

Zur Kontamination von Firnschichten durch radioaktiven Fallout

Von Walter Ambach*

Zusammenfassung: Messungen der Gesamt-Beta-Aktivität und der Tritiumkonzentration von Firnproben aus verschiedenen Regionen geben Auskunft über die Kontamination der Umwelt durch radioaktive Spaltprodukte aus nuklearen Waffentests in der Atmosphäre seit 1952. Zur Beurteilung der künstlichen Strahlenbelastung durch den radioaktiven Fallout in den vergangenen Jahren werden als Grenzwerte der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) die höchstzulässigen Aktivitätskonzentrationen bei 168stündiger Exposition pro Woche (HZK 168) zum Vergleich herangezogen, und zwar für einen $\alpha + \beta + \gamma$ -Strahler unbekannter Zusammensetzung sowie für die Radionuklide Sr-90, Cs-137 und Pm-147. Es zeigt sich, daß bei realistischen Annahmen stark kontaminierte Firnschichten kein Risiko für die Bevölkerung darstellen.

Summary: Measurements of the gross-beta-activity and the tritium concentration of firn samples from different regions indicate environmental pollution by radioactive fission products from nuclear weapon tests which have been carried out in the atmosphere since 1952. In order to review the exposure dose from contaminated firn maximum values of the exposure dose for the exposition of 168 hours per week were taken for comparison purpose from the "Österreichische Strahlenschutzverordnung", 1972 (HZK 168). For example, the value of HZK 168 for a mixture of unknown composition decaying by $\alpha + \beta + \gamma$ radiation, as well as the values of HZK 168 for individual nuclids such as Sr-90, Cs-137, and Pm-147 are discussed in this article. Assuming realistic conditions it is shown that the heavily contaminated firn layers are no significant risk to human beings.

1. Einleitung

Firnschichten von polaren und alpinen Gletschern sind zufolge nuklearer Waffentests in der Atmosphäre seit 1952 durch radioaktive Spaltprodukte kontaminiert. Während sich die Aktivitätswerte bis 1961 durch relativ geringe Explosionsstärken in Grenzen hielten, wurde der Niederschlag in der Periode von 1961—1963 durch intensive Testreihen in der Atmosphäre stark kontaminiert. Die radioaktiven Spaltprodukte wurden durch Adsorption an Aerosolteilchen gebunden und durch den Niederschlag in Schneeschichten deponiert. Firnprofile zeigen daher in chronologischer Folge die Ablagerung dieser Spaltprodukte. Nach 1963 wurde die nukleare Testtätigkeit in der Atmosphäre wesentlich reduziert, die Kontamination des Niederschlags ist jedoch zufolge der mittleren Aufenthaltsdauer der Spaltprodukte in der Atmosphäre von etwa 16 Monaten nur langsam zurückgegangen.

Die Radioaktivität der Firnschichten nimmt aufgrund des Zerfallsgesetzes ständig ab, kurzlebige Radioisotope sind durch den Zerfall bereits weitgehend verschwunden, langlebige Radioisotope können aber weiterhin nachgewiesen werden. Die Kontamination von Firnschichten durch radioaktive Spaltprodukte ist sowohl auf temperierten als auch auf kalten Gletschern feststellbar. Spitzenwerte dieser Kontamination wurden auf der nördlichen Hemisphäre in Firnschichten von 1963 gefunden. Da die nuklearen Versuchsreihen vorwiegend in der nördlichen Hemisphäre durchgeführt wurden, tritt auf der südlichen Hemisphäre, bedingt durch die atmosphärische Zirkulation, der entsprechende Spitzenwert erst in den Jahren 1965/66 in Erscheinung.

