

Carinthia II	175./95. Jahrgang	S. 47–59	Klagenfurt 1985
--------------	-------------------	----------	-----------------

Über den Radongehalt der Freibadquelle in Warmbad Villach

Harry FRIEDMANN, Friedrich HERNEGGER

Mit 6 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung: Die kontinuierliche Überwachung des Radongehaltes der Freibadquelle von Warmbad Villach hat gezeigt, daß die Radonkonzentration dieser Quelle zum Teil großen Schwankungen unterworfen ist. Um zu prüfen, ob nicht auch tektonische Veränderungen Radonkonzentrationsschwankungen hervorrufen können, wurden verschiedene denkbare Einflußfaktoren systematisch erfaßt und mit der Radonkonzentration korreliert. Die Untersuchungen haben ergeben, daß die Schwankungen des Radongehalts der Freibadquelle mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf Spannungsschwankungen in der Erdkruste zurückzuführen sind.

Abstract: The radon concentration in the Freibadquelle of Warmbad Villach was continuously observed. A systematic investigation of the observed radon fluctuations showed a possible influence of tectonic forces.

1. EINLEITUNG

Die Thermalquellen von Warmbad Villach liegen an einer SE–NW gerichteten tektonischen Störungszone entlang des Ostrandabbruches des Dobratschmassivs, der das Abtauchen des Wettersteinkalks unter die jungen Anladungen des Villacher Beckens darstellt. Die für die Quellen relevante Störungszone führt zur großen Gailtalstörung. Letztere ist ein Teil der periadriatischen Naht, eine in W–E-Richtung Kärnten querende und in Jugoslawien nach Süden abbiegende Störungszone, ZOJER (1980), STINY (1937), ANDERLE (1950), HOLLER (1976), KAHLER (1978).

Die Hauptaustritte der Thermalquellen weisen Temperaturen zwischen 24 und 29°C auf, wobei die Gesamtschüttung zwischen 30 und 200 l/s liegt. Die Freibadquelle entspringt direkt dem Wettersteinkalk und weist eine Schüttung von etwa zwischen 10 l/s und 50 l/s auf.

Die Quellen von Warmbad Villach sind durchwegs Akratothermen des Kalzium-(Magnesium-)Hydrokarbonattyps, wobei von der Freibadquelle schon chemische Teilanalysen seit 1928 bekannt sind. In jüngster Zeit sind auch genauere Untersuchungen bezüglich der Isotopenverhältnisse bei bestimmten Elementen durchgeführt worden, ZOJER (1980), aus denen

sich vor allem aus ^2H - ^{18}O -Messungen schließen läßt, daß die Quellen weder von einem offenen, der Verdunstung ausgesetzten System stammen, noch daß durch die Aufwärmung im Untergrund eine Änderung des Isotopenverhältnisses aufgetreten ist. Das bedeutet, daß eine durchgehende Zirkulation, von der Oberfläche ausgehend, bis zur Basis des Aquifers erfolgt, ZOJER (1980).

2. MESSUNGEN DES RADONGEHALTES

Der Radongehalt der Freibadquelle ist schon mehrmals untersucht worden, so etwa von F. SCHEMINZKY und Mitarbeitern in den sechziger Jahren, SCHEMINZKY und KOMMA (1962), SCHEMINZKY und KOMMA (1966), die Werte von $0,36 \text{ nCi/l}$ ($= 13 \text{ kBq/m}^3$) und $0,51 \text{ nCi/l}$ ($= 19 \text{ kBq/m}^3$) fanden. Bei den von uns im Jahr 1977 durchgeführten Messungen ergab sich für den Radongehalt der Freibadquelle $0,75 \text{ nCi/l}$ ($= 28 \text{ kBq/m}^3$), was einen ganz typischen Wert für die Quellen von Warmbad Villach darstellt, deren Radonkonzentrationen 1977 zwischen $0,68 \text{ nCi/l}$ ($= 25 \text{ kBq/m}^3$, Tschamer Quelle) und $0,84 \text{ nCi/l}$ ($= 31 \text{ kBq/m}^3$, Neue Quelle) lagen.

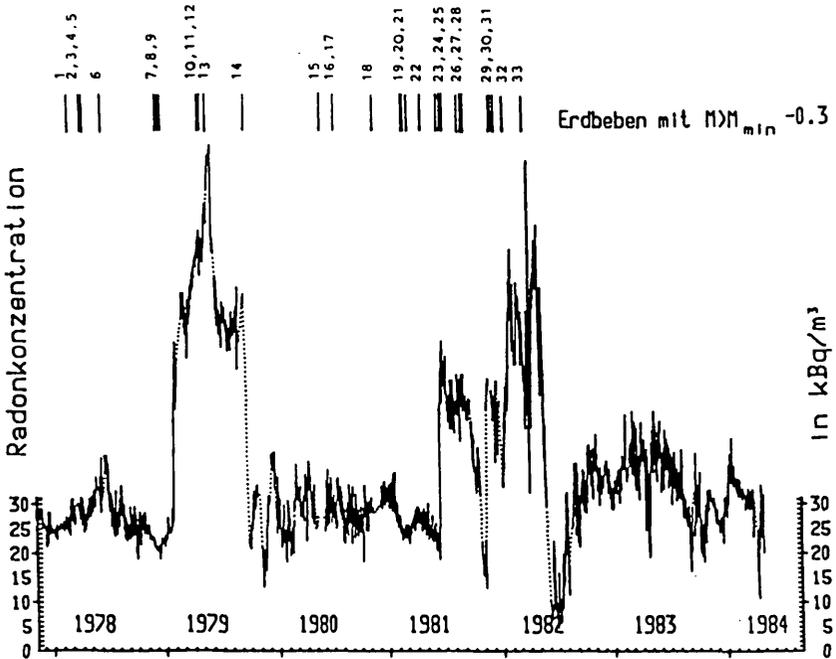


Abb. 1: Der Radongehalt der Freibadquelle sowie alle Erdbeben, die die Relation $M \geq 2,4 \cdot \lg(d) - 0,43 - 0,3$ erfüllen.

