

# Aktivitätsprofile des Tschernobyl fallout auf Gletschern Tirols

Von Walter Ambach<sup>1</sup>, Mario Blumthaler<sup>1</sup>, Peter Brunner<sup>3</sup>, Heinrich Eisner<sup>2</sup> und Wolfgang Rehwald<sup>1</sup>

**Zusammenfassung:** Auf Gletschern Tirols wurde die Stratigraphie der Gesamt-Beta-Aktivität des Tschernobyl fallout in Schneeprofilen untersucht. Es ergaben sich regional große Unterschiede. Vergleichsmessungen von 1986 und 1987 zeigen eine ausgeprägte Verschleppung der Spaltprodukte in tiefere Schichten durch Schmelzwasser, wobei jedoch keine signifikante Fraktionierung des Spaltproduktgemisches erfolgt. Im Gammaskpektrum ist <sup>137</sup>Cs dominant mit einem <sup>137</sup>Cs/<sup>134</sup>Cs-Verhältnis von 2,6 bis 2,9 (Messung Februar 1987) und 3,7 (Messung Januar 1988).

**Summary:** Profiles of radioactivity of the Chernobyl fallout at Tyrolean Glaciers. The stratigraphy of the gross-beta-activity of the Chernobyl fallout was measured in samples from glaciers in Tyrol. Great regional differences were obtained. The comparison of the results of samples collected in 1986 and 1987 shows a significant immigration of the fission products into deeper layers by melt water percolation but without any significant fractionation occurring. Gammascpectra show the dominance of <sup>137</sup>Cs with the ratio <sup>137</sup>Cs/<sup>134</sup>Cs of 2.6 to 2.9 (measurement February 1987) and 3.7 (measurement January 1988).

## 1. EINLEITUNG

Der Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986 hat im Bereich der Alpen regional zu unterschiedlicher Kontamination geführt (KOLB et al. 1986). Aufgrund der Wetterlagen während des Unfalls und der Tage danach wurden die Gletscher Tirols durch den radioaktiven fallout stark kontaminiert. Die Radioaktivität des Schnees war in diesem Gebiet eindeutig höher als in den Westalpen, in Grönland und am nordamerikanischen Kontinent (POURCHET et al. 1986, POURCHET et al. 1988, DAVIDSON et al. 1987, HAEBERLI et al. 1988).

## 2. ERGEBNISSE

### 2.1 Ergebnisse von 1986

In den Sommermonaten 1986 wurden auf vier Gletschern Tirols (Fig. 1) insgesamt 359 Schneeproben in 55 Tiefenprofilen gesammelt. Die Gletscher liegen etwa auf einer West-Ost-Linie mit einer Maximaldistanz von 80 km Luftlinie. Die Schicht mit der größten Kontamination war entweder direkt an der Oberfläche oder mit einer dünnen, nichtkontaminierten Neuschneesicht bedeckt (AMBACH et al. 1987a). Die Schicht der größten Kontamination wurde dem Niederschlag der Tage unmittelbar nach dem Tschernobyl-Unfall zugeordnet (Tschernobyl-Schicht). Messungen der Gesamt-Beta-Aktivität der Tschernobyl-Schicht ergaben die Maximalwerte (Datum der Messung August 1986):

Gefrorene Wand Kees (Zillertaler Alpen)	335 Bq/kg
Schauelferner (Stubai Alpen)	321 Bq/kg
Kesselwandferner (Öztaler Alpen)	149 Bq/kg
Hintereisferner (Öztaler Alpen)	114 Bq/kg

In 40 bis 50 cm Tiefe unter der Tschernobyl-Schicht betrug die Gesamt-Beta-Aktivität etwa 10% des Wertes der Tschernobyl-Schicht.

Gammaskpektroskopische Untersuchungen der Proben aus der Tschernobyl-Schicht zeigen in der Zusammensetzung des Spaltproduktgemisches nur unbedeutende regionale Unterschiede. In allen Proben war <sup>137</sup>Cs mit 60% bis 65% dominant, und das <sup>137</sup>Cs/<sup>134</sup>Cs-Verhältnis variierte zwischen 2,6 und 2,9. Aus Tabelle 1 sind die mittleren, spektroskopisch gefundenen Aktivitätsanteile ersichtlich (Messung Februar 1987).

<sup>1</sup> Prof. Dr. Walter Ambach, Dr. Mario Blumthaler und Dr. Wolfgang Rehwald, Institut für Medizinische Physik der Universität, Müllerstr. 44, A-6020 Innsbruck.

<sup>2</sup> ObRat Dr. Heinrich Eisner, Institut für Experimentalphysik der Universität, Technikerstr. 25, A-6020 Innsbruck.

