

## Untersuchung der Beben­­tätigkeit in Kärnten, Friaul und im weiteren ostalpinen Raum

Von K. ARIC\*, G. DUMA\* und R. GUTDEUTSCH\*

Mit 5 Abbildungen

### Zusammenfassung

Hauptthema dieser Studie ist die rezente tektonische Aktivität in Zusammenhang mit den Nachbeben des Friaul-Bebens vom 6. Mai 1976. Zwei neue Seismographenstationen, Klagenfurt und Bleiberg, konnten dem ostalpinen Stationennetz zur Beobachtung der lokalen Beben­­tätigkeit in Friaul und Kärnten hinzugefügt werden. Die lokale Mikrobeben­­tätigkeit im Bergbau Bleiberg zeigt eine gewisse Korrelation mit den Nachbeben in Friaul. Die Verteilung der Nachbeben in Friaul gibt einen Hinweis auf die Größe des Herdgebietes der Hauptbeben. Zwischen Magnitude, Intensität und Herdtiefe konnte eine empirische Beziehung hergestellt werden. Durch die Auswertung der Laufzeitkurven konnte ein besseres Verständnis der lokalen Krustenstruktur erzielt werden.

### Summary

The recent tectonic activity in connection with the after-shocks of the Friuli event of May 6, 1976 is the main subject of this study. Two new seismograph stations, Klagenfurt and Bleiberg, have been added to the East Alpine station network in order to observe the local earthquake activity in Friuli and Carinthia. The series of events following May 6, September 15 and October 13, 1976 indicate a correlation with the local micro shock activity in the mines of Bleiberg. The distribution of the Friuli aftershocks indicate the lateral dimensions of the focus of the main earthquake. An empirical relation between magnitude, intensity and focal depths has been established. Additionally a clearer understanding of the local crustal structure has been gained by evaluation of the travel time curves.

Der Raum Südkärnten besitzt eine schwache Seismizität. Die Karte der Epizentren (siehe GUTDEUTSCH, 1980, Abb. 1) zeigt ein im Süden durch die Periadriatische Naht, im Osten durch das Lavant-Tal, im Norden durch das obere Murtal und im Westen durch den Meridian durch Spital a. d. Drau begrenztes nahezu aseismisches Gebiet. Eine geringe rezente Aktivität ist jedoch an der Naht selbst erkennbar. Südlich davon liegt eine rege und nach Süden stark ansteigende seimische Tätigkeit vor. Möglicherweise bildet die Nahtzone eine steilstehende „Quetsch- und Gleitfuge“, die verhindert, daß die in den Südalpen

\* Adresse der Verfasser: Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien, Währingerstraße 17, A-1090 Wien.

aktiven Spannungen zur Gänze auf die nördliche Seite übertragen werden (persönliche Mitteilung W. FRANK).

Die vorliegende Epizentrenkarte ist insofern unvollständig, als sie nur die Ereignisse berücksichtigt, welche stark genug waren, um deutliche makroseismische Wirkungen bzw. klare seismologische Aufzeichnungen der Station in Wien-Kobenzl hervorzurufen. Eine möglicherweise vorhandene Mikroaktivität der Nahtzone kann daher nicht aus der Epizentrenkarte abgelesen werden. Zu ihrer Untersuchung benötigt man ein seismisches Stationsnetz in unmittelbarer Umgebung der Nahtzone.

Aufgrund der starken Aktivierung der experimentellen seismologischen Forschung nach der Friauler Erdbebenkatastrophe am 6. Mai 1976 war es dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien möglich, im Botanischen

