

Die Verwendung atmosphärischen Tritiums und anderer Radionuklide zu hydrogeologischen Untersuchungen

Von C. JOB (Innsbruck)

Der Tritiumgehalt der Atmosphäre wird seit der starken Zunahme durch die thermonuklearen Testversuche immer häufiger zur Klärung hydrologischer und hydrogeologischer Fragen genutzt. Zur Zeit verfolgt ein weltweites Netz von Beobachtungsstationen die Tritiumkonzentration in den Niederschlägen und in vielen Gewässern. Eine bedeutende Anzahl von Veröffentlichungen läßt bereits einige wichtige Gesetzmäßigkeiten erkennen, vor allem hinsichtlich der globalen Verteilung und der Mischung des mit Tritium markierten Wassers mit dem übrigen Wasserbestand der Atmosphäre und Hydrosphäre. Die vorliegende Mitteilung bringt einen kurzen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse dieser Arbeiten. Sie ist vor allem für jenen Kreis der Hydrogeologen und Hydrogeographen gedacht, der bisher wenig Kontakt zur speziellen radiologischen Literatur fand.

1. Tritium und Carbon-14 in der Atmosphäre

1.1. Natürlich entstandenes Tritium und Carbon-14 und bombenbedingter radioaktiver Fallout

Die natürliche Erzeugung des Tritiums mit dem Symbol ^3H oder T erfolgt durch relativ energiereiche Nukleonen der kosmischen Strahlung vorwiegend in der Stratosphäre nach der Reaktion $^{14}\text{N} + ^1_0\text{n} = ^{12}\text{C} + ^3_1\text{H}$ und nach anderen Kernreaktionen (O. HAXEL & G. SCHUMANN, 1962). Der überschwere Wasserstoff besteht aus einem Proton und zwei Neutronen und ist ein reiner β -Strahler mit einer Maximalenergie von nur 18 keV. Durch den radioaktiven Zerfall wandelt er sich mit einer Halbwertszeit von 12,26 Jahren in das leichte Heliumisotop ^3He um.

Tritiumkonzentrationen werden gewöhnlich in Tritiumeinheiten (T. U. = Tritium Unit) angegeben. Eine T. U. entspricht dem Verhältnis von 10^{18} leichten Wasserstoffatomen zu einem überschweren.

Im atmosphärischen Wasserstoff liegt das Tritium in der Molekülform HT vor. Die Konzentration wurde erstmals 1949 von V. FALTINGS und P. HARTEK (1950) gemessen und betrug damals in der Nähe von Hamburg 3800 T. U. Dieser natürliche Tritiumgehalt des atmosphärischen Wasserstoffs hat sich inzwischen durch die thermonuklearen

Explosionen und durch die Inbetriebnahme von Kernreaktoren wesentlich erhöht. Schon 1958 lagen die Werte in der Größenordnung von 100.000 T. U. (B. GONSIOR, 1959).

Die Füllung der ersten Wasserstoffbombe bestand aus einem gekühlten und unter Druck stehenden Gemisch von Deuterium und Tritium. Dieses Gemisch reagiert im Inneren einer Uran- oder Plutonium-Spaltbombe bei einer Temperatur von vielen Millionen Grad unter Freisetzung gewaltiger Kernverschmelzungsenergien nach der Gleichung ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} = {}^4\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Später hat man die Tritiumfüllung durch das Lithium-Isotop ${}^6\text{Li}$ ersetzt, das seinerseits bei Beschuß mit Neutronen Tritium liefert (${}^6\text{Li} + {}^1_0\text{n} = {}^3\text{H} + {}^4\text{He}$).

Das künstlich erzeugte Tritium gelangt in gleicher Weise wie das natürlich entstandene durch Isotopenaustausch als HTO in den Wasserdampf der Atmosphäre und von dort mit den Niederschlägen auf die Erde. Der erhebliche Konzentrationsunterschied des Tritiumgehaltes im **Wasserstoff** und im **Wasserdampf** der Atmosphäre wird mit der starken Verdünnung erklärt, die beim Übertritt von der Stratosphäre in die Troposphäre durch das dort vorhandene leichte Wasser stattfindet (H. CRAIG, 1957; B. GONSIOR, 1959).

Sichere Angaben über den natürlichen Tritiumgehalt der Niederschläge sind heute nicht mehr möglich. Messungen in Schneeproben aus Grönland, deren Alter aus der Stratigraphie erschlossen werden konnte, ergaben nur wenige T. U. (F. BEGEMANN, 1959). H. CRAIG und D. LAL (1961) geben als Mittelwert für den nordamerikanischen Kontinent 6 ± 2 T.U. an. In deutschen Weinen aus Ernten der präthermonuklearen Ära fand W. ROETHER (1967) im Mittel 5,5 T.U. Die Tritiumkonzentration im Meerwasser beträgt heute noch etwa 1 T.U.

Der derzeit erhöhte Gehalt der Atmosphäre an radioaktiven Stoffen ist überwiegend auf die weltweite Erprobung von Kernwaffen zurückzuführen. Seit 1950 haben bis zum Versuchsstopp im Oktober 1958 rund 500 Explosionen stattgefunden. Die Versuche wurden im Oktober 1961 vorübergehend wieder aufgenommen.

Die zunächst erprobten Spaltbomben erzeugten besonders in der Stratosphäre eine große Anzahl von radioaktiven Isotopen, die dann durch meteorologische Vorgänge in jährlichen Schüben mit einem Maximum im Frühsommer die Oberfläche der Meere und des Festlandes erreichten. Eingehend untersucht wurde vor allem der Fallout von **Strontium-90** und **Caesium-137**. Diese beiden Isotope kumulieren wegen ihrer langen Halbwertszeit (28 bzw. 30 Jahre) im Erdboden und tragen durch ihre Retention im menschlichen und tierischen Organismus wesentlich zur Strahlenbelastung bei. Die Gefährdung ist in erster Linie bei direkter Benetzung der Pflanzennahrung mit den radioaktiven Niederschlägen gegeben, besteht aber auch unmittelbar durch Verseuchung der Luft und des Trinkwassers (A. T. KREBS & N. C. STEWART,

1962). Aus den versickernden Niederschlägen werden Radio-Strontium und Radio-Caesium vom Erdreich weitgehend ausgefiltert und ziemlich fest gebunden (K. AURAND & H. BEHRENS, 1964). Sie gelangen daher nicht in tieferes Grund- und Quellwasser. Die starke Fixierung im Boden verhindert auch eine nennenswerte Aufnahme durch die Pflanzen. Die Bindung erfolgt durch Ionenaustauschvorgänge schon in den oberen 10 bis 20 cm des Erdbodens, beim Caesium-137 im allgemeinen fester als beim Strontium-90. Dementsprechend ist der ^{137}Cs -Gehalt im Flußwasser gewöhnlich geringer als der ^{90}Sr -Gehalt, obwohl mit den Niederschlägen fast doppelt so viel Caesium-137 herangeführt wird (K. AURAND & H. BEHRENS, 1964). Die Bodenadsorption dämpft auch weitgehend die raschen und starken Konzentrationsschwankungen im Regenwasser, so daß im Oberflächenabfluß nur geringe, dafür aber gleichmäßige Erhöhungen dieser langlebigen Radionuklide auftreten. Daher eignen sich Radio-Strontium und Radio-Caesium zur Abschätzung des Oberflächenabflusses (N. YAMAGATA, T. OKITA & K. KODAIRA, 1963; Y. MIYAKE & H. TSUBODA, 1963).