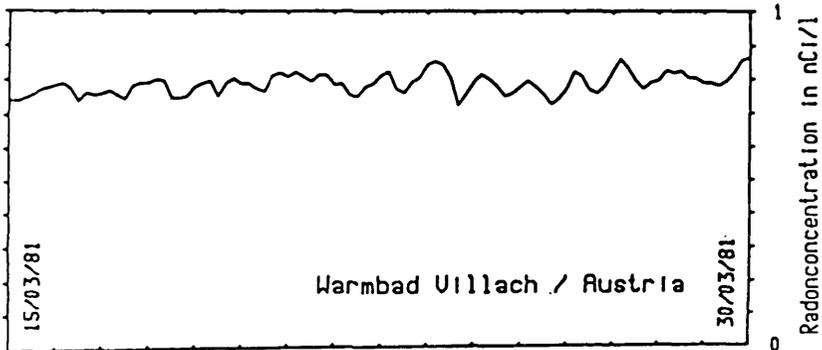


Abb. 2: Periodische Schwankungen des Radongehaltes mit Perioden von einem bzw. einem halben Tag.

Da es sich gezeigt hat, daß der Radongehalt von Quellwässern manchmal sensitiv bezüglich tektonischer Veränderungen reagiert und damit eventuell zum Zwecke einer Erdbebenprognose genutzt werden könnte (siehe Zusammenfassungen z. B. TENG (1980), HAUSSON (1981), FRIEDMANN (1977)), wurde im Anschluß an das Katastrophenbeben von Friaul im Jahre 1976 der Versuch unternommen, auch in Österreich mittels einer kontinuierlichen Meßmethode Zusammenhänge zwischen seismischen Ereignissen und der Radonkonzentration in Quellwässern zu untersuchen.

Mitte 1977 ist provisorisch eine Meßstelle bei der Freibadquelle installiert worden, die ab November 1977 in ihrer definitiven Form kontinuierlich die Radonkonzentration in dieser Quelle mißt. Die verwendete Meßapparatur ist eine Eigenentwicklung, FRIEDMANN und HERNEGGER (1978), und erlaubt Radonkonzentrationsmessungen bis unter $0,1 \text{ nCi/l}$ ($= 3,7 \text{ kBq/m}^3$). Im Jahr 1984 ist eine mikroprozessorgesteuerte Datenaufnahmestation, welche ebenfalls am Radiuminstitut entwickelt wurde, der Meßapparatur angeschlossen worden.

In Abb. 1 ist der Radongehalt der Freibadquelle von November 1977 bis Anfang 1984 zu sehen. Man erkennt, daß die Radonkonzentration im Normalfall etwa zwischen $0,5 \text{ nCi/l}$ ($= 18 \text{ kBq/m}^3$) und $1,1 \text{ nCi/l}$ ($= 40 \text{ kBq/m}^3$) liegt, jedoch manchmal deutliche Anomalien mit dem doppelten bis dreifachen Radongehalt auftreten (Februar–September 1979, Juni 1981–Mai 1982). Im Anschluß an solche Anomalien sind meist extrem geringe Radonkonzentrationen festgestellt worden. Betrachtet man den Verlauf der Radonkonzentration näher, so findet man, daß über bestimmte Zeiträume periodische Schwankungen mit Perioden von einem bzw. einem halben Tag auftreten (siehe Abb. 2). Schließlich und endlich können auch noch unregelmäßige Fluktuationen im Radongehalt festgestellt werden. Es ergibt sich somit die Frage nach den Ursachen dieser beobachteten Schwankungen der Radonkonzentration.

3. MÖGLICHE URSACHEN DER RADON-KONZENTRATIONSÄNDERUNGEN

Da es sehr schwierig ist, den Einfluß der Tektonik auf die Radonkonzentration nachzuweisen, soll versucht werden, durch Ausschluß anderer Einflußfaktoren eine solche zumindest wahrscheinlich zu machen. Aus diesem Grund sollen denkbare Einflußgrößen einzeln analysiert werden.

Äußerer Luftdruck

Untersuchungen bezüglich der Radonexhalation des Bodens haben ergeben, daß diese stark von meteorologischen Einflüssen abhängig ist, STRANDEN, KOHLSTAD und LIND (1984). Neben der Bodenfeuchte ist es vor allem der Luftdruck, der die Exhalationsrate beeinflusst. Vergleicht man jedoch den Verlauf des Luftdruckes mit dem der Radonkonzentration in der Freibadquelle, so kann kein Zusammenhang festgestellt werden. Dies ist insofern nicht überraschend, da erwartet werden konnte, daß die Radonaufnahme des Quellwassers in größerer Tiefe erfolgt, in welcher der Einfluß des äußeren Luftdruckes keine große Rolle spielen sollte.

