

**Schlüsselwörter**

Tirol  
Ötztal  
Kristallin  
Bergsturz  
Radon

# Geologisch-petrographische Ursachen der Radonanomalie in Umhausen (Tirol)

FRIDOLIN PURTSCHELLER, VOLKMAR STINGL, RICHARD TESSADRI, VOLKMAR MAIR, THOMAS PIRCHL, GERTRAUD SIEDER, PETER BRUNNER, PETER SCHNEIDER, OSWALD ENNEMOSER\*)

3 Abbildungen, 1 Tabelle

## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| Zusammenfassung .....                    | 7  |
| Abstract .....                           | 7  |
| 1. Einleitung .....                      | 7  |
| 2. Geologisches Umfeld .....             | 8  |
| 3. Methodik .....                        | 9  |
| 4. Mineralogie und Geochemie .....       | 9  |
| 5. Radonproduktion und -verteilung ..... | 11 |
| 6. Vergleichsstudien .....               | 12 |
| Dank .....                               | 12 |
| Literatur .....                          | 12 |

## Zusammenfassung

Die extremen Radonkonzentrationen in Gebäuden von Umhausen (Ötztal, Tirol) können nicht auf „klassische“ Verursacher wie Urananomalien oder tektonische Störungszonen zurückgeführt werden. Durch die räumliche Verteilung der hohen Aktivitäten in Häusern und in der Bodenluft ist ein Zusammenhang mit dem Bergsturz von Köfels offensichtlich. Die betroffenen Teile von Umhausen stehen auf dem alten Schwemmfächer der Ötztaler Ache, welcher ausschließlich aus umgelagertem Bergsturzmaterial besteht. Als Hauptursache für die Verteilung des Radons wird die sehr hohe Gaswegigkeit der Fächersedimente angesehen, die auf den benachbarten Murschuttkegeln nicht gegeben ist. Durch die starke innere Zerrüttung beim Aufprall der unmittelbar südlich anstehenden Bergsturzmasse wurden jene Voraussetzungen geschaffen, die trotz durchschnittlicher U- und Ra-Gehalte der zertrümmerten Orthogneise eine hohe Emanationsrate ermöglichen.

## Geologic and petrographic reasons for the radon anomaly in Umhausen (Tyrol)

### Abstract

The extremely high indoor radon concentrations in Umhausen (Oetz Valley, Tyrol) cannot be related to uranium anomalies or large scale fault zones. The spatial distribution of high indoor and soil air activities point to the nearby giant landslide of Köfels as source. The most affected parts of Umhausen are built at the old alluvial fan of the river Oetztaler Ache, which consists solely of reworked landslide material. Its high permeability yields circulation pathways for soil air with radon. Buildings situated at the neighbouring impermeable debris flow fans are not affected by this health hazard. Crushing and fracturing due to the impact of the landslide mass yielded the prerequisites for high emanation rates, despite normal uranium and radium contents of the involved granitic gneisses.

## 1. Einleitung

Die Erhebungen des Statistischen Zentralamtes zum Österreichischen Todesursachenatlas des Jahres 1989 wiesen im Bezirk Imst eine fast 40% erhöhte Bronchialkarzinomsterblichkeit gegenüber dem österreichischen Durchschnitt auf. Im Zuge eines bezirkswiten Screenings kristallisierte sich die Gemeinde Umhausen als Zentrum der Mortalitätserhöhung

heraus. Nach Ausgliederung aller anderen Lungenkrebsverursacher erwies sich eine Strahlenbelastung durch Rn-222 als verantwortlich für die gegenüber dem Durchschnitt bis zu 5-fach erhöhte Mortalität (ENNEMOSER et al., 1993; KELLER, 1996).

Im Rahmen eines umfangreichen, von der Tiroler Landesregierung finanzierten Meßprogrammes konnte ein Zusammenhang mit Baumaterial, Alter oder Bauart der Häuser in Umhausen

\*) Anschriften der Verfasser: Prof. Dr. FRIDOLIN PURTSCHELLER, Dr. RICHARD TESSADRI, Mag. VOLKMAR MAIR, Mag. THOMAS PIRCHL, Mag. GERTRAUD SIEDER, Institut für Mineralogie und Petrographie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck; Dr. VOLKMAR STINGL, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck; Univ.-Doz. Dr. PETER BRUNNER, PETER SCHNEIDER, Institut für Analytische Chemie und Radiochemie, Innrain 52a, A-6020 Innsbruck; Univ.-Doz. Dr. OSWALD ENNEMOSER, Institut für Medizinische Physik, Universität Innsbruck, Müllerstr. 44, A-6020 Innsbruck.

sen ausgeschlossen werden. Zudem wurde eine räumliche Zweiteilung der Gemeinde in ein belastetes und ein unbelastetes Areal festgestellt, die auf geologische Ursachen zurückzuführen sein muß. Neben den für die räumliche Verteilung des Gases verantwortlichen Untergründinhomogenitäten mußte auch die Quelle des Radons festgestellt werden. Urankonzentrationen größeren Ausmaßes sind in Umhausen als Verursacher ebenso auszuschließen wie tiefgreifende tektonische Störungszonen. Letzteres wird durch zwei Fakten unterstrichen: 1) Nach seismischen Ergebnissen (HEUBERGER & BRÜCKL, 1993) und Projektionen aus den sedimentologischen Untersuchungen hat die Talverfüllung im Bereich Umhausen eine Mächtigkeit von ca. 200 m. Das Rn-222 in den vorliegenden extremen Konzentrationen advektiv mit der Bodenluft bis zur Oberfläche zu bringen, erscheint deshalb auf Grund der kurzen Halbwertszeit von 3.82 Tagen nicht plausibel. Unterstützt wird diese Feststellung durch parallele Messungen der Exhalationsrate von Rn-220 (Halbwertszeit 55 sec), deren Anteil 10% der Exhalationsrate von Rn-222 beträgt (ENNEMOSER et al., 1994). 2) Auffallenderweise ist im gesamten Ötztal ausschließlich die Gemeinde Umhausen betroffen. Im Falle einer tektonischen Störungszone als Verursacher müßten andere Siedlungsgebiete, die teilweise auf wesentlich geringermächtiger Talverfüllung stehen, ebenfalls massiv belastet sein.

