

# Arbeiten

aus der

## Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Heft 26

### Die Nachbebenserie der Friauler Beben vom 6. Mai und 15. September 1976

von

**Edmund Fiegweil**

DK 550.341.2 (45)

Wien 1977

Von

Edmund FIEGWEL

Durch das intensitätsmäßig stärkste Beben Mitteleuropas seit 1763 (Komárom, Ungarn) [1] und 1348 (Villach, Kärnten) [2] vom 6. Mai 1976 wurde in der oberitalienischen Region Friaul eine ungewöhnlich starke Nachbebentätigkeit angeregt, die schließlich sogar in zwei neue Hauptbeben mündete, welche am 15. September 1976 die Region abermals erschütterten und ihrerseits wieder eine Flut von Nachbeben zur Folge hatten.

### I. Magnituden und Intensitäten der Beben

Das Hauptanliegen der vorliegenden Untersuchung ist es, aus den seismischen Registrierungen der Station Molln [3] in Oberösterreich (MOA;  $\varphi = 47^{\circ} 50' 58''$  N,  $\lambda = 14^{\circ} 15' 57''$  E,  $h = 572.1$  m) Magnituden und Epizentralintensitäten der Friauler Beben herauszufinden. Die allgemeine Definition der Magnitude

$$M = \log \frac{A}{T} + f(\Delta, h) + C_s + C_r \quad (1)$$

wo  $M$  = Magnitude,  $A$  = wahre Bodenamplitude,  $T$  = Periode,  $\Delta$  = Epizentraldistanz,  $h$  = Herdtiefe,  $C_s$  = Stationskorrektur,  $C_r$  = regionale Korrektur bedeuten, konnte hier wesentlich vereinfacht werden, da die Perioden, die Epizentraldistanz (= 195 km), die Stationskorrektur, die regionale Korrektur und, wie sich herausstellte, auch die Herdtiefen nicht variierten und daher als konstante Parameter weggelassen werden konnten. Der Einfachheit halber wurde für  $A$  die maximale Doppelamplitude der Sg-Phase in der seismischen Aufzeichnung, ausgedrückt in Millimetern (in der Folge mit  $2A$  bezeichnet) gewählt, sodaß nun die Formel (1) als

$$M + \text{const} \sim \log 2A \quad (2)$$

erschien.

Der Zusammenhang zwischen der Doppelamplitude in der seismischen Aufzeichnung und der wahren Bodenbewegung ist aus Abbildung 1, welche die Amplitudencharakteristik des Seismometers zeigt, ersichtlich. Die vorherrschenden Perioden in den verwendeten Phasenabschnitten liegen durchwegs bei  $0.45 \pm 0.05$  Sekunden.

Es galt nun, die Beziehung zwischen der Magnitude und der Doppelamplitude im Seismogramm zu definieren. Dazu wurden Magnitudenbestimmungen der Station Triest (TRI) [4] verwendet, wozu zu bemerken ist, daß diese Magnitude die ursprünglich von Richter im Jahre 1935 eingeführte "local magnitude" (in der Folge als MAW bezeichnet) ist, welche von Richter als Logarithmus der Maximalamplitude (in Mikron) eines Anderson - Wood - Torsionsseismometers mit bestimmten Konstanten in einer Epizentraldistanz von 100 Kilometern definiert wurde. Zur Umrechnung dieser "local magnitude" in Raumwellenmagnituden ( $M_b$  beziehungsweise MPV) oder Oberflächenwellenmagnituden ( $M_s$  beziehungsweise MLV) wurden von Gutenberg und Richter [5] folgende Beziehungen angegeben:

$$M_b = 1.7 + 0.8 \text{ MAW} - 0.01 \text{ MAW}^2 \quad (3)$$

$$M_s = 1.4 \text{ MAW} - 0.02 \text{ MAW}^2 - 2.1 \quad (4)$$

In Tabelle 1 sind die Triester Magnitudenbestimmungen für alle Beben mit  $\text{MAW} \geq 3.0$  sowie die maximalen Doppelamplituden für die Sg- beziehungsweise Pg-Phase der Mollner seismischen Registrierung aufgeführt. Wo Angaben aus Triest fehlten, wurden Werte der Station Ljubljana (LJU) [6] verwendet. Außerdem sind die Epizentralintensitäten  $I_0$  (nach Triest) in Einheiten der Medvedev - Sponheuer - Kárník - Skala (MSK) [7] die im wesentlichen eine Weiterentwicklung der Mercalli - Sieberg - Skala (MS) darstellt, angegeben. Als Herzzeiten H wurden diejenigen des Seismologischen Zentrums in Strasbourg [8] beziehungsweise der Station Triest verwendet.