Die 1952 begonnenen Versuche mit den thermonuklearen Fusionsbomben erzeugten in der Stratosphäre große Mengen **radioaktiven Wasserstoffs** und **radioaktiven Kohlenstoffs**, die in der Folge ebenfalls in jährlichen Schüben in die Troposphäre gelangt sind. 1954 fand der erste große thermonukleare Test im Pazifik statt, dem 1956 und 1958 zwei weitere folgten. 1961 explodierte eine sehr starke Wasserstoffbombe im nördlichen Sibirien. Nach jeder solchen Explosion erhöhte sich der HTO- und der $^{14}\text{CO}_2$ -Gehalt in den Niederschlägen der nördlichen Hemisphäre sprunghaft und blieb längere Zeit mit ausgesprochener Jahresrhythmik auf einem erhöhten Niveau (B. R. PAYNE & E. HALEVY, 1968).

Die Tritiumspitzen erreichten in Ottawa, das über die vollständigste Meßreihe verfügt, in den Sommermonaten 1954 rund 3000 T.U. Ein Jahr später gingen sie auf 100 T.U. zurück. Auf eine neuerliche sprunghafte Erhöhung im Jahre 1956 (800 T.U.) folgte 1957 wieder ein Abfall auf rund 200 T.U. In den beiden folgenden Jahren stiegen die sommerlichen Höchstwerte auf rund 1000 T.U. an und fielen dann während des Versuchsstopps bis 1962 auf 100 T.U. ab. Die Jahresunterschiede der Winterminima waren bedeutend geringer. Die Werte erhöhten sich zunächst ziemlich gleichmäßig vom Winter 1953 (20 T.U.) bis zum Winter 1958 auf 100 T.U. und gingen dann bis 1961 auf rund 40 T.U. zurück. Im Anschluß an die Explosion einer 95-Mt-Fusionsbombe, die Ende Oktober 1961 im nördlichen Sibirien gezündet wurde, stiegen die Tritiumkonzentrationen an allen Stationen des inzwischen weltweit aufgebauten Beobachtungsnetzes steil an und erreichten das Maximum im Sommer 1963 (in Wien 5500 T.U.). In der Folge begann ein Zyklus von allmählich fallenden Sommermaxima und Winterminima, dessen Verlauf die Fig. 1 zeigt.

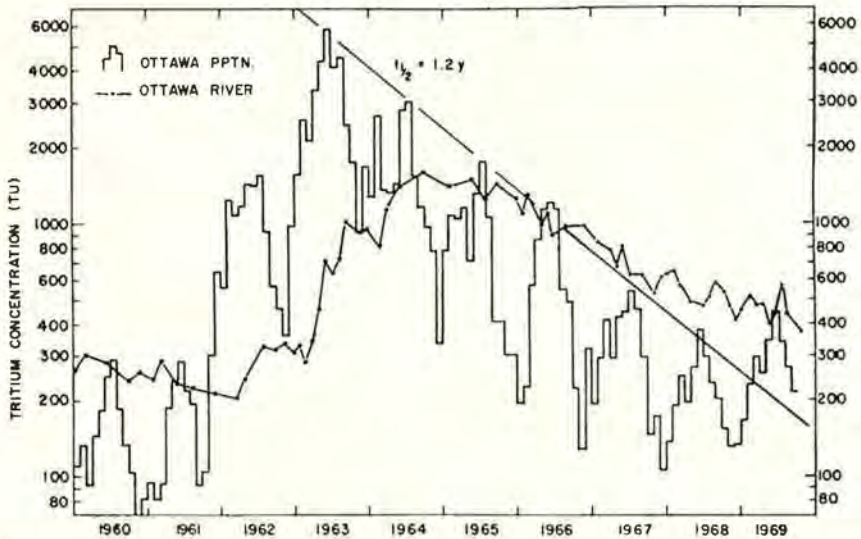


Fig. 1: Tritiumgehalt in den Niederschlägen und im Flußwasser, Ottawa 1960—1969 nach R. M. BROWN (IAEA-SM 129/1, 1970).

Mit dem Regenwasser gelangt das Tritium in den Oberflächenabfluß und in das Grundwasser. Es wird von den Pflanzen wie gewöhnliches Wasser aufgenommen, so daß deren Tritiumgehalt weitgehend dem Tritiumgehalt des Regenwassers entspricht. Diese Tatsache wurde u. a. zur Jahrgangskontrolle von Weinen ausgenützt (H. ESCHNAUER, 1962).

Die geringe β -Energie des Tritiums und seine rasche Austausch- und Eliminierungsrate im Organismus (biologische Halbwertsrate 5 bis 11 Tage) ergeben keine nennenswerten innere Strahlenbelastung. Tritium wurde daher in den Strahlenschutzrichtlinien von Euratom und ICRP in die Klasse D (Stoffe mit niedriger Radiotoxizität) eingereiht.

Das Radioisotop ^{14}C entsteht in der Stratosphäre aus dem Stickstoff der Luft (^{14}N [n, p] ^{14}C), durch kosmische Neutronenstrahlung und in den letzten 15 Jahren durch den Neutronenstoß der Atombomben. ^{14}C verbindet sich mit dem Luftsauerstoff zu $^{14}\text{CO}_2$. Als Bezugswert für die Konzentrationsangabe dient das atmosphärische $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis im Jahre 1950 (NBS „modern“ Standard).

