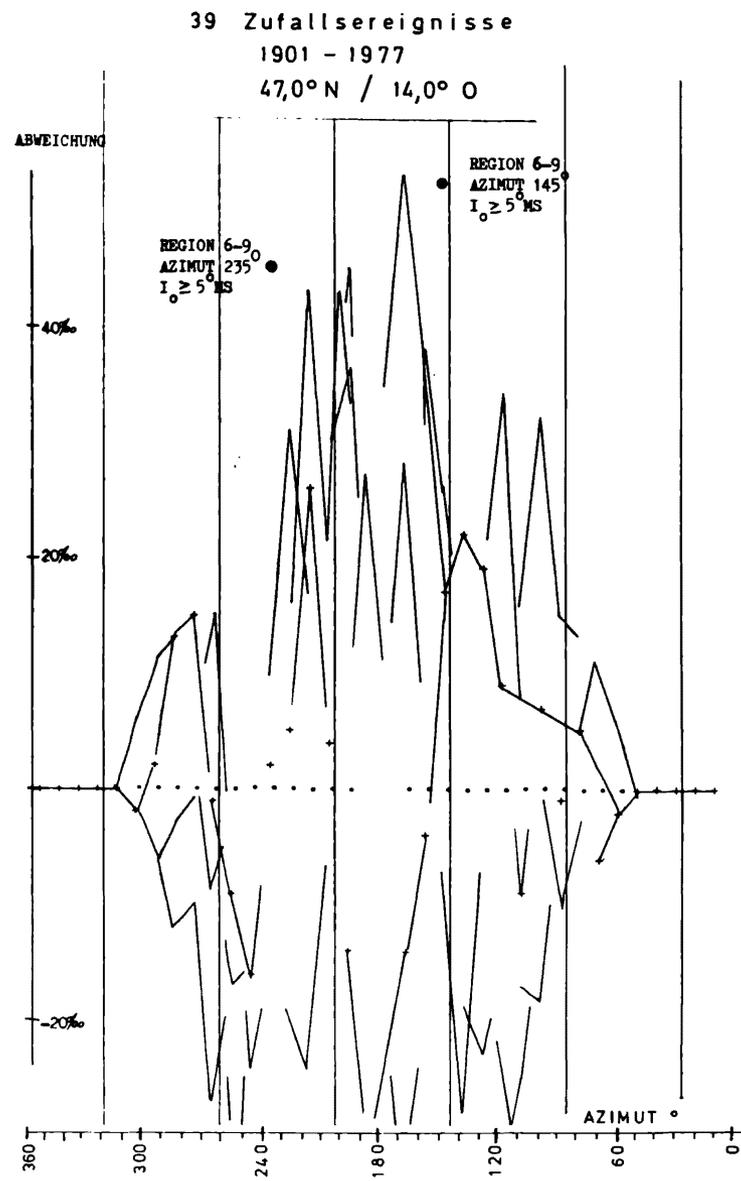


Abb. 15

71 Zufallereignisse
1901 - 1977
47,0°N / 14,0° O