## SEISMOGRAMME DER STATION BLEIBERG

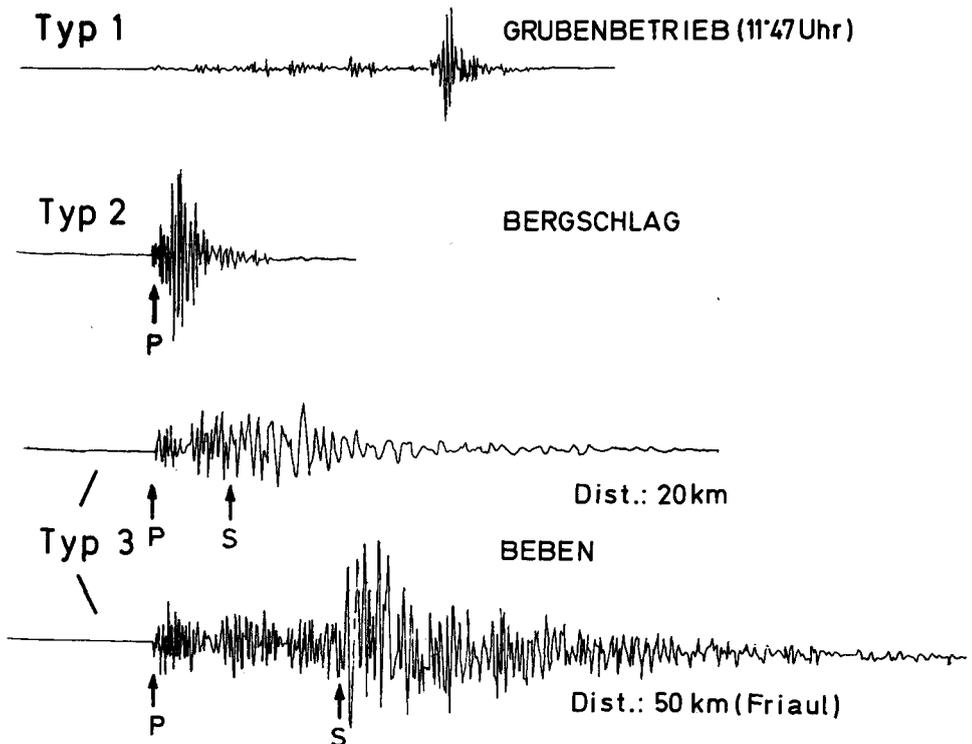


Abb. 1: Die Seismogramme verschiedenen Typs, welche an der Station Bleiberg aufgezeichnet wurden.



