



KfK 2905 B
November 1979

**Meßtechniken bei der
Inkorporationsüberwachung
auf Tritium und Kohlenstoff-14
und
Strahlenexposition durch
Tritium und Kohlenstoff-14
im Kernforschungszentrum
Karlsruhe**

H. Schieferdecker
Medizinische Abteilung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Medizinische Abteilung

KfK 2905 B

Meßtechniken bei der Inkorporationsüberwachung
auf Tritium und Kohlenstoff-14

und

Strahlenexposition durch Tritium und Kohlenstoff-14
im Kernforschungszentrum Karlsruhe

Horst Schieferdecker

Vorträge beim
Wissenschaftlichen Symposium
des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamts
Strahlenschutzprobleme im Zusammenhang mit der Verwendung von
Tritium und Kohlenstoff-14 und ihren Verbindungen
Berlin, 14.-16. November 1979

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Meßtechniken bei der Inkorporationsüberwachung auf Tritium und Kohlenstoff-14

Eine Inkorporationsüberwachung wird mit dem Ziel durchgeführt, die Einhaltung der Strahlenschutzverordnung sicherzustellen. Beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen sind dabei vorwiegend beruflich strahlenexponierte Personen betroffen, aber die Emission radioaktiver Stoffe in die Umgebung macht auch eine Begrenzung der Inkorporation dieser Stoffe für die Bevölkerung notwendig.

Zur Auswahl des Personenkreises, der regelmäßig Inkorporationsüberwachungen unterzogen werden muß, ist eine Richtlinie des Bundesministeriums des Innern anzuwenden und demnach ein geeignetes Nachweisverfahren zu benutzen.

Dieser Nachweis muß ausreichend empfindlich sein, um auch noch 1/20 der angegebenen Grenzwerte erkennen zu können. Dadurch sind für den Nachweis von Tritium und C-14 im biologischen Material (Urin, Atemluft, Stuhl) bestimmte Mindestanforderungen vorgegeben, die einen gewissen Aufwand voraussetzen.

Praktisch angewandt wird der Nachweis von Tritium im Urin durch Flüssigszintillationsmessungen. Eine ausreichend empfindliche Methode für die Messung im natürlichen Aktivitätsbereich ist nur nach Aufarbeitung (Destillation, Absorption, Elektrolyse) möglich.

Zum Nachweis von C-14 im Urin und in der Ausatemluft wird ebenfalls die Flüssigszintillationsmeßtechnik herangezogen. Zum Nachweis kleinster Aktivitäten ist zusätzlich eine Aufarbeitung durch Konzentrierung und Verbrennung der organischen Bestandteile des Urins erforderlich. Für die verlustfreie Einengung von Urinproben wird die Gefriertrocknung angewandt.

Die Überwachung muß sich auch auf die Verbindungen erstrecken, die nicht in der Strahlenschutzverordnung aufgeführt sind. Dort sind nur diejenigen Verbindungen erfaßt, die unspezifisch in den intermediären Stoffwechsel eingehen und deren Umsatzrate nicht größer als die von Wasser bzw. Kohlendioxid ist. In Körperflüssigkeiten nicht transportable Verbindungen (unlösliche Tritiumleuchtfarben) werden nach Inkorporation überwiegend im Stuhl ausgeschieden, so daß ein Inkorporationsnachweis gegebenenfalls durch Aufarbeitung von Stuhlproben erforderlich werden kann. Die dazu notwendige Meßtechnik für Tritium besteht in einer vollständigen Verbrennung der Probe zu Wasser und anschließender Flüssigszintillationsmessung.

Für eine erste Abschätzung einer Inkorporation können die Ergebnisse der Raumluftüberwachung herangezogen werden. Aus der Kenntnis der Luftkonzentration und Aufenthaltszeit ist eine orientierende Angabe über die Höhe der Inkorporation möglich. Für die Messung von Tritiumwasser wird dabei die Luftfeuchte ausgefroren.

Die genannten Meßtechniken werden im einzelnen beschrieben und ihr Anwendungsbereich angegeben.

Measuring Techniques Used in Incorporation Monitoring for Tritium and Carbon-14

An incorporation monitoring is carried out with the objective of guaranteeing the observance of the Radiation Protection Ordinance. As to handling unsealed radioactive materials, mainly occupationally radiation exposed persons are affected but the emission of radioactive materials into the environment also calls for a limitation of the incorporation of these materials for the population. The selection of the group of persons to be subjected to regular incorporation monitoring is governed by a guideline by the Federal Ministry of the Interior, according to which an appropriate detection method must be used.

This detection must be so sensitive that even 1/20 of the limit values stated can be recognized. Accordingly, defined minimum requirements are prescribed for the detection of tritium and carbon-14 in biological material (urine, respiration, feces) which call for a certain amount of expenditure.

In practice, tritium in urine is detected by liquid scintillation measurements. A sufficiently sensitive method of measurement in the natural activity range is possible only after processing (distillation, absorption, electrolysis).

The liquid scintillation measuring technique is likewise used to detect C-14 in urine and in the exhaled air. The detection of minimum activities requires in addition processing by concentration and incineration of the organic constituents of urine. Freeze drying is used to reduce urine samples without loss.

Monitoring must include also the compounds not listed in the Radiation Protection Ordinance where only those compounds are listed which enter the intermediate metabolism in an unspecific way and whose turnover rate is not higher than that of water or carbon dioxide. Most of the compounds which cannot be transported in body fluids (insoluble tritium luminous paints) are excreted in the feces after incorporation so that the detection of incorporation by processing fecal samples might become necessary. The required measuring technology for tritium consists in a complete incineration of the samples into water followed by a liquid scintillation measurement.

For a first estimate of incorporation the results of room air monitoring might be used. Knowledge of the concentration in air and of the residence time is a rough indication of the amount incorporated. The humidity of the air is freeze-dried out in order to measure tritiated water.

The measuring techniques above are described in detail and their applications are indicated.

Strahlenexposition durch Tritium und Kohlenstoff-14 im Kernforschungszentrum Karlsruhe

Die Inkorporation von Tritium und C-14 wird im Kernforschungszentrum Karlsruhe seit dem Jahre 1968 bei besonders exponierten Personen durch Urinanalysen überwacht. Dabei konnten nur Tritiuminkorporationen festgestellt werden, die in jedem Fall unterhalb der zugelassenen Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung lagen.

Die Überwachung besteht in einer regelmäßigen oder einer stichprobenartigen Urinmessung. Personen, bei denen mehr als 10 % der zugelassenen Grenzwerte festgestellt wurden, werden einer zusätzlichen Überwachung unterzogen, aus der eine Körperdosisberechnung möglich ist.

Die Körperdosis infolge Tritiuminkorporation wird aus den Einzelergebnissen der Urinanalysen unter Berücksichtigung einer Minimal- und einer Maximaldosis ermittelt. Maßgebend ist der Zeitraum zwischen der Abgabe von zwei Urinproben, für den jeweils die Körperdosis berechnet und über das Kalenderjahr aufgerechnet wird.

Die Ergebnisse der Dosisermittlung werden für die Jahre 1975 bis 1978 angegeben. Es zeigt sich, daß die Gesamtexposition des am meisten betroffenen Personenkreises eines schwerwassermoderierten Reaktors (KBG) in letzter Zeit von 10,3 auf 5,8 manrem abgenommen hat. Im Reaktorbetrieb (KTB) nahm in der gleichen Zeit die Gesamtexposition von 1,8 auf 0,6 manrem ab und ist beim Bedienungspersonal der Dekontaminationsbetriebe kleiner als 5 mrem/a.