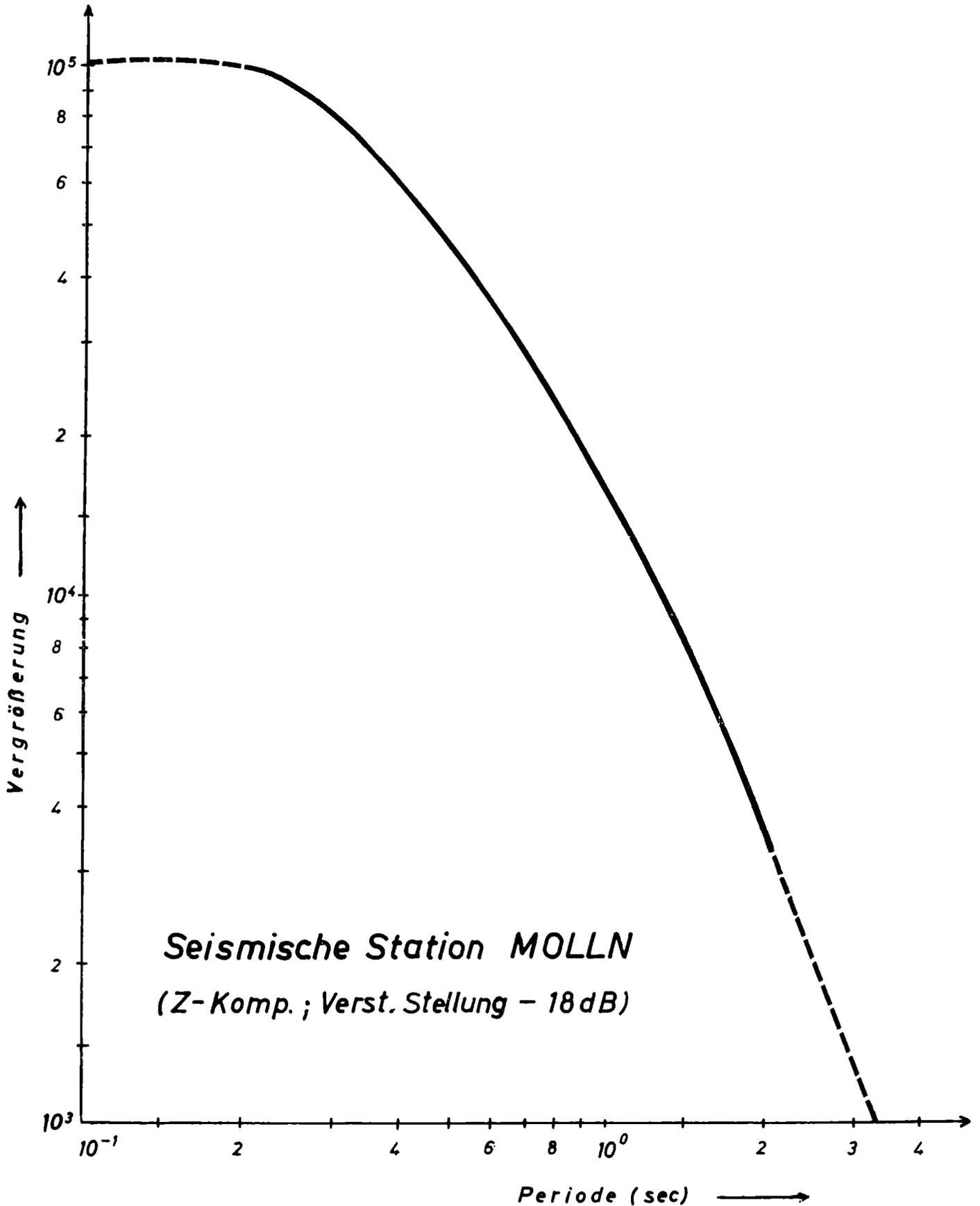


Abbildung 1. Amplitudencharakteristik des Seismometers

Tabelle 1: Epizentralintensitäten und Magnituden

Datum	H(UTC)	2A [mm] Sg (Pg)	I <sub>0</sub>	MAW
1976 Mai	06 19 59 07	X ( X)	6.5	4.5
	06 20 00 15	X ( X)	9.5	6.5
	06 20 25 02	X (45)	6	4.2
	06 21 07 42	X ( -)	6	4.2
	06 21 42 15	60 (38)	6	4.2
	06 21 49 43	- (65)	6.5	4.4
	06 22 13 55	20 ( 4)	4.5	3.2
	06 22 14 42	25 (20)	5	3.4
	06 22 20 43	60 (19)	5	3.6
	06 22 50 52	20 ( 8)	4.5	3.3
	06 23 07 05	X (50)	5.5	4.0
	06 23 10 17	50 (12)	4.5	3.2
	07 00 14 44	14 (10)		(3.5)
	07 00 23 51	X ( X)	6.5	4.6
	07 00 51 48	22 (12)	4.5	3.2
	07 01 00 27	(15)	5.5	3.8
	07 01 11 51	52 (13)		(3.3)
	07 05 40 22	38 (11)	4.5	3.3
	07 06 02 05	60 (27)	6	4.1
	07 06 39 32	58 (26)	5	3.5
	07 07 37 02	14 ( 9)	4.5	3.3
	07 07 59 02	9 ( 5)	5	3.4
	07 09 41 19	76 (55)	5.5	3.8
	07 10 08 39	- ( -)	4.5	3.1
	07 10 12 55	8 ( 7)	4.5	3.1
	07 11 15 32	22 (13)	4.5	3.3
	07 12 41 45	41 (10)	4.5	3.3
	07 13 42 50	77 (54)	6	4.2
	07 13 44 19	81 (70)	6	4.1
	07 15 40(30)	5 ( 4)	4.5	3.1
	07 15 54 42	35 (24)	5	3.5
	07 18 34(00)	22 (14)	4.5	3.0
	07 20 12 52	42 (18)	5	3.5

Datum	H(UTC)	2A [mm] Sg (Pg)	I <sub>0</sub>	MAW
1976 Mai	07 20 52 37	23 (12)	4.5	3.2
	08 01 40 05	5 ( 2)	4.5	3.0
	08 02 18 53	13 (14)	4.5	3.2
	08 03 10 07	X (80)	6	4.1
	08 09 56 30	35 (34)	5	3.5
	08 11 36 20	7 ( 6)	4.5	3.1
	08 11 40 36	50 (10)	4.5	3.3
	08 13 32 27	8 ( 7)	4.5	3.2
	08 20 40 33	72 (45)	5.5	4.0
	09 00 53 46	X ( X)	7	
	09 03 39 30	8 ( 4)	4.5	3.0
	09 05 03 52	- ( -)	4.5	3.0
	09 12 33 32	12 ( 7)	4.5	3.0
	09 20 00 06	4 ( 6)	4.5	3.1
	10 04 35 55	X (78)	6.5	4.4
	10 05 08 52	68 (29)	5.5	3.7
	10 16 01 50	6 ( 4)	4.5	3.1
	11 05 31 58	54 (32)	5.5	3.8
	11 09 57 30	41 (24)	5.5	3.7
	11 10 06 (00)	14 (10)	5	3.4
	11 22 18 05	20 (14)	5.5	3.8
	11 22 44 02	X ( X)	7	4.8
	11 23 22 50	19 (11)	5	3.6
	11 23 36 44	60 (31)	5.5	3.7
	12 02 38 14	9 ( 4)	4.5	3.2
	12 03 01 18	30 (21)	5	3.6
	12 03 02 50	6 ( -)	4.5	3.2
	12 09 04 11	29 (24)	5	3.6
	12 18 06 55	52 (20)	5	3.5
	12 20 12 55	9 ( 3)	4.5	3.0
	13 13 04 52	49 (26)	5	3.7
	15 04 26 17	62 (41)	5.5	3.7
	15 08 40 18	50 (19)	5	3.4
	15 16 05 51	37 (14)	5	3.5
	17 16 13 18	X (65)	6	4.2

Datum	H(UTC)	2A [mm] Sg (Pg)	I <sub>0</sub>	MAW	
1976 Mai	18 01 30 11	63 (41)	5.5	3.7	
	18 02 39 43	23 (13)	4.5	3.3	
	18 14 32 25	18 ( 9)	4.5	3.1	
	18 15 22 12	16 ( 8)	4.5	3.3	
	23 00 51 12	30 (15)	5	3.6	
	30 21 13 12	42 (36)	5	3.6	
Jun	01 17 21 10	74 (23)	5.5	3.7	
	04 07 49 16	43 (12)	5	3.5	
	08 12 14 39	X ( X)	6	4.3	
	09 18 48 17	78 (36)	5.5	4.0	
	11 17 16 42	X (80)	6.5	4.2	
	15 05 46 33	54 (25)	5	3.7	
	16 03 20 34	47 (17)	5	3.7	
	17 14 28 51	80 (80)	6.5	4.4	
	17 16 42 10	28 (12)	5	3.5	
	26 11 13 49	X (76)	6	4.3	
	26 11 35 59	15 ( 3)	4.5	3.1	
	26 16 47 38	21 (10)	4.5	3.2	
	Jul	10 04 11 25	70 (54)	5.5	4.2
		12 08 04 51	69 (52)	5.5	3.9
14 05 39 35		X (80)	6	4.2	
15 12 58 51		78 (60)	5.5	3.8	
18 13 39 19		10 ( 5)	5	3.5	
30 07 32 45		60 (30)	5.5	3.8	
31 14 46 55		63 (31)	5	3.5	
Aug	18 05 58 47	34 (16)		3.1	
Sep	06 19 28 11	77 (26)	5.5	3.7	
	07 11 08 24	74 (39)	5.5	3.8	
	11 16 31 14	X ( X)	8	5.1	
	11 16 35 05	X ( X)	8 +	5.6	
	11 16 40 41	63 (20)	5	3.6	
	11 16 48 58	83 (71)	(6)		
	11 17 34 58	25 ( 9)	5	3.4	
	11 18 27 47	42 (19)	5	3.4	
	11 21 05 43	72 (32)	5.5	3.7	
	12 01 19 54	80 (48)	6	4.0	