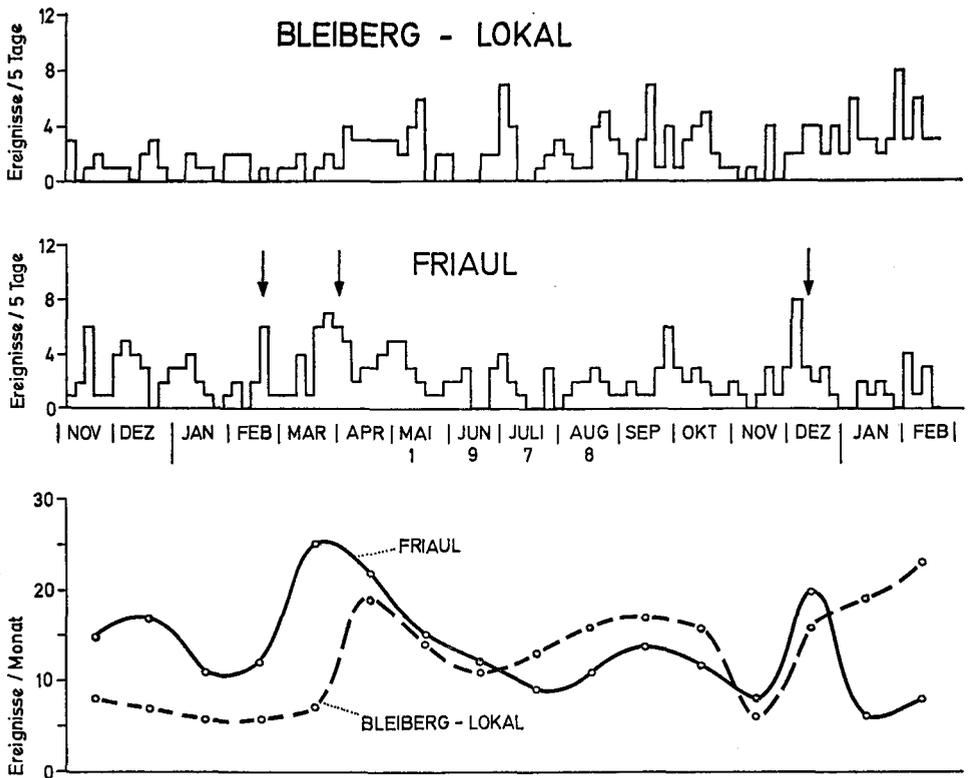


Abb. 3: Oben: Häufigkeit der Bergschläge bzw. Mikrobeben im Bereich um Bleiberg.  
 Mitte: Bebenstätigkeit in Friaul (Norderstreckung bis zur Nahtzone). Die Pfeile markieren die stärksten Beben im Untersuchungszeitraum.  
 Die beiden Abbildungen geben die Ereigniszahlen pro 5 Tage an.  
 Unten: Monatliche Ereigniszahlen.

Die Seismogramm-Typen sind in Abbildung 1 dargestellt. Aus der Laufzeitdifferenz zwischen Kompensationswelle P und Scherwelle S kann die Entfernung des Bebens errechnet werden. In den Seismogrammen der Bergschläge scheint keine S-Welle auf. Daß die Bergbautätigkeit eine seismische Unruhe zur Folge hat, zeigt die Häufigkeit der registrierten Ereignisse als Funktion der Tageszeit (Abb. 2). Die beiden scharf ausgeprägten Maxima um 12 Uhr und 20 Uhr sind sicher als direkte Folge des Arbeitsablaufes in beiden 8-Stunden-Schichten zu interpretieren, zumal auch die regelmäßig wiederkehrenden Schießzeiten in diese Spannen fallen. Demnach dominieren in diesen Zeiträumen Ereignisse der Kategorie 1. Für die weitere Analyse wurden diese Störereignisse nicht mehr mitgezählt. Abbildung 3 zeigt oben die 5-Tages-Summen der Anzahl der Bergschläge, darunter ist für den gleichen Zeitraum die Bebenstätigkeit der Kategorie 3 aufgetragen. Die Monatssummen der Ereignisse im Bild unten deuten im Gegensatz zu den 5-Tages-Summen eine Korrelation an. Es deutet sich an, daß nicht ein einzelnes tektonisches Beben sofort einen oder mehrere Bergschläge triggert,

sondern daß die natürliche Seismizität von Friaul im Mittel über größere Zeiträume einen Einfluß auf die Bergschlagtätigkeit in Bleiberg hat. Der Anstieg der lokalen Aktivität in Bleiberg seit Jänner 1979 ist möglicherweise auf den Beginn eines neuen Streckenvortriebes zurückführbar. Die hier mit Vorbehalt gezogenen Schlüsse werden an Hand eines längeren Beobachtungsintervalles überprüft.

Die große Zahl der aus dem Friauler Raum beobachteten Nachbeben ließ auch eine Überprüfung der bisher vorliegenden empirischen Relation zwischen den Herdparametern Magnitude  $M$ , Herdtiefe  $H$  und Epizentralintensität  $I_0$  für die Bebenregion zu. Die Friauler Beben seit 1976 zeigen die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie die starken ostalpinen und dinarischen Beben aus der Zeit von 1900 bis 1973, was die Aufstellung einer gut gesicherten empirischen Formel für das erwähnte Gebiet ermöglichte. Demnach gilt:

$$\log H^{(\text{km})} = 0,45 M - 0,28 I_0 + 0,8$$

bzw.

$$M = 0,65 I_0 + 0,33$$

(für eine mittlere  
Herdtiefe von 10 km)

(ARIC, DUMA und GUTDEUTSCH, 1976). Wichtiger sowohl für die Erdbebenrisikoabschätzung eines Gebietes als auch für die Einteilung in seismische Zonen ist aber die Häufigkeit  $n$  des Auftretens eines Bebens bestimmter Magnitude  $M$ . Der bekannte logarithmische Zusammenhang  $\log n = a - b \cdot M$  konnte an Hand der Friauler Nachbeben studiert und mit den Ergebnissen anderer Gebiete verglichen werden. Diese Untersuchungen sind auch für die Risikoanalyse in Österreich von Wichtigkeit.