Messungen der Gesamt-Beta-Aktivität der Spaltprodukte in Tiefenprofilen wurden bisher an Proben von verschiedenen temperierten und kalten Gletschern durchgeführt und teilweise zur Rücklagenbestimmung verwendet, da Spitzenwerte der Gesamt-Beta-Aktivität von 1963 bzw. 1965 als Zeitmarken im Tiefenprofil dienen können (PICCIOTTO et al. 1968, EISNER 1971). Im folgenden wird an Hand von Beispielen eine Gegenüberstellung von Werten der Gesamt-Beta-Aktivität von Firnproben aus verschiedenen Regionen gegeben. Außerdem werden die Werte der Gesamt-Beta-Aktivität und der Tritiumkonzentrationen

* Prof. Dr. Walter Ambach, Institut für Medizinische Physik der Universität, Müllerstr. 44, A-6020 Innsbruck.

der Firnschichten mit Grenzwerten der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) verglichen, um die künstliche Strahlenbelastung der Umwelt durch Spaltproduktablagerungen in Firnschichten zu beurteilen.

2. Vergleich der Aktivitätskonzentrationen im Firn mit Grenzwerten nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972)

Abb. 1 gibt eine Darstellung von Spitzenwerten der Gesamt-Beta-Aktivität in Firnschichten, wobei Ort und Zeit der Probennahme angeführt sind. Die Probennahme erfolgte vor 1971. Für die verschiedenen Perioden der Ablagerungen wurden verschiedene Schraffuren verwendet. Außerdem wurde bei datierten Ablagerungen die entsprechende Jahreszahl angegeben. Abb. 2 ist das entsprechende Diagramm zu Abb. 1, jedoch für Proben, die nach 1971 entnommen worden sind. In beiden Diagrammen sind Grenzwerte der Aktivitätskonzentrationen von Wasserproben nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) für folgende Annahmen eingetragen:

- a) Grenzwerte für ein Nuklidengemisch von $\alpha + \beta + \gamma$ -Strahlern unbekannter Zusammensetzung: Die höchstzulässige Aktivitätskonzentration für Wasser bei einer Exposition von 168 Stunden pro Woche (HZK 168) beträgt $1.10^{-7} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (Österreichische Strahlenschutzverordnung 1972 : 154). Dieser Wert wird zum Vergleich herangezogen und ist in Abb. 1 und Abb. 2 als Grenzwert eingetragen. Gemäß § 12 Abs. 8 bzw. Abs. 10 der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) dürfen jedoch sowohl für Personen innerhalb von Kontroll- und Überwachungsbereichen, wie auch gemäß § 15 für