Durch die thermonuklearen Versuche erhöhte sich die Konzentration des radioaktiven Kohlenstoffes in der Atmosphäre zeitweise um 100% (1963). Der Jahresgang des ^{14}C -Gehaltes in den Niederschlägen verläuft ähnlich wie beim Tritium. In das Grundwasser gelangt das atmosphärische ^{14}C jedoch erst nach ungefähr zwei Jahren mit der Bodenkohlensäure, die durch den Zerfall organischen Materials (fallende Blätter, absterbende Wurzeln) entsteht. Auch der Austausch des Radiokohlen-

stoffs mit den Bodenkarbonaten wirkt verzögernd, dämpfend und konzentrationsvermindernd (K. O. MÜNNICH, 1963; K. O. MÜNNICH & W. ROETHER, 1963; K. O. MÜNNICH, W. ROETHER & L. TILO, 1967). Nach einmaligem und vollständigem Austausch im Sinne der Gleichung $^{14}\text{CO}_2 + ^{12}\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^{12}\text{CO}_3^- + \text{H}^{14}\text{CO}_3^-$, enthält das gelöste Bicarbonat im Idealfall 50% der eingedrungenen ^{14}C -Menge. Es gibt jedoch mehrere Ursachen, die dieses Verhältnis vom Idealfall entfernen: die Reaktion mit dem biogenen Radiocarbon-hältigen Kohlendioxyd ($^{14}\text{CO}_2$) kann mehrmals ablaufen, wenn das gelöste Hydrogencarbonat durch Verdunstung als Carbonat ausfällt und in der Folge durch neuerlichen Zutritt von $^{14}\text{CO}_2$ wieder gelöst wird. Dadurch steigt der ^{14}C -Anteil in den gelösten Bicarbonaten an. In umgekehrter Richtung kann das Eindringen von Radiocarbon-freiem Kohlendioxyd aus magmatischen Herden, die Oxydation von fossilem organischem Material oder auch die Auflösung Radiocarbon-freier Natriumcarbonate zu einer Anreicherung Radiocarbon-freier Hydrogencarbonate führen. Diese Störungen lassen sich zumindest teilweise durch einen Korrekturfaktor eliminieren, dem das Verhältnis der stabilen Isotope ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) zugrunde liegt. Ungeachtet dieser Vorgänge, die eine exakte Bestimmung der unterirdischen Laufzeit vadoser Wässer erschweren, besteht kein Zweifel, daß alle Wässer, die heute mehr Radiocarbon enthalten als dem Standard von 1950 entspricht, aus den seither gefallenen Niederschlägen kommen müssen. Die große Bedeutung der ^{14}C -Bestimmung liegt aber nicht so sehr in dieser Tatsache, sondern in ihrer Eignung zur Messung der unterirdischen Laufzeit älterer Niederschlagswässer auf Grund des ursprünglichen, gleichmäßigen ^{14}C -Gehaltes der Atmosphäre. Der Radiokohlenstoff natürlichen Ursprungs wurde in der prä-thermonuklearen Ära in ziemlich konstanter Menge mit dem Wasser in die Tiefe geführt. Sobald der Kontakt mit dem atmosphärischen Reservoir unterbrochen ist, nimmt der ^{14}C -Gehalt in den gelösten Hydrogencarbonaten durch den radioaktiven Zerfall mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren ab. Dies ermöglicht es, die Zeit zu bestimmen, die zwischen dem Eintritt des Regens in den Untergrund und seinem Wiedererscheinen als Quelle verstrichen ist (W. E. LIBBY, 1955; R. BRINKMANN, K. O. MÜNNICH & J. C. VOGEL, 1960; F. J. PEARSON & D. E. WHITE, 1967). Das ^{14}C -Verfahren wurde auch bei Thermalwässern angewandt und ergab für die Therme von Baden bei Wien ein Alter von 6500 Jahren (G. H. DAVIS et al., 1967), für das Gasteiner Thermalwasser rd. 3700 Jahre und für verschiedene Thermalquellen in den französischen Pyrenäen 5300 bis 17 000 Jahre (T. FLORKOWSKI & C. JOB, 1969).

1. 2. Jahreszeitliche Tritiumschwankungen in der Atmosphäre

Auf der nördlichen Hemisphäre haben die Tritiumkonzentrationen der monatlichen Niederschläge einen sehr charakteristischen Jahresgang. Maxima treten im Spätfrühling und Frühsommer, Minima im

Spätherbst und in den Wintermonaten auf. Erste Anzeichen dieser Periodik wurden schon bald nach Beginn der pazifischen thermoklearen Versuche beobachtet, zur vollen Entwicklung kam sie erst nach dem großen sowjetischen Test im Oktober 1961. Ein fast gleichartiger Jahresgang ist beim Radiokohlenstoff und beim Strontium-90 bzw. Caesium-137 nach den Spaltbombenversuchen beobachtet worden. Auch das Ozon, das in der Stratosphäre durch UV-Strahlung gebildet wird und für deren Erwärmung in ca. 25 km Höhe verantwortlich ist, gelangt in ähnlichen Schüben in die Troposphäre (K. B. RAMANATHAN, 1956). Besonders markante jahreszeitliche Schwankungen zeigt dieser stratosphärische Fallout in der Polarregion. Dort steigt die Konzentration der genannten Stoffe — nach einem Minimum im Winter — im März und April sehr rasch zu einem Maximum an und fällt dann langsam wieder zum nächsten Winterminimum ab. In niederen Breiten ist die troposphärische Konzentration relativ gering. Die jahreszeitlichen Schwankungen erfolgen hier mit kleiner Amplitude zwei bis drei Monate später als in der Polarregion. Um den 30. Breitengrad steigt die troposphärische Konzentration steil an, sinkt dann zum 60. Breitengrad merklich ab und nimmt von da an polwärts wieder stark zu (B. BOLIN, 1962).

Die Konzentration und die Verteilung des Tritiums und des Radiokohlenstoffs in der Stratosphäre sind noch nicht bekannt. Dagegen weiß man, daß die maximale Konzentration von Strontium-90 und Ozon in 20 bis 25 km Höhe liegt und steil nach oben und unten abnimmt (Joint Committee on Atomic Energy, 1959). Diese stratosphärische Zone gleicht also gewissermaßen dem Sargassomeer im Atlantik. In Anbetracht der eben erwähnten sonstigen Parallelen, die in der Troposphäre zwischen der Verteilung von Ozon und Strontium-90 und der Verteilung des Tritiums bestehen, darf man mit gutem Grund vermuten, daß auch das stratosphärische Tritium und der Radiokohlenstoff in 20 bis 25 km Höhe ein Maximum haben.

Der alljährliche Einbruch des stratosphärischen Ozons und der Radionuklide in die Tropopause wird durch eine Änderung der atmosphärischen Zirkulation im Frühjahr verursacht. Der Luftaustausch zwischen der Stratosphäre und der Troposphäre beginnt mit troposphärischen Aufwinden über dem Äquator, die in die Stratosphäre eindringen, sodann dem Temperaturgefälle folgend, zu mittleren und höheren Breiten abströmen und dort wieder in die Tropopause absinken (A. W. BREWER, 1949). Durch diesen meridionalen TS-Kreisstrom wird das in den unteren Schichten der Stratosphäre vorhandene Ozon und radioaktive Material in höheren und mittleren Breiten in die Troposphäre injiziert (Fig. 2). Die alljährliche starke Abkühlung der stratosphärischen Luft über den Polkappen läßt in den Wintermonaten auch in der Stratosphäre selbst einen starken Kreisstrom zwischen Pol und Äquator entstehen, dessen horizontale Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s be-

tragen können (B. BOLIN, 1962). Die Abkühlung der arktischen Stratosphäre beruht möglicherweise darauf, daß in der völligen Polarnacht mangels Einstrahlung kein Ozon gebildet wird (H. FLOHN, 1963). Im Februar und März verschiebt sich der Nordwirbel dieses stratosphärischen Polarnachtstroms immer mehr nach Süden. Dabei treten große vertikale Luftbewegungen auf, die eine kräftige Durchmischung der Stratosphäre bewirken. Sie ergänzen das Ozon und die radioaktiven Stoffe, die im Sommerhalbjahr durch die Niederschläge ausgewaschen