Ziel vorliegender Arbeit ist es, den bisherigen Kenntnisstand über die Umhausener Anomalie, die offensichtlich in den lokalen geologisch-petrographischen Gegebenheiten begründet ist, darzustellen und zu diskutieren, v. a. weil sich die Ergebnisse mit den „klassischen“ Ursachen für Radonbelastungen (Urananreicherungen, Störungszonen) nicht in Einklang bringen lassen.

## 2. Geologisches Umfeld

Die Umgebung von Umhausen (Abb. 1) wird im wesentlichen durch einen großen Granitgneis- und Augengneiskörper geprägt, der von Paragneisen, Glimmerschiefern und geringmächtigen Amphiboliten ummantelt wird. Diese Gesteine werden lokal von unterschiedlich mächtigen Diabasgängen durchschlagen. Beim nördlichsten Ortsteil Tumpen zieht ein mächtiger Granodioritgneiszug in E-W-Richtung quer über das Ötztal.

Südlich von Umhausen quert der sogenannte Maurachriegel mit dem Tauferberg das Ötztal. Er besteht zur Gänze aus dem Trümmermaterial des größten Bergsturzes im Kristallin der Alpen. Die Absperrung des Tales durch den Bergsturz erfolgte vor  $8.710 \pm 150$  Jahren (HEUBERGER, 1966). Dieser löste sich von der westlichen Talseite am Kamm zwischen Wenderkogel und Hoher Seite oberhalb Köfels. Er verlegte sowohl das Haupttal, als auch die Mündungsschlucht des gegenüberliegenden Hairlachtales, eines Seitentales, das von Osten her in das Ötztal einmündet. Ausgelöst wurde der Bergsturz wahrscheinlich durch die Entlastung der übersteilten Hangflanken nach dem Abschmelzen des Ötztalglatschers, möglicherweise begleitet von seismischer Aktivität (STINGL et al., 1993). Eine Initiierung des Bergsturzes durch einen Meteoritenimpakt (siehe SURENIAN, 1988, 1993, mit weiteren Literaturzitate) scheint nach moderner Auffassung nicht mehr haltbar (z. B. LAHODINSKY et al., 1993; HEUBERGER, 1994, 1996; PURTSCHLLER et al., 1995). Die Masse von 2 bis  $3 \text{ km}^3$  (ABELE, 1974) besteht fast zur Gänze aus Granitgneis- und Augengneismaterial, das während des Abgleitens und vor allem bei seinem Aufprall am gegenüberliegenden östlichen Talhang (Mündungsschlucht des Hairlachbaches) eine starke Kataklyse erfahren hat. An der Basis und an internen Scherbahnen (vor allem im tieferen Teil) kam es zur Ausbildung von Ultrakataklasiten (Korngrößen  $< 50 \mu\text{m}$ ) und Friktioniten („Bimsstein von Köfels“; ERISMANN et al., 1977; HEUBERGER et al., 1984). Der überwiegende Teil besteht aus grobblockigem Bergsturzmaterial.

Dieses grobe Material ermöglichte keinen vollständigen Aufstau der Ötztales im Talbecken von Längenfeld südlich des Bergsturzes.

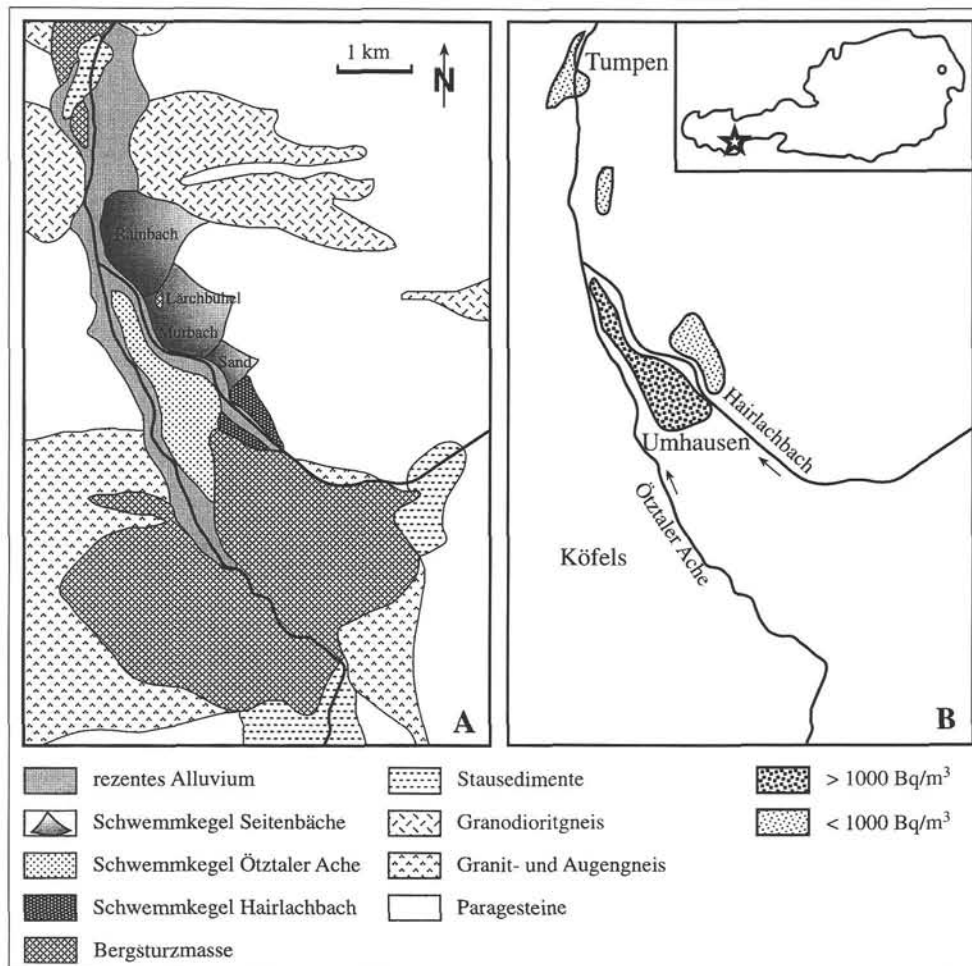


Abb. 1

A: Geologische Skizze der Umgebung von Umhausen und Köfels im Ötztal (Tirol);  
B: Übersicht über die durchschnittliche Radonbelastung in Gebäuden der Ortschaft Umhausen in Abhängigkeit von der geologischen Position.