Datum	H(UTC)	2A [mm] Sg (Pg)	I <sub>0</sub>	MAW
1976 Sep	12 08 08 27	34 (19)	5	3.5
	12 08 14 46	61 (21)	5	3.6
	12 19 53 24	X (82)	6	4.1
	13 07 03 48	28 (14)	5	3.4
	13 18 54 42	85 (75)	6	4.3
	13 19 42 09	46 (24)	5.5	3.9
	14 08 25 16	65 (29)	5.5	3.7
	15 03 15 22	X ( X)	8.5	5.8
	15 03 39 18	42 (15)	5	3.5
	15 03 52 34	14 ( 6)	4.5	3.3
	15 03 55 47	38 (11)	5	3.4
	15 04 38 50	X ( X)	7	4.7
	15 04 58 39	X ( X)	6.5	4.3
	15 05 38 21	18 (10)	4.5	3.3
	15 09 21 21	X ( X)	9	6.1
	15 09 37 26	20 (12)	5	3.4
	15 09 45 52	X (77)	6	4.3
	15 09 55 45	38 (10)	5	3.5
	15 11 11 08	X ( X)	(7.5)	4.5
	15 11 17 41	49 (30)	5.5	3.7
	15 14 42 34	65 (54)	5.5	3.7
	15 15 19 54	75 (47)	5.5	3.7
	15 15 24 23	25 (12)	5	3.5
	15 16 11 16	19 ( 9)	4.5	3.3
	15 16 24 21	15 (10)	5	3.4
	15 17 25 57	68 (32)	5.5	3.7
	15 17 44 48	25 (20)	5	3.4
	15 19 31 07	85 (68)	6	4.1
	15 20 24 06	80 (71)	5.5	3.9
	15 20 34 51	35 (15)	5	3.7
	15 20 44 47	- ( -)	4.5	3.3
	15 22 35 42	57 (13)	4.5	3.1
	16 01 30 41	71 (30)	5.5	3.7
	16 05 40 37	26 (14)	5	3.3
	16 23 52 17	13 ( 4)	5	3.4
	17 04 14 02	72 (31)	5.5	3.9

Datum	H(UTC)	2A [mm] Sg (Pg)	I <sub>0</sub>	MAW
1976 Sep	17 14 17 29	15 ( 8)	4.5	3.3
	18 00 39 37	63 (25)	5	3.6
	18 05 50 18	27 (12)	5	3.4
	19 10 26 48	34 (25)	5	3.7
	20 09 09 55	83 (56)	6	4.0
	20 23 34 16	68 (40)	5	3.5
	26 01 51 46	36 (19)	5	3.6
	26 14 52 16	38 (16)	5	3.6
	27 14 37 25	28 (16)	5	3.6
Okt	03 17 49 47	13 ( 7)	5	3.4
	11 16 57 12	13 ( 5)	4.5	3.2
	12 10 23 06	7 ( 4)	4.5	3.2
	13 02 48 41	X ( X)	6.5	4.4
	13 07 39 42	24 (14)	5	3.4
	15 02 28 31	15 ( 5)	4.5	3.2
	19 22 52 43	13 ( 8)	4.5	3.2
	26 06 02 44	15 ( 6)	4.5	3.2
	27 04 25 40	19 ( 6)	4.5	3.3
	28 06 15 53	22 ( 6)	4.5	3.1
	30 12 28 47	34 (10)	5	3.4
Nov	13 01 13 36	24 (19)	5	3.5
	14 03 46 47	27 (20)	5	3.4
	23 07 30 28	76 (45)	6	4.2
	29 20 58 50	67 (21)		
Dez	07 03 17 03	24 (16)		

Die übersteuerten Registrierungen wurden mit X bezeichnet. Zu erwähnen ist, daß die Angaben der Epizentralintensitäten bis einschließlich 13. Mai diejenigen der Station Triest sind; die Intensitätsangaben für die Beben nach dem 13. Mai sind nach einer Methode extrapoliert, die noch erläutert wird.

Um die Zuverlässigkeit der Triester Magnitudenbestimmungen abschätzen zu können, werden in Tabelle 2 Magnitudenangaben einiger anderer Stationen zum Vergleich herangezogen, wobei sich erkennen läßt, daß die Übereinstimmung im allgemeinen recht gut ist.

Tabelle 2: Vergleiche von Magnitudenwerten

Datum	H(UTC)	TRI[4]	FIR[9]	SAR[10]	TTG[11]	UPP[12]	CLL[13]	BJI[14]	MOX[15]
		MAW	M	ML	MLH	M	MLH	M	MLH
Mai	06 20 00 14	6.5		6.5	6.5	6.9	6.5		6.7
	06 21 07 42	4.2	4.1						
	06 21 42 15	4.2	3.5						
	06 21 49 43	4.4	4.4				4.0		3.7
	07 00 23 51	4.6	5.4			5.4	5.1		4.7
	08 03 10 07	4.1					3.8		
	09 00 53 46		5.2		4.8	5.5	5.2		
	10 04 35 55	4.4			4.1		4.4		
	11 22 44 02	4.8	5.3			5.2	5.0		
	13 13 04 52	3.7	4.1						
Jun	01 17 21 10	3.7	3.7						
	08 12 14 39	4.3	4.7				4.4		
	09 18 48 17	4.0	4.0				3.9		3.3
	11 17 16 42	4.2	4.4				4.2		4.1
Sep	06 19 28 11	3.7	3.8						
	07 11 08 24	3.8	3.9						
	11 16 31 14	5.1	5.5	5.6	5.5	5.6	5.5		
	11 16 35 05	5.6		5.8	5.8	5.9	5.9		
	12 19 53 24	4.1	4.8	4.6			4.4		
	13 18 54 42	4.3	4.4	4.2			4.0		
	13 19 42 09	3.9	4.3	3.9					
	15 03 15 22	5.8	5.9	6.3	6.5	6.3	6.3	6.4	
	15 04 38 50	4.7		4.5			4.7		
	15 04 58 39	4.3					4.3		
15 09 21 21	6.1		5.8	6.2	6.4	6.4	6.5		
15 11 11 08	4.5		4.9			5.0			
Okt	13 02 48 41	4.4	4.3		4.3		4.1		3.7

Aus der in Tabelle 1 angeführten Gegenüberstellung der Magnituden- und der Amplitudenwerte, welche in Abbildung 2 graphisch dargestellt ist, ergab sich ein Zusammenhang in der Form

$$M = (1.34 \pm 0.08) (\log 2A + 0.88)$$

oder

$$M = 1.34 \log 2A + 1.18 \quad (5)$$

mit  $2A$  = registrierte Doppelamplitude in mm.