Niederschlag und Grundwasser

Die vom Hydrogeographischen Dienst aufgezeichneten Grundwasserdaten wurden von G. DUMA (ARIC, DUMA, FRIEDMANN, GUTDEUTSCH und HERNEGGER, 1980) ausgewertet. Ein Zusammenhang zwischen dem Grundwasserpegelstand und der Radonkonzentration ist nicht auszuschließen, jedoch kann der Grundwasserpegelstand allein keinesfalls jene Radonanomalien erklären, bei denen die Radonkonzentration den zwei- bis dreifachen Normalwert erreicht hat. Auch die Grundwassertemperaturen zeigen keine Korrelationen mit den erwähnten Anomalien.

Betrachtet man jedoch kurzfristige Fluktuationen im Radongehalt der Quelle, deren Größe man etwa durch eine Funktion

$$F_H = \langle (C - \langle C \rangle_H)^2 \rangle_H \quad (1)$$

C . . . Radonkonzentration

$\langle \rangle_H$. . . Mittelwertbildung über die Zeit H

charakterisieren kann (ARIC, DUMA, FRIEDMANN, GUTDEUTSCH, HERNEGGER, 1980), so ist ein Zusammenhang mit der Niederschlagstätigkeit zu vermuten. Im allgemeinen sind nämlich die kurzfristigen Radonfluktuationen in den Monaten November bis März geringer als in den Sommermonaten, in welchen auch die Niederschlagstätigkeit stärker ist. Zusätzlich muß berücksichtigt werden, daß in den Wintermonaten der Boden teilweise gefroren ist und der Niederschlag als Schnee fällt, welcher nicht unmittelbar in den Boden eindringen kann. Aus den genannten Gründen muß auf eine geringfügige Beeinflussung der Freibadquelle durch Niederschlagsparameter geschlossen werden. Nichtsdestoweniger können nicht alle kurzfristigen Radonfluktuationen durch die Niederschlagstätigkeit erklärt werden.

Tagesperiodische Temperaturschwankungen

Radonschwankungen, wie sie in Abb. 2 zu sehen sind, weisen zum Teil eine typische 24-h-Periode auf. Diese läßt eventuell als Ursache eine tagesperiodische Temperaturschwankung möglich erscheinen. Dies dürfte jedoch aus folgenden Gründen nicht der Fall sein:

Zum ersten sind neben tagesperiodischen Schwankungen oft auch halbtagesperiodische Schwankungen zu beobachten. Solche könnten zwar als eine Überlagerung der tagesperiodischen Schwankungen eventuell durch andere Effekte interpretiert werden, jedoch treten diese Halbtageschwankungen nur in Verbindung mit den tagesperiodischen Schwankungen auf, so daß ein Zusammenhang bestehen dürfte, der nicht auf tagesperiodische Temperaturschwankung zurückgeführt werden kann.

Zum zweiten treten diese tagesperiodischen Schwankungen nicht immer auf, sondern meist sind sie nur über Zeiträume von einigen Wochen beobachtbar und verschwinden dann wieder. Da dieser Effekt nicht mit den Amplituden der Tag-Nacht-Temperaturschwankungen zu korrelieren ist, muß wohl ein anderer Effekt als Ursache für diese Schwankungen angenommen werden.

Gezeitenkräfte

Eine andere denkbare Ursache für Radonschwankungen mit einer typischen 24-h-Periode wären Gezeitenkräfte. Untersuchungen von G. DUMA (ARIC, DUMA, FRIEDMANN, GUTDEUTSCH und HERNEGGER, 1980) haben gezeigt, daß ein Zusammenhang nicht auszuschließen ist, jedoch konnte dieser Zusammenhang nicht explizit bestätigt werden. Bei den zitierten Untersuchungen wurde versucht, die Z-Komponente der Gezeitenkräfte mit der Radonkonzentration zu korrelieren. Möglicherweise können bessere Resultate erhalten werden, wenn man annimmt, daß der Aquifer speziell für eine bestimmte Richtung der Gezeitenkraft sensitiv ist und die Radonkonzentration in der Quelle mit der in diese Richtung weisenden Komponente korreliert.

Tektonische Einflüsse

Um zu prüfen, ob ein Zusammenhang zwischen der Radonkonzentration und einem Erdbeben besteht, muß vorerst geklärt werden, welche Erdbeben prinzipiell einen Einfluß auf die Quelle ausüben können. HAUSSON und GODDARD (HAUSSON und GODDARD, 1981) fanden, daß Radonanomalien vor Erdbeben nur festgestellt werden konnten, solange

$$M \geq 2,4 \lg d - 0,43 \quad (2)$$

(M . . . Magnitude, d . . . Entfernung Radonmeßstelle–Epizentrum) erfüllt ist. Damit ist aber auch ein Kriterium gegeben, welche Beben bezüglich eines Einflusses auf die Radonkonzentration der Freibadquelle untersucht werden müssen. Da einerseits die Ungleichung (2) nur eine empirische Formel ist, andererseits die Magnitudenbestimmung oft mit größeren

Fehlern behaftet ist, wurden in Tab. 1 alle Beben im untersuchten Zeitraum zusammengefaßt (siehe auch Abb. 3), deren Magnituden bis um 0,3 Einheiten kleiner sind, als es zur Erfüllung von (2) erforderlich wäre. In Tab. 2 sind verschiedene Zeiträume zusammengefaßt, die ein charakteristisches Verhalten in der Radonkonzentration der Quelle zeigen. Zusätzlich sind für die entsprechenden Zeiten alle Beben aus Tab. 1 in Tab. 2 eingetragen. Nimmt man an, daß alle Beben, die etwa gleiches Epizentrum, etwa gleiche Magnitude und etwa gleiche Herdtiefe aufweisen, ähnliche Auswirkung auf die Quellen haben, so muß aus der Tatsache, daß die Friauler Beben z. B. zwischen Jänner und April 1978 oder auch zwischen November 1978 und Jänner 1979 die absolute Höhe des Radongehaltes der Quelle höchstens unmerklich beeinflußt haben, geschlos-