zes. Ein Teil der Ache floß unterirdisch durch das Blockwerk ab (HEUBERGER, 1975). Erst nach dem Einbruch dieser unterirdischen Abflußwege konnte die Maurachschlucht ausgeräumt werden. Der Schutt, der dabei abtransportiert wurde, bildet im unmittelbaren Vorfeld des Bergsturzes den mächtigen Schwemmfächer von Umhausen. Dieser überdeckt nicht nur die alte Talverfüllung sowie die alten Murschuttkegel von Rainbach und Murbach, sondern sicherlich auch Bergsturzsutt, der sich talauswärts im Vorfeld der Hauptmasse ausgebreitet hatte. Einziges Indiz für diese weitere Ausdehnung des Sturzmaterials scheint der Lärchbühel zu sein, der aus grobblockigem Granitgneisblockwerk besteht und aus dem rezenten Murbachkegel herausragt.

Ursache für die Aufschüttung des mächtigen Umhausener Achenfächers sind zwei weitere kleine Bergstürze bei Tumpen, nördlich des Köfeler Bergsturzes. Diese führten zu einem Rückstau des Durchbruchmaterials, dessen Feinanteil im Seebecken von Tumpen sedimentiert wurde und dessen Grobanteil auf Grund des verringerten Gefälles unmittelbar vor dem Maurachriegel liegen blieb.

Die von der östlichen Talflanke geschütteten Schwemmkegel von Rainbach, Murbach und Sand bestehen zur Gänze aus aufgearbeiteten Paragesteinen. Die schlecht sortierten Sedimente wurden in erster Linie durch Murtätigkeit abgelagert. Auf Grund ihres sehr hohen Glimmer- und Feinkornanteiles unterscheiden sie sich vom Achen-Schwemmfächer durch deutlich geringere Permeabilitäten. Der Kegel des Hairlachbaches wurde nach anfänglicher Ausräumung des östlichen Bergsturzbereiches vorwiegend mit Material aus dem Becken von Niederthai und dessen Einzugsgebiet gespeist und führt ebenfalls einen hohen Prozentsatz an Paragesteinen. Der Durchbruch des Baches durch den Stauriegel des Köfeler Bergsturzes erfolgte offensichtlich noch vor jenem der Ötztaler Ache, da die älteste Schwemmkegeloberfläche des Hairlachfächers durch die älteste Oberfläche des Ötztaler Achenfächers noch unterschritten wurde.

### 3. Methodik

Insgesamt wurden 200 Gesteinsproben aus der Region mineralogisch-petrographisch untersucht. Die Chemie von 83 Proben (21 Elemente) wurde mittels AAS, ICP-AES und EDX-RFA analysiert. Die Urangehalte von 52 Proben wurden mit Fission Track-Analyse ermittelt. Der mittlere Ra-226-Gehalt der Gesteine konnte auf der Basis der Gleichgewichtskonzentration der Tochterprodukte Bi-214 und Pb-214 errechnet werden.

Die Radonmessungen selbst wurden mit mehreren Methoden durchgeführt. Im Ortsgebiet von Umhausen wurden 41 dauerhafte, verrohrte Bodenmeßstellen eingerichtet, die in 2 Reihen die gesamte Längserstreckung des Schwemmfächers und eine Talquerung bis in die östlichen Murschuttkegel umfassen. Gemessen wurde in den Rohren mittels Alpha-Track- und Aktivkohlemethode. Die Bodengaskonzentrationen im freien Gelände des Bergsturzes und auch teilweise (zur Verdichtung) auf dem Schwemmfächer wurden mit einem tragbaren Alphaspktrometer erfaßt.

### 4. Mineralogie und Geochemie

Die Hauptgesteinstypen, die den Bergsturz aufbauen, sind granitische Gneise und Augengneise, die am gesamten westlichen Kamm – der Abbruchnische des Bergsturzes – anstehen. Die mineralogische Zusammensetzung dieser Orthog-

steine als auch der umgebenden Paragneise und Amphibolite zeigt keinerlei Besonderheiten (siehe SIEDER & PIRCHL, 1994). Die Augengneise (Muskowit-Augengneise und Muskowit-Biotit-Augengneise) bestehen aus Quarz, Plagioklas, Hellglimmer, Biotit und in geringen Mengen Granat. Die Augen (bis zu 3 cm) werden durch xenomorphen Mikroklin gebildet. Die unter Umständen für die Urangehalte wichtigen Akzessorien umfassen Apatit (sehr häufig), Zirkon, Rutil, seltenerer Monazit und Erzminerale. Zirkon findet sich häufig als Einschluß im Biotit und verursacht in diesem deutliche pleochroitische Höfe. Die Granitgneise unterscheiden sich hinsichtlich des Mineralbestandes nicht von den Augengneisen. Lediglich die großen Feldspatäugen fehlen. Kleinere Cu- und As-Sulfid-Vererzungen sind an Klüfte gebunden.