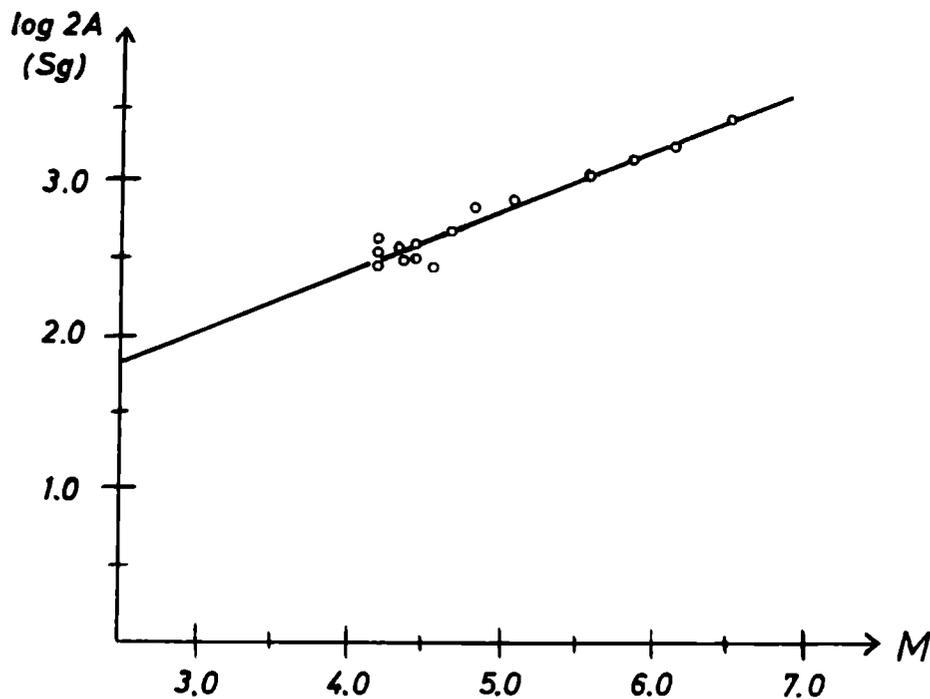


Abbildung 2. Abhängigkeit der Amplitude von der Magnitude

Diese Methode erlaubte es, Beben mit einer Doppelamplitude von weniger als 85mm magnitudenmäßig zu klassifizieren, womit man auf Magnituden kommt, die kleiner oder gleich 4.0 sind. Für stärkere Beben kann man die Doppelamplitude der Pg-Phase heranziehen; diese liefert jedoch, empirisch gesehen, etwas ungenauere Werte, und die so erhaltenen Werte reichen nur wenig über die durch die Doppelamplitude der Sg-Phase ermittelten hinaus, nämlich bis zu  $M \leq 4,5$ . Hier gilt die Beziehung

$$2A_{Pg} = (0.54 \pm 0.06) 2A_{Sg} \quad (6)$$

mit  $2A_{Pg}$ ,  $2A_{Sg}$  als registrierte Doppelamplituden in mm.

In den Fällen, wo die Bebenregistrierung übersteuert war, konnte diese Methode jedoch nicht angewendet werden. Es wurde deshalb versucht, einen Zusammenhang zwischen der maximalen Doppelamplitude und der Dauer der seismischen Registrierung zu finden. Diese in Sekunden gemessene Registrierdauer  $t$  wurde definiert als die Zeit zwischen dem Einsatz der Sg-Phase und jenem Zeitpunkt, zu dem die Doppelamplitude der Registrierung den Wert von 10 mm unterschritten hatte. Unter Verwendung von 30 Beben mit  $3,0 \leq M \leq 3,8$  wurde schließlich die Beziehung

$$2A = (2,49 \pm 0,02) t - 12,6 \quad \text{für } t \geq 15^{\text{sec}} \quad (7)$$

mit  $2A$  als registrierter Doppelamplitude in mm gefunden.

Diese Beziehung erlaubte es nun, Angaben über eine theoretische maximale Doppelamplitude derjenigen Beben zu machen, die in der Registrierung übersteuert waren. Außerdem konnte versucht werden, eine Beziehung zwischen der theoretischen Doppelamplitude und der Dauer der Übersteuerung, hier mit  $\tau$  bezeichnet, zu finden. In Tabelle 3 sind sämtliche übersteuerten Beben, deren Registrierdauer  $t$ , die extrapolierte maximale Doppelamplitude der Sg-Phase mit der Bezeichnung  $2A^*$  und die Dauer der Übersteuerung  $\tau$  angegeben.

Tabelle 3: Parameter der übersteuerten Bebenregistrierungen

Datum	H(UTC)	$t$ [sec]	$2A^*$ [mm]	$\tau$ [sec]
1976 Mai	06 19 59 07			
	06 20 00 15	984	2440	450
	06 20 25 02	54	120	
	06 21 07 42			
	06 23 07 05			
	07 00 23 51			
	08 03 10 07	78	180	32
	09 00 53 46	315	770	128
	10 04 35 55	135	320	45
	11 22 44 02	289	710	85
	17 16 13 18	146	350	47
Jun	08 12 14 39	154	370	41
	11 17 16 42	178	430	50
	17 14 28 51	154	370	43
	26 11 13 49	92	220	33
Jul	14 05 39 35	133	320	45
Sep	11 16 31 14		(1050)	130
	11 16 35 05	472	1400	184
	12 19 53 24	162	390	49
	13 18 54 42	132	320	40

Datum	H(UTC)	t [sec]	2A* [mm]	$\tau$ [sec]
1976 Sep	15 03 15 22	576	1420	244
	15 04 38 50	(211)	(510)	(50)
	15 09 21 21	723	1790	254
	15 09 45 52	113	270	45
	15 11 11 08	268	660	87
Okt	13 02 48 41	88	210	40

Es fand sich ein Zusammenhang zwischen  $\tau$  und  $2A^*$  in der Form

$$\log 2A^* = 2.22 \log \tau - 1.24 \quad (8)$$

beziehungsweise zwischen der Magnitude und der Dauer der Übersteuerung, graphisch dargestellt in Abbildung 3, als