Radiation Exposure by Tritium and Carbon-14 at the Karlsruhe Nuclear Research Center

The incorporation of tritium and carbon-14 has been monitored at the Karlsruhe Nuclear Research Center since 1968 by analysis of urine samples taken from particularly exposed persons. Only tritium incorporations have been found which in all cases have been below the permitted limit values fixed in the Radiation Protection Ordinance.

Monitoring consists in a regular or random measurement of urine samples. Persons for which more than 10% of the permitted limit values are detected are subjected to an additional monitoring allowing to calculate the body dose.

The body dose due to tritium incorporation is assessed from the individual results of urine analyses taking into account a minimum and a maximum dose. The decisive period is the interval between the collection of two urine samples. The body dose is calculated for this interval and summed up over the calendar year.

IV

The results of dose evaluation are indicated for the years 1975 to 1978. It appears that the total exposure of the most affected group of persons working at a heavy water moderated reactor (KBG) has decreased recently from 10.3 to 5.8 manrem. During the same period the total exposure in the KTB Reactor Department has decreased from 1.8 to 0.6 manrem and is inferior to 5 mrem/a for the operating staff of the Decontamination Services.

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Medizinische Abteilung

KfK 2905 B

Inhalt

	Seite
A. <u>Meßtechniken bei der Inkorporationsüberwachung auf Tritium und Kohlenstoff-14</u>	
Zusammenfassung	I
Abstract	II
1. Notwendigkeit der Inkorporationsmessung	1
2. Tritium-Überwachungsmethoden	4
3. Überwachungsmethoden für C-14	6
Diskusstionsbemerkungen zum Vortrag	8
4. Literatur	9
B. <u>Strahlenexposition durch Tritium und Kohlenstoff-14 im Kernforschungszentrum Karlsruhe</u>	
Zusammenfassung	III
Abstract	III
1. Exposition durch Tritium-Inkorporation	10
2. Exposition durch C-14-Inkorporationen	15
3. Literatur	18
Abbildungen	19

Vorträge beim

Wissenschaftlichen Symposium
des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamts

Strahlenschutzprobleme im Zusammenhang mit der Verwendung von
Tritium und Kohlenstoff-14 und ihren Verbindungen

Berlin, 14.-16. November 1979

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Meßtechniken bei der Inkorporationsüberwachung auf Tritium und Kohlenstoff-14

Die Meßtechniken zur Inkorporationsüberwachung auf Tritium und C-14 sind im Prinzip die gleichen, die auch bei der Umgebungsüberwachung angewandt werden. Es wird daher auf diese bekannten und bewährten Methoden verwiesen und es werden nur die Probleme erläutert, die sich bei der Anwendung dieser zum Teil modifizierten Meßtechniken ergeben.

Ausgehend von der Strahlenschutzverordnung sind die in der Anlage X und IV angegebenen Grenzwerte für die Körperdosen und die Jahresaktivitätszufuhren bestimmend für die Durchführung der Inkorporationsüberwachung [1]. Die Methoden zur Inkorporationsüberwachung müssen eine Nachweisempfindlichkeit haben, die es gestattet, noch 1/20 dieser Grenzwerte nachzuweisen. Da es sich bei Tritium und C-14 um Radionuklide handelt, deren Strahlenenergie nach Inkorporation vollständig im Körper absorbiert wird, müssen zum Inkorporationsnachweis Ausscheidungsanalysen herangezogen werden.

Die kleinsten nachweisbaren Aktivitäten in den Ausscheidungen hängen von der biologischen Halbwertszeit und damit von der täglichen Ausscheidungsrate ab. Im Falle des Tritiums und C-14 sind die Verweilzeiten für die wichtigsten Verbindungen klein, so daß relativ große Ausscheidungsraten resultieren. Es fällt daher in der Regel nicht schwer, diese Aktivitäten im Urin nachzuweisen, wenn sie sofort nach einer Inkorporation gemessen werden.

1. Notwendigkeit der Inkorporationsmessung

Die Meßmethoden, die dabei angewandt werden, sind in einer Richtlinie des BMI angegeben. In der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§§ 62 und 63 StrlSchV)[2] wird nicht nur der Personenkreis angegeben, der sich aufgrund seines Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen einer Inkorporationsüberwachung unterziehen muß, sondern es wird auch angegeben, wie häufig die Überwachung durchgeführt werden muß.

Eine regelmäßige Überwachung ist dann erforderlich, wenn die über die Woche gemittelte arbeitstäglich gehandhabte Aktivität das 10-fache des Grenzwertes der Jahres-Aktivitätszufuhr über Luft nach Anlage IV Tabelle IV übersteigt. Es sei hier nur der Ordnung halber erwähnt, daß die Zahlenwerte der Anlage IV für die Bevölkerung gelten und bei Anwendung für beruflich Strahlenexponierte mit dem Faktor $500/3$ multipliziert werden müssen. Wird mit kleineren Aktivitäten umgegangen, ist das Inkorporationsrisiko gering, so daß auf eine regelmäßige Überwachung verzichtet werden kann.

Eine Überwachung kann aber auch entfallen, wenn in einem Antrag an die zuständige Behörde das Inkorporationsrisiko als geringfügig abgeschätzt wird. Dazu sind alle Angaben zur Abschätzung des Inkorporationsrisikos anzugeben, mindestens jedoch die folgenden:

- Beschreibung der Arbeitsvorgänge bei der Handhabung des radioaktiven Stoffes,
- die im Wochenmittel arbeitstäglich gehandhabte Aktivität,
- die Art der verwendeten Radionuklide, bestimmt durch die spezifische Aktivität und die chemisch-physikalische Beschaffenheit,
- Angabe der vorgesehenen Schutzmaßnahmen,
- Vorschlag für Überwachungsmaßnahmen.

Die Kriterien sollten allein schon ausreichen, die Überwachung nach eigenen Vorschlägen durchzuführen und zwar aus Vereinfachung sogar in Eigenverantwortung mit den meist ohnehin vorhandenen Meßgeräten. Als Beispiel ist die auf diesem Symposium beschriebene Methode der Luftüberwachung bei Hoechst anzusehen.

Erst wenn eine Entscheidung nicht möglich ist, ob eine regelmäßige Überwachung durchzuführen ist, können Auswahlkriterien zur Anwendung kommen, nach denen die Entscheidung rechnerisch ermittelt wird. Nach dem Kriterium

$$A \leq F \cdot \left(1 + \frac{M}{M_0}\right) Z$$

ist keine Inkorporationsüberwachung notwendig, wenn die gehandhabte Aktivität kleiner als das Produkt aus einem Umgebungsfaktor F , der gehandhabten Menge M , einer als unbemerkt angegebenen Menge M_0 von 0,01 g und dem Grenzwert der Aktivitätszufuhr Z ist. Der Umgangsfak-

tor richtet sich nach dem physikalischen Aggregatzustand der Nuklidverbindung und der Art der Handhabung.

	fest (kompakt) geringer Abrieb	fest (körnig) flüssig	gas- dampf- oder pul- verförmig
einfache Manipulation in Gefäßen (z.B. Akti- vität bestimmen, Um- füllen, Verdünnen)	1 000	100	10 - 1
schwierige Manipula- tion (z.B. Zerlegen, Zerkleinern)	100	10	1 - 0,1
sehr schwierige Mani- pulation (z.B. chem. Reaktion unter erhöh- ter Temperatur, Aus- glühen, Verdampfen, Kochen)	10	1	0,1 - 0,01

Die Faktoren gelten für die Handhabung ohne besondere Schutzmaßnahmen. Diese können bei Benutzung besonderer Schutzvorrichtungen (z.B. Abzüge) bis zum 100-fachen erhöht werden.