Geochemische Analysen der Orthogneise (Tab. 1) erbrachten ebenfalls keine Besonderheiten, lediglich die U-Gehalte liegen in manchen Fällen etwas höher als der Durchschnitt von 2 bis 3 ppm in Graniten und Granodioriten (CARMICHAEL, 1990). Etwa 20% der Proben besitzen gegenüber diesem Durchschnittswert leicht erhöhte Gehalte, das Maximum liegt bei 65 ppm. Dazu paßt ebenfalls die leicht erhöhte, aber durchaus nicht außergewöhnliche mittlere Ra-226-Konzentration von 125 Bq/kg für die untersuchten Granitgneise, was nach ÅKERBLOM (1994) einem mittleren U-Gehalt von ca. 10 ppm entsprechen würde. Ebenfalls analysierte Paragneise dieser Region zeigen signifikant niedrigere U- und Ra-Konzentrationen als die Orthogesteine. Kleine Vererzungen, die v. a. an den Schnittstellen von Klüftsystemen auftreten, weisen auf Lösungstransport hin. Mit ihnen sind immer limonitische Krusten verbunden, die lokal auch höhere U-Gehalte aufweisen. Solche Fe-Hydroxid-Beläge gehören bekanntermaßen zu jenen Mineralisationen, die bevorzugt sekundär U und Ra aus Lösungen fixieren können (z. B. GUNDERSEN, 1991; GUNDERSEN et al., 1992; FLEXSER et al., 1993). Die absolut höchsten Werte (5000 ppm) wurden jedoch in einem Verwitterungsrückstand eines Granitgneises in der Maurachschlucht gefunden, der vorwiegend aus Glimmern, Quarz und den oben erwähnten Akzessorien besteht.

Fallweise ist der U-Gehalt mit deutlich erhöhten Werten für As, Cu und Pb verknüpft (siehe z. B. Probe US 199/1 in Tab. 1), was mit einer Bindung an Vererzungen mit Klüftbelägen zusammenhängen kann. Die oben angeführten pleochroitischen Höfe, die häufig um Zirkone in Biotiten zu sehen sind, weisen auf U-Gehalte des Zirkons hin. Daneben fällt auch ein – wenn auch nicht sehr signifikanter – Zusammenhang von U mit P auf. Dadurch wird wahrscheinlich, daß neben Zirkon und den Vererzungen auch phosphatische Mineralphasen als primäre U-Träger in den Gesteinen in Frage kommen. Als häufigstes akzessorisches Mineral tritt Apatit auf, geringe Mengen von Monazit sind ebenfalls vorhanden. Elementverteilungsanalysen mit EMP lassen Verwachsungen von Apatit und Monazit erkennen. Beide Phasen enthalten U und Th, wobei  $UO_2$  in allen Fällen stets unter der Nachweisgrenze liegt. Die  $ThO_2$ -Gehalte (quantitative energiedispersive Analyse) liegen bei 0.5% in Apatit bzw. 10.2% in Monazit.

8 ausgewählte Proben aus Umhausen wurden detailliert auf die U-Gehalte in den Kern- und Randzonen der Handstücke untersucht. Während die „unverwitterten“ Kerne der Orthogneisproben U-Gehalte von 2 bis 12 ppm aufweisen, enthalten die „verwitterten“ Randzonen 4 bis 65 ppm. Die meisten Gesteinsproben brechen bei ihrer Entnahme im Gelände an vorgegebenen Diskontinuitätsflächen. Diese haben unter Umständen Möglichkeiten für Lösungstransport und Umverteilung geboten. Die auffallende Zonierung kann also möglicherweise auf eine gewisse Überlagerung der „normalen“ U-Verteilung durch sekundäre Umlagerungsprozesse über sehr kur-

|                                | Minimum | Maximum | US 3   | US 5  | US 41 | US 120 | US 199/1 | U 9253 |
|--------------------------------|---------|---------|--------|-------|-------|--------|----------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 68.22   | 77.83   | 73.81  | 75.62 | 74.58 | 75.40  | 74.72    | 75.12  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.02    | 14.83   | 13.75  | 12.96 | 13.27 | 13.46  | 13.24    | 13.38  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.05    | 5.03    | 2.23   | 1.38  | 1.64  | 1.06   | 2.04     | 1.61   |
| MnO                            | 0.01    | 0.11    | 0.06   | 0.05  | 0.08  | 0.03   | 0.09     | 0.04   |
| MgO                            | 0.09    | 4.31    | 0.32   | 0.20  | 0.22  | 0.10   | 0.49     | 0.26   |
| CaO                            | 0.12    | 2.35    | 0.73   | 0.56  | 0.66  | 0.20   | 0.76     | 0.69   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.14    | 4.62    | 3.11   | 2.90  | 3.36  | 3.71   | 2.81     | 2.77   |
| K <sub>2</sub> O               | 2.19    | 5.19    | 5.03   | 4.07  | 4.38  | 4.32   | 4.04     | 4.99   |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.07    | 0.76    | 0.13   | 0.11  | 0.09  | 0.06   | 0.20     | 0.11   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.09    | 0.59    | 0.40   | 0.42  | 0.40  | 0.14   | 0.21     | 0.25   |
| LOI                            |         |         | 1.14   | 0.88  | 0.74  | 1.19   | 1.47     | 0.83   |
| Total                          |         |         | 100.71 | 99.15 | 99.42 | 99.67  | 99.73    | 100.05 |
| As                             | 1       | >>200   | 95     | 170   | 33    | n.d.   | >>200    | 0      |
| Ba                             | 13      | 653     | 38     | 48    | 77    | 5      | 238      | 74     |
| Be                             | 1.1     | 4.9     | 1      | 3     | 4     | 2      | 3        | 4      |
| Co                             | 1       | 14      | <5     | 10    | <5    | <5     | <5       | <5     |
| Cr                             | 1       | 66      | 9      | 10    | 3     | 45     | 20       | 1      |
| Cu                             | 5       | 1817    | 64     | 21    | 3     | 6      | 51       | 21     |
| Ga                             | 15      | 29      | 23     | 23    | 19    | n.d.   | 22       | 19     |
| Nb                             | 3       | 26      | 17     | 15    | 14    | 16     | <3       | 0      |
| Ni                             | 2       | 25      | 4      | 6     | <3    | 25     | <3       | 0      |
| Pb                             | 8       | 261     | 31     | 43    | 28    | n.d.   | 107      | 14     |
| Rb                             | 65      | 1830    | 450    | 387   | 353   | 330    | 228      | 294    |
| Sc                             | 2       | 16      | 5      | 4     | 3     | 3      | 5        | 3      |
| Sr                             | 2       | 239     | 16     | 19    | 29    | 10     | 54       | 24     |
| Th                             | 1       | 29      | 9      | 8     | 11    | n.d.   | 29       | 21     |
| U                              | 1       | 65      | 12.8   | 7.4   | 1.2   | 1      | 47       | 3      |
| V                              | 2       | 100     | 13     | 3     | 2     | 2      | 14       | 4      |
| Y                              | 3       | 43      | 20     | 21    | 43    | 5      | 20       | 33     |
| Zn                             | 2       | 1070    | 63     | 41    | 55    | 16     | 61       | 22     |
| Zr                             | 11      | 277     | 62     | 72    | 84    | 34     | 103      | 94     |