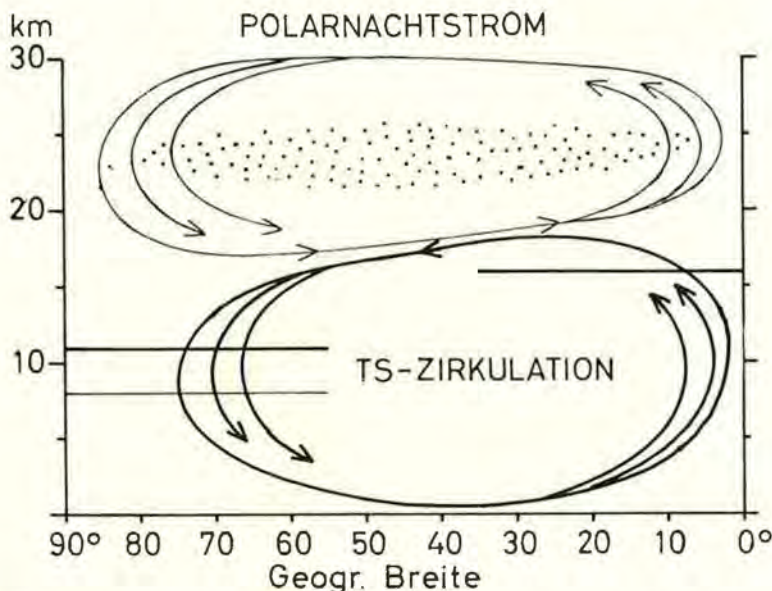


Fig. 2: Modellvorstellung zur Erklärung der jahreszeitlichen Schwankungen des atmosphärischen Tritiums. Meridionale Zirkulation im Sommer (dicke Linien) und Winterhalbjahr (dünne Linien); die horizontalen Linien entsprechen der Höhe der Tropopause.

wurden, aus dem höher gelegenen stratosphärischen Depot. Das hat zur Folge, daß die TS-Zirkulation sie wieder in höherer Konzentration in die Troposphäre bringen kann. Da die Rückführung der Luft im Polarnachtstrom in den unteren stratosphärischen Schichten zum Äquator erfolgt und somit entgegengesetzt der TS-Zirkulation verläuft, wird letztere im Winter teilweise unterdrückt. Das erklärt die starke Abnahme des Fallout während der Wintermonate.

Durch diese Zirkulationsvorgänge und zu einem geringeren Teil auch durch den radioaktiven Zerfall nimmt das stratosphärische Depot der Radionuklide allmählich ab. Dementsprechend verringern sich die Sommermaxima und Winterminima in den Niederschlägen von Jahr

zu Jahr. Beim Tritium erfolgt dieser Rückgang nach einer Exponentialfunktion (Fig. 1). Die Maxima und Minima nehmen bei logarithmischer Darstellung fast geradlinig — mit einer Halbwertszeit von rund 14 Monaten — ab (J. GUIZERIX et al., 1967).

Es fällt auf, daß der Fallout der festen Radionuklide (^{90}Sr , ^{137}Cs) nach dem Höchstwert im Jahre 1959 sehr viel rascher abgenommen hat, als dies bei den gasförmigen Radionukliden (T, $^{14}\text{CO}_2$) nach dem Gipfel im Jahre 1963 der Fall war. Die Ursache dieses Unterschiedes dürfte der nur bei den letztgenannten Stoffen mögliche Rücktransport in die Atmosphäre durch Evapotranspiration und Exhalation sein.

1. 3. Globale und regionale Verteilung des atmosphärischen Tritiums

Der Tritiumgehalt der Niederschläge wird seit 1961 durch ein weltweites Netz von Beobachtungsstationen der IAEA—WMO, durch das internationale Meteorologische Institut und von vielen nationalen Untersuchungsstellen monatlich kontrolliert. Durch diese Zusammenarbeit wurde es u. a. möglich, eine Weltkarte des Tritiumgehaltes der Niederschläge des Jahres 1963 zu erstellen (E. ERIKSSON, 1968; Fig. 3). Diese Karte zeigt zunächst, daß der Tritiumgehalt vom Norden nach Süden stark absinkt. Mit besonderer Regelmäßigkeit erfolgt dieser „Breitentrend“ im Pazifik der nördlichen Hemisphäre. Hier nehmen die Tritiumkonzentrationen von der Behringstraße bis zum Äquator von rund 3200 T.U. auf rund 18 T.U. ab. Im Atlantik ist eine auffallende fingerförmige Nordwärts-Verlagerung verhältnismäßig niedriger Tritiumwerte zu erkennen. Auf dem nordamerikanischen und eurasischen Kontinent greifen umgekehrt die hohen Tritiumwerte des Nordens weit nach Süden aus und reichen über Südosteuropa in einer Schleife um

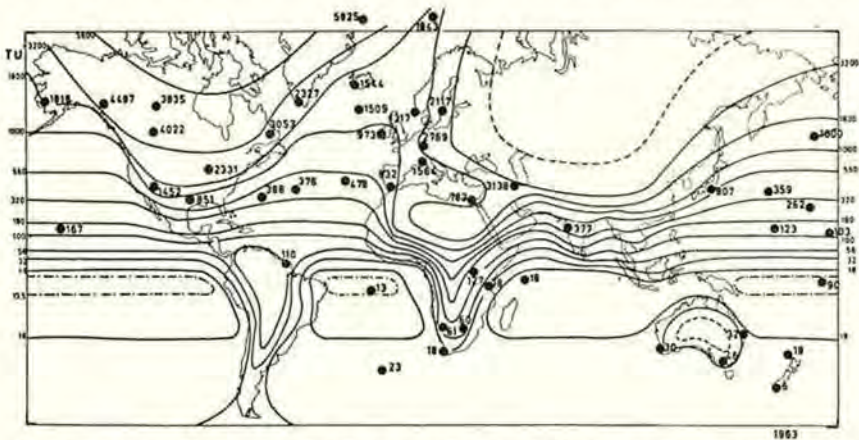


Fig. 3: Globale Verteilung des Tritiums in den Niederschlägen, Jahresmittelwerte von 1963 nach E. ERIKSSON (1968).

das Mittelmeer bis in die Sahara. Außerdem zeigt die Karte eine sehr ausgeprägte Zunahme des Tritiumgehaltes von den Meeresküsten in das Innere aller Kontinente.