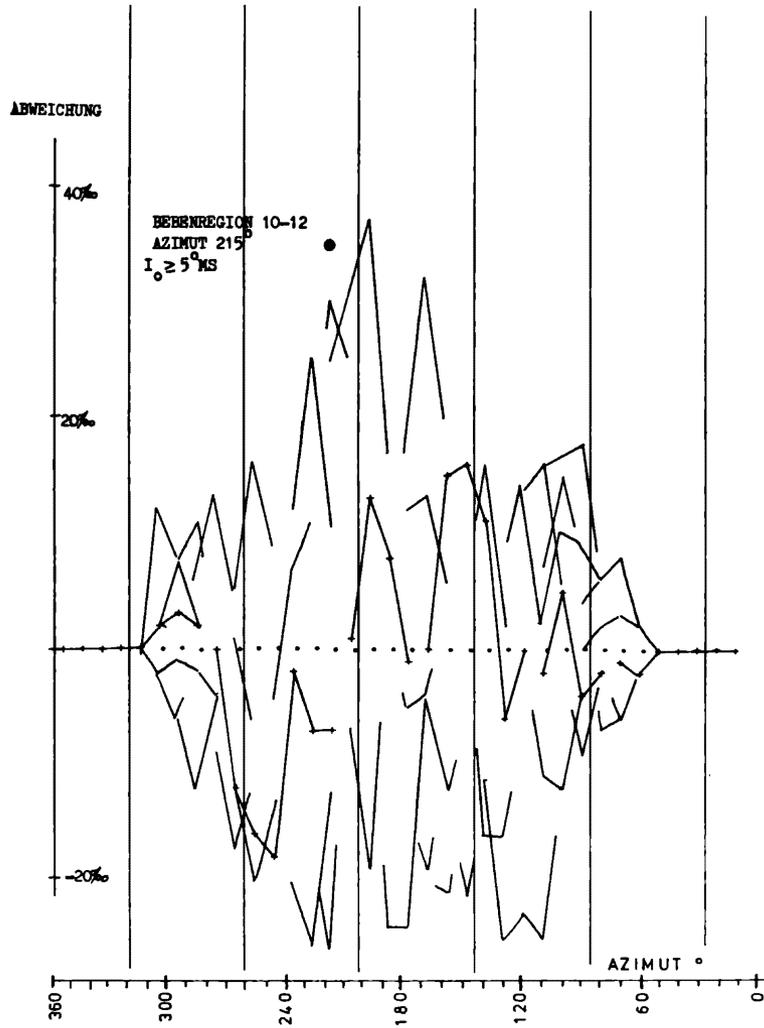


Abb. 16

269 Zufallereignisse
1901 - 1977