Für die Friaul-Bebenserien wurden die Flächen und Volumina der seismischen Aktivität abgeschätzt (DUMA 1978). Das Verfahren benutzt die Laufzeitdifferenzen der beobachteten P- und S-Wellen an den Nahbebenstationen. Für die erste Bebenserie (Mai 1976) ergab sich ein Volumen von ca. 10.000 km<sup>3</sup>, die Ausdehnung der zweiten Bebenserie (September 1976) erschien dagegen etwas geringer und ist nach Norden versetzt (Abb. 4). Im übrigen gibt auch die vorherrschende Wellenperiode der Friaulbeben eine Information über die Epizentralintensität, Magnitude und Herdabmessung (DUMA 1976).

Die Arbeitsgruppe bei dem EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) Straßburg, der auch das Institut angehört, hat Herdparameter und Magnituden von 18 der stärksten Beben in Friaul mit allen Daten der europäischen Erdbebenstationen (maximal 71 Stationen pro Beben) bestimmt. Die Herdfläche ist 30 km × 20 km groß, die mittlere Herdtiefe beträgt 8 km. Die Bestimmung der Herdkoordinaten erfolgte unter Zugrundelegung eines Erdkrustenmodelles (Geschwindigkeits-Tiefenverteilung), welches die Laufzeiten der Wellen gut repräsentiert (EMSC-Working Group, Members: K. ARIC et al, 1976).

Durch telemetrisch betriebene Nachbebenstationen im Friaulgebiet konnte eine sehr große Zahl von Beben mit hoher Präzision (Laufzeitfehler kleiner als 20 ms) registriert werden. Hierdurch wurden ein Oberkrustenmodell für das Herdgebiet bestimmt und Herdkoordinaten berechnet (ARIC und GUTDEUTSCH, 1976). Aufgrund der Registrierungen von Nahbebenstationen in Österreich wurden für verschiedene Herdtiefen Geschwindigkeits-Tiefen-Funktionen angegeben. Im

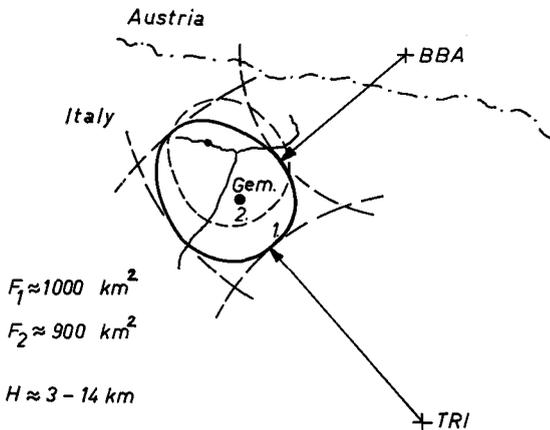
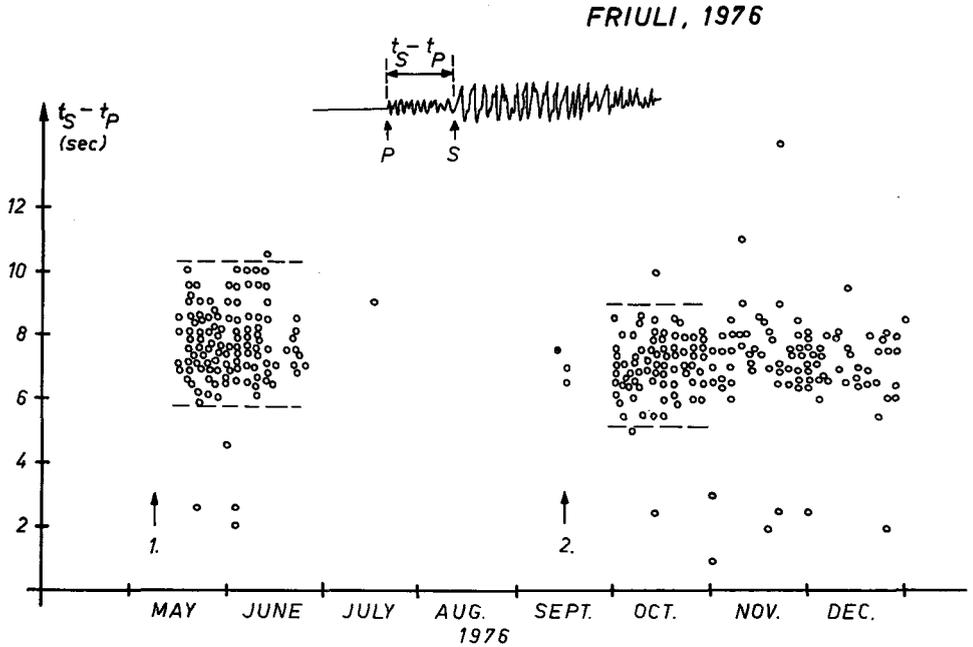