Für diese eigenartige globale Verteilung sind mehrere Faktoren verantwortlich, deren anteilmäßige Bedeutung noch nicht sicher abzuschätzen ist. Die Tritiuminjektion in höheren Breiten durch den TS-Kreisstrom ist wahrscheinlich die wichtigste Ursache für die hohe Konzentration im Norden und für die südwärts gerichtete Abnahme. Diese Abnahme erfolgt durch Ausregnen des Tritiums und durch die zunehmende Verdünnung mit aufsteigendem Tritium-armen Wasserdampf aus der im allgemeinen südwärts ansteigenden Oberflächenverdunstung. Vergleicht man die Tritiumkarte mit der Erdkarte der jährlichen Verdunstung (R. KELLER, 1962), so ergibt sich, daß die Linien gleicher Verdunstung und gleichen Tritiumgehaltes im pazifischen Raum der Nordhalbkugel ziemlich parallel zu den Breitenkreisen verlaufen, während im Atlantik beide Linien, bedingt durch den wärmeren Golfstrom, fingerförmig nach Norden greifen. Über den Ozeanen führt der Austausch mit dem oberflächlichen Meerwasser zu einem etwa doppelt so großen Verlust an atmosphärischem Tritium als die Niederschläge (E. ERIKSSON, 1967). Somit sind die Meere für den leichten Wasserdampf der Atmosphäre die größte irdische Produktionsstätte, gleichzeitig aber auch für den aus der Stratosphäre kommenden überschweren Wasserdampf das größte Verlustgebiet. Auf den Kontinenten wird dagegen ein Teil des ausgeregneten Tritiums durch die Evapotranspiration wieder an die Atmosphäre zurückgegeben. Die geringeren Tritiumkonzentrationen über den freien Meeresflächen setzen erwartungsgemäß den Tritiumgehalt der Niederschläge in den Küstengebieten gegenüber den interkontinentalen Stationen gleicher Breitenlage stark herab. Auch die Richtung, aus der die Niederschläge kommen, ist von großer Bedeutung: Winde aus nördlicher Richtung und aus dem Inneren der Kontinente bringen in der Regel Tritium-reichere Niederschläge als Südwinde und vom Meer kommende Luftströmungen (R. M. BROWN, 1967; P. LEVEQUE et al., 1967). Im Verlaufe eines einzigen Regenschauers können die Tritiumwerte stark schwanken (J. GUIZERIX et al., 1967; P. LEVEQUE et al., 1967). Trotzdem sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Beobachtungsstationen im Monatsmittel so charakteristisch, daß Meßwerte, die in einem Beobachtungsgebiet fehlen, aus den Meßwerten weit entfernter Stationen mit Hilfe eines konstanten Korrekturfaktors näherungsweise berechnet werden können (T. DINCER & B. R. PAYNE, 1965). Systematische Unterschiede des Tritiumgehaltes der Niederschläge in Abhängigkeit von der Höhenlage sind nicht beobachtet worden. Ein scheinbarer Höheneffekt entsteht dadurch, daß die Höhenlage eines Ortes in manchen Fällen zur Bevorzugung einer bestimmten Windrichtung führt (G. H. DAVIS, 1968).

2. Tritium im oberflächlichen Abfluß und im Grundwasser

Die durch Tritium markierten Niederschläge eignen sich besonders gut zum Studium der Speicherung und des Wasserwechsels in rezenten Grundwasserkörpern. Vor 1952 enthielt die Atmosphäre nur 5 bis 10 T.U. mit Schwankungen von wenigen T.U. je nach der geographischen Lage der Beobachtungsstation und den meteorologischen Faktoren. Diese Konzentration sinkt in einem von der Atmosphäre getrennten Grundwasserreservoir durch den radioaktiven Zerfall (Halbwertszeit 12,26 Jahre) schon nach 50 Jahren unter die übliche Nachweisgrenze von etwa 0,5 T.U. ab. Jedes Grundwasser, das heute größere Mengen an Tritium enthält, wurde daher zumindest teilweise aus den Niederschlägen der letzten 15 Jahre alimentiert. Im allgemeinen findet sich dieses junge Tritium-reiche Wasser in den Karstgebieten, in flachen Grundwasserkörpern sowie in der ungesättigten und im oberen Teil der gesättigten Bodenzone. Tiefliegende Grundwasserkörper, vor allem Horizonte gespannten Tiefengrundwassers und jene der ariden und semiariden Gebiete sind gewöhnlich Tritium-frei. Dies trifft auch für viele Thermalwässer der kristallinen Grundgebirge zu, vorausgesetzt, daß keine Tritiumbeimischung durch oberflächliche Zufüsse erfolgt.

Der Abfluß eines Grundwasserkörpers, z. B. in einer Quelle, besteht gewöhnlich aus mehreren Wasserkomponenten: Neben oberflächennahem Abfluß, der erst in den äußeren Quellwegen zusitzt, treten in vielen Quellen Wässer mit verschiedener unterirdischer Verweildauer aus. Diese Wasserkomponenten sind gewöhnlich nicht streng voneinander isoliert und können sich daher gegenseitig beeinflussen. Dies zeigt eine Tritiumstudie von T. DINCER et al. (1968). Bei dieser Untersuchung wurde angenommen, daß während der winterlichen Schneeperiode, in der der Oberflächenabfluß weitgehend sistiert, der Tritiumgehalt eines Flusses dem Tritiumgehalt seiner Grundwasserkomponente entspricht. Ferner wurde vorausgesetzt, daß sich die Tritiumkonzentration des Grundwassers (K_g) während der kurzen Periode der Schneeschmelze nicht wesentlich ändert und daß die Tritiumkonzentration des im Frühjahr abfließenden Schmelzwassers (K_s) ungefähr dem Mittelwert der Winterniederschläge entspricht. Unter diesen Voraussetzungen kann der relative Anteil des Grundwassers (V_g) und des Schmelzwassers (V_s) nach der Mischungsregel

$$V_s \cdot K_s + (1 - V_g) \cdot K_g = K_f$$

aus dem Tritiumgehalt des Flußwassers (K_f) zu jedem beliebigen Zeitpunkt berechnet und die Gesamtwasserspende in diese beiden Komponenten aufgeschlüsselt werden. Dieses Verfahren ergab eine sehr signifikante Korrelation zwischen dem Grundwasserabfluß und dem Gesamtabfluß, obwohl man während einer Schneeschmelze in erster Linie eine Korrelation mit dem Oberflächenabfluß erwarten würde.

Daraus läßt sich folgern, daß der hydrostatische Druck des versickernden Schmelzwassers zusätzliches Grundwasser mobilisiert, ein Vorgang, der anderenorts auf Grund von Analysen der chemischen Wasserzusammensetzung bereits vermutet wurde (C. JOB & J. ZÖTL, 1969).