Tabelle 1:

Chemische Variabilität (Minimum-Maximum) von 49 Orthogneisen aus Köfels-Urnhausen sowie charakteristische Analysen von 6 Granit- und Augengneisen (Hauptelemente als Oxide, Gesamt-Fe als Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Spurenelemente in ppm, LOI = Glühverlust); US 199/1 stammt von einer der Stellen mit den höchsten Bodenluftkonzentrationen an Rn-222 (Maurach).

ze Distanzen zurückgeführt werden. Dieser Effekt kann bei der Interpretation von kleinen Datensätzen oder von Einzelwerten von Bedeutung sein.

## 5. Radonproduktion und -verteilung

Die außergewöhnlich hohe Radonkonzentration sowohl im Bodengas als auch in Gebäuden von Umhausen kann nicht auf die „klassischen“ Ursachen für derartige Belastungen zurückgeführt werden. Die meisten untersuchten und bekannten Radonquellen sind einerseits Uranlagerstätten bzw. Gebiete mit erhöhten Hintergrundwerten für U, andererseits Bereiche, die durch tektonische Störungszonen größeren Ausmaßes gekennzeichnet sind (z. B. ISRAEL & BJÖRNSSON, 1967; STEELE et al., 1982; WILKENING, 1990; GUNDERSEN, 1991; ÅKERBLOM, 1994). Wie gezeigt, scheiden in Umhausen Urananreicherungen als Verursacher aus. Die erwähnten leichten Konzentrationserhöhungen an Ra und U sind für dieses Ausmaß der Belastung nicht verantwortlich zu machen. Ebenso lassen sich tiefgreifende und großdimensionale Störungszonen nicht nachweisen.

Prinzipiell hängen hohe Radonkonzentrationen in Bodenluft von mehreren wichtigen Voraussetzungen ab. An erster Stelle sind natürlich der U- bzw. Ra-Gehalt des Untergrundes sowie v. a. dessen Gaspermeabilität von Bedeutung. Dazu bedarf es noch der Möglichkeit für hohe Emanationsraten, was vor allem durch den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens gesteuert wird (GUNDERSEN et al., 1992). Spröddeformation durch Kataklyse führt nicht nur zu starker Kornzerkleinerung und damit verbunden zu einer enormen Zunahme der verfügbaren Oberflächen, sondern auch zur Bereitstellung von Wegsamkeiten für Fluide, die U und Ra aus dem Nebengestein umverteilen können.

Im Falle von Umhausen sind diese Grundbedingungen erfüllt, wengleich markante U- oder Ra-Anomalien sowie tiefgreifende tektonische Strukturen fehlen. Wenn man die Verteilung der Rn-Konzentrationen in Gebäuden und in der Bodenluft betrachtet, und dabei die geologische Situation mitberücksichtigt, fällt auf, daß hohe Werte ausschließlich im Bereich des Köfeler Bergsturzes (bis zu  $260 \text{ kBq/m}^3$  in der Maurachschlucht) und dessen nördlichen Vorfeldes (bis  $100\text{-}150 \text{ kBq/m}^3$ ,

im Extremfall bis zu  $320 \text{ kBq/m}^3$ ) gemessen wurden. Keine andere Gemeinde des Ötztales ist betroffen, und von Umhausen selbst auch nur jene Teile, die mit dem Bergsturz bzw. dessen unmittelbaren Folgeerscheinungen (Schwemmfächer aus Bergsturzmaterial) in Verbindung stehen (Abb. 2, 3).

Schon KRÜSE (1940) fiel auf, daß in dieser Region Quellen mit relativ hohen Aktivitätskonzentrationen ( $85$  bis  $>400 \text{ Bq/l}$ ) dem Bergsturzgebiet entstammen, während Quellen ohne nennenswerte Radioaktivität ( $<20 \text{ Bq/l}$ ) außerhalb entspringen. Jüngste Überprüfungen dieser Quellen bestätigen die zitierten Meßwerte.

Nachdem offenbar ein Zusammenhang zwischen Bergsturz und Belastung besteht, müssen hier die Voraussetzungen für hohe Exhalationsraten von Rn aus dem Bodenmaterial gegeben sein. Nachdem die durchschnittlichen U- und Ra-Gehalte des Orthogneisschuttes nicht ausreichen würden, müssen die Emanationskraft (emanating power) und der Diffusionskoeffizient für Rn im Boden erhöht sein (ENNEMOSER et al., 1994). Verglichen mit einem Festgestein besitzt das Bergsturzmaterial diese Voraussetzungen auf Grund der starken Zertrümmerung bis in den Subkornbereich (SIEDER & PRICHL, 1994), womit die aktive Kornoberfläche und auch die Porosität enorm vergrößert wurde. Eine positive Korrelation zwischen spezifischer Oberfläche und emanating power wird auch von SEMKOV (1990) bestätigt. Auch in anderen Arbeiten jüngster Zeit wird ein Zusammenhang von Rn-Exhalationsrate und Partikelgröße festgestellt und in Experimenten teilweise nachvollzogen (z. B. SUTHERLAND, 1994). Eigene Experimente mit verschiedenen Korngrößenfraktionen der selben Proben bestätigen diese Untersuchungen (PRICHL et al., 1994).