Wenn nach diesem Kriterium oder aus eigenen Überlegungen eine Inkorporationsüberwachung notwendig ist, muß eine Meßmethode zur Überwachung angewandt werden, mit der zu gewährleisten ist, daß eine Inkorporation zu Beginn der Überwachungsperiode oberhalb 1/20 der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr auch an deren Ende noch erkannt wird.

Für Tritium und C-14 ist diese Forderung wegen der kurzen effektiven Halbwertszeit nicht einzuhalten, wenn nicht wöchentliche Überwachungszyklen benutzt werden. Aus diesem Grunde sind entweder nur stichprobenartige Überwachungen möglich oder es kommen spezielle Überwachungsprogramme zur Anwendung. Eine Entscheidung darüber ist im Einzelfall aus der Anwendersituation heraus zu treffen. In der Regel müssen dabei auch die geforderten Nachweisgrenzen für den jeweiligen Anwendungsfall ermittelt werden.

2. Tritium-Überwachungsmethoden

Als Untersuchungsmaterial bei Inkorporation von HTO wird in der Regel Urin benutzt, der für eine regelmäßige Überwachung direkt mit geeigneten Szintillator-Cocktails vermischt in jedem Flüssigszintillationsspektrometer auf Tritium-Aktivität ausgemessen werden kann. Es reicht meist 1 ml Urin aus, der direkt oder nach Entfärbung mit Aktivkohle gemessen wird [3]. Eventuelle Fluoreszenzlöschungen müssen durch Korrekturmethode ausgeglichen werden, zu denen die interne Standardisierung mit zugesetztem Tritiumstandard, die externe Standardisierung durch Heranführen einer bestimmten Strahlenquelle an die Probe oder die Ermittlung des Verhältnisses von zwei Zählraten in zwei bestimmten Zählkanälen gehören. Neuerdings erfolgt eine Korrektur auch durch Mikroprozessoren automatisch während des Zählvorganges. Diese Techniken sind den jeweiligen Vorschriften der Gerätehersteller zu entnehmen und brauchen nicht zu erläutern zu werden.

Als Nachweisgrenzen werden mit diesen Methoden Aktivitäten bis zu 20 pCi/ml bei einem Einsatz von 1 ml Urin erreicht, was für die regelmäßige monatliche Überwachung ausreichend empfindlich ist. Ist es erforderlich, kleinere Aktivitäten zu bestimmen, wie dies bei längeren Überwachungszeiträumen oder bei der Messung des natürlichen Gehalts im Urin notwendig werden kann, dann ist eine sorgfältige Aufarbeitung erforderlich. Dazu gehören folgende Meßtechniken:

- Die bei der Umgebungsüberwachung angewandten Methoden der elektrolytischen Anreicherung des Tritiums und anschließende Flüssigkeitsszintillationsmessung ist auch für Urin möglich, wird jedoch nicht angewandt.
- Eine Destillation und der Einsatz von 10 ml Meßgut mit gelbildendem Szintillator ist ausreichend, um die Messung durchführen zu können. Allerdings sind dabei einige Fehlermöglichkeiten auszuschließen.

Bei der Destillation, die nach eigenen Vorschlägen anfangs durch eine azeotrope Wasserdampfdestillation mit Xylol durchgeführt wurde, werden aus dem Urin wasserdampf-flüchtige Substanzen übergetrieben, die mit dem Szintillator Störungen durch langsam ablaufende chemische Reaktionen verursachen, die Chemilumineszenzen zur Folge haben.

Auf diesen Effekt wurde vorher schon hingewiesen [4], als bei der Tritiummessung eine auffällige Temperaturabhängigkeit beschrieben wurde, die auf chemische Reaktionen mit der Cocktail-Lösung hindeuteten.

Es wurde versucht, diese übergangenden Substanzen durch Oxidation mit KMnO_4 zu zerstören. Wenn 100 ml Urin 30 Minuten lang mit 0,5 g KMnO_4 und 0,2 g KOH am Rückfluß zum Sieden erhitzt wird und danach abdestilliert wird, kann dieser störende Einfluß beseitigt werden. Das Destillat muß allerdings noch über eine Säule von ca. 3 g Aktivkohle laufen, ehe es mit gelbildendem Szintillator (Insta-Gel) 10 : 12 vermischt wird. Als Nachweisgrenze resultiert eine minimal feststellbare Aktivität von 0,2 pCi/ml.

Eine andere Art der Störung bei low-level-Messungen ist der Einfluß der Fremdaktivität aus tritiumhaltigen Uhren. Von Schell [5] wird beschrieben, daß die Anwesenheit eines Uhrenträgers die low-level-Messung deutlich gestört habe. Wir haben diesen Effekt ebenfalls untersucht und dabei festgestellt, daß eine Tritiumabgabe meßbar ist.

Es wurde die Tritiumabgabe aus einer wasserdichten Taucheruhr, die Tritiumleuchtfarben enthielt, bestimmt, indem die Uhr in einem 150 ml fassenden Wägegglas über 25 ml Wasser 24 Stunden lang aufbewahrt wurde. Die Zunahme des Tritiumanteils im Wasser wurde zu 150 nCi/Tag bestimmt. Der Versuch wurde wiederholt, indem die Uhr über mehrere Wochen in 2 l Wasser liegend bei Zimmertemperatur aufbewahrt wurde und wöchentlich die Zunahme der Tritiumaktivität im Wasser bestimmt wurde. Es zeigt sich eine lineare Zunahme der Tritiumkonzentration um 650 nCi/2 Liter und Woche.

Dies ist nach den Vorschriften der IAEA [6] und der StrlSchV, Anlage III u. II [1] zulässig. Demnach dürfen in Uhren maximal 5 mCi H-3 enthalten sein, bei Spezialuhren sogar 25 mCi. Die Abgabe durch die Hülle muß kleiner als 5%/Tag sein.

Wir konnten durch diesen beachtlichen Effekt zwar keine Störung unserer Probenpräparation feststellen, empfindliche Meßmethoden der Luftfeuchtebestimmung auf Tritium durch Ausfrieren sprachen darauf jedoch an. So wurde z.B. die Luftfeuchte in einem Raum zu 38 pCi/ml ausgefrorener Luftfeuchte bestimmt, in 50 cm Entfernung der Uhr jedoch zu 98 pCi/ml Luftfeuchte.

Es erscheint daher angebracht, eine eventuelle Störung der low-level-Meßtechnik durch handelsübliche Uhren mit Leuchtzifferblättern zu beachten und gegebenenfalls zu eliminieren.

Die Überwachung auf Tritiuminkorporationen muß eventuell auch durch Messung anderer Ausscheidungsprodukte durchgeführt werden, wenn die inkorporierten Tritiumverbindungen unlöslich oder nicht in Körperflüssigkeiten transportierbar sind. Die Strahlenschutzverordnung gibt zwar in den Tabellen der Anlage IV nur Grenzwerte der Tritiumverbindungen an, die unspezifisch in den intermediären Stoffwechsel eingehen und deren Umsatzrate nicht größer als die von Wasser ist, es muß jedoch auch damit gerechnet werden, daß z.B. unlösliche Tritiumschwermetallverbindungen von Beschleunigertargets oder unlösliche Tritiumleuchtfarben inkorporiert werden.