$$M = (2.96 \pm 0.16) (\log \tau - 0.25)$$

oder

$$M = 2.96 \log \tau - 0.74 \quad (9)$$

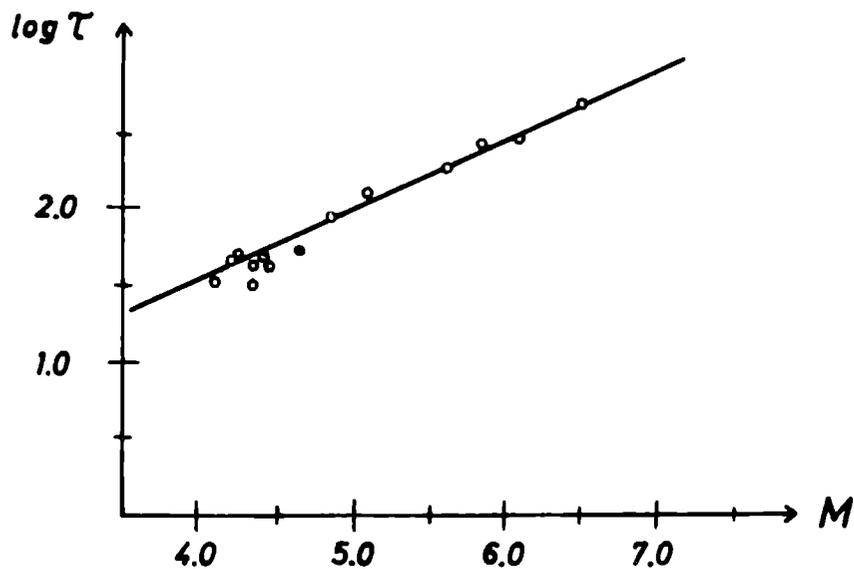


Abbildung 3. Abhängigkeit der Dauer der Übersteuerung von der Magnitude

Diese Beziehung stimmt gut mit der Magnitudenformel überein, welche man erhält, wenn man Gleichung (8) in (5) einsetzt; man erhält nämlich

$$M = 2.97 \log \tau - 0.5 \quad (10)$$

Da sich herausstellte, daß die Herdtiefen sämtlicher Beben nur unwesentlich um den Wert von etwa 10 km [8] schwankten, die Herdtiefe also als konstant betrachtet werden konnte, ließ sich ein einfacher Zusammenhang zwischen der Epizentralintensität und der Magnitude herstellen. Dieser Zusammenhang in der Form

$$M \simeq 0.68 I_0$$

oder

$$(11)$$

$$I_0 \simeq 1.47 M$$

ist aus der Abbildung 4 sowie aus der Tabelle 4 ersichtlich.

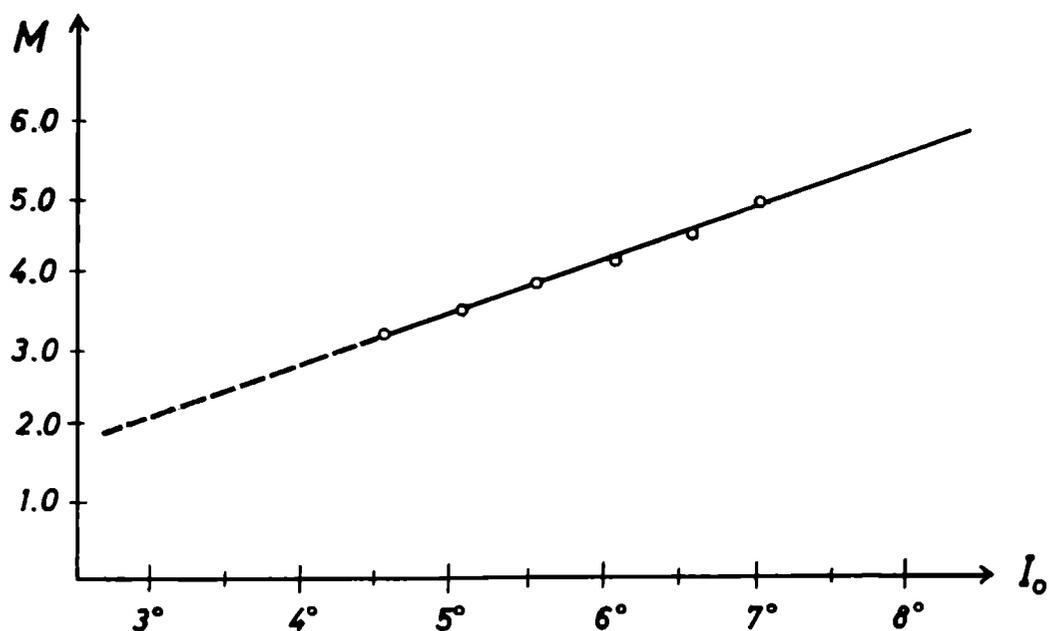


Abbildung 4. Zusammenhang zwischen Magnitude und Epizentralintensität

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Magnitude und Epizentralintensität

$I_0$	$M$
4.5 <sup>0</sup>	3.15 ± 0.11
5.0 <sup>0</sup>	3.5 ± 0.1
5.5 <sup>0</sup>	3.8 ± 0.1
6.0 <sup>0</sup>	4.2 ± 0.1
6.5 <sup>0</sup>	4.5 ± 0.1
7.0 <sup>0</sup>	4.8

## II. Häufigkeit der Beben

Ein weiterer Betrachtungspunkt der Friauler Bebenserien war die abnehmende, beziehungsweise ansteigende Häufigkeit der Nach-, beziehungsweise Vorbeben. Eine Übersicht in graphischer Form vermittelt die Abbildung 5, wo der Logarithmus der Bebenhäufigkeit  $N$  gegen die verstrichene Zeit aufgetragen ist.

Die Anzahl der von der Station MOA registrierten Friauler Beben mit  $M \geq 1.0$  diese untere Grenze entspricht einer eben noch auswertbaren Bebenregistrierung betrug bis zum 30. November 1976 insgesamt 1350, wovon 730 auf die erste Nachbebenserie, also auf den Zeitraum zwischen 6. Mai und 31. August entfielen; die Hälfte dieser 730 Beben, 365 Beben, wurde allein in den ersten elf Tagen nach dem Hauptbeben registriert.

Es existiert ein stochastischer Zusammenhang in der Form

$$\log N = a - bM \quad (12)$$

mit  $N$  als Bebenzahl pro Flächen- und Zeiteinheit und  $M$  als Bebenmagnitude nach Richter; die Konstante  $a$  ist ein Maß für die Seismizität eines Gebietes, hier innerhalb einer gewissen Zeitspanne, und die Konstante  $b$  liefert den Anstieg, beziehungsweise den Abfall der Häufigkeit. Es wurden in diesem Fall drei verschiedene Zeitspannen untersucht, und zwar die Zeit der ersten Nachbebenserie vom 6. Mai bis 31. August, die Zeit der Vorbebenserie vom 1. bis 15. September und die Zeit der zweiten Nachbebenserie vom 15. September bis 31. Oktober.