Wenn Regenwasser in den Erdboden eindringt, wird es für einige Zeit in den oberen Abschnitten (ungesättigte Zone) festgehalten, bevor es in jenen Teil des Bodens versickert, dessen Porenraum zur Gänze mit Wasser gefüllt ist (gesättigte Zone). Die Speicherfähigkeit der ungesättigten Zone kann mitunter mehr als 100 mm Niederschlagswasser auffangen. Je nach den klimatischen Bedingungen und der Ausbildung der Pflanzendecke wird ein kleinerer oder größerer Teil dieses Wassers durch Verdunstung und Transpiration der Atmosphäre zurückgegeben. Ein anderer Teil, für dessen Größe die Hangneigung entscheidend ist, fließt oberflächlich ab. Die Menge des Sickerwassers, die schließlich in den gesättigten Untergrund gelangt, ist daher je nach der Größe dieser beiden Komponenten sehr verschieden und außerdem von der Wasserwegigkeit des Untergrundes abhängig.

Das Tritium-markierte Wasser der Niederschläge nimmt, wenn man von einer geringfügigen Isotopentrennung absieht, im wesentlichen dieselben Wege wie das gewöhnliche Niederschlagswasser. F. BEGEMANN und W. F. LIBBY (1957) untersuchten neun Monate nach der thermodynamischen Explosion von 1954 den Tritiumgehalt des Mississippi und fanden ihn während eines Jahres weitgehend konstant. Sie nahmen daher eine weitgehende Vermischung des ausgereinigten Tritiums mit dem Grundwasser des Mississippitales an und berechneten die durchschnittliche Höhe des Grundwasserkörpers aus dem geschätzten Fallout und der Tritiumkonzentration des Flußwassers. Gegen diese Berechnung hat E. ERIKSSON (1958) Einwände erhoben. Er weist vor allem darauf hin, daß in dem Untersuchungsgebiet etwa zwei Drittel der Niederschläge durch Evapotranspiration in die Atmosphäre zurückgelangt und daher die errechnete Grundwasserhöhe (7,7 m) um zwei Drittel zu hoch sein muß. Diesen Arbeiten folgte eine Studie von R. M. BROWN (1961) über den Tritiumgehalt des Ottawafusses. R. M. BROWN entwickelte eine Gleichung für Isotopenbilanz, die eine Berechnung der Speicherung und Verweildauer des Grundwassers aus dem Gang der Tritiumkonzentrationen im Flußwasser und in den Niederschlägen ermöglicht. E. ERIKSSON (1963) baute diese Berechnungen der Wasserbilanz des Ottawa-Beckens weiter aus und konnte einen kurzfristigen und einen langfristigen, durch die ausgedehnten Seen verzögerten Abfluß unterscheiden.

Die Hypothese der raschen Durchmischung der versickernden Niederschläge mit dem Grundwasserkörper („well mixed model“) hat am Wiener IAEA-Symposium 1967 heftige Diskussionen ausgelöst, da das Grundwasser normalerweise keine Turbulenz zeigt, sondern lamellar geschichtet strömt. Offensichtlich ist diese Durchmischung nur eine

scheinbare. Das Tritium-markierte Wasser, das in den Grundwasserspiegel eindringt und sich längs schräger Strömungslinien fortbewegt, erreicht den Überlauf nach verschieden langer Zeit, wodurch in diesem eine Vermischung auftritt, die im Endeffekt einer Durchmischung des Grundwasserkörpers gleichkommt (E. ERIKSSON, 1958). Dieser Vorgang ist bei jeder Art von Grundwasserdrainage denkbar und dürfte daher nicht nur bei Quellen, sondern auch bei erbohrten Brunnen eine Rolle spielen, zumal wenn diese stärker gepumpt werden.

Bereits in den obersten Bodenschichten kommt es zu einer starken Nivellierung der jahreszeitlichen Tritiumschwankungen der Niederschläge. Das zeigen die Lysimeterversuche in Petzenkirchen (IAEA, Technical Report Nr. 73); obwohl der Tritiumgehalt der Niederschläge im Jahre 1965 von ca. 1200 T.U. im Juni auf 200 T.U. im Dezember zurückging, enthielt der Abfluß aus einer nur 2 m dicken Bodenschichte die ganze Zeit über 750 ± 50 T.U. Dieser Wert entsprach ungefähr der mittleren Tritiumkonzentration der Niederschläge in der Beobachtungsperiode.

Gelegentlich kann auch ein ausgewogenes Verhältnis im Abfluß von Tritium-armem Schmelzwasser und Tritium-reicheren Sommerregen bei einem pluvio-nivalen Flußregime zu einer weitgehenden Nivellierung der Jahresschwankungen führen. So nahm z. B. der Tritiumgehalt des Verdon oberhalb des Stauwerkes von Castillon in den Jahren 1965/66 ohne jede jahreszeitliche Schwankung mit der gleichen Regression ab, wie der Tritiumgehalt der Niederschläge (J. GUIZERIX et al., 1967). Auch hier kam der Mittelwert des Flußwassers zwischen Februar 1965 und 1966 (750 T.U.) dem Mittelwert der Niederschläge in Grenoble (670 T.U.) recht nahe, so daß anzunehmen ist, daß der Verdon trotz der fehlenden jahreszeitlichen Tritiumschwankungen vorwiegend kurzfristigen Oberflächenabfluß führt.

Jahreszeitliche Schwankungen des Tritiumgehaltes in Quellen und Grundwasserüberläufen sind nur bei raschem Durchfließen grober Klüfte und bei ganz seicht liegenden Grundwässern zu erwarten. Natürlich kann gelegentlich auch eine stärkere Beimischung von oberflächlichem Abfluß zum Grundwasser dazu führen. Das Grundwasser selbst ist dagegen im allgemeinen ein stark gedämpftes System und wird von den jahreszeitlichen Schwankungen des Tritiumgehaltes in den Niederschlägen kaum betroffen. Sein Tritiumgehalt entspricht dem mittleren Tritiumgehalt der Niederschläge eines Jahres oder einer Serie von Jahren. Die Tritiumkonzentration nimmt in der Regel wegen der mangelhaften Durchmischung des Grundwasserkörpers mit zunehmender Tiefe rasch ab. Untersuchungen im Rheintal im Dezember 1967 ergaben eine Abnahme von ca. 400 T.U. im Bereich des Grundwasserspiegels auf fast 0 T.U. in 10 m Tiefe (K. O. MÜNNICH, 1968). Testbohrungen im Wiener Becken bei Mitterndorf und Hatschendorf zeigten im Sommer 1967 eine Abnahme von 230 T.U. in 6 m Tiefe auf 20 bis

40 T.U. in 20 bzw. 50 m Tiefe (G. H. DAVIS et al., 1967). Gelegentlich kommen allerdings auch in dieser oder noch größerer Tiefe höhere Tritiumwerte vor, vor allem dann, wenn der Grundwasserspiegel selbst sehr tief liegt oder wenn zeitweise rezentes Flußwasser in den Grundwasserkörper infiltriert. Auch unterirdisch ausmündende Karstschläuche und grobe Spalten, durch die rezentes Niederschlagswasser von den Randgebirgen her eindringt, können dazu führen.