Beben-Nr.	Datum	N/E	M	d (km)	M _{min}
1	78 02 20	46.45/13.33	4.0	39,6	3.4
2	78 04 02	46.27/13.35	3.5	50,2	3.7
3	78 04 03	46.16/13.19	4.2	67,6	4.0
4	78 04 03	46.22/13.21	3.8	61,8	3.9
5	78 04 06	46.28/13.31	3.4	51,6	3.7
6	78 06 20	40.74/23.23	6.8	998,0	6.8
7	78 12 06	46.32/13.25	3.5	52,4	3.7
8	78 12 12	46.13/12.71	4.4	89,5	4.3
9	78 12 17	46.11/14.11	3.9	59,4	3.8
10	79 04 15	42.09/19.20	6.9	659,5	6.3
11	79 04 15	42.32/18.68	6.3	612,9	6.3
12	79 04 18	46.31/13.25	4.8	53,0	3.7
13	79 05 24	42.26/18.75	6.8	621,7	6.3
14	79 09 19	42.81/13.06	5.8	425,2	5.9
15	80 05 18	43.29/20.84	6.4	664,3	6.3
16	80 07 09	39.27/23.04	7.0	1106,9	6.9
17	80 07 09	39.26/22.56	6.7	1081,8	6.9
18	80 11 23	40.91/15.37	6.5	644,7	6.3
19	81 02 24	38.22/22.93	7.1	1193,4	7.0
20	81 02 25	38.12/23.14	6.8	1213,2	7.0
21	81 03 04	38.21/23.29	7.0	1212,9	7.0
22	81 04 23	46.34/13.28	3.5	49,2	3.6
23	81 06 10	46.43/13.31	3.6	41,9	3.5
24	81 06 15	47.06/14.69	3.9	84,8	4.2
25	81 06 28	46.47/12.93	3.8	68,0	4.0
26	81 08 13	44.82/17.26	5.8	333,4	5.6
27	81 08 30	46.36/13.29	4.3	47,3	3.6
28	81 08 31	46.33/13.35	3.4	45,6	3.6
29	81 12 03	46.35/13.63	2.9	30,6	3.1
30	81 12 05	46.32/12.69	4.4	90,5	4.3
31	81 12 19	39.37/25.25	6.9	1227,3	7.0
32	82 01 18	39.97/24.41	7.0	1129,3	6.9
33	82 03 16	46.15/16.13	4.7	185,5	5.0

Tab. 1: Alle Beben, die im Zeitraum November 1977 bis Ende 1982 die Relation $M \geq 2,4 \cdot \lg(d) - 0,43 - 0,3$ erfüllen.

sen werden, daß auch alle anderen Friauler Beben in keinem Zusammenhang mit den beobachteten großen Anomalien stehen sollten. Das bedeutet aber, daß im Fall eines Zusammenhanges zwischen Beben und dem Radongehalt im Quellwasser etwa zwischen Juni und Oktober 1981 nur die Beben Nr. 24 und 26 (Tab. 2, Abb. 3) als Ursache in Frage kommen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden alle jene Beben in Tab. 2 unterstrichen, für die ein Zusammenhang mit der jeweils beobachteten Anomalie nicht ausgeschlossen werden kann. In Abb. 3 sind alle Beben von Tab. 1 bzw. 2 eingezeichnet, wobei ausgefüllte Kreise Beben darstellen, bei denen ein Zusammenhang mit dem Radongehalt der Freibadquelle vermutet werden kann. Besonders interessant erscheinen hier die Katastrophenbeben von Montenegro (Beben Nr. 10, 11 und 13), welche etwa mit dem Maximum der Radonanomalie im Jahr 1979 zusammenfallen, das Beben Nr. 14, das mit dem Rückgang der selben Anomalie korreliert, sowie das Beben Nr. 24, welches nur einen Tag nach dem abrupten Anstieg der Radonkonzentration (Verdopplung der Radonkonzentration innerhalb von etwa 1¼ h) auftrat. Dagegen kritisch zu betrachten sind die Beben Nr. 31 und 32 (Tab. 1, Abb. 3). Einerseits ist die Entfernung relativ groß, andererseits fallen die Beben Nr. 31 und 32 in eine Periode erhöhter Radonkonzentration, in der auch andere Beben aufgetreten sind. Betrachtet man Abb. 3, so erkennt man, daß die Quelle eine vorzugsweise nach SE gerichtete Sensitivität aufweist, was auch dem Verlauf der Hauptstörungsrichtung entspricht. Keine „großen“ Anomalien zeigte die Quelle jedoch bezüglich der Friauler Beben und dem Beben Nr. 15. Vermutlich stehen die Friauler Beben im wesentlichen mit der SW-NE verlaufenden Bebenzone der Mur-Mürztal-Linie in Verbindung, ARIC (1981), als daß sie durch an der Periadriatischen Naht auftretende tektonische Kräfte verursacht werden. Auch im Fall des Bebens Nr. 15 (Tab. 1, 2, Abb. 3)