In der Maurachschlucht südlich von Umhausen wurden in Bereichen mit teilweise extremer Kataklyse der Granitgneise (jene tieferen Bereiche, in denen auch Gesteinsaufschmelzung auftritt) sehr hohe Rn-Konzentrationen der Bodenluft zwischen  $15$  und  $260 \text{ kBq/m}^3$  gemessen. In den höheren Bergsturzanteilen mit blockiger Zerlegung tritt nicht nur kalte

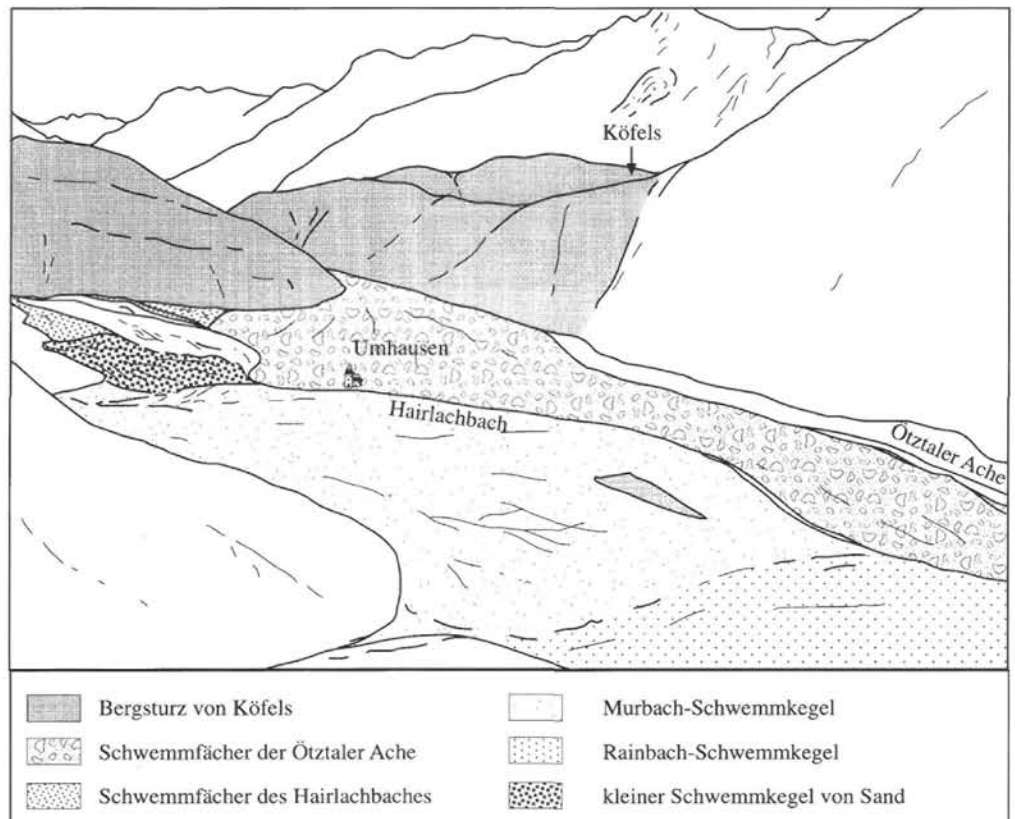
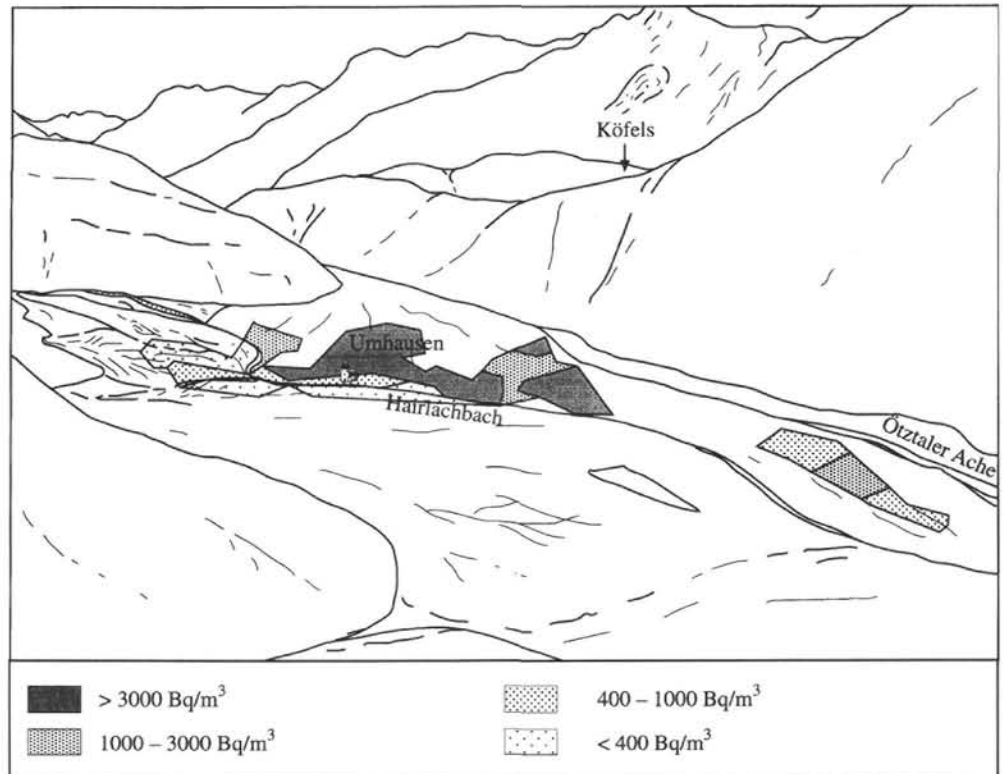


Abb. 2

Räumliche Verteilung des Bergsturzmaterials, der verschiedenen Schwemmfächer und Murschuttflächen im Umhausener Becken (Blick vom Weiler Farst gegen S, Talbreite ca. 1,5 km). Der Kamm rechts (westlich) oberhalb Köfels stellt die Ausbruchsnische des Bergsturzes dar.