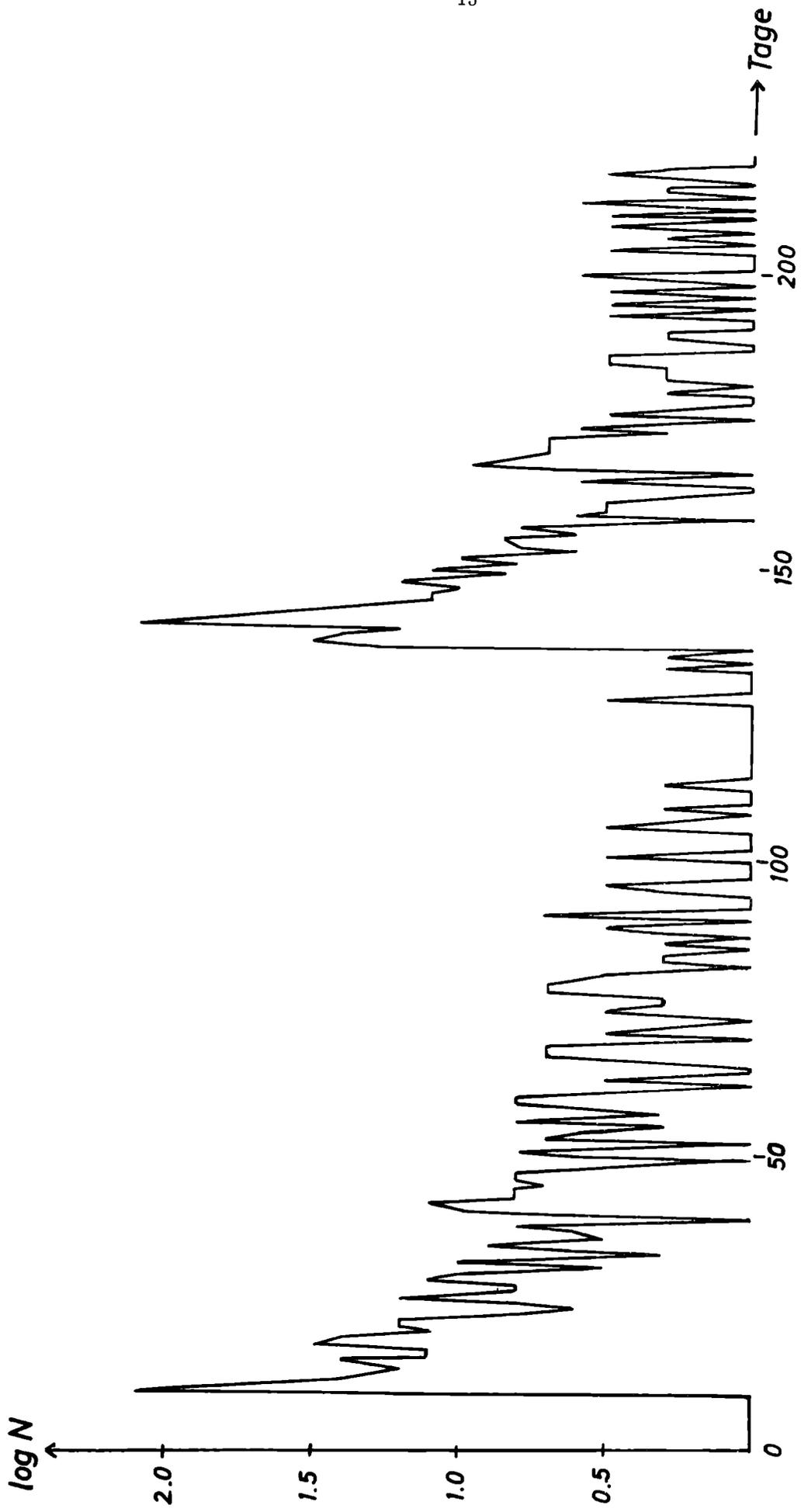


Abbildung 5. Häufigkeitsabnahmeverteilung der Beben

Hier zeigte sich ein signifikanter Unterschied in  $b$ , also dem Häufigkeitsabfall; aus diesem Unterschied kann man unter Umständen bei anderen Bebenserien diese als Vorbeben erkennen und entsprechende Maßnahmen im Hinblick auf ein stärkeres Hauptbeben treffen. Im übrigen gilt annähernd  $a/b = \text{const.}$  Die Werte für  $a$ ,  $b$  und  $a/b$  sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5

Zeitraum		a	b	a/b	Bemerkungen
Mai 06	Aug 31	5,6	$1.31 \pm 0.04$	4.27	Nachbebenserie
Sep 01	Sep 15	2.57	$0.61 \pm 0.01$	4.21	Vorbebenserie
Sep 15	Okt 31	4.55	$1.10 \pm 0.03$	4.14	Nachbebenserie

Im Anhang folgt noch eine Liste sämtlicher Beben Mitteleuropas seit dem Jahre 1000 n. Chr. mit  $I_0 \geq 8.5^0$  MSK [1, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26], woraus ersichtlich ist, daß die Friauler Beben vom 6. Mai und 15. September 1976 bezüglich ihrer Epizentralintensität eine dominierende Stellung unter den Beben der letzten tausend Jahre einnehmen.

Außerdem findet sich im Anhang eine Aufstellung aller Friauler Beben dieses Jahrhunderts mit  $I_0 \geq 6^0$  MSK [19, 20, 21, 22, 23, 24] bis Ende 1975.

#### D a n k s a g u n g

Herrn Dr. J. DRIMMEL sei an dieser Stelle für seine zahlreichen wertvollen Hinweise und Vorschläge gedankt, die mir eine große Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit waren. Frau Amtsdirektor G. LUKESCHITZ danke ich für ihre Hilfsbereitschaft bei der Verfertigung der Abbildungen.

## A N H A N G

Tabelle 6: Zerstörende Beben Mitteleuropas ( $I_0 \geq 8.5^0$  MSK)

Datum	Uhrzeit (MEZ)	Epizentralgebiet	$I_0$ (MSK)
1000 Mar 29		Slowenien	( $8^0 - 9^0$ )
1117 Jan 03	15 <sup>h</sup>	Italien, Verona	$9^0$
1201 Mai 04	11 <sup>h</sup>	Steiermark, Murau	$9^0$
1222 Dez 25		Oberitalien	$9^0$
1348 Jan 25	17 <sup>h</sup>	Kärnten, Villach	$10^0$
1356 Okt 18	22 <sup>h</sup>	Schweiz, Basel	$9^0$
1376 Mar 12		Italien, Venetien	$9^0$
1410 Jun 10		Italien, Verona	$9^0$
1590 Sep 15	abends	Niederösterreich, Neulengbach	$9^0$
1690 Dez 04	15 : 45	Kärnten, Villach	$9^0$
1695 Feb 25	12 : 30	Italien, Venetien	$9^0$
1763 Jun 28	5 <sup>h</sup>	Ungarn, Komárom	$9^0 - 10^0$
1778 Dez 19	9 <sup>h</sup>	Ostslowakei - Nordungarn	$8^0 - 9^0$
1783 Apr 22	3 : 30	Ungarn, Komárom	$9^0$
1788 Okt 20		Italien, Friaul	$9^0$
1810 Jan 14	18 <sup>h</sup>	Ungarn, Mór	$9^0$
1822 Feb 18	17 <sup>h</sup>	Ungarn, Komárom	$8^0 - 9^0$
1855 Jul 25		Schweiz, Wallis	$9^0$
1858 Jan 15	20 <sup>h</sup>	Slowakei, Žilina	$9^0$
1870 Mar 01	20 <sup>h</sup>	Kroatien, Rijeka	$8^0 - 9^0$
1873 Jun 29	5 <sup>h</sup>	Italien, Friaul	$9^0$
1880 Nov 09	7 : 30	Kroatien, Zagreb	$9^0$
1895 Apr 14	23 <sup>h</sup>	Slowenien, Ljubljana	$8^0 - 9^0$
1905 Apr 29	2 : 46	Schweiz, Walliser Alpen	$8^0 - 9^0$
1906 Jan 10	0 : 05	Slowakei, Dobrá Voda	$9^0$
1911 Jul 08	2 : 02	Ungarn, Kecskemét	$9^0$
1925 Jan 31	8 : 05	Ungarn, Eger	$8^0 - 9^0$
1928 Mar 27	9 : 33	Italien, Friaul	$9^0$
1936 Okt 18	4 : 10	Italien, Venetien	$9^0$
1976 Mai 06	21 : 00	Italien, Friaul	$9^0 - 10^0$
1976 Sep 15	4 : 15	Italien, Friaul	$8^0 - 9^0$
1976 Sep 15	10 : 21	Italien, Friaul	$9^0$