<sup>3</sup> ObRat Dr. Peter Brunner, Institut für Radiochemie, Versuchsstelle für Strahlenschutz und Kerntechnik der Universität, Tempelstr. 22, A-6020 Innsbruck.

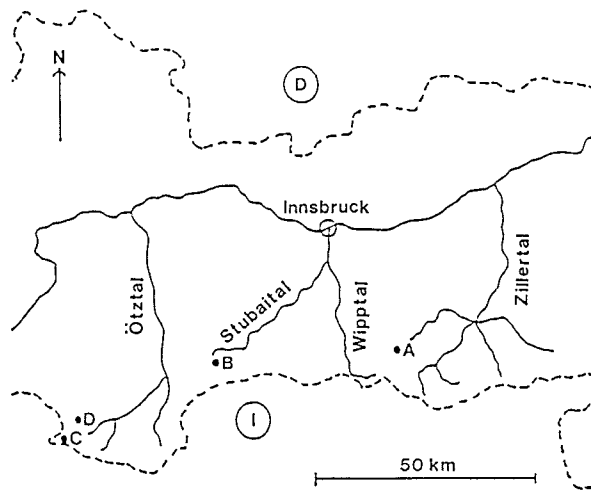


Abb. 1: Orte der Probenahme. A: Gefrorene Wand Kees (Zillertaler Alpen). B: Schaufelferner (Stubai Alpen). C: Hintereisferner (Ötztaler Alpen). D: Kesselwandferner (Ötztaler Alpen).

Fig. 1: Sites of sampling. A: Gefrorene Wand Kees (Zillertal Alps). B: Schaufelferner (Stubai Alps). C: Hintereisferner (Oetztal Alps). D: Kesselwandferner (Oetztal Alps).

Für Proben aus der Schicht 40 bis 50 cm unter der Tschernobyl-Schicht ergab sich eine sehr ähnliche Zusammensetzung des Isotopengemisches. Daraus wird geschlossen, daß durch Verschleppung mit Schmelzwasser keine wesentliche Fraktionierung des Isotopengemisches bedingt ist.

Für die Gesamt-Beta-Aktivität von Schmelzwasser aus den Schneeschichten wurden Werte bis zu 6 Bq/kg bestimmt (August 1986). Dieser Wert liegt nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung wesentlich unter dem Grenzwert für Trinkwasser.

Um die effektive Halbwertszeit des Isotopengemisches festzustellen, wurden Nachmessungen der Gesamt-Beta-Aktivität der Trockenrückstände von Proben der Tschernobyl-Schicht in Intervallen von etwa 2 Monaten durchgeführt. Die Abnahme der Gesamt-Beta-Aktivität in diesem Zeitraum kann gut mit dem Potenzgesetz  $A(t) = A_0 t^{-0,226}$  dargestellt werden, wobei A die Gesamt-Beta-Aktivität und t die Zeit in Tagen bedeuten.

Der Exponent  $-0,226$  unterscheidet sich wesentlich vom Exponenten im Way-Wigner Gesetz (ADERHOLZ & WAGNER 1987, GÖNNENWEIN 1987). Im Way-Wigner Gesetz wird vorausgesetzt, daß alle Spaltprodukte plötzlich freigesetzt werden, was beispielsweise bei Waffentests zutrifft. Im Falle des Tschernobyl Unfalls war die Emission der Spaltprodukte durch die Flüchtigkeit der Verbindungen bestimmt, und außerdem werden die Spaltprodukte im Reaktor kontinuierlich erzeugt.

## 2.2 Ergebnisse von 1987

Im August 1987 wurden am Kesselwandferner neun Bohrungen bis ungefähr 6 m Tiefe durchgeführt, um die Verschleppung der Spaltprodukte in tiefere Schichten zu erfassen. Aus technisch-organisatorischen Gründen wurden die Proben zwischen Oberfläche und 2,5 m Tiefe nicht untersucht. Als Ergebnis zeigt sich, daß von 2,5 bis 6,0 m Tiefe eine unregelmäßige Verteilung der Spaltprodukte auftritt (Fig. 2). Dem Maximum kann keine eindeutige Tiefe zugeordnet werden. Es ist auch anzunehmen, daß über und unter dem untersuchten Tiefenbereich eine Kontamination vorliegt. Aus allen Proben Kesselwandferner 1987 wurde der Höchstwert der Gesamt-Beta-Aktivität zu 25 Bq/kg (Messung Oktober 1987) festgestellt.