47,0°N / 14,0° O

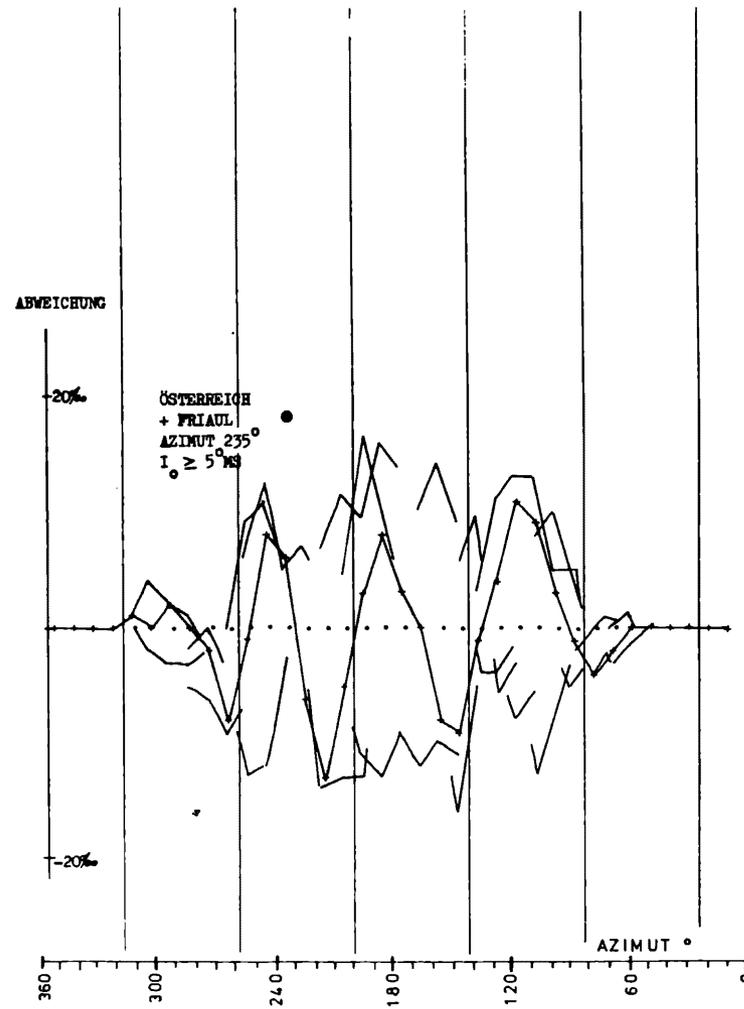
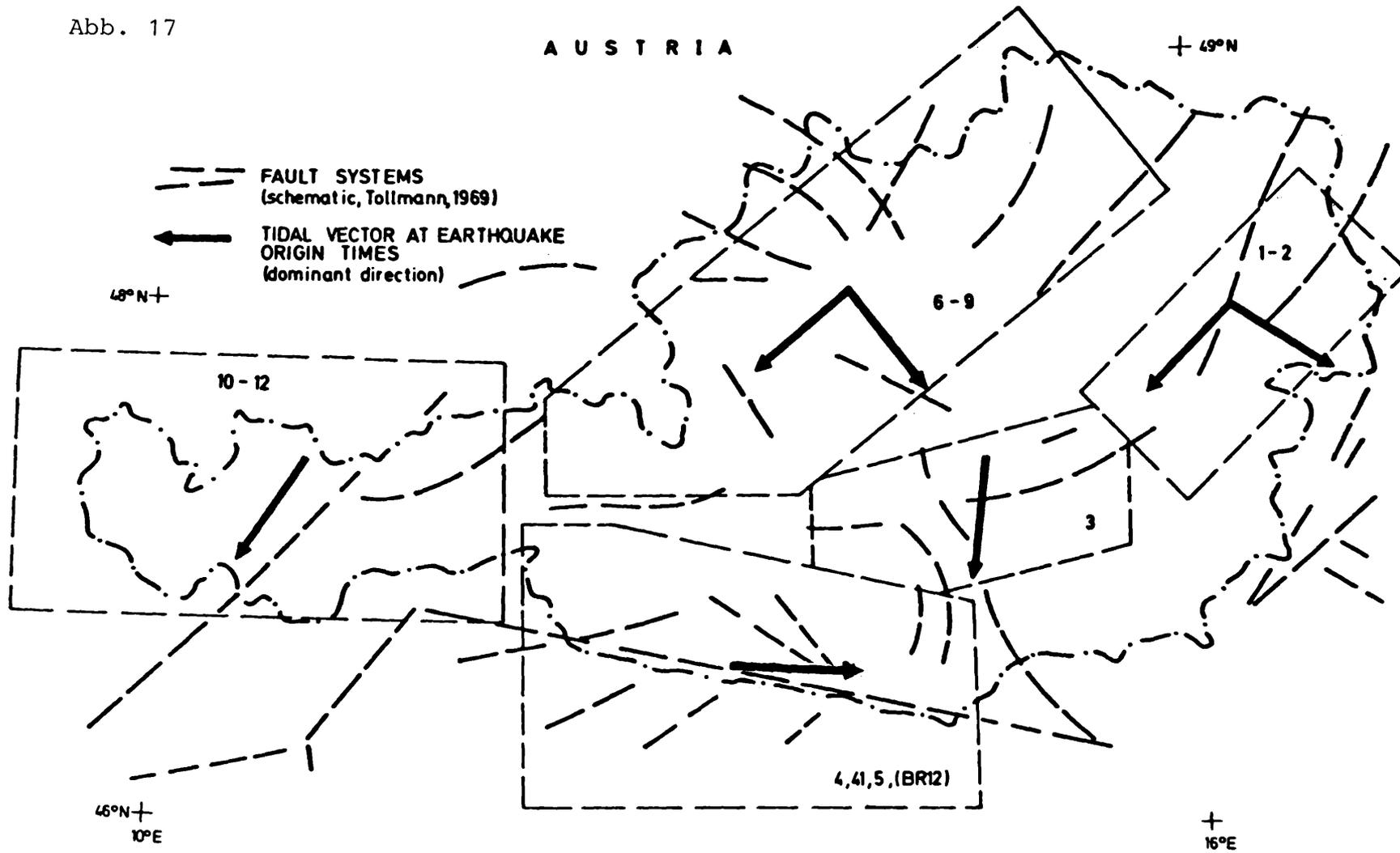