Tabelle 7: Schadenbeben der Region Friaul 1900 1975

Datum	Uhrzeit (MEZ)	I <sub>0</sub> (MSK)
1904 Mar 10	5:23	6 <sup>0</sup>
1906 Jun 03	20:40	6 <sup>0</sup>
1907 Jul 02	3:32	6 <sup>0</sup>
1908 Jul 10	3:14	8 <sup>0</sup>
Jul 10	7:40	7 <sup>0</sup>
Jul 31	8:33	6 <sup>0</sup>
1911 Feb 02	3:54	6 <sup>0</sup>
1918 Nov 06	20:26	7 <sup>0</sup>
1920 Mai 05	15:43	7 <sup>0</sup>
1924 Mai 12	9:46	6 <sup>0</sup>
Dez 12	4:29	7 <sup>0</sup>
1928 Mar 26	15:40	6 <sup>0</sup>
Mar 27	9:33	9 <sup>0</sup>
Mar 29	15:52	6 <sup>0</sup>
Jun 27	0:26	6 <sup>0</sup>
Nov 16	4:17	6 <sup>0</sup>
1929 Okt 03	18:05	6 <sup>0</sup>
1930 Jan 10	22:53	6 <sup>0</sup>
Mai 14	1:01	6 <sup>0</sup>
1931 Dez 25	12:41	7 <sup>0</sup>
1934 Mai 04	14:56	6 <sup>0</sup>
Jun 08	4:17	6 <sup>0</sup>
1936 Okt 18	4:10	9 <sup>0</sup>
Okt 18	22:50	6 <sup>0</sup>
1938 Okt 19	8:06	7 <sup>0</sup>
1939 Apr 25	19:25	6 <sup>0</sup>
1949 Feb 03	23:30	6 <sup>0</sup>
1951 Nov 19	20:48	6 <sup>0</sup>
1954 Apr 25	23:18	6 <sup>0</sup>
Okt 11	10:36	6 <sup>0</sup>
1955 Jul 23	4:54	6 <sup>0</sup>
1956 Nov 05	20:46	6 <sup>0</sup>
1959 Apr 26	15:45	7 <sup>0</sup>
Jun 13	22:57	7 <sup>0</sup>
Jun 14	2:	6 <sup>0</sup>
Jun 14	23:	6 <sup>0</sup>
1960 Jan 06	16:18	7 <sup>0</sup>
Jul 14	5:18	6 <sup>0</sup>
1971 Nov 03	22:31	6 <sup>0</sup>
1975 Mar 24	3:33	6 <sup>0</sup>

## L I T E R A T U R

- [1] RÉTHLY, A.: A Kárpátmedencék Földrengési (Die Erdbeben der Karpathen - Becken). Budapest 1952.
- [2] GÖRLICH, W. und R. WURZER: Das große Erdbeben zu Villach Anno 1348. Villach 1948.
- [3] DRIMMEL, J.: Die seismische Station Molln ein neuer Stützpunkt der Erdbebenforschung. Heft 11/12, 1974, Österreichische Wasserwirtschaft, Wien 1974.
- [4] Osservatorio Geofisico Sperimentale TRIESTE: Preliminary Seismological Bulletin. May - November, 1976. Italien.
- [5] GUTENBERG, B. und C. F. RICHTER: Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration. Bull. Seism. Soc. Amer. 46, 1956.
- [6] Preliminary Seismogram Readings at LJUBLJANA. University of Ljubljana. May - November, 1976. Jugoslawien.
- [7] SPONHEUER, W.: Bericht über die Weiterentwicklung der seismischen Skala. Veröffentlichungen des Instituts für Geodynamik Jena, Heft 8, Akademie - Verlag, Berlin 1965.
- [8] Centre Séismologique Européo - Méditerranéen Strasbourg. Déterminations Hypocentrales. Mai - Novembre 1976. Frankreich.
- [9] FIRENZE - Osservatorio Ximeniano - Rete Sismica I. N. G. Bollettino Sismico provvisorio. Maggio - Novembre 1976. Italien.
- [10] Seismological Institute SARAJEVO: Preliminary Seismogram Readings. May - November, 1976. Jugoslawien.
- [11] Seismological Station TITOGRAD: Preliminary Seismogram Readings. May - November, 1976. Jugoslawien.
- [12] Seismological Institute UPPSALA: Preliminary Seismogram Readings. May - November, 1976. Schweden.
- [13] Seismischer Dekadenbericht der Station COLLM. Mai - November 1976. DDR.
- [14] Zhongguo kexüeyüan diqiu wuli yanjiusuo: Dizhen guance baogao (Abt. f. Geophysik der Chines. Akademie d. Wissenschaften: Mitteilungen über Erdbebenbeobachtungen). September 1976. Beijing (Peking), China.
- [15] Preliminary Seismogram Readings at MOXA. May - November, 1976. DDR.

- [16] SCHORN, J.: Die Erdbeben von Tirol und Vorarlberg. Zeitschrift d. Ferdinandeums, III. Folge, 46. Heft, Innsbruck 1902.
- [17] SIEBERG, A.: Beiträge zum Erdbebenkatalog Deutschlands und angrenzender Gebiete für die Jahre 58 bis 1799. Mitteilungen des Deutschen Reichs - Erdbebedienstes, Heft 2, Berlin 1940.
- [18] SPONHEUER, W.: Erdbebenkatalog Deutschlands und der angrenzenden Gebiete für die Jahre 1800 bis 1899. Mitteilungen des Deutschen Erdbebedienstes, Heft 3, Berlin 1952.
- [19] KÁRNÍK, V., E. MICHAL und A. MOLNÁR: Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei. Práce Geofyzikálního ústavu Československé akademie věd. No. 69, Praha 1957.
- [20] TOPERCZER, M. und E. TRAPP: Ein Beitrag zur Erdbebengeographie Österreichs nebst Erdbebenkatalog 1904 - 1948 und Chronik der Starkbeben. Mitt. d. Erdb. - Komm., N. F. 65, Wien 1950.
- [21] TRAPP, E.: Die Erdbeben Österreichs 1949 - 1960. Mitt. d. Erdb. - Komm., N. F. 67, Wien 1961.
- [22] TRAPP, E.: Die Erdbeben Österreichs 1961 - 1970. Mitt. d. Erdb. - Komm., N. F. 72, Wien 1973.
- [23] FELIZIANI, P. und L. MARCELLI: Il terremoto di Tolmezzo del 26 Aprile 1959 Venti secoli di storia sismica della Regione Carnica e dell'Italia Nord - Orientale. Annali di Geofisica, Vol. XVIII, N. 3 - 1965, Roma.
- [24] KÁRNÍK, V.: Seismicity of the European Area. Part 1, 2. Praha, Dordrecht 1969, 1971.
- [25] RÉTHLY, A.: Az 1894 - 1895 években Magyarországon észlelt földrengések. Publications de l'Observatoire sismologique de l'Université de Budapest. Budapest 1915.
- [26] RÉTHLY, A.: Das Erdbeben von Mór am 14. Januar 1810. Földtani Közlöny, XL. (1910.) Band, pp. 227 - 253, Budapest 1910.