Abb. 4: Die Gebiete seismischer Aktivität in Friaul, bestimmt aus den gemessenen Laufzeitdifferenzen  $t_s - t_p$ . Diese sind ein Maß für die Herdentfernung (Distanzen zwischen Bebenherden und seismischen Stationen Bleiberg bzw. Triest). Es wurden die Nebenserien der zwei Hauptbeben, Mai (1.) und September (2.) 1976 untersucht. Das am Bebegeschehen beteiligte Krustenvolumen (Fläche  $F_{1,2}$   $\times$  Tiefenbereich  $H$ ) ist eine Funktion der Hauptbeben-Magnitude ( $M_1 = 6.4$ ;  $M_2 = 6.2$ ).

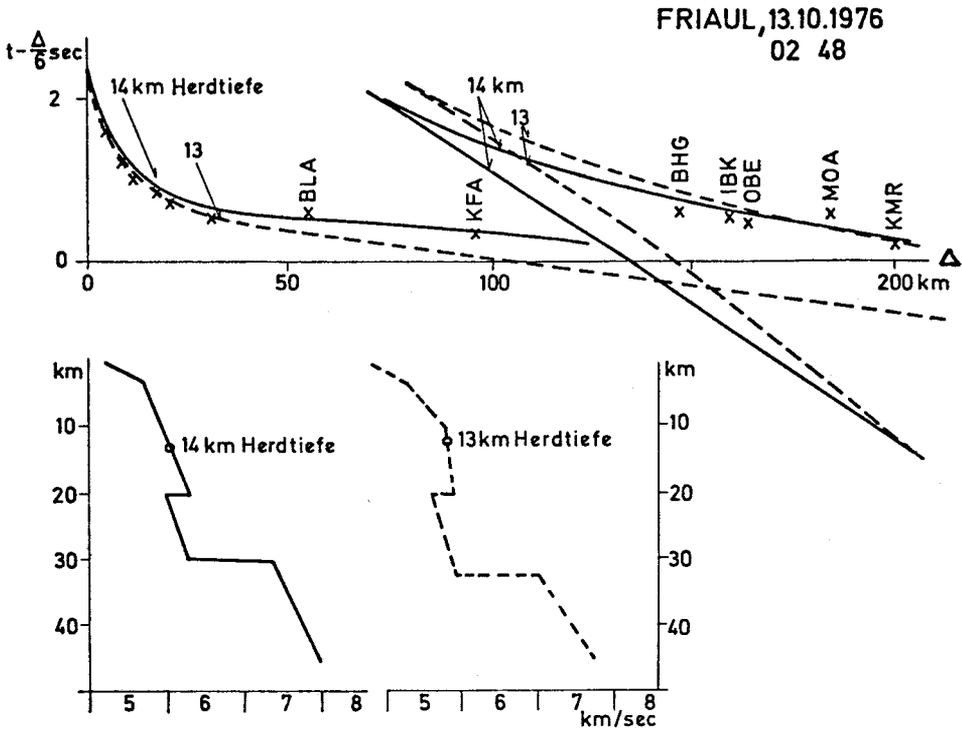


Abb. 5: Oben: Mit 6 km/s reduzierte theoretische Laufzeitkurven (nach ARIC und GUTDEUTSCH 1976)  
Die beobachteten Zeiten an folgenden Stationen sind eingetragen:  
BLA: Bleiberg, KFA: Klagenfurt  
BHG: Bad Reichenhall, IBK: Innsbruck,  
OBE: Oburgurgel, MOA: Molln  
KMR: Kremsmünster  
Unten: Geschwindigkeits-Tiefenfunktion (Krustenmodelle) zur Berechnung der o.g. Laufzeitkurven.

Bereich Friaul – Villach – Klagenfurt wurden die beobachteten Laufzeitkurven bis 100 km Entfernung bestätigt. Dies ist Abbildung 5 zu entnehmen. Im oberen Teil dieser Abbildung sind die Laufzeitkurven mit den gemessenen Laufzeiten an den einzelnen Stationen eingetragen. Es wurden 2 Geschwindigkeits-Tiefen-Modelle angegeben. Die Wirklichkeit liegt etwa zwischen diesen beiden. Die Krustenmodelle enthalten eine Geschwindigkeitsinversion in 20 km Tiefe. Ob es sich hierbei um eine Zone anormal erhöhter Temperatur und infolgedessen verringerter Scherfestigkeit oder um eine Zone mit verringerter Dichte handelt, muß hier außer Diskussion bleiben. Auffallend sind die Laufzeitverzögerungen der Wellen (Ausbreitung im oberen Mantel) in den Stationen zwischen 150 und 200 km Epizentralentfernung. Für diese