In diesem Fall muß die Inkorporationsüberwachung durch Nachweis des Tritiums auch im Stuhl vorgenommen werden. Zu diesem Zweck muß der Stuhl vollständig verbrannt werden und das aufgefangene kondensierte Wasser auf Tritium untersucht werden. Diese Methode wird nicht routinemäßig ausgeführt, kann aber in Sonderfällen in Anspruch genommen werden [7].

3. Überwachungsmethoden für C-14

Zum Nachweis von C-14 kann wie bei Tritiumüberwachung auch der Urin herangezogen werden. Zu beachten ist jedoch, daß unter Umständen nur ein Bruchteil der inkorporierten Aktivität mit dem Urin ausgeschieden wird, wenn als Stoffwechselprodukt überwiegend CO_2 auftritt. Dies ist abhängig von der chemischen Verbindung, in der das C-14 vorliegt. In diesem Fall muß zum Inkorporationsnachweis neben dem Urin auch die Atemluft überwacht werden [10].

Als Routineverfahren wird 1 ml Urin wie bei der Tritiummessung beschrieben mit einem Szintillatorcocktail vermischt und unter Beachtung einer Fluoreszenzlöschkorrektur ausgemessen.

In der Regel kann die Messung mit der Tritiummessung gleichzeitig durchgeführt werden, wenn zwei verschiedene Meßkanäle zur Verfügung stehen.

Als Nachweisgrenze des Verfahrens werden für die Flüssigszintillationsmessung 10 nCi/l Urin angegeben [8], die minimal feststellbare Aktivität in unserem Labor beträgt 5 nCi/l Urin.

Die Bestimmung des CO_2 in der Atemluft wird in den Fällen angewandt, in denen der überwiegende Teil des C-14 als CO_2 ausgeschieden wird.

Die Technik der Überwachung besteht darin, wenigstens 5 l Atemluft mit Hilfe eines Luftballons zu sammeln und diese Luft in $\text{Ba}(\text{OH})_2$ oder einem aminhaltigen Absorber zu absorbieren. Dies geschieht zweckmäßigerweise, indem der Inhalt des Gasbehälters über einen regulierbaren Hahn und eine Glaskapillare langsam in die Absorptionslösung gebracht wird. Bei Benutzung einer fertigen Absorptionslösung, z.B. Oxifluor- CO_2 (NEN), kann die Lösung bereits in einem Zählfläschchen benutzt werden, so daß nach der Absorption die Messung direkt im Fläschchen vorgenommen werden kann. Mit dieser Lösung können 14 mmol CO_2 gebunden werden, als Nachweisgrenze resultiert eine Aktivität von weniger als 2 pCi/mmol CO_2 . Diese Methode ist somit um das doppelte empfindlicher als die in der ICRP Publ. 10 angegebene [8].

Eine empfindlichere Messung von C-14 im Urin ist nur möglich, wenn C-14 im Urin verlustfrei angereichert wird. Dies ist möglich durch Destillation im alkalischen Medium, um die im Urin gelöste Kohlenstoffverbindung in Lösung zu halten.

Erprobt wurde die Methode der Gefriertrocknung. Ein Tagesurin wird in Einzelportionen mit 0,5 g NaOH pro 500 ml und 3 Tropfen Antischaummittel (Silicon-Antischaumemulsion M-30, Fa. SERVA) in einem 2-l-Kolben in gefrorenem Zustand gefriergetrocknet. Zu beachten ist die gleichmäßige Trockengeschwindigkeit, die durch einen freien Gasdurchgang sichergestellt sein muß. Gegebenenfalls muß das angefrorene Eis mehrmals abgetaut werden. Beim Nachfüllen muß eventuell erneut Antischaummittel zugegeben werden.

Die getrocknete Probe wird wie anderes biologisches Material im Sauerstoffstrom verbrannt, das CO_2 über $\text{Ba}(\text{OH})_2$ als BaCO_3 aufgefangen. Aus dem BaCO_3 wird das CO_2 ausgetrieben und zur Flüssigszintillationsmessung absorbiert [9]. Als Nachweisgrenze resultiert eine Menge von $< 1,3$ pCi/g C. Zum Nachweis reicht 500 ml Urin aus.

Vorstellbar wäre auch der Nachweis von C-14 im Stuhl, wenn für eine Bilanz des C-14 im Körper eine Gesamtanalyse der Ausscheidungen erforderlich wäre. Bisher ist jedoch keine Methode bekannt, die dies beschreibt. Im Prinzip würde in diesem Fall das gleiche Verfahren wie beim Tritium beschrieben zur Anwendung kommen.

Diskussionsbemerkungen zum Vortrag

W. Rauert (GSF, Inst.f.Radiohydrometrie):

Eine noch empfindlichere Methode ist durch Verwendung größerer Quarz-Küvetten möglich. Im Institut für Radiohydrometrie ist ein Meßgerät in Betrieb, das mit folgenden Spezifikationen arbeitet:

H-3: Quarzküvette mit einem Volumen von 170 ml.,
eingesetztes Wasservolumen 75 ml, Instagel-Szint. 85 ml.
Umgebautes Meßgerät Tri-Carb. der Fa. Packard, Nulleffekt
10.4 Ipm bezogen auf 1000 Minuten Meßzeit, Zählwirkungsgrad
20 %, Kalibrierfaktor 9.20 TU/Ipm; kleinste feststellbare
Aktivität = 4 TU bei Messung im abgeschirmten Meßraum
(75 cm Schwerbeton - Ilmenit FeTiO_3)

Lit.: L. Eichinger et al.

Experience gathered in low-level Measurement of Tritium in Water
IAEA-Symp. 24.-28.9.1979 Wien
Low-level Tritium Measurement
IAEA-TECDOC No ? (1980)

- eine noch empfindlichere Messung ist durch elektrolytische Aufarbeitung möglich.

C-14: eingesetzte Kohlenstoffmenge 5,3 C als CO_2 , in 80 ml Absorptionslösung (Luma-Sorb I Fa. Lumac od. Carbosorb, Fa. Packard),
80 ml Szintillator Carbo-Luma Fa. Lumac od. Permafluor V,
Fa. Packard.
Nulleffekt 22.4 Ipm bezogen auf 1000 Minuten Meßzeit, Zählwirkungsgrad 70 %, kleinste feststellbare Aktivität 1.3 % modern.

Lit.: L. Eichinger et al.

Large Liquid Szintillation Counting of Carbon-14
10. Int. Radiocarbon Conference, Aug.19.-26., Bern und
Heidelberg

- eine noch empfindlichere Messung ist durch Benzolsynthese oder Methangasmessungen möglich

Ein Gerät mit großvolumigen Teflonfläschchen mit 120 ml Inhalt wird als Probenwechsler von der Fa. Aloka Co, Ltd. Model LSC-LB1 vertrieben.