Radongehalt	Anomalie	Beben mit $M \geq M_{\min} - 0,3$	Datum
normal	nein	1 ⁺ , 2 ⁺ , 3 ⁺ , 4 ⁺ , 5 ⁺	Jan. 78–Apr. 78
erhöht	?	6	Mai 78–Juni 78
normal	nein		Juli 78–Okt. 78
normal, ohne Fluktuat.	nein	7 ⁺ , 8 ⁺ , 9 ⁺	Nov. 78–Jän. 79
stark erhöht	ja	<u>10</u> , <u>11</u> , 12 ⁺ , , <u>13</u> , <u>14</u>	Feb. 79–Sept. 79
starke Schwankung	?		Okt. 79–Apr. 80
normal, Schwankungen	nein	15, 16, 17, 18	Mai 80–Dez. 80
fallende Tendenz	nein	19, 20, 21, 22	Jän. 81–Mai 81
stark erhöht, Ende Rückg.	ja	23 ⁺ , <u>24</u> , 25 ⁺ , <u>26</u> , 27 ⁺ , 28 ⁺	Jun. 81–Okt. 81
stark erhöht	ja	29 ⁺ , 30 ⁺ , <u>31</u>	Nov. 81–Dez. 81
weiter Erhöhung	ja	<u>32</u> , <u>33</u>	Jän. 82–Apr. 82
starker Rückgang zu norm.	?		Mai 82–Dez. 82

Tab. 2: Die in Tab. 1 angeführten Beben, wobei entsprechend dem Radongehalt der Quelle in Warmbad Villach gewisse Perioden zusammengefaßt wurden. Unterstrichene Zahlen entsprechen Beben, bei denen ein Zusammenhang mit (großen) Radonanomalien möglich erscheint. Ein ⁺ bei einer Zahl bedeutet ein Beben im S(W) der Quelle von Warmbad Villach (Friaul)

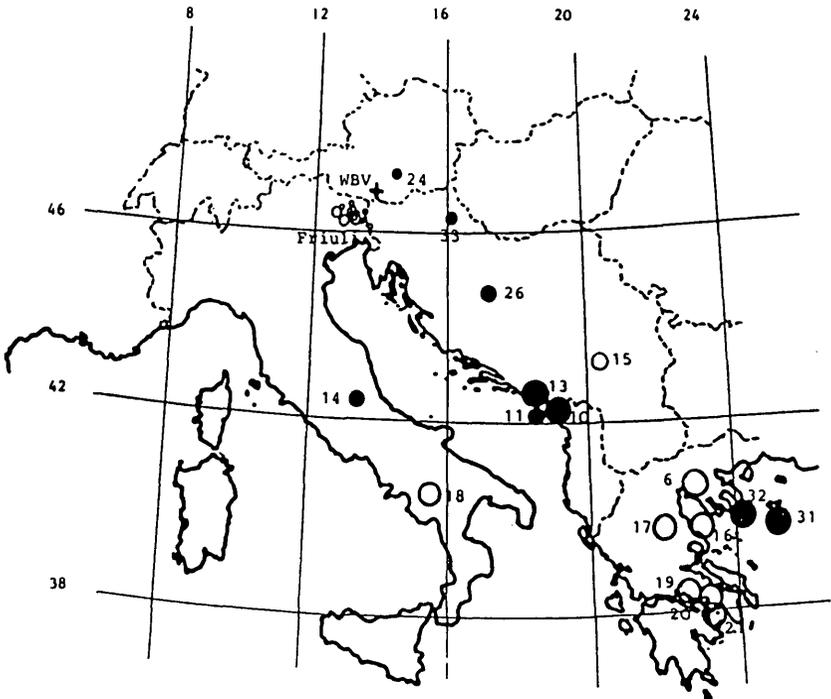


Abb. 3: Alle Beben aus den Tabellen 1 und 2, wobei ausgefüllte Kreise Beben entsprechen, bei denen ein koinzidenter, anomaler Radongehalt feststellbar war, und offene Kreise jenen Beben entsprechen, wo dies nicht der Fall war.

ist ein von der allgemein zu vermutenden Tendenz der Krustentektonik abweichendes Verhalten feststellbar. Dieses Beben ist eines aus einer Serie von Beben im Kapaonikgebirge, deren geotektonisches Verhalten bis jetzt ungeklärt ist.

Abseits von der SE gerichteten Sensibilitätsrichtung der Quelle liegend, scheint auch Beben Nr. 14 (Abb. 3) einen Einfluß auf die Radonkonzentration der Quelle gehabt zu haben. Zum Unterschied von allen anderen Beben fällt das Beben Nr. 14 mit einem starken Rückgang des Radongehalts der Freibadquelle von einem anomal hohen zu einem normalen Wert zusammen. Es liegt nahe, dieses Verhalten durch eine Entlastung der SE gerichteten Sensibilitätszone der Quelle durch dieses mittelitalienische Beben zu erklären. Das würde jedoch bedeuten, daß ein Zusammenhang in den tektonischen Spannungszuständen zwischen Mittelitalien und Jugoslawien besteht.