Abb. 3  
Verteilung der Radonkonzentrationen in Erdgeschossen (Jahresmittelwerte) in Umhausen. Die eingetragenen Flächen entsprechen dem Siedlungsgebiet des Ortes. Deutliche Abhängigkeit der Konzentrationshöhe vom geologischen Untergrund (vergleiche Abb. 2!), jene Gebäude mit den höchsten Belastungen liegen ausschließlich auf dem Schwemmfächer der Ötztaler Ache.



Bodenluft mit konstant niedriger Temperatur zwischen den Blöcken aus („Kalte Löcher“, in denen teilweise ganzjährig Eis liegt), sondern mit ihr auch an vielen Stellen Rn in hohen Konzentrationen (einige 10er kBq/m<sup>3</sup>). Die spürbar starke Luftzirkulation bis in tiefe Bereiche des Bergsturzes wird neben meteorologischen Einflüssen (Temperatur- und Luftdruckunterschiede etc.) wahrscheinlich zum Teil durch einen Pumpeffekt durch immer noch unterirdisch abfließendes Wasser verursacht.

Komplizierter sind die Verhältnisse auf dem Schwemmfächer im Vorfeld des Bergsturzes, auf dem die Ortschaft liegt. Die Grobblockigkeit des Großteils des wiederaufgearbeiteten Bergsturzeschuttes bedingt einen hohen Anteil an Porenraum, der für Bodenluftzirkulation genutzt werden kann. Damit wird offenbar vom Bergsturz Radon mit der Bodenluft über weite Teile des Schwemmfächers, vor allem im proximalen Bereich, verteilt (siehe auch Abb. 2 und 3). In vielen Baugruben und Schurfschlitzten war ein starker Luftzug aus dem Porenraum spürbar, der deutlich die Wirksamkeit dieses Zirkulationssystems zeigt. Darauf deuten auch die hohen Rn-Konzentrationen in den bergsturnahen Bodenmeßstellen hin (bis zu 150, im Extremfall bis zu 320 kBq/m<sup>3</sup>!). Auf Grund der enormen Durchlässigkeiten ist in diesen Teilen der Grundwasserspiegel zwischen Hairlachbach und Ötztaler Ache in einer tiefen Position, sodaß er als Transportmedium und Verursacher der hohen Bodengaswerte kaum in Frage kommen kann. Lediglich im distalen Schwemmfächerbereich (Ortsteil Östen), wo ebenfalls sehr hohe Konzentrationen vermerkt werden, dürfte das Grundwasser als Rn-Träger eine Rolle spielen. Da der Schwemmfächers der Ötztaler Ache ausschließlich aus umgelagertem Bergsturzeschutt besteht, kommt es sicherlich auch zu einer nicht unwesentlichen Emanation aus dem Schuttkörper selbst.

Die Murschuttkegel der östlichen Seitengraben (Rainbach, Murbach, Sand) haben einen deutlich höheren Feinanteil, der nur wenig aktiven Porenraum für eine Konvektion der Bodenluft bereitstellt. Außerdem wird dadurch die Feuchtigkeit von versickernden Niederschlägen über lange Zeit gehalten, die sich so ebenfalls als „Bremse“ für die Radonverteilung auswirkt. Daher sind Gebäude, die auf diesen Schuttkegeln erbaut wurden, wesentlich geringer belastet.

## 6. Vergleichsstudien

Um die neue Hypothese des Bergsturzes als massiver Radonproduzent zu verifizieren, wurden an Bergstürzen in ähnlichen Gesteinen und in solchen mit ähnlicher Dimension Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Vor allem der Bergsturz von Langtang in Nepal mit ähnlichen Dimensionen und ebenfalls in granitischen Gesteinen erbrachte eine Bestätigung der Ergebnisse aus Umhausen/Köfels (PURTSCHELLER et al., 1994, 1995). Erste Ergebnisse der Analysen am Bergsturz von Randa nahe Zermatt in der Schweiz (ebenfalls teilweise Orthogneise) scheinen trotz des anders gearteten Sturzmechanismus und Zertrümmerungsgrades sowie der geringeren Kubatur (30 Mio. m<sup>3</sup>) weitere Unterstützung der Hypothese zu liefern. Eine Studie der riesigen Bergsturzmaure aus den Granodioriten des Huascarán in Peru ist derzeit im Gange.

## Dank

Die Autoren sind Herrn Dr. G. Keller (Abt. f. Biophysik, Univ. Saarland, Homburg, Deutschland) und Herrn Dr. L. Minach (Laboratorio Provinciale Chimico, Bolzano, Italien) für Zusammenarbeit und Datenerstellung zu Dank verpflichtet. Ebenso danken wir Herrn DI Casta (FZ Seibersdorf) für die unbürokratische Hilfe bei den U-Bestimmungen. Die Radon-Messungen in Umhausen wurden von der Tiroler Landesregierung finanziert.

## Literatur

- ABELE, G. (1974): Bergstürze in den Alpen, ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinung. – Wiss. AV-Hefte, 25, 230 S., Innsbruck.
- ÅKERBLUM, G. (1994): Ground radon-monitoring procedures in Sweden. – Geoscientist, 4/4, 21-27, London.
- CARMICHAEL, R. S. (1990): Physical properties of rocks and minerals. – CRC Press.