Der Tritiumgehalt der Thermalwässer ist gewöhnlich äußerst gering. Zahlreiche Tritiummessungen in den erbohrten Thermalquellen Islands ergaben in den Jahren 1960 bis 1966 Werte zwischen 0 und 2 T.U. (P. THEODORSSON, 1967), wobei noch zu berücksichtigen ist, daß sich eine geringfügige Kontamination mit atmosphärischem Tritium bei der Entnahme, Lagerung und Messung kaum vermeiden läßt. In den Thermalquellen von Baden bei Wien, Mannersdorf und Bad Fischau lagen die meisten Werte einer längeren Beobachtungszeit zwischen 4 und 12 T.U., stiegen aber nach einer Periode ungewöhnlich starker Regenfälle im Juli und August 1965 vorübergehend auf 40 bis 60 T.U. (G. H. DAVIS et al., 1967). Radiocarbonanalysen ergaben, wie bereits erwähnt, für das Badener Thermalwasser eine unterirdische Verweildauer von ca. 6500 Jahren. Das eigentliche Thermalwasser kann daher kein Tritium mehr enthalten. Zur Erklärung des beobachteten Tritiumgehaltes nehmen G. M. DAVIS et al. (1967) an, daß sich dem Thermalwasser eine konstante Grundwasserkomponente mit niedrigen Tritiumwerten beimischt und außerdem periodische Injektionen von kurzfristigem Oberflächenabfluß stattfinden. Diese Annahme trifft auch für das Thermalwasser von Badgastein zu, dessen Tritiumwerte im Jahresmittel 1967 je nach dem Kaltwasseranteil der einzelnen Austritte zwischen 28 und 210 T.U. lagen (C. JOB & J. ZÖTL, 1969). Im Thermalwasser von Badenweiler (Stollen-Quelle) wurden im Sommer 1966 weniger als 10 T.U. gemessen, in den erbohrten Thermen von Bellingen und Steinstadt im Jänner 1967 16 bzw. 18 T.U. (G. SCHWOERER, 1968). In mehreren Thermalwässern aus den französischen Pyrenäen lagen die Tritiumwerte im Juli 1968 zwischen 1,3 und 6,4 T.U. (C. JOB & T. FLORKOWSKI, 1969). Dantes Eingang zur Unterwelt, die Bulicame-Therme bei Viterbo, enthielt Ende Juli 1969 weniger als 10 T.U. (C. JOB, 1970). Frei austretende heiße Quellen im Hengillgebiet (Island) enthielten dagegen 150 bis 250 T.U. (P. THEODORSSON, 1967). Diese Beobachtung zeigt, daß auch Thermalquellen sehr viel rezentes Niederschlagswasser führen können. Bei der vulkanisch beeinflussten, rasch ansteigenden geothermischen Tiefenstufe in Island ist das nicht weiter überraschend; merkwürdigerweise wurde aber auch in den Alpen eine warme Quelle (Brennerbad 22,3° C) gefunden, die Ende März 1969 einen Tritiumgehalt von 312 T.U. hatte (C. JOB, 1969). Unter bestimmten geologischen Bedingungen gibt es offenbar auch in nicht vulkanischen Gebieten warme Quellen, die im wesentlichen von rezenten Niederschlägen gespeist werden.

Im vorliegenden Referat konnte nur ein allgemeiner Überblick über die neuen Wege gegeben werden, die sich der Hydrogeologie durch die Anwendung der atmosphärischen Radionuklide zu erschließen beginnen. Die Erforschung der theoretischen Grundlagen und praktischen Anwendungsmöglichkeiten geht rasch voran. Das vor kurzem von der IAEA in Wien abgehaltene Symposium brachte neben einer Fülle spezieller Informationen vor allem den grundsätzlichen Nachweis, daß die hydrologischen Aussagen auf Grund von Tritium- und ^{14}C -Messungen mit den Ergebnissen der konventionellen hydrologischen Methoden gut übereinstimmen und außerdem dort weiterhelfen können, wo die üblichen Untersuchungsmethoden versagen. Abschließend sei daher auf den Tagungsbericht der IAEA hingewiesen, der Ende 1970 erscheinen wird.

Literatur

- AURAND, K. & H. BEHRENS: Untersuchungen zum Auftreten langlebiger Spaltprodukte im Trinkwasser. *Atompraxis*, **10**, 1964.
- BEGEMANN, F. & W. F. LIPPY: Continental water balance, groundwater inventory and storage time, surface ocean mixing rates and worldwide water circulation patterns from cosmic-ray and bomb tritium. *Geochim. and Cosmochim. Acta*, **12**, 1957.
- BEGEMANN, F.: Neubestimmung der natürlichen irdischen Tritiumzerfallsrate und die Frage der Herkunft des „natürlichen“ Tritiums. *Z. Naturforsch.*, **14 a**, 1959.
- BOLIN, B.: Transfer and circulation of radioactivity in the atmosphere. In H. ISRAEL & A. KREBS: *Kernstrahlung in der Geophysik*. Springer, 1962.
- BREWER, A. W.: Evidence for a worlds circulation by measurement of helium and water vapour distribution in the stratosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **75**, 1949.
- BRINKMANN, R., K. O. MÜNNICH & J. C. VOGEL: Anwendung der ^{14}C -Methode auf Bodenbildung und Grundwasserkreislauf. *Geol. Rundschau*, **49**, 1960.
- BROWN, R. M.: Tritium in precipitation at Canadian sites (1953—1963). In: *Tritium and other environmental isotopes in the hydrological cycle*. Technical Reports, Series No. 73, IAEA, Vienna 1967.
- BROWN, R. M.: Hydrology of tritium in the Ottawa Valley. *Geochim. and cosmochim. Acta*, **21**, 1961.
- CRAIG, H.: Isotopic tracer techniques for measurement of physical processes in the sea and the atmosphere. *Nat. Acad. Sci. — Nat. Res. Council Publ.*, **551**, 1957.
- CRAIG, H. & D. LAL: The production rate of natural tritium. *Tellus*, **13**, 1961.
- DAVIS, G. H.: In: *Guidebook on nuclear techniques in hydrology*. Technical Reports, Series No. 91, IAEA, Vienna 1968.
- DAVIS, G. H., B. R. PAYNE, T. DINGER, T. FLORKOWSKI & T. GATTINGER: Seasonal variations in the tritium content of groundwater of the Vienna basin, Austria. *Isotopes in Hydrology*. Proc. Symp. Vienna 1967.
- DINGER, T. & B. R. PAYNE: An isotope survey of lakes in the karst region of southern Turkey. *Hydrology of fractured rocks*. Dubrovnik Symp. 1965, IAEA.
- DINGER, T., B. R. PAYNE, J. MARTINEC, E. TONGIORGI & T. FLORKOWSKI: An Environmental Isotope Study of the Snowmelt-Runoff in a Representative Basin. Abstract in *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*. Technical Reports, Series No. 91, IAEA, Vienna 1968.