Lit.: T. Iwakura, Y. Kasida, Y. Inoue, N. Tokunaga

A low background liquid scintillation counter for measurement
low level tritium
Behavior of tritium in the environment, San Francisco,
Oct. 26.-20., 1978
IAEA-SM-232/32, p. 163-171

4. Literatur

- [1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) v. 13.10.1976, Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 125, ausgegeben am 20.10.1976, Seiten 2905-2995
mit Berichtigung vom 21.1.1977, Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 6, ausgegeben am 26.1.1977, Seiten 184-195
und Berichtigung vom 1.2.1977, Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 9, ausgegeben am 9.2.1977, Seite 269
- [2] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle (§§ 62 und 63 StrlSchV). Gemeinsames Ministerialblatt 29: 348-354 (1978).
- [3] H. Schieferdecker
Inkorporationsüberwachung auf Tritium
Loseblattsammlung Arbeitskreis Inkorporationsüberwachung (AKI)
FS-77-AKI (Okt. 1977)
- [4] H. Schieferdecker
in A.A. Moghissi, M.W. Carter: tritium
Surveillance of Tritium Incorporation at the Karlsruhe
Nuclear Research Center During the Years 1967 to 1970
Las Vegas, Nov. 1971, p. 737-748
s. auch KFK-Ext. 23/71-1 (1971)
- [5] W.R. Schell, B.R. Payne
International Journal of Applied Radiation and Isotopes 22(1971)
653-656
- [6] Radiation Protection Standards for radioluminous time pieces
Safety Series No 23 IAEA 1967 - STI/PUB/167
- [7] G. Koch, Mol Belgien
Private Mitteilung
- [8] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publ. 10 u. 10A, Report of Committee IV, Pergamon Press, 1968
Deutsche Übersetzung herausgegeben vom Bundesgesundheitsamt Berlin:
Ermittlung der Körperdosis bei beruflich strahlenexponierten Personen nach Inkorporation radioaktiver Stoffe - Abschätzung der Körperdosis nach sich wiederholenden oder länger andauernden Aufnahmen radioaktiver Stoffe
G. Fischer Verlag, Stuttgart (1978)
- [9] S. Mlinko, E. Fischer, J.F. Diehl
Tritium in Lebensmitteln
Z.Anal.Chem. 261 (1972) p. 203-208
" " 296 (1974) p. 109-113
" " 272 (1974) p. 280-283
- [10] H. Schieferdecker
Bestimmung von Radionukliden in biologischem Material (T, C-14, Po, U, Pu, Am, Cm und Cf)
KFK-810 (1968)

Strahlenexposition durch Tritium und Kohlenstoff-14 im Kernforschungszentrum Karlsruhe

Die Inkorporationsüberwachung auf Tritium und C-14 wird im Kernforschungszentrum Karlsruhe seit 1967 durchgeführt.

Die Ergebnisse der Überwachung auf Tritium sind in den Jahresberichten [1] bis [5] veröffentlicht, aus denen die Exposition der überwachten Personen ersichtlich ist.

Die Ergebnisse der Überwachung auf C-14 waren im gleichen Zeitraum in allen Fällen unter der Nachweisgrenze des benutzten Analyseverfahrens.

1. Exposition durch Tritium-Inkorporation

Die Inkorporation von Tritium in Form von Tritiumwasser wurde bei den Beschäftigten der beiden schwerwassermoderierten Reaktoren (KTB, KBG), der Dekontaminationsabteilung (ADB, jetzt HDB), der Wiederaufarbeitungsanlage (GWK) und einiger kleinerer Abteilungen (chemische Institute, Beschleuniger) überwacht.

Die Überwachung erfolgte durch Urinanalysen entweder einmalig oder mehrmals im Jahr als Stichprobenmessung oder gezielt nach jedem Arbeitseinsatz, bei dem eine Inkorporation wahrscheinlich war.

Als Grenzwert für die Untersuchungen wurde eine Tritiumkonzentration von 23 $\mu\text{Ci/l}$ Urin angesehen.

Wurden nur Werte festgestellt, die unterhalb 10 % dieses Grenzwertes lagen, konnte auf eine weitergehende Überwachung verzichtet werden. Lagen die Überwachungsergebnisse dagegen über 10 % dieses Grenzwertes, wurden weitere Urinanalysen ausgeführt, um eine Ermittlung der Körperdosis aus der Tritiumaufnahme vornehmen zu können.

Die Ermittlung der einzelnen Zufuhr und der Vergleich mit den in der Strahlenschutzverordnung [6] angegebenen Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr wurde unterlassen, da Einzelzufuhren in der Regel selten waren und mit dem benutzten Rechenverfahren die Körperdosis ermittelt werden kann.

Das in der Loseblattsammlung des Fachverbandes für Strahlenschutz [7] beschriebene Rechenverfahren zur Berechnung der Körperdosen aus den Ergebnissen von Urinalanalysen geht von der Annahme einer mittleren biologischen Halbwertszeit von $\lambda_b = 10$ Tagen aus und von der Körperdosis, die sich unter Berücksichtigung eines Qualitätsfaktors von 1,7 für den Zeitraum Δt zwischen zwei Urinalanalysen A_1 und A_2 ergibt (siehe Abb. 1).

Diese Dosis errechnet sich in mrem/ Δt Tage nach der Beziehung

$$D = A_1 \cdot \frac{0,51}{\lambda_b} \cdot (1 - e^{-\lambda_b \Delta t}) \text{ wenn } A_1 \text{ in } \mu\text{Ci/l}$$

angegeben wird.

Ist die Urinkonzentration A_2 höher als sie der angenommenen biologischen Halbwertszeit von 10 Tagen entspricht, dann muß in dem Zeitraum Δt eine zusätzliche Inkorporation erfolgt sein, die aus konservativen Gründen zum Zeitpunkt der vorherigen Analyse zurückextrapoliert wird. Die dabei resultierende Dosis ist dann maximal

$$D_{\max} = A_2 \cdot \frac{0,51}{\lambda_b} \cdot (e^{\lambda_b \Delta t} - 1)$$

und der wahrscheinliche Dosiswert kann dann als Mittelwert dieser beiden Körperdosen angesehen werden.

Es ist verständlich, daß diese Berechnung fehlerhaft ist, wenn die Zeitabstände zwischen den beiden Analysen groß werden und die Rückextrapolation dann immer größere Dosiswerte ergibt. Der Fehler liegt dann jedoch immer auf der konservativen Seite, d.h. es wird eine unwahrscheinlich hohe Dosis angegeben.

Nähere Angaben zu diesem Rechenverfahren sind in der Loseblattsammlung des Fachverbandes für Strahlenschutz [7] nachzulesen.

Die Ergebnisse der letzten vier Jahre der Überwachung sind in den folgenden Tabellen zusammengefaßt. Es wurde jeweils unterschieden zwischen Personen, die ständig überwacht wurden und denen, die nur kurzzeitig tätig waren. Diese Unterscheidung ist notwendig, um die im Verlauf von Reparatur- und Wartungsarbeiten erhaltenen Körperdosen in manrem angeben zu können. In der Berechnung wurden nur diejenigen Personen einbezogen, die eine Körperdosis von mehr als 5 mrem/a erhielten.

Es zeigt sich deutlich eine abfallende Tendenz der Gesamtdosis beim Reaktorpersonal, obwohl das Tritium-Inventar der beiden schwerwassermoderierten Reaktoren im Verlauf der Zeit zugenommen hat.