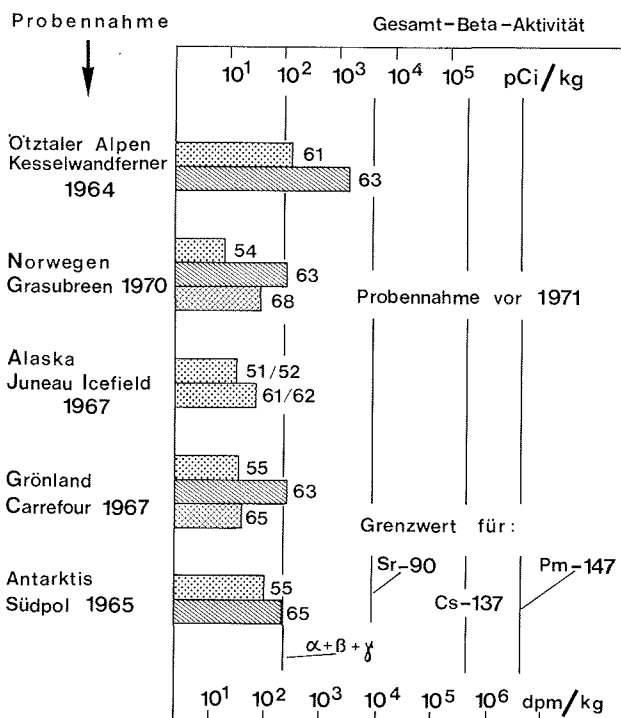


Abb. 1: Charakteristische Werte der Gesamt-Beta-Aktivität von Firnproben aus Tiefenprofilen für verschiedene Bohrstellen bei Probennahme vor 1971. Für Ablagerungen vor, während und nach 1963 sind verschiedene Schraffuren verwendet. Im Falle einer Datierung der Firnschichten ist das Jahr der Ablagerung bei der entsprechenden Säule angegeben (Literaturhinweise s. Tab. 1). Die Aktivitätswerte beziehen sich auf den Zeitpunkt der Probennahme. Folgende Grenzwerte von Aktivitätskonzentrationen der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) sind als höchstzulässige Konzentrationen bei 168 stündiger Exposition pro Woche (HZK 168) zum Vergleich eingetragen: Nuklidengemisch von $\alpha + \beta + \gamma$ -Strahlern unbekannter Zusammensetzung, Sr-90, Cs-137 und Pm-147. Für Trinkwasser gelten nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) als Grenzwerte Aktivitätskonzentrationen, die 1/30 der eingetragenen Werte entsprechen.

Fig. 1: Significant peak values of the gross-beta-activity of firn samples taken from vertical profiles at different sites of drilling; sampling taken before 1971. Deposits before, during, and after 1963 are shown with different hachures. For dated firn layers the year of deposition is indicated beside the corresponding column (cf. references table 1). The values of activity are related to the date of sampling. The following limit values of concentrations of activity from the "Österreichische Schutzverordnung", 1972, are given as maximum concentration for an exposition of 168 hours per week (HZK 168) for comparison purpose: mixture of nuclids of $\alpha + \beta + \gamma$ radiation with unknown composition, individual nuclids Sr-90, Cs-137, and Pm-147. For drinking-water the limit values of concentrations of activity are 1/30 of the limit values drawn, according to the "Österreichische Strahlenschutzverordnung", 1972.

Probennahme	Abb.	Literaturzitat	Probennahme	Abb.	Literaturzitat
Öztaler Alpen Kesselwandferner 1964	1	AMBACH et al. 1968	N-W Grönland 1977	2	AMBACH & MÜLLER 1980
Norwegen Grasubreen 1970	1	BAHADUR 1971	Antarktis Südpol 1975	2	LORIUS & BRIAT 1976
Alaska, Juneau Icefield 1967	1	WU 1968	Öztaler Alpen Kesselwandferner 1963	3	AMBACH et al. 1969
Grönland Carrefour 1967	1	AMBACH & DANSGAARD 1970	Öztaler Alpen Vernagtferner 1976	3	BEHRENS et al. 1979
Antarktis Südpol 1965	1	PICCIOTTO et al. 1968	Norwegen Grasubreen 1970	3	BAHADUR 1971
Öztaler Alpen Kesselwandferner 1979	2	AMBACH & EISNER 1980	Kanad. Arktis Ellesmere Island 1974	3	MÜLLER et al. 1977
Himalaya Neh-nar 1977	2	NIJAMPURKAR & BHANDARI 1980	Grönland Carrefour 1967	3	AMBACH & DANSGAARD 1970
Kanad. Arktis Ellesmere Island 1976	2	KIRCHLECHNER 1979	Antarktis Südpol 1975	3	JOUZEL et al. 1979

Tab. 1: Literaturhinweise über Probennahmen

Tab. 1: References for further details

Personen außerhalb von solchen Bereichen die höchstzulässigen Aktivitätskonzentrationen im Trinkwasser $1/30$ des Wertes von $1,10^{-7}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ nicht überschreiten. Die für Trinkwasser zulässige Aktivitätskonzentration beträgt daher $3,3 \cdot 10^{-9}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$.