Für die Profile Kesselwandferner 1986 und Kesselwandferner 1987 wurde die Bodenbelastung zu  $10,4 \pm 1,5$  kBq/m<sup>2</sup> (1986) und  $6,6 \pm 2,4$  kBq/m<sup>2</sup> (1987) berechnet. Beide Werte sind auf den Zeitpunkt 1. Mai 1987 korrigiert, so daß der radioaktive Zerfall im Vergleich keine Rolle spielt. Der kleinere Wert von 1987 ist daher auf den Auswaschungsvorgang durch Schmelzwasser und auf die Verschleppung in Tiefen unter 6 m zurückzuführen. Die zwischen Oberfläche und 2,5 m Tiefe nicht erfaßte Kontamination dürfte vernachlässigbar sein, weil angenommen werden kann, daß diese Schneeschichten vorwiegend durch den Niederschlag nach dem Tschernobyl fallout abgelagert wurden.

Probenahme Messung	Juli 1986 Februar 1987	August 1987 (a) Januar 1988	August 1987 (b) Januar 1988
<sup>137</sup> Cs	60,9%	70,6%	77,7%
<sup>134</sup> Cs	21,9%	19,0%	21,0%
<sup>106</sup> Ru/Rh	10,6%	6,7%	—
<sup>125</sup> Sb	2,8%	2,4%	1,3%
<sup>144</sup> Ce	2,2%	1,0%	—
<sup>110m</sup> Ag	0,6%	0,3%	—
<sup>103</sup> Ru	0,5%	—	—
<sup>95</sup> Nb	0,4%	—	—
<sup>95</sup> Zr	0,1%	—	—
Gesamt:	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 1: Relative Zusammensetzung des Tschernobyl fallout aus gammaspektroskopischen Untersuchungen. (a) Tiefe 2,5 bis 3,5 m, (b) Tiefe 4 bis 5 m.

Tab. 1: Relative composition of Chernobyl fallout from gammaspectroscopic analyses. (a) depth 2.5 to 3.5 m, (b) depth 4 to 5 m.

Von Proben Kesselwandfener 1987 liegen aus dem Tiefenbereich 2,5 bis 3,5 m und 4 bis 5 m gammaspektroskopische Untersuchungen vor. Die Zusammensetzung des Spaltproduktgemisches ist aus Tabelle 1 ersichtlich (Messung Januar 1988). In beiden Tiefenbereichen beträgt das <sup>137</sup>Cs/<sup>134</sup>Cs-Verhältnis 3,7 und ist naturgemäß größer als in den Proben Kesselwandfener 1986. Die Halbwertszeiten der gammaspektroskopisch nachgewiesenen Spaltprodukte liegen zwischen 250 d (<sup>110m</sup>Ag: 0,3%) und 30,1 a (<sup>137</sup>Cs: 70,6%).

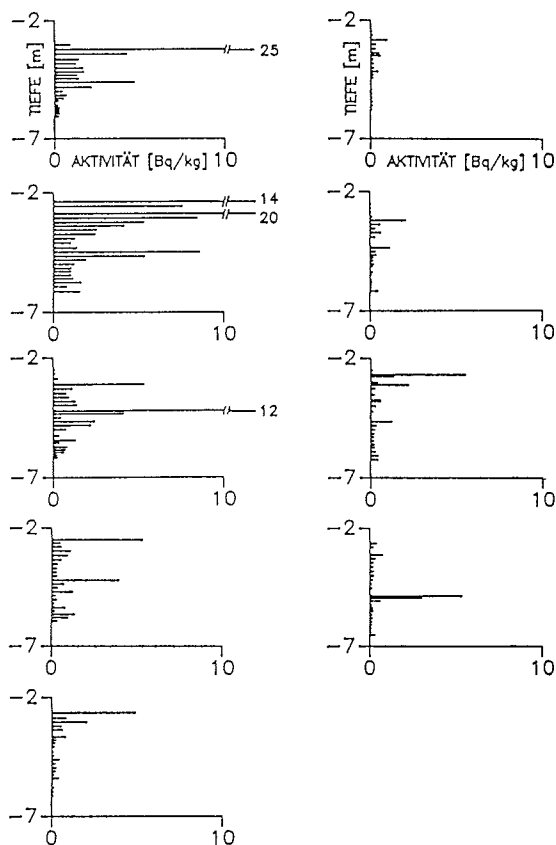


Abb. 2: Tiefenprofile der Gesamt-Beta-Aktivität am Kesselwandfener (Oetztal Alpen). Probenahme August 1987, Messung September bis Dezember 1987.

Fig. 2: Vertical profiles of gross-beta-activity on Kesselwandfener (Oetztal Alps). Sampling August 1987, Measurement September to December 1987.