Ergebnisse der Tritium-Inkorporationsüberwachung

Abt.		1975	1976	1977	1978
KTB	Zahl d. ständ. überwacht. Person.	46	35	33	24
	Zahl d. Personen > 5 mrem/a	36	30	27	23
	Dosis in mrem/a	1818	926	903	572
KTB	Zahl d. ständ. überwacht. Person.	0	0	1	6
	Beschäftigungsdauer (in Monaten)			1	14
	Dosis in mrem/a			10	41
	Gesamtdosis im Jahr(mrem)	1818	926	913	613
KBG	Zahl d. ständ. überwacht. Person.	27	47	45	47
	Zahl d. Personen > 5 mrem/a	27	43	41	42
	Dosis in mrem/a	8815	5089	3520	4833
KBG	Zahl d. kurzzeitig beschäft. Pers.	58	33	40	23
	Beschäftigungsdauer (in Monaten)	115	87	108	49
	Dosis in mrem/a	2144	1240	2644	958
	Gesamtdosis im Jahr(mrem)	10260	6329	6164	5791

Tabelle 1

Die Verteilung der Äquivalentdosis auf die einzelnen Bereiche der Körperdosis verschob sich deutlich zu niedrigeren Bereichen.

Dosisverteilung bei Tritium-Inkorporation

Abt.	mrem/a	Prozentuale Verteilung Dosis			
		1975	1976	1977	1978
KTB	5-50	61,1	83,3	77,8	87,0
	51-100	22,2	13,3	18,5	13,0
	101-200	16,7	0	3,7	0
	201-500	0	3,3	0	0
	501-1000	0	0	0	0
	1001-1500	0	0	0	0
KBG	5-50	7,4	55,8	46,4	42,9
	51-100	7,4	7,0	26,8	16,7
	101-200	18,5	20,9	12,2	19,0
	201-500	48,2	14,0	14,6	21,4
	501-1000	18,5	2,3	0	0
	1001-1500	0	0	0	0

bezogen auf die Zahl der exp. Personen

Tabelle 2

Die Beschäftigten der Wiederaufarbeitungsanlage (GWK) und der Dekontaminationsabteilung (ADB) waren in den letzten vier Jahren gleichbleibend keiner nachweisbaren Inkorporation ausgesetzt.

Ergebnisse der Tritium-Inkorporationsüberwachung

Abt.		1975	1976	1977	1978
ADB (HDB)	Zahl d. ständig überwacht. Personen	142	136	110	42
	Zahl d. Pers. mit Inkorp. > 5mrem/a	0	0	0	0
	Dosis in mrem/a	-	-	-	-
	Zahl d. kurzzeitig Beschäftigten	0	0	0	0
	Beschäftigungsdauer (in Monaten)	-	-	-	-
	Dosis in mrem/a	-	-	-	-
	Gesamtdosis im Jahr (mrem)	-	-	-	-
GWK	Zahl d. ständig überwacht. Personen	-	208	315	119
	Zahl d. Pers. mit Inkorp. > 5mrem/a	-	0	0	0
	Dosis in mrem/a	-	-	-	-
	Zahl d. kurzzeitig Beschäftigten	-	0	0	0
	Beschäftigungsdauer (in Monaten)	-	-	-	-
	Dosis in mrem/a	-	-	-	-
	Gesamtdosis im Jahr (mrem)	-	-	-	-

Tabelle 3

Diese Tatsache führte dazu, daß die Überwachung auf einige besonders exponierte Personen beschränkt wurde und im Jahre 1979 probeweise ein geändertes Überwachungssystem bei der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe eingeführt wurde.

Unter Anwendung der low-level-Meßtechnik wurde versucht, die Tritium-Inkorporationen dieser beruflich strahlenexponierten Personen genauer zu bestimmen und mit nicht exponierten Personen zu vergleichen. Es zeigte sich, daß nach Beginn dieser Aktion im August 1979 eine höhere Tritiuminkorporation festgestellt wurde (s. Abb. 2), die auch ohne Anwendung der low-level-Meßtechnik erkennbar geworden wäre.

Erkennbar ist, daß die Tritium-Inkorporation des überwachten Personenkreises sich im übrigen nur wenig von dem nicht exponierten Personenkreis unterscheiden.

Zweck dieser Untersuchung war es, die Überwachung auch auf kleinere Inkorporationen zu erweitern und damit noch empfindlicher zu machen.

Es sind auf diese Weise auch noch Körperdosen unter 5 mrem/a nachweisbar und mit einem Meßwert zu belegen. Es fällt auf, daß auch bei den nicht exponierten Vergleichspersonen eine Streuung der Meßwerte festzustellen ist, die über den Bereich des Tritiumgehalts des Trinkwassers in der weiteren Umgebung des Kernforschungszentrums [8] hinausgeht. Hier sind offensichtlich Verzehrgeohnheiten zu berücksichtigen, die auf den Genuß von Nahrungsmitteln mit höherem Tritiumgehalt zurückgeführt werden können.

Zur Abklärung dieses Sachverhaltes wäre nur eine umfassende Studie in größerem Rahmen für einen abgeschlossenen Personenkreis (z.B. Anstaltspersonen) sinnvoll, bei dem eine vollständige Bilanz der Tritiumzufuhr und Ausscheidung durchgeführt werden müßte.

Wir werden die Überwachung nicht exponierter Personen in dem bisherigen Rahmen noch einige Zeit fortsetzen, um eine gewisse Korrelation zwischen den Ergebnissen der Umgebungsüberwachung und der festgestellten Körperaktivität angeben zu können.

Die Überwachung im Kernforschungszentrum Karlsruhe beschränkte sich auf die Überwachung der Inkorporation von Tritium in Form von HTO oder solchen Verbindungen, die sich nach Inkorporation wie Wasser verhielten.

Eine Inkorporation von unlöslichen Tritiumverbindungen wie Schwermetalltritiide von Beschleunigertargets oder von Tritiumleuchtfarben aus Uhren ist bisher nicht durchgeführt worden. In Einzelfällen konnten Inkorporationen durch andere Überwachungsmethoden (Wischtests und Luftüberwachung) ausgeschlossen werden.

Ein besonderes Vorkommnis sei in diesem Zusammenhang erwähnt, weil es die sorgfältige Strahlenschutzüberwachung in einem Kernforschungszentrum im Vergleich zu den nicht überwachten außerbetrieblichen Bereichen besonders deutlich macht:

Bei der Reparatur einer handelsüblichen Uhr mit radioaktiven Leuchtziffern kontaminierte sich eine Person so stark, daß die routinemäßige Kontaminationsmessung oberhalb der zugelassenen Grenzwerte des Überwachungsbereichs lag. Die daraufhin eingeleitete Inkorporationskontrolle ergab keinen Anhalt auf eine Inkorporation, zumal es sich um eine unlösliche Tritiumverbindung handelte. Es mußten aufwendige Untersuchungen angestellt werden, um das Radionuklid zu ermitteln, das diese Kontamination verursachte. Dies war der Anlaß dafür,

auch in außerbetrieblichen Bereich ähnliche Untersuchungen anzustellen.

Außerhalb des Kernforschungszentrums konnten bei einem Uhrmacher durch Wischtests Aktivitäten auf dem Arbeitstisch festgestellt werden, die in gleicher Höhe im Kernforschungszentrum zu Dekontaminationsmaßnahmen geführt hätten, wenn sie dort festgestellt worden wären. Es wurde eine Überschreitung der Grenzwerte der Flächenkontamination für Arbeitsgegenstände ermittelt, die nach der Strahlenschutzverordnung Anlage IX außerhalb von betrieblichen Überwachungsbereichen anzuwenden sind [6].

Es ist anzunehmen, daß auch bei anderen Uhrmachern, die im außerbetrieblichen Überwachungsbereich im Kontakt mit der Bevölkerung tätig sind, ähnliche Meßergebnisse zu erwarten sind.