Zum Unterschied von den „großen“ Anomalien existieren auch kurzfristige Schwankungen des Radongehaltes, auf die bereits früher hingewiesen worden ist. Vergleicht man die Fluktuationen des Radongehaltes, darge-

stellt als Fluktuationsfunktion nach (1), mit seismischen Ereignissen in der näheren Umgebung (≤ 200 km) der Meßstelle und beschränkt sich auf Zeiträume, in denen wenig Störungen durch Niederschläge zu erwarten sind (Wintermonate), so scheint ein Zusammenhang sichtbar zu werden (siehe Abb. 4, 5, 6). Einerseits traten etwa im Winter 1977/78 Spitzen in der Radonfluktuationsfunktion nach Erdbeben auf, andererseits konnten solche Spitzen auch vor Beben, vor allem im Winter 1983/84, beobachtet werden. Neben diesen mit Beben korrelierten Radonfluktua-

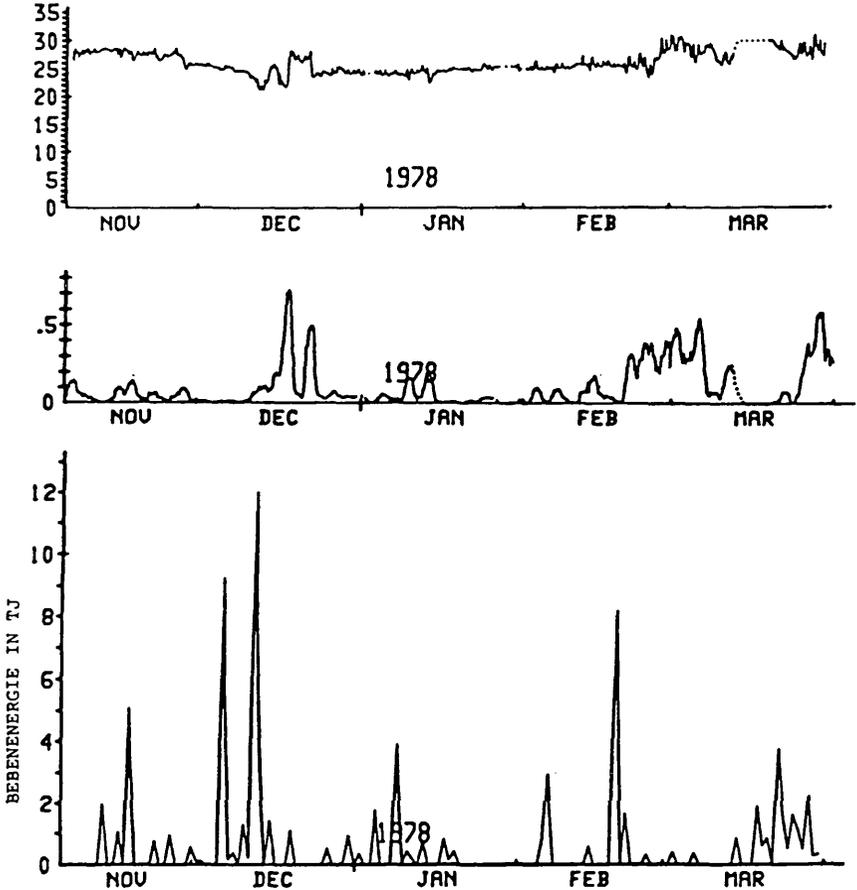


Abb. 4: Oben: Radonkonzentration in kBq/m³
 Mitte: Radonfluktuationsfunktion
 Unten: freigesetzte Bebenenergie im Umkreis von 200 km von der seismischen Station Bleiberg im Winter 77/78.