- b) Grenzwerte der Aktivitätskonzentration für den Fall, daß die Aktivität von einem einzigen Radioisotop stammt. Die höchstzulässige Aktivitätskonzentration für Wasser bei einer Exposition von 168 Stunden pro Woche (HZK 168) wird zum Vergleich herangezogen und ist in Abb. 1 und Abb. 2 als Grenzwert eingetragen. Insbesondere kommen aufgrund detaillierter spektroskopischer Untersuchungen zum Vergleich folgende Radionuklide in Frage (HABERER 1965):

Pm-147: Halbwertszeit 2,64 a; Höchstzulässige Konzentration bei einer Exposition von 168 Stunden pro Woche: $2 \cdot 10^{-3}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (Österreichische Strahlenschutzverordnung 1972, Anlage 5, Spalte 11 : 135)

Cs-137: Halbwertszeit: 29,7 a; Höchstzulässige Konzentration bei einer Exposition von 168 Stunden pro Woche: $2 \cdot 10^{-4}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (Österreichische Strahlenschutzverordnung 1972, Anlage 5, Spalte 11 : 134)

Sr-90: Halbwertszeit: 28 a; Höchstzulässige Konzentration bei einer Exposition von 168 Stunden pro Woche: $4 \cdot 10^{-6}\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ (Österreichische Strahlenschutzverordnung 1972, Anlage 5, Spalte 11 : 127).

Gemäß § 12 Abs. 8 bzw. Abs. 10 der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) dürfen jedoch sowohl für Personen innerhalb von Kontroll- und Überwachungsbereichen, wie auch gemäß § 15 für Personen außerhalb von solchen Bereichen die höchstzulässigen Aktivitätskonzentrationen im Trinkwasser $1/30$ des jeweiligen Wertes nicht überschreiten.

Beim Vergleich dieser Grenzwerte der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) mit den in Abb. 1 und Abb. 2 wiedergegebenen Meßergebnissen wird festgestellt, daß nur der Grenzwert für ein beliebiges Isotopengemisch $\alpha + \beta + \gamma$ fallweise überschritten wird. Dieser Grenzwert ist jedoch für die Beurteilung der künstlichen Umweltbelastung unrealistisch, weil angenommen werden kann, daß die gemessene Aktivität nicht vorwiegend von einem intensiven α -Strahler stammt. Keine der Schneeproben erreicht den Grenzwert der Aktivität eines zum Vergleich herangezogenen einzelnen Radionuklids.