Es wäre wünschenswert, wenn die Verbreitung von Tritium oder Prometium und die Einhaltung der Strahlenschutzverordnung auf diesem Wege wenigstens stichprobenartig überwacht würde.

2. Exposition durch C-14-Inkorporationen

Die Inkorporationsüberwachung auf C-14 wurde wie die Tritiumüberwachung durch Urinalanalysen nach Flüssigszintillationsmessung durchgeführt.

Es wurden Mitarbeiter der Dekontaminationsbetriebe (HDB) und der Wiederaufarbeitungsanlage (GWK) durch Urinalanalysen überwacht, ohne daß dabei Aktivitäten von mehr als der Nachweisgrenze des Bestimmungsverfahrens festgestellt wurden.

Eine Untersuchung auf Körperdosen ist hierbei nicht ohne weiteres möglich, da die Dosisfaktoren für C-14 abhängig sind von der chemischen Verbindungsart, in der das C-14 vorliegt und diese für uns unbekannt ist.

Die dosimetrische Betrachtung geht von einer biologischen Halbwertszeit von 12 Tagen unter der Annahme einer täglichen Ausscheidung von 5,8 % des Gesamtkohlenstoffs aus. Unter Berücksichtigung der Bilanz der Kohlenstoffausscheidung bei Erreichen der in ICRP 2 angegebenen maximal zugelassenen Körperbelastung von 300 μCi C-14 werden im Mittel täglich 17,4 μCi C-14 ausgeschieden. Diese Angabe gilt unter Annahme einer wahrscheinlich nicht zutreffenden gleichmäßigen Verteilung des Kohlenstoffs im Gesamtkörper. Demnach werden im Urin täg-

lich 216 pCi/ml, in der Atemluft täglich 845 pCi/l enthalten sein, wenn der vorher angegebene Gleichgewichtswert besteht [9].

Mit der Nachweisgrenze der Inkorporationsüberwachung von

5 pCi C-14/ml Urin oder

6 pCi C-14/mmol CO₂

lassen sich somit noch weniger als 5 % der zugelassenen Körperbelastung nachweisen.

Unter der stark vereinfachten Annahme, daß diese Angabe auch für die resultierende Körperdosis gilt, kann aus den Ergebnissen der Inkorporationsüberwachung geschlossen werden, daß die Exposition der überwachten Personen mit C-14 geringer war als 5 % der zugelassenen Körperdosis.

In den letzten vier Jahren wurden durch Urinanalysen auf C-14 Inkorporationen überwacht

Zahl der überwachten Personen

Abt.	1975	1976	1977	1978
ADB	142	136	110	32
IGT				2
GWK		208	315	119

Tabelle 4

bei denen in keinem Fall C-14 Aktivitäten oberhalb der Nachweisgrenze von 5 pCi/ml Urin (< 100 mrem/a) gefunden wurden.

Die Analysen beschränkten sich auf Stichprobenmessungen, die in letzter Zeit stark eingeschränkt wurden.

Die Anwendung des Nachweisverfahrens von C-14 in der Ausatemluft bei vereinzelt Zwischenfällen blieb ebenfalls in jedem Fall unter der Nachweisgrenze des Analysenverfahrens.

Zur weiteren Untersuchung wurden daher in vier Einzelfällen die low-level-Meßtechnik zum Nachweis von C-14 in Urinproben herangezogen. Von vier beruflich mit C-14 exponierten Personen wurde der Urin nach verlustloser Einengung durch Gefriertrocknung vollständig zu CO₂ verbrannt und der C-14-Gehalt durch Flüssigszintillationsmessung

bestimmt. Das Ergebnis dieser Messungen lag im Bereich des natürlichen C-14-Gehalts von ca. 7 - 8 pCi C-14/gC. Diese Messungen wurden in der Bundesforschungsanstalt für Ernährung in Karlsruhe ausgeführt und im Institut für Umweltp Physik in Heidelberg bestätigt.

Aus den Ergebnissen der Überwachung ist zu schließen, daß beim Normalbetrieb im Kernforschungszentrum die Exposition der beruflich strahlenexponierten Personen durch C-14 im Bereich des natürlichen Untergrunds liegt und eine Überwachung auch weiterhin auf stichprobenartige Messungen und eingehende Untersuchung bei eventuellen Zwischenfällen beschränkt bleiben kann.

Die stichprobenartige Überwachung ausgewählter Personen durch low-level-Messung wird vorerst zur Datensammlung fortgesetzt, aber nicht unbedingt als notwendig angesehen.

3. Literatur

- [1] H. Schieferdecker
in A.A. Moghissi, M.W. Carter: tritium
Surveillance of Tritium Incorporation at the Karlsruhe
Nuclear Research Center During the Years 1967 to 1970
Las Vegas, Nov. 1971, p. 737-748
s. auch KFK-Ext. 23/71-1 (1971)
- [2] H. Schieferdecker
Ergebnisse der Tritium-Inkorporationsüberwachung im Kern-
forschungszentrum Karlsruhe in den Jahre 1971 - 1972
KFK-Ext. 23/73-1 (1973)
- [3] H. Schieferdecker, E. Wechselberger
Ergebnisse der Tritium-Inkorporationsüberwachung im Kern-
forschungszentrum Karlsruhe im Jahre 1973
KFK-Ext. 23/74-1 (1974)
- [4] H. Schieferdecker, L.A. König, H. Ritz
Ergebnisse der Tritium-Inkorporationsüberwachung im Kern-
forschungszentrum Karlsruhe im Jahre 1974
KFK-Ext. 23/75-1 (1975)
- [5] H. Schieferdecker
Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung durch Ausscheidungs-
analysen im Kernforschungszentrum Karlsruhe in den Jahren
1975 bis 1978
KfK 2799 B (Juli 1979)
- [6] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende
Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) v. 13.10.1976,
Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 125, ausgegeben am 20.10.1976,
Seiten 2905-2995
mit Berichtigung vom 21.1.1977, Bundesgesetzblatt Teil 1,
Nr. 6, ausgegeben am 26.1.1977, Seiten 184-195,
und Berichtigung vom 1.2.1977, Bundesgesetzblatt Teil 1,
Nr. 9, ausgegeben am 9.2.1977, Seite 269
- [7] H. Schieferdecker
Inkorporationsüberwachung auf Tritium
Loseblattsammlung AK "Inkorporationsüberwachung" (AKI) des FS
FS-77-14-AKI (Okt. 1977)
- [8] L.A. König
Impact on the Environment of Tritium Releases from the
Karlsruhe Nuclear Research Center
IAEA/NEA Symposium on the Behavior of Tritium in die Environ-
ment, San Francisco, Cal., U.S.A., 16.-20.Oct.1978
IAEA-SM-232/2
- [9] H. Schieferdecker
Bestimmung von Radionukliden in biologischem Material
(T, C-14, Po, U, Am, Cm und Cf)
KFK-Ber. 810 (Nov. 1968)