- ENNEMOSER, O., AMBACH, W., BRUNNER, P., SCHNEIDER, P., OBERAIGNER, W., PURTSCHELLER, F. & STINGL, V. (1993): Unusually high indoor radon concentrations. – *Atmosph. Env.*, **27 A**, 2169-2172, Oxford.
- ENNEMOSER, O., AMBACH, W., BRUNNER, P., SCHNEIDER, P., OBERAIGNER, W., PURTSCHELLER, F., STINGL, V. & KELLER, G. (1994): Unusually high indoor radon concentrations from a giant rock slide. – *Sci. Total Environm.*, **151**, 235-240, Amsterdam.
- ERISMANN, T. H., HEUBERGER, H. & PREUSS, E. (1977): Der Bimsstein von Köfels (Tirol), ein Bergsturz-, „Friktionit“. – *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.*, **24**, 67-119, Wien.
- FLEXSER, S., WOLLENBERG, H. A. & SMITH, A. R. (1993): Distribution of radon sources and effects on radon emanation in granitic soil at Ben Lomond, California. – *Environm. Geol.*, **22**, 162-177, New York.
- GUNDERSEN, L. C. S. (1991): Radon in sheared metamorphic and igneous rocks. – *US Geol. Surv. Bull.*, **1971**, 39-50, Reston.
- GUNDERSEN, L. C. S., SCHUMANN, R. R., OTTON, J. K., DUBIK, R. F., OWEN, D. E. & DICKINSON, K. A. (1992): Geology of radon in the United States. – In: GATES, A. E. & GUNDERSEN, L. C. S. (Hrsg.): *Geologic Controls on Radon*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, **271**, 1-15, Boulder.
- HEUBERGER, H. (1966): Gletschergeschichtliche Untersuchungen in den Zentralalpen zwischen Sellrain- und Ötztal. – *Wiss. AV-Hefte*, **20**, 126 S., Innsbruck.
- HEUBERGER, H. (1975): Das Ötztal. – *Innsbr. Geogr. Studien*, **2**, 213-249, Innsbruck.
- HEUBERGER, H. (1994): The giant landslide of Köfels, Ötztal, Tyrol. – *Mountain Res. Dev.*, **14**, 4, 290-294.
- HEUBERGER, H. (1996): Das Ereignis von Köfels im Ötztal (Tirol) und die Sintflut-Impakt-Hypothese. – *Jb. Geogr. Ges. Bern*, **59** (Festschrift B. Messerli), 271-280, Bern.
- HEUBERGER, H. & BRÜCKL, E. (1993): Reflexionsseismische Messungen am Bergsturz von Köfels. – *Arbeitstagg. Geol. B.-A.*, 156-158, Wien.
- HEUBERGER, H., MASCH, L., PREUSS, E. & SCHRÖCKER, A. (1984): *Quaternary landslides and rock fusion in Central Nepal and the Tyrolean Alps*. – *Mt. Res. Dev.*, **4**, 345-362.
- ISRAEL, H. & BJÖRNSSON, S. (1967): Radon (Rn-222) and thoron (Rn-220) in soil air over faults. – *Ztschr. Geophysik*, **33**, 48-64, Würzburg.
- KELLER, G. (1996): Fallstudie Umhausen/Tirol. – In: A. SIEHL (Hrsg.): *Umweltradioaktivität. – Reihe: Geologie und Ökologie im Kontext*, 412 S., Berlin (Ernst & Sohn).
- KRÜSE, K. (1940): Beiträge zur Kenntnis der Radioaktivität der Mineralquellen Tirols. – *Mitt. Reichsst. Bodenforsch.*, **1**, 70-80, Wien.
- LAHODINSKY, R., LYONS, J. B. & OFFICER, C. B. (1993): Phänomen Köfels – eine nur mühsam akzeptierte Massenbewegung. – *Arbeitstagg. Geol. B.-A.*, 159-162, Wien.
- PIRCHL, T., SIEDER, G., BRUNNER, P., PURTSCHELLER, F., STINGL, V. & TESSADRI, R. (1994): Geochemische, mineralogische und geologische Aspekte zur Radon-Anomalie in Umhausen/Ötztal. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, **139**, 360-361, Wien.
- PURTSCHELLER, F., STINGL, V., BRUNNER, P. & ENNEMOSER, O. (1994): The Tsergo ri landslide (Langtang Himal) – A case study of radon emanation from giant landslides. – *Jour. Nepal Geol. Soc.*, **10**, 102-104, Kathmandu.
- PURTSCHELLER, F., PIRCHL, T., SIEDER, G., STINGL, V., TESSADRI, R., BRUNNER, P., ENNEMOSER, O. & SCHNEIDER, P. (1995): Radon emanation from giant landslides of Koefels (Tyrol, Austria) and Langtang Himal (Nepal). – *Environm. Geol.*, **26**, 32-38.
- SEMKOV, T. M. (1990): Recoil-emanation theory applied to radon release from mineral grains. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 425-440, Oxford.
- SIEDER, G. & PIRCHL, T. (1994): Geologische und petrographische Untersuchungen im Raum Umhausen/Ötztal mit besonderer Berücksichtigung der Radonproblematik. – *Unveröff. Dipl.-Arb.*, 91 S., Innsbruck.
- STEELE, S. R., HOOD, W. C. & SEXTON, J. L. (1982): Radon emanation in the New Madrid seismic zone. – *Geol. Surv. Prof. Paper*, **1236**, 191-201, Reston.
- STINGL, V., PURTSCHLLER, F., BRUNNER, P. & ENNEMOSER, O. (1993): Bergstürze, Schwemmfächer und Radonverteilung im äußeren Ötztal (Tirol, Österreich). – *Abstract (Posterpräsentation, Sediment '93, Marburg)*, *Geologica et Palaeontologica*, **27**, 299-300, Marburg.
- SURENIAN, R. (1988): Scanning electron microscope study of shock features in pumice and gneiss from Koefels (Tyrol, Austria). – *GPM Innsbruck*, **15**, 135-143, Innsbruck.
- SURENIAN, R. (1993): Das Köfels-Ereignis im Ötztal (Tirol), Überblick über die Geomorphologie und Forschungsgeschichte. – *Arbeitstagg. Geol. B.-A.*, 151-155, Wien.
- SUTHERLAND, D. S. (1994): Radon workshop – Geology, environment, techniques. – *Geoscientist*, **4/2**, 27-29, London.
- WILKENING, M. (1990): Radon in the Environment. – *Studies in Environm. Sci.*, **40**, 137 S., Elsevier, Amsterdam.

Manuskript eingegangen am: 08. 08. 1994 ●

Revidierte Fassung eingegangen am: 02. 04. 1997 ●

Manuskript akzeptiert am: 15. 04. 1997 ●