Laufzeitanomalien kommen folgende zwei Gründe in Betracht: Erstens verursachen Inversionen eine Schattenzone, so daß die Strahlen in größere Tiefen eindringen und deshalb verzögert ankommen und zweitens werden an der Krustenmantelgrenze laufende Wellen so geschwächt, daß sie gar nicht

beobachtet werden, d. h. die ersten Einsätze gehören zu Reflexionen bzw. Tauchwellen.

Im Zusammenhang mit den übrigen österreichischen Erdbebenstationen haben sich die Kärntner Stationen wegen ihrer geringen Entfernung zum Friauler Bebengebiet als besonders wichtige Informationsquelle erwiesen und liefern auch gegenwärtig laufend neue Daten.

### Literatur

- K. ARIC, G. DUMA und R. GUTDEUTSCH: Remarks about magnitudes and maximum-intensities of earthquakes in Friuli, *PAGEOPH.*, Vol. 114, 1976.
- K. ARIC and R. GUTDEUTSCH: Remarks about the structure of the earth's crust near the friuli area. *Bollettino di Geofisica*, Vol. XIX, 72, Parte 1, Dic. 1976.
- K. ARIC, P. GIESE, H. MILLER, C. MORELLI, R. NICOLIC: Crustal Structure and Seismicity of Northern Italy. *Bollettino di Geofisica*, Vol. XIX, 72, Parte 1, Dic. 1976.
- G. DUMA: Die Bestimmung der Bebenmagnitude für Stationen im ostalpinen Raum. Diss. phil. Fak. Univ. Wien, 1976.
- EMSC-Working Group, Members K. ARIC et al: Revised Hypocenters and Magnitude Determinations of Major Friuli Shocks 1976. *Bollettino di Geofisica*, Vol. XIX, 72, Parte 1, Dic. 1976.
- GUTDEUTSCH, R.: Geophysikalische Arbeiten im Rahmen des Internationalen Geodynamischen Projekts in Österreich 1972—1978. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, 73, 1980 (in Druck).
- H. RAINER: Gibt es Zusammenhänge zwischen Erdbeben und Gebirgsschlaghäufungen im Bergbau Bleiberg? *Rock Mechanics* 6, 91—100 (1974).