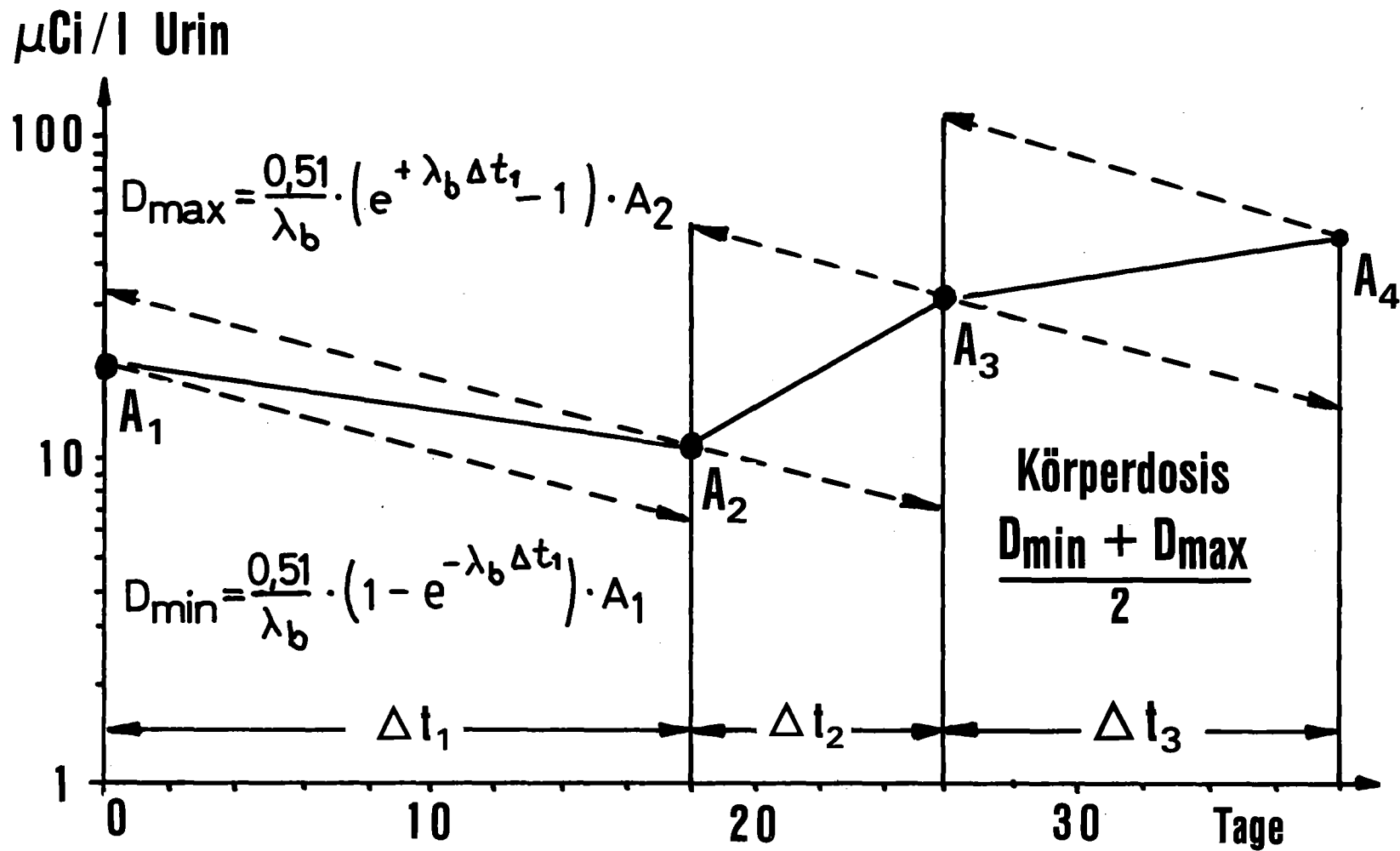


Abb. 1 Berechnung der Körperdosis bei Inkorporation von Tritium (HTO)

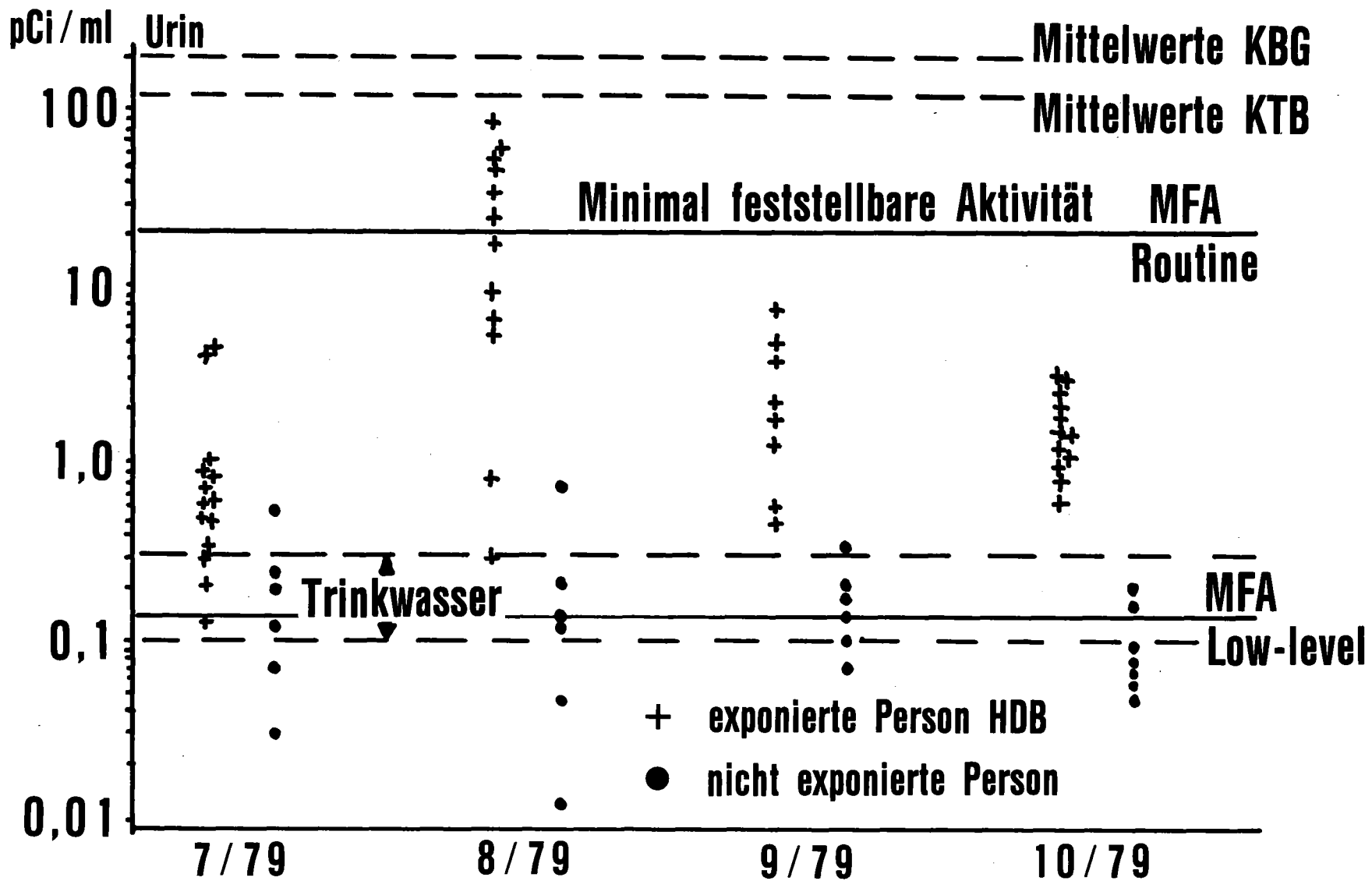


Abb.2 Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung auf Tritium (HTO)