### 3. DISKUSSION

Vertikale Aktivitätsprofile der Gesamt-Beta-Aktivität im Akkumulationsgebiet ausgewählter Gletscher in Tirol erlauben eine eindeutige Zuordnung des Tschernobyl fallout zu einer bestimmten Schneeschicht, wobei große regionale Unterschiede in den Aktivitäten innerhalb einer Entfernung von 80 km auftreten. Die Tschernobyl-Schicht ist im Juli 1986 durch signifikant hohe Werte der Gesamt-Beta-Aktivität charakterisiert. Zufolge einsickernden Schmelzwassers ist bereits im Juli 1986 eine Verschleppung des Fallout zu 10% bis in Tiefen von 1 m feststellbar. Oberhalb der Tschernobyl-Schicht ist die Gesamt-Beta-Aktivität gemäß der natürlichen Aktivität vergleichsweise klein, so daß der Übergang als deutlich ausgeprägte Zeitmarke interpretierbar ist (AMBACH et al., 1987b). Aus gammaspektroskopischen Untersuchungen folgt, daß sich durch die Verschleppung in tiefere Schichten keine Fraktionierung des Isotopengemisches ergibt.

Im August 1987 wurde eine weitere Verschleppung des Tschernobyl fallout bis 6 m Tiefe festgestellt. Ein zeitlicher Vergleich der Bodenbelastung ( $Bq/m^2$ ) in den Jahren 1986 und 1987 im Untersuchungsgebiet Kesselwandferner zeigt, daß eine geringfügige Verschleppung des Tschernobyl fallout tiefer als 6 m wahrscheinlich ist. Die Werte der Bodenbelastung beider Jahre wurden für diesen Vergleich auf 1. Mai 1987 korrigiert, so daß der Vergleich unabhängig vom radioaktiven Zerfall ist. Die Bodenbelastung ist im Untersuchungsgebiet innerhalb geringer Entfernungen von 150 m großen Schwankungen unterworfen. Dieses Ergebnis ist verständlich, weil Schneeschichten nicht gleichmäßig von Schmelzwasser durchsickert werden. Vielmehr bilden sich vertikale Perkulationskanäle aus, durch die bevorzugt Schmelzwasser versickert und dadurch eine lokal verstärkte Verschleppung des Fallout vorliegt. Im Gammaskpektrum ist bei allen Proben die Aktivität von  $^{137}Cs$  dominant, wobei sich im Januar 1988 für das Verhältnis  $^{137}Cs/^{134}Cs$  der Wert 3,7 ergibt. Es ist daher zu erwarten, daß der Tschernobyl fallout noch nach Dekaden in Gletschern dieser Gebiete nachweisbar sein wird.

Die Autoren danken der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, für die finanzielle Unterstützung, dem Bundesministerium für Inneres, Wien, für den Materialtransport und Frau Dr. H. Neuner für die Mitarbeit bei der Aufarbeitung der Proben.

#### Literatur

- Aderholz, M. & Wagner, S. (1987): Das Abklingen der  $\beta$ -Aktivität des Tschernobyl-Fallouts. — *Phys. Bl.* 43 (6): 159—165.
- Ambach, W., Rehwald, W., Blumthaler, M., Eisner, H. & P. Brunner (1987a): Radioactive fall-out on Alpine glaciers from the Chernobyl nuclear accident. — *Z. Gletscherkd. Glazialgeol.* 23 (2): 123—129.
- Ambach, W., Rehwald, W., Blumthaler, M. & H. Eisner, H. & P. Brunner (1987b): Chernobyl fallout on Alpine glaciers: A new reference horizon for dating. — *EOS*, November 10: 1577.
- Davidson, C. I., Harrington, J. R., Stephenson, M. J., Monaghan, M. C., Pudykiewicz, J. & W. R. Schell (1987): Radioactive Cesium from the Chernobyl Accident in the Greenland Ice Sheet. — *Science* 237: 633—634.
- Gönnenwein, F. (1987): Zu: Das Abklingen der  $\beta$ -Aktivität des Tschernobyl-Fallouts. — *Phys. Bl.* 43 (11): 438.
- Haerberli, W., Gägger, H., Baltensperger, U., Jost, D. & U. Schotterer (1988): The signal from the Chernobyl accident in high-altitude firn areas of the Swiss Alps. — In: International Glaciological Society, Proceedings of the Symposium on Ice-Core analysis held at the University of Bern, Switzerland, 30 March — 3 April 1987. Cambridge. International Glaciological Society, 1988 (*Annals of Glaciology* 10): 48—51.
- Kolb, G., Mähringer, G., Seibert, P., Sobitschka, W., Steinhauser, P. & Zwatz-Meise, V. (1986): Diskussion meteorologischer Aspekte der radioaktiven Belastung in Österreich durch den Reaktorunfall in Tschernobyl. — Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Publ. Nr. 309.
- Pourchet, M., Pinglot, J. F., Gascard, J. C. (1986): The northerly extent of Chernobyl contamination. — *Nature* 323:676.
- Pourchet, M., Pinglot, J. F., Reynaud, L. & Holdsworth, G. (1988): Identification of Chernobyl Fallout as a new Reference-level in Northern, Hemisphere Glaciers. — *J. Glaciol.* 34: 183—187.