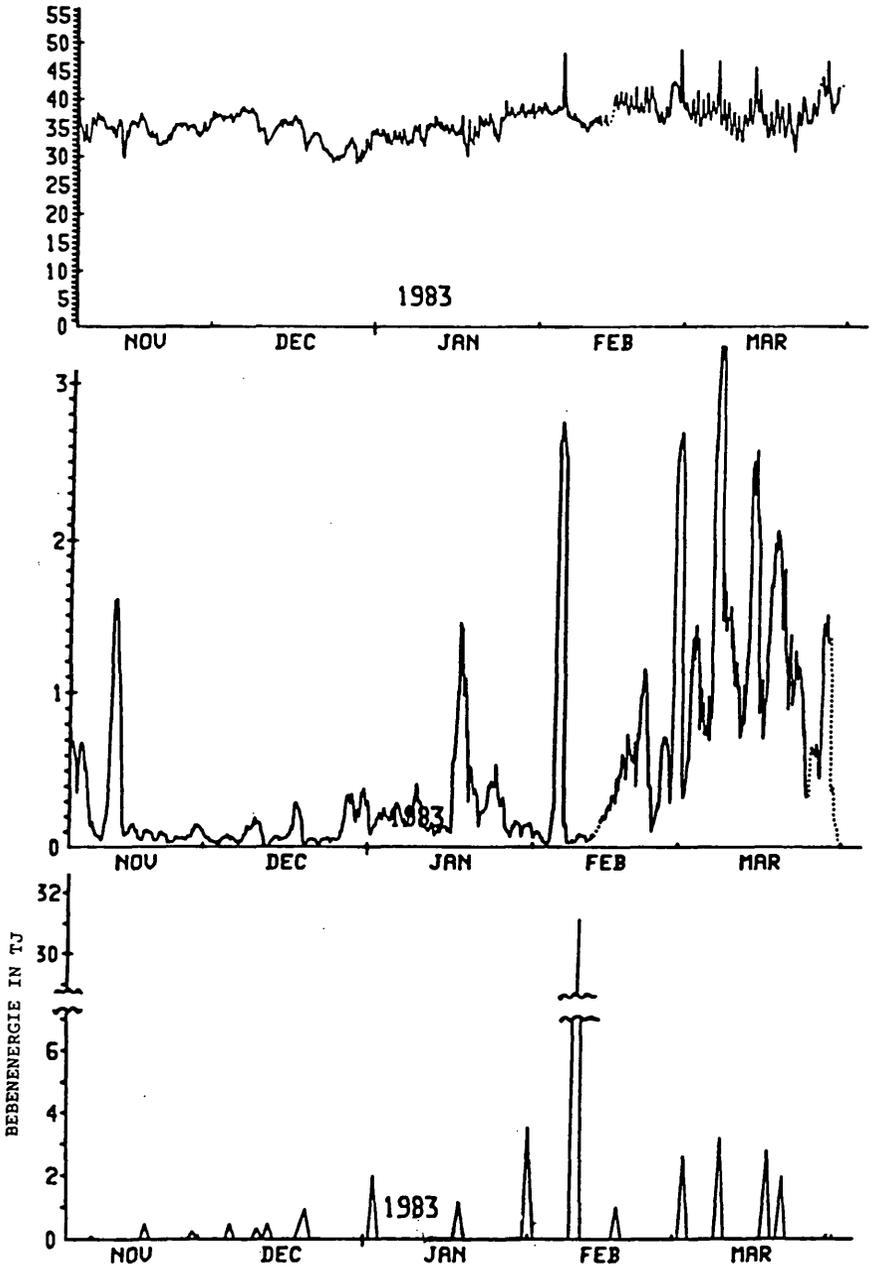


Abb. 5: Bebenenergie, Radonfluktuationsfunktion und Radonkonzentration, Winter 1982/83.

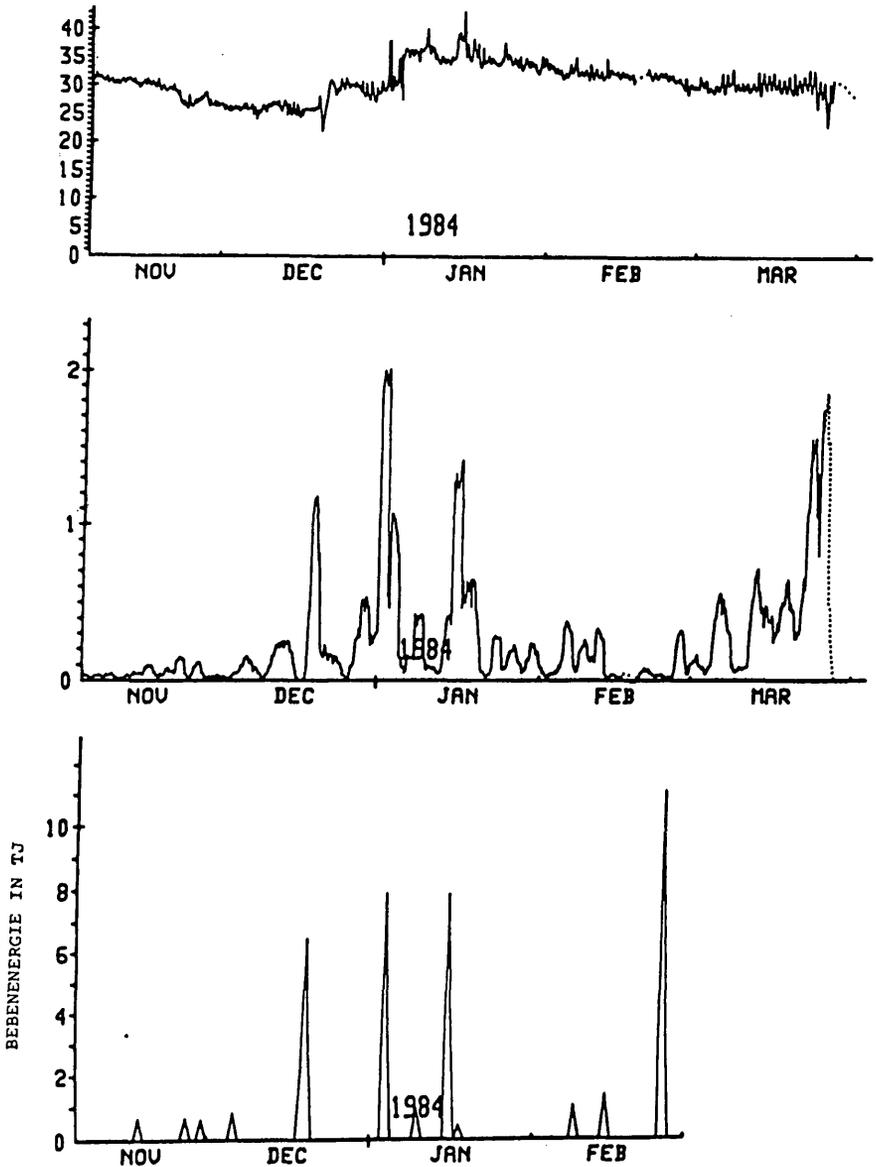


Abb. 6: Bebenenergie, Radonfluktuationsfunktion und Radonkonzentration, Winter 1983/84.

tionen sind zusätzliche Fluktuationserscheinungen beobachtbar gewesen, die vermutlich auf die Niederschlagstätigkeit zurückzuführen sind. Umgekehrt zeigte das Beben vom 26. 2. 1984 (Innsbruck) keine Auswirkung auf den Radongehalt der Quelle von Warmbad Villach. Dies ist insofern nicht allzu verwunderlich, da schon die Untersuchungen bezüglich der großen Anomalien gezeigt haben, daß die Quelle vorwiegend auf Beben in SE-Richtung sensibel erscheint.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die im Beobachtungszeitraum 1977 bis 1984 festgestellten Schwankungen im Radongehalt der Freibadquelle von Warmbad Villach weisen auf einen Zusammenhang mit seismotektonischen Ereignissen hin. Es konnten hierbei einerseits große Anomalien des Radongehaltes, in der Größenordnung des doppelten bis dreifachen des Normalwertes mit starken Beben korreliert werden, andererseits koinzidieren auch kurzfristige Fluktuationen (Größenordnung 10–20%) mit Beben in der näheren Umgebung (≤ 200 km) zur Quelle. Weiters konnte festgestellt werden, daß eine vorwiegend nach SE gerichtete Sensitivität der Quelle besteht. Eine Interpretation und genauere Diskussion der Meßergebnisse muß einer anderen Arbeit überlassen werden, FRIEDMANN.