Abb. 17



Es sind nur die maximalen Streuungen (Spitzen) eingezeichnet. Selbstverständlich wird die so definierte obere Grenze der Streuung (Einhüllende) nur mit begrenzter Wahrscheinlichkeit eingehalten. Dennoch erscheint eine deutliche Abhängigkeit der Größe des Streubereiches von der Anzahl der Zufallsereignisse. Den Streuungen sind nun in den Abbildungen die Ergebnisse der einzelnen Regionen gegenübergestellt (Punkte). In einigen Fällen deutet sich eine nicht unerhebliche Differenz von beobachteter und erwarteter Abweichung an. Die vorherrschenden Vektorrichtungen sind in Abb. 17 veranschaulicht. Ein gewisser Einklang mit der Bruchtektonik scheint ablesbar.

3. Literatur

- ALLEN, M.W. (1936): The lunar triggering of earthquakes in Southern California. *Bull.Seis.Soc.Am.*, 26, 147-157.
- CONRAD, V. (1932): Die zeitliche Folge der Erdbeben, und bebenauslösende Ursachen. *Handbuch der Geoph.*, Bd. 4, Bornträger, Berlin, 1007.
- DIX, C.H. (1964): Triggering of earthquakes. *Proc.Japan.Acad.*, XL. 1964, p. 410-415.
- HEATON, T.H. (1975): Tidal triggering of earthquakes. *Geoph. Journ.Roy.astr.Soc.*, 43, 307-326.
- KLEIN, F.W. (1976): Earthquake swarms and the semidiurnal solid earth tide. *Geoph.Journ.Roy.astr.Soc.*, 45, 245-295.
- KNOPOFF, L., and J.K. GARDNER (1972): Higher seismic activity during local night on the raw world-wide earthquake catalogue. *Geoph.Journ.Roy.astr.Soc.*, 28, 311-313.
- KNOPOFF, L. (1964): Earth tides as a triggering mechanism for earthquakes. *Bull.Seis.Soc.Am.*, 54. 1865-1870.
- MAUK, F.J. and M.J.S. JOUNSTON (1973): On triggering of volcanic eruptions by earth tides. *Journ.Geoph.Res.*, 78, 3356-3362.
- MAUK, F.J. and J. KIENLE (1973): Microearthquakes at St. Augustine volcano, Alaska, triggered by earth tides. *Science*, 182, 386.
- SHIMSONI, M. (1971): Evidence for higher seismic activity during the night. *Geoph.Journ.Roy.astr.Soc.*, 24, 97-99.
- TAMS, E. (1926): Die Frage der Periodizität der Erdbeben, Verlag Bornträger, Berlin, 128.
- SHLIEN, S. (1972): Earthquake-tide correlation. *Geoph.Journ.Roy.astr.Soc.*, 28, 27-34.
- TOPERCZER, M. und E. TRAPP (1950): Ein Beitrag zur Erdbebengeographie Österreichs. *Mitteil.d.Erdbebenkomm.*, Österr. Akad.d.Wiss., Nr. 65.
- VOSS, J. (1976): Zum Zusammenhang zwischen Gezeiten und Mondbeben. *Geolog. Jahrbuch*, Hannover, 101-105.
- YOUNG, D., und W. ZÜRN (1979): Tidal triggering of earthquakes in the Swabian Jura. *Journ.of Geoph.*, 45, 171-182.