- ERIKSSON, E.: The source of atmospheric moisture and precipitation. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Technical Reports, Series No. 91, IAEA, Vienna 1968.
- ERIKSSON, E.: Isotopes in Hydrometeorology. In: Isotopes in Hydrology. Proc. Symp. IAEA, Vienna 1967.
- ERIKSSON, E.: Atmospheric tritium as a tool for the study of certain hydrologic aspects of river basins. *Tellus*, **15**, 1963.
- ERIKSSON, E.: The possible use of tritium for estimating groundwater-storage. *Tellus*, **10**, 1958.
- ESCHNAUER, H.: Anwendungsmöglichkeiten radioaktiver Isotope und radioaktiver Strahlung in der Getränkeindustrie unter besonderer Berücksichtigung des Weines und des Weinbaues (Übersichtsreferat). *Atompraxis*, **8**, 1962.
- FALTINGS, V. & P. HARTEK: Der Tritiumgehalt der Atmosphäre. *Z. Naturforsch.*, **5 a**, 1950.
- FLOHN, H.: zit. nach SEILKOPF: Geophysik. Fischer, Frankfurt 1963.
- FLOPKOWSKI, T. & C. JOB: Origin and Underground Flow Time of Thermal Waters in Crystalline Basement Complexes. *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **21**, Graz 1969.
- GONSIOR, B.: Tritiumanstieg im atmosphärischen Wasserstoff. *Naturwissenschaften*, **46**, 1959.
- GUIZERIX, J., R. MARGRITA, M. LAUNAY & P. RUBY: Tritium et Hydrologie, études et mesures effectuées au Centre d'études nucléaires de Grenoble. Isotopes in Hydrology. Proc. Symp. IAEA, Vienna 1967.
- HAXEL, O. & G. SCHUMANN: Erzeugung radioaktiver Kernarten durch kosmische Strahlung. In: H. ISRAEL & A. KREBS: Kernstrahlung in der Geophysik. Springer-Verlag 1962.
- JOB, C.: Hydrochemische Untersuchungen von Thermalquellen in Italien (unveröffentlicht).
- JOB, C.: Hydrochemisches Gutachten über die St.-Zacharias-Quelle Brennerbad, ausgefertigt am 17. April 1969 im Auftrag der Stadtgemeinde Sterzing (Vipiteno).
- JOB, C. & J. ZÖRL: Zur Frage der Herkunft des Gasteiner Thermalwassers. *Steir. Beitr. z. Hydrogeologie*, **21**, Graz 1969.
- Joint Committee on Atomic Energy, US: Hearings on fallout from nuclear weapons, May 5—8, 261, 1959. US-Government Printing Office 1959.
- KELLER, R.: Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Leipzig 1962.
- KREBS, A. T. & N. G. STEWART: Biological Aspects. In: H. ISRAEL & A. KREBS: Kernstrahlung in der Geophysik. Springer-Verlag 1962.
- LEVEQUE P., M. VIGNEAUX & J. ALVINERIE: Evolution de l'activité en Tritium dans le sud-ouest de la France. In: Isotopes in Hydrology. Proc. Symp. IAEA, Vienna 1967.
- LIBBY, W. E.: Radiocarbon Dating. 2nd ed. The University of Chicago Press, Chicago 1955.
- MIYAKE, Y. & H. TSUBODA: Estimation of the direct contribution of meteoric water to river waters by means of fall-out radiocaesium and radiostrontium. *Radioisotopes in Hydrology (Proc. Symp. Tokyo 1963)*. IAEA, Vienna 1963.
- MÜNNICH, K. O.: Der Kreislauf des Radiokohlenstoffes in der Natur. *Naturwissenschaften*, **50**, 1963.
- MÜNNICH, K. O.: Infiltration and deep percolation. In: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Technical Reports, Series No. 91, IAEA, Vienna 1968.
- MÜNNICH, K. O. & W. ROETHER: A comparison of carbon-14 and tritium ages of ground water. *Radioisotopes in Hydrology. Proc. Symp. Vienna 1963*, IAEA, Vienna 1963.

- MÜNNICH, K. O., W. ROETHER & L. TILO: Dating of Groundwater with Tritium and ^{14}C . Radioisotopes in Hydrology. Proc. Symp. Vienna 1967 SM-83/21, IAEA, Vienna 1967.
- PAYNE, B. R. & E. HALEVY: Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology. Technical Reports, Series No. 91, IAEA, Vienna 1968.
- PEARSON, F. J. & D. E. WHITE: Carbon-14 Ages and Flow of water in Carrizo Sand, Atascosa County, Texas. Water Resources Research, 3, 1967.
- RAMANATHAN, K. B.: Atmospheric Ozon and the General Circulation of the atmosphere. Sc. Proc. Int. Assoc. Met. UGGI, Rome, Publ. AIM 101 c London, Butterworth Sci. Publ., 1956.
- ROETHER, W.: Estimating the tritium input to groundwater from wine samples; groundwater and direct run-off contribution to Central European surface waters (SM-83/7). In: Isotopes in Hydrology, IAEA, Vienna 1967.
- SCHWOERER, G.: Zur Altersbestimmung von Thermalwässern. Zeitschr. f. angew. Bäder- und Klimaheilkunde, 4, 1968.
- THEODORSSON, P.: Natural Tritium in Groundwater Studies (SM-83/26). In: Isotopes in Hydrology. Proc. Symp. 1966, IAEA, Vienna 1967.
- YAMAGATA, N., T. OKITA & K. KODAIRA: The runoff of fall-out radiostrontium from a river and its application in hydrology. Radioisotopes in Hydrology (Proc. Symp. Tokyo 1963), IAEA, Vienna 1963.

Summary

The tritium contents of the atmosphere has been used more and more often for the solution of hydrological and hydrogeological problems since the heavy increase of the thermo-nuclear tests. At present a world wide net of control stations pursues the tritium concentration in rain water and in many groundwaters. A considerable amount of publications shows already some important conformities with natural law, particularly as to the global distribution and the mixture of the tritium labelled water with the other water contents of the atmosphere and the hydrosphere. The present information gives a short survey on the essential results of these researches. It is particularly meant for that circle of hydrogeologists and hydrogeographers who so far did not find too much contact with the special radiological literature.

Anschrift des Verfassers:

ao. Univ.-Professor Dr. C. JOB, Balneologisches Institut der Universität
Innsbruck, Schöpfstraße 41, A-6020 Innsbruck