Abschließend ist zu sagen, daß die Freibadquelle wohl zu jenen relativ wenigen Quellen gezählt werden kann, die als seismisch sensitiv zu betrachten sind. Das bedeutet u. a., daß der Radongehalt dieser Quelle stets größeren Schwankungen unterworfen ist und unterworfen sein wird. Man kann hoffen, daß Schwankungen des Radongehaltes in Zukunft für eine Erdbebenprognose Verwendung finden können, derzeit ist es jedoch nicht möglich, aus den Meßergebnissen Aussagen über zukünftige Erdbeben so zu extrahieren, daß eine sinnvolle Erdbebenprognose erstellt werden kann.

DANKSAGUNG

Dieses Forschungsprojekt wurde durch Finanzierung seitens des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich (Projekt Nr. 3295, 4305) ermöglicht. Für die hilfreiche Unterstützung, die uns Frau Kommerzialrat H. LUKESCHITSCH bei unseren Arbeiten angedeihen ließ, wird herzlichst gedankt.

LITERATUR

- ANDERLE, N. (1950): Zur Schichtfolge und Tektonik des Dobratsch und seine Beziehung zur Alpidinarischen Grenzzone. – Jb. Geol. BA., 94, Wien.
- ARIC, K. (1981): Deutung krustenseismischer und seismologischer Ergebnisse im Zusammenhang mit der Tektonik des Alpenostrandes. – Sitzungsber. d. ÖAW, Naturw. Kl. Abt. 1, p. 190, Wien.

- ARIC, K., G. DUMA, H. FRIEDMANN, L. GUTDEUTSCH, F. HERNEGGER (1981): Untersuchungen geophysikalischer Parameter im Zusammenhang mit Erdbeben in Kärnten und Friaul. Festschrift zum 75. Geburtstag von Univ.-Prof. Dr. F. STEINHAUSER, Zentralanstalt für Meteorologie und Geophysik, Publ. 243, Wien.
- DUMA, G., pers. Mitteilungen.
- FRIEDMANN, H. (1977): Möglichkeiten der Erstellung von Erdbebenprognosen. – Die Naturwissenschaften 64, p. 566.
- FRIEDMANN, H., F. HERNEGGER (1978): A Method for Continuous Measurement of Radon in Water of Springs for Earthquake Prediction. – Geophys. Res. Letters. Vol. 5, No. 7, p. 565.
- FRIEDMANN, H.: in Vorbereitung zur Veröffentlichung.
- HAUKSSON, E. (1981): Radon Content of Groundwater as an Earthquake Precursor: Evaluation of Worldwide Data and Physical Basis. – J. Geophys. Res. 86, B10, p. 9397.
- HAUKSSON, E., J. G. GODDARD (1981): Radon Earthquake Precursor Studies in Iceland. – J. Geophys. Res. 86, No. B8, p. 7037–7054.
- HOLLER, H. (1976): Gedanken zum Bau des Dobratsch in den östlichen Gailtaler Alpen. – Carinthia II, Klagenfurt, 166./86.
- KAHLER, F. (1978): Die natürlichen Heilvorkommen Kärntens. – Raumordnung in Kärnten, 10, Klagenfurt.
- KAHLER, F., A. FRITZ, H. JANSCHKEK, R. KÖBERL (1983): Beobachtungen und Probleme im Thermalgebiet von Warmbad Villach. Neues aus Alt-Villach. – 20. Jahrbuch d. Stadtmuseums.
- SCHEMINZKY, F., E. KOMMA (1962): Thermalquellen Warmbad Villach, Untersuchungsprotokoll 563/59, 566/59.
- (1966): Thermalquellen Warmbad Villach, Untersuchungsprotokoll 804/65–807/65.
- STINY, J. (1937): Zur Geologie der Umgebung von Warmbad Villach. – Jb. Geol. BA, 87, Wien 1937.
- STRANDEN, E., A. K. KOHLSTAD, B. LIND (1984): The Influence of Moisture and Temperature on Radon Exhalation. – Rad. Prot. Dos. 7, Nos 1–4:55–58.
- SULTANKHODZHAYEV, A. N., I. G. CHERNOV, T. ZAHIROV (1976): Hydrogeoseismological Premonitors of the Gazli Earthquake. – Dokt. Akad. Nauk Uzb. SSR 7:51–53.
- TENG, T. L. (1980): Some Recent Studies on Groundwater Radon Content as an Earthquake Precursor. – J. Geophys. Res. 85, B6, p. 3089.
- ZOJER, H. (1980): Beitrag zur Kenntnis der Thermalwässer von Warmbad Villach. – Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, Bd. 32, Graz.

Anschrift der Autoren: Harry FRIEDMANN, Friedrich HERNEGGER, Institut für Radiumforschung und Kernphysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Boltzmann-gasse 3, A-1090 Wien.