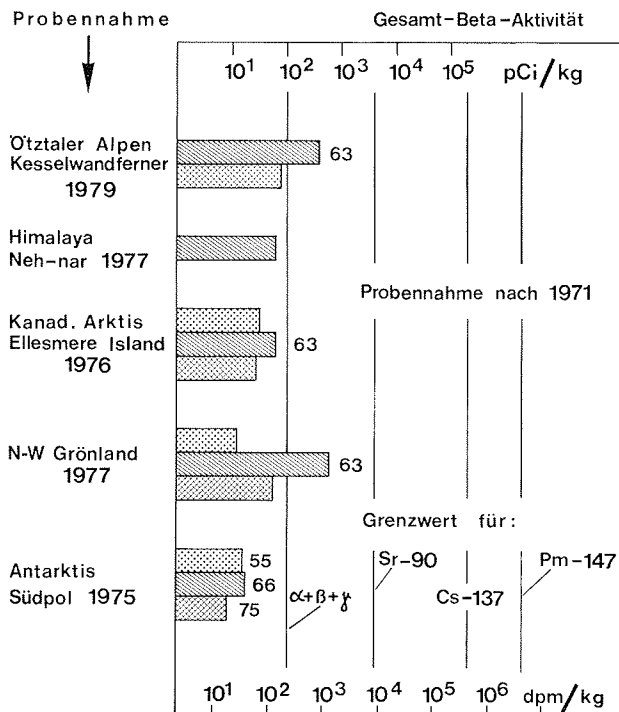


Abb. 2: Charakteristische Werte der Gesamt-Beta-Aktivität von Firnproben aus Tiefenprofilen für verschiedene Bohrstellen bei Probennahme nach 1971. Für Ablagerungen vor, während und nach 1963 sind verschiedene Schraffuren verwendet. Im Falle einer Datierung der Firnschichten ist das Jahr der Ablagerung bei der entsprechenden Säule angegeben (Literaturhinweise s. Tab. 1). Die Aktivitätswerte beziehen sich auf den Zeitpunkt der Probennahme. Folgende Grenzwerte von Aktivitätskonzentrationen der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) sind als höchstzulässige Konzentrationen bei 168 stündiger Exposition pro Woche (HZK 168) zum Vergleich eingetragen: Nuklidengemisch von $\alpha + \beta + \gamma$ -Strahlern unbekannter Zusammensetzung, Sr-90, Cs-137 und Pm-147. Für Trinkwasser gelten nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) als Grenzwerte Aktivitätskonzentrationen, die 1/30 der eingetragenen Werte entsprechen.

Fig. 2: Significant peak values of the gross-beta-activity of firn samples taken from vertical profiles at different sites of drilling, sampling taken after 1971. Deposits before, during, and after 1963 are shown with different hachures. For dated firn layers the year of deposition is indicated beside the corresponding column (cf. references table 1). The values of activity are related to the date of sampling. The following limit values of concentration of activity from the "Österreichische Strahlenschutzverordnung", 1972, are given as maximum concentration for an exposition of 168 hours per week (HZK 168) for comparison purpose: mixture of nuclids of $\alpha + \beta + \gamma$ radiation with unknown composition, individual nuclids Sr-90, Cs-137, and Pm-147. For drinking-water the limit values of concentrations of activity are 1/30 of the limit values drawn, according to the "Österreichische Strahlenschutzverordnung", 1972.

Abb. 3 ist eine entsprechende Übersicht über gemessene Tritiumkonzentrationen in Firnschichten. Ort und Zeit der Probennahme sind in Abb. 3 angegeben, die im Histogramm angeführten Jahreszahlen bedeuten den Zeitpunkt der Schneeablagerung. Alle angeführten Proben, einschließlich jener aus dem Jahre 1963, liegen wesentlich unter dem für Trinkwasser in der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) angegebenen Grenzwert von $3 \cdot 10^5$ T.U. Dieser Wert ergibt sich durch Umrechnung des in der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) angeführten Grenzwertes von $0,03 \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$, gültig für mit Tritium kontaminiertes Trinkwasser (Österreichische Strahlenschutzverordnung 1972: 121).

Da in der Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland (1976) keine Grenzwerte für Aktivitätskonzentrationen enthalten sind, sondern Grenzwerte der jährlichen Aktivitätsaufnahme im menschlichen Körper durch Wasser und Nahrung, kann ein Vergleich der gemessenen Aktivitätskonzentrationen mit den entsprechenden Werten der Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland (1976) nicht unmittelbar erfolgen. Zum Vergleich wären weitere Annahmen über die jährlich dem Körper zugeführte Aktivität durch Wasser und Nahrung erforderlich.

3. Schlußfolgerung

In Firnschichten sind die radioaktiven Spaltproduktablagerungen in chronologischer Folge gespeichert, so daß Aktivitätsmessungen an Firnproben Aufschluß über die künstliche Strahlenbelastung der Umwelt durch radioaktive Spaltprodukte aus nuklearen Waffentests in der Atmosphäre im Verlauf der letzten 30 Jahre geben. Zur Beurteilung der Strahlenbelastung dienen Grenzwerte von Aktivitätskonzentrationen