## "ARBEITEN AUS DER ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK"

Heft	Publ. Nr.	Fachgebiet	Autor	Titel und Umfang	Preis
1	184	Geophysik	ECKEL O.:	Über die vertikale Temperaturverteilung im Traunsee. Wien 1967, 42 Seiten, 4 Tabellen, 24 Abbildungen.	Ö.S. 80.-
2	186	Meteorologie	STEINHAUSER F.:	Ergebnisse von Pilotballon-Höhenwindmessungen in Österreich. Wien 1967, 44 Seiten, 16 Seiten Tabellen und 28 Abbildungen.	70.-
3	187	Geophysik	TOPERCZER M.:	Die Verteilung der erdmagnetischen Elemente in Österreich zur Epoche 1960.0. Wien 1968, 18 Seiten, 3 Tabellen, 10 Kartenbeilagen.	120.-
4	190	Geophysik	BRÜCKL E., G. GANGL u. P. STEINHAUSER:	Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Dachstein im Jahre 1967. Wien 1969, 24 Seiten, 11 Abbildungen.	50.-
5	191	Meteorologie	HADER F.:	Durchschnittliche extreme Niederschlagshöhen in Österreich. Wien 1969, 19 Seiten, 6 Tabellen, 1 Kartenbeilage.	50.-
6	192	Meteorologie	STEINHAUSER F.:	Der Tagesgang der Bewölkung und Nebelhäufigkeit in Österreich. Wien 1969, 22 Seiten, 4 Tabellen, 16 Abbildungen.	50.-
7	193	Geophysik	GANGL G.:	Die Erdbebenätigkeit in Österreich 1901-1968. Wien 1970, 36 Seiten, 11 Abbildungen, 1 Kartenbeilage.	60.-
8	195	Meteorologie	STEINHAUSER F.:	Die Windverhältnisse im Stadtgebiet von Wien. Wien 1970, 17 Seiten Text, 52 Tabellen, 47 Abbildungen.	120.-
9	196	Geophysik	BRÜCKL E., G. GANGL u. P. STEINHAUSER:	Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Dachstein im Jahre 1968. Wien 1971, 31 Seiten, 7 Tabellen, 13 Abbildungen.	60.-
10	198	Geophysik	BRÜCKL E., G. GANGL:	Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Gefrome Wand Kees im Jahre 1969, Wien 1972, 13 Seiten, 8 Abbildungen, 3 Karten.	50.-
11	201	Geophysik	BITTMANN O., E. BRÜCKL, G. GANGL, F.J. WALLNER:	Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Obersten Pasterzenboden (Glocknergruppe) im Jahre 1970, Wien 1973, 21 Seiten, 9 Abbildungen, 3 Karten	60.-
12	202	Meteorologie	STEINHAUSER F.:	Tages- und Jahresgang der Sonnenscheindauer in Österreich (1929-1968), Wien 1973, 12 Seiten Text, 98 Tabellen, 5 Abbildungen.	110.-
13	203	Meteorologie		Klimadaten des Neusiedlerseegebietes, I. Teil Tabellen der Stundenwerte der Lufttemperaturen, 1966-1970, 105 Tabellen.	90.-
14	205	Geophysik	PÜHRINGER A., W. SEIBERL, E. TRAPP, F. PAUSWEG:	Die Verteilung der erdmagnetischen Elemente in Österreich zur Epoche 1970.0. Wien 1975, 18 Seiten, 3 Tabellen, 9 Kartenbeilagen.	140.-
15	206	Meteorologie		Klimadaten des Neusiedlerseegebietes, II. Teil Tabellen der Stundenwerte der Relativen Feuchte, 1966-1970, 105 Tabellen.	100.-

Heft	Publ. Nr.	Fachgebiet	Autor	Titel und Umfang	Preis Ö.S.
16	207	Meteorologie		Hundert Jahre Meteorologische Weltorganisation und die Entwicklung der Meteorologie in Österreich. Wien 1975, 50 Seiten.	100.-
17	208	Geophysik	TOPERCZER M.:	Die Geschichte der Geophysik an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Wien 1975, 24 Seiten.	50.-
18	209	Meteorologie	CHALUPA K.:	Ergebnisse der Registrierung der Schwefeldioxid-Immission in Wien, Hohe Warte, Okt. 1967 - Dez. 1974. Wien 1976, 62 Seiten, mit 19 Tabellen u. 24 Abbildungen.	80.-
19	210	Geophysik	GUTDEUTSCH R. u. K. ARIC:	Erdbeben im ostalpinen Raum. Wien 1976, 23 Seiten, 3 Karten.	80.-
20	211	Meteorologie	TOLLNER H., W. MAHRINGER u. F. SÖBERL:	Klima u. Witterung der Stadt Salzburg. Wien 1976, 176 Seiten, 29 Abbildungen.	220.-
21	214	Geophysik	SEIBERL W.:	Das Restfeld der erdmagnetischen Totalintensität in Österreich zur Epoche 1970.0. Wien 1977, 8 Seiten, 1 Kartenbeilage.	30.-
22	216	Meteorologie	SABO P.:	Ein Vergleich deutscher und amerikanischer Höhenvorhersagekarten für den Alpenraum. Wien 1977, 34 Seiten, 11 Tabellen, 5 Abbildungen.	60.-
23	217	Meteorologie	CEHAK K.:	Die Zahl der Tage mit Tau und Reif in Österreich. Wien 1977, 17 Seiten, 6 Tabellen, 1 Abbildung, 6 Karten.	80.-
24	218	Meteorologie	CHALUPA K.:	Ergebnisse der Registrierung der Schwefeldioxid- und Summenkohlenwasserstoff-Immission in Wien, Hohe Warte 1975. Wien 1977, 40 Seiten, 13 Tabellen, 12 Abbildungen.	70.-
25	219	Geophysik	BRÜCKL E. u. O. BITTMANN:	Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen im Bereich der Goldberggruppe (Hohe Tauern) in den Jahren 1971 und 1972. Wien 1977, 30 Seiten, 2 Tabellen, 34 Abbildungen, 2 Karten.	80.-
26	222	Geophysik	FIEGWEL E.:	Die Nachbebenserien der Friauler Beben vom 6. Mai und 15. September 1976. Wien 1977, 20 Seiten, 7 Tabellen, 5 Abbildungen.	60.-