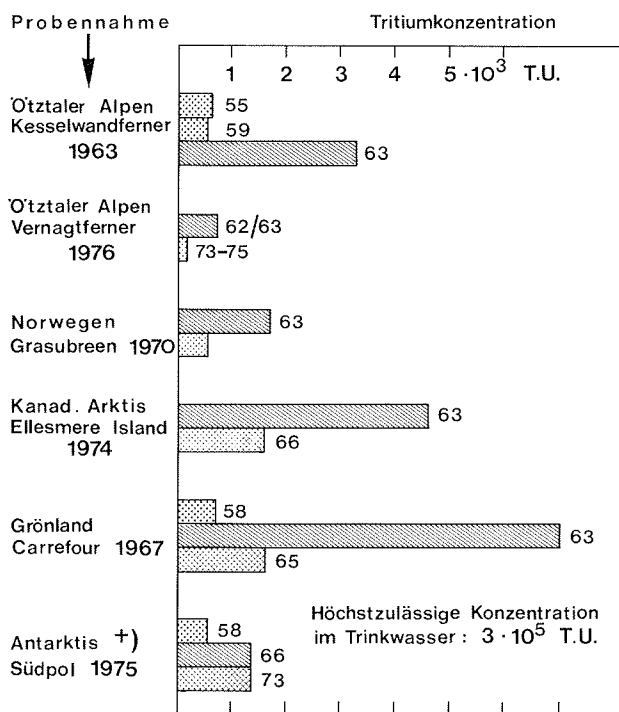


Abb. 3: Charakteristische Werte der Tritiumkonzentration von Firnproben aus Tiefenprofilen für verschiedene Bohrstellen. Für Ablagerungen vor 1963, während 1963 (Südpol 1966) und nach 1963 sind verschiedene Schraffuren verwendet. Im Falle einer Datierung der Firnschichten ist das Jahr der Ablagerung bei der entsprechenden Säule angegeben (Literaturhinweise s. Tab. 1). Die Tritiumkonzentrationen beziehen sich auf den Zeitpunkt der Probennahme (Südpol 1975: Zeitpunkt der Ablagerung). Der Grenzwert der Aktivitätskonzentration für mit Tritium kontaminiertes Trinkwasser beträgt nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) $3 \cdot 10^5$ T.U.

Fig. 3: Significant peak values of the tritium concentrations of firn samples taken from vertical profiles at different sites of drilling. For deposits before 1963, during 1963 (South Pole 1966) and after 1963 different hachures are used. For dated firn layers the year of deposition is given beside the corresponding column (cf. references table 1). The tritium concentrations are related to the time of sampling (South Pole 1975 time of deposition). The limit value of the concentration of the activity for drinking-water contaminated by tritium amounts to $3 \cdot 10^5$ TU, according to the "Österreichische Strahlenschutzverordnung", 1972.

(HZK 168) der Österreichischen Strahlenschutzverordnung (1972) unter bestimmten Annahmen. Die hier diskutierte Abschätzung wurde unter Anwendung sehr strenger Maßstäbe durchgeführt, indem angenommen wurde, daß die Aktivität der Firnproben ausschließlich von $\alpha + \beta + \gamma$ -Strahlern unbekannter Zusammensetzung oder von gefährlichen Radioisotopen wie Cs-137 und Sr-90 stammt. In Wirklichkeit enthalten die Firnproben sicher eine Reihe anderer Radioisotope. Ferner wurde angenommen, daß die Flüssigkeitszufuhr ausschließlich durch Wasser aus stark kontaminierten Firnschichten erfolgt, was in der Praxis sicher nicht zutrifft. Daher kann geschlossen werden, daß auch stark kontaminierte Firnschichten kein Risiko für die Bevölkerung bedeuten, zumal durch eine detaillierte Studie gezeigt wurde (AMBACH et al. 1971), daß die Aktivitätskonzentrationen in Gletscherbächen um den Faktor 1/10 bis 1/100 niedriger sind als die gemessenen Aktivitätswerte von Firnproben.

Dem Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung wird für die Unterstützung des Forschungsvorhabens, ebenso Herrn P. Kirchlechner für die Zusammenstellung der Meßdaten, gebührend gedankt.

Literatur

- Ambach, W., Eisner, H. & F. A. Prantl (1968): Investigations on fission product in the accumulation area of an Alpine glacier (Kesselwandferner, Oetzal Alps). — I. A. S. H. Publ. 79 (General Assembly of Bern): 117—125.
- Ambach, W., Eisner, H. & G. Sauzay (1969): Tritium profiles in two firn cores from Alpine glaciers and tritium content in precipitation in Alps Area. — Arch. Met. Geophys. Bioklim. B. 17: 93—104.
- Ambach, W. & W. Dansgaard (1970): Fallout and climate studies on firn cores from Carrefour, Greenland. — Earth Planet. Sci. Lett. 8: 311—316.
- Ambach, W., Eisner, H., Prantl, F. & M. UrI (1971): Zum Abbau radioaktiver Spaltprodukte im Firn eines Alpengletschers. — Arch. Met. Geophys. Bioklim. A. 20: 277—288.
- Ambach, W. & F. Müller (1980): Determination of net accumulations from gross beta activity measurements in the North Water region. — Polarforschung 50 (1/2): 1—7.

- Ambach, W. & H. Eisner (1981): Neue Ergebnisse von Messungen der Gesamt-Beta-Aktivität in Tiefenprofilen am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen). — Z. Gletscherkde. Glazialgeol. (im Druck).
- Bahadur, J. (1971): Some observations on the vertical fallout profile on Grasubreen — a mountain glacier in Norway. — Pers. Mitt. Manuskript.
- Behrens, H., Moser, H., Oerter, H., Rauert, W., Stiehler, W., Ambach, W. & P. Kirchlechner (1979): Models for the runoff from a glaciated catchment area using measurements of environmental isotope contents. — Isotope Hydrology 1978, II, Intern. Atomic Energy Agency (IAEA) Wien, Publ. 493: 829—846, Wien.
- Eisner, H. (1971): Bestimmung der Firnrücklagenverteilung im Akkumulationsgebiet des Kesselwandfernens (Ötztaler Alpen) durch Messung der Gesamt-Beta-Aktivität von Bohrproben. — Z. Gletscherkde. Glazialgeol. 7 (1—2): 67—78.
- Jouzel, J., Pourchet, M., Lorius, C. & L. Merlivat (1979): Artificial tritium fall-out at the South pole. — Behaviour of tritium in the environment, Intern. Atomic Energy Agency (IAEA) Wien, 31—46, Wien.
- Kirchlechner, P. (1979): Untersuchungen zum Schmelzwasserfluß im Schnee. — Unveröff. Diss. d. Naturwiss. Fak. d. Univ. Innsbruck.
- Lorius, C. & M. Briat (1976): Teneur en éléments traces dans la glace: variations temporelles liées à l'activité humaine et au climat. — Soc. Hydrotechn. de France. XIVes Journées de l'Hydraulique, 1—8, Paris.
- Müller, F., Stauffer, B. & G. Schriber (1977): Isotope measurements and firn stratigraphy on ice caps surrounding the North Water polynya. — Isotopes and Impurities in Snow and Ice, Grenoble Symposium Aug./Sept. 1975, IAHS Publ. 118: 188—196.
- Nijampurkar, V. N. & N. Bhandari (1980): Radiometric chronology of the Neh-Nar Glacier. — Pers. Mitt., Manuskript.
- Österreichische Strahlenschutzverordnung (1972) B. Moser: Die Strahlenschutzverordnung. Manz'sche Gesetzausgabe Nr. 27a, Wien.
- Piccioletto, E., Cameron, R., Crozaz, G., Deutsch, S. & S. Wilgain (1968): Determination of the rate of snow accumulation at the pole of relative inaccessibility, Eastern Antarctica: A comparison of glaciological and isotopic methods. — J. Glaciol. 7 (50): 273—287.
- Strahlenschutzverordnung der BRD (1976): Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung — StrlSchV), Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 125, Bonn.
- Wu, T. H. (1968): Measured beta-activity of Alaskan firn. — J. Glaciol. 7 (50): 329—331.