



**FACHVERBAND FÜR STRAHLENSCHUTZ e.V.**  
Mitgliedsgesellschaft der International Radiation Protection Association (IRPA)

---

LOSEBLATTSAMMLUNG  
ARBEITSKREIS  
INKORPORATIONSÜBERWACHUNG (AKI)

INKORPORATIONSÜBERWACHUNG AUF  
TRITIUM

FS-77-14-AKI  
OKTOBER 1977

NEUFASSUNG  
NOVEMBER 1980



	Blatt	Seite
1. Allgemeines		
1.1. Nuklideigenschaften und biologisches Verhalten	1	1/1 bis 1/2
2. Grenzwerte		
2.1. Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr (StrlSchV)	2	1
2.2. Grenzwerte der ICRP	2	2
2.3. Abgeleitete Grenzwerte für Tritiumgas	2	3/1 bis 3/2
3. Ausführung der Überwachung		
3.1. Untersuchungsmaterial und Überwachungshäufigkeit	3	1
3.2. Aufbereitung von Urinproben	3	2
3.3. Meßtechnik	3	3/1 bis 3/3
4. Berechnung der Analysenergebnisse		
4.1. Berechnung der Aktivität der Probe	4	1
4.2. Bestimmungsgrenze des Nachweisverfahrens	4	2
5. Berechnung der Körperdosis		
5.1. Berechnung der Körperdosis nach einmaliger Zufuhr von HTO	5	1
5.2. Berechnung der Körperdosis nach wiederholter Zufuhr	5	2/1 bis 2/2
5.3. Beispiel einer Dosisberechnung nach wiederholter Zufuhr	5	3
6. Abbildungen und Tabellen	6	1 bis 3
7. Literatur	7	1 bis 5



1.1. Nuklideigenschaften und biologisches Verhalten

Tritium (T) ist ein  $\beta$ -Strahler mit einer maximalen  $\beta$ -Energie von 18 keV (mittlere Energie 5,7 keV) und einer physikalischen Halbwertszeit von 12,346 a /1/.

Es kommt überwiegend in Tritiumwasser (HTO, weniger als  $T_2O$ ) vor, wird aber auch als Tritiumgas (HT,  $T_2$ ) in Form von Metalltritiiden und in organisch gebundener Form verwendet /2/. Tritiumgas findet in Beta-Lights Anwendung zur Lichterzeugung in Uhren und Hinweiszeichen. In Form von Mikrogaskügelchen findet es Anwendung in der Fusionsforschung /25/.

Tritium wird als HTO vollständig über die Haut und den Magen-Darm-Trakt sowie über die Atemwege vom Körper aufgenommen und verteilt sich innerhalb von Stunden gleichmäßig im Körperwasser /5/, /6/, /7/.

Tritiumwasser unterliegt im Körper dem Stoffwechsel des Wassers und hat eine mittlere biologische Halbwertszeit von 10 Tagen /3/, /4/. Dieser Stoffwechsel unterliegt Schwankungen, die klimatisch und jahreszeitlich bedingt sind und von individuellen Gewohnheiten abhängen /8/, /18/, /19/.

Eine längere biologische Halbwertszeit von mehreren 100 bis 1000 Tagen /9/, /10/ deutet darauf hin, daß sich HTO z.T. in organische Verbindungen einbaut und dann dem Stoffwechsel dieser Verbindung gehorcht. Der organische Anteil ist jedoch gering und liegt im Bereich von 1 ‰ der inkorporierten HTO-Mengen oder sogar geringer /11/.

Tritiumgas ( $T_2$ , HT) wird über die Atemwege durch physikalische Lösung im Körperwasser aufgenommen /6/, /7/. Nach /34/ und /7/ beträgt der Anteil maximal 1 bzw. 1,6 Vol-% des inhalierten Tritiumgases. Dies führt zu einer zeitlich begrenzten Exposition des Körpers, dessen Höhe durch die Verweilzeit des Tritiumgases im Körper bestimmt wird. Die biologische Halbwertszeit von Tritiumgas beträgt nur einige Minuten /22/.



## 1.1. Nuklideigenschaften und biologisches Verhalten

Zu beachten ist, daß ein Teil des gelösten, aber auch ein Teil des im Atemtrakt vorhandenen Tritiumgas durch Oxidation in HTO umgewandelt wird. Nach Angaben von Pinson /7/ werden 0,004 % des inhalierten HT nach in-vivo-Oxidation als HTO aufgenommen. Zu beachten ist weiterhin, daß Tritiumgas schon von vornherein einen bestimmten Anteil an HTO aufweist, der auch durch autokatalytische Oxidation verursacht wird und mit der Zeit zu höheren HTO-Anteilen im Tritiumgas führen kann. Dies erklärt die unterschiedlichen Angaben über den Anteil von HTO in Beta-Lights /26/, /27/, /28/, wodurch Unfälle mit Beta-Lights zu einer höheren Tritiumaufnahme führen können.

Durch Bestimmung des oxidierten Tritiums im Körperwasser ist ein Rückschluß auf das insgesamt inhalede Tritiumgas /22/ nur dann möglich, wenn die Ausgangsbedingungen (Konzentration und HT/HTO-Verhältnis) bekannt sind (siehe 2.3.).

Metalltritiide, Tritiumleuchtfarben oder Mikrogaskugeln ("micro-balloons" für Laserfusionsversuche /25/) werden nur zu einem geringen Anteil in den Stoffwechsel des Körpers aufgenommen und führen somit bei Inhalation zu einer zeitlich begrenzten Exposition des Atem- und Magen-Darm-Trakts. Sie werden vorwiegend im Stuhl ausgeschieden /29/. Weitere Angaben siehe Loseblattsammlung "Biokinetisches Verhalten von Radionukliden" /33/.

Die Aufnahme von organisch gebundenem Tritium hängt von der Art der Verbindung ab, in der es vorliegt. Insbesondere können tritiierte Nucleotide aufgrund ihres Verhaltens um ein Vielfaches gefährlicher sein als Tritiumwasser /23/. Es ist zu erwarten, daß inkorporierte organische Tritiumverbindungen zum Teil zu HTO katabolisiert werden.



2.1. Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr (StrlSchV)

Nach Angaben der Strahlenschutzverordnung /17/ betragen die Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr über Luft (Inhalation) für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A:

12 mCi in einem Jahr ( $4,5 \cdot 10^8$  Bq)  
bzw. 6 mCi in einem Quartal ( $2,2 \cdot 10^8$  Bq)

Die Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr über Wasser und Nahrung (Ingestion) betragen für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A

27 mCi in einem Jahr ( $9,7 \cdot 10^8$  Bq)  
bzw. 13,5 mCi in einem Quartal ( $4,9 \cdot 10^8$  Bq)

Dies gilt für Wasser und Tritiumverbindungen, die unspezifisch in den intermediären Stoffwechsel eingehen und deren Umsatzrate nicht größer als die von Wasser ist.

Unter der Annahme, daß bei einer Zufuhr von HTO die gesamte Menge in das Körperwasser aufgenommen wird und unter Zugrundelegung eines Standardmenschen von 70 kg Körpergewicht und 43 l Körperwasser entsprechen diese Grenzwerte einer Tritiumaktivitätskonzentration von

280  $\mu\text{Ci/l}$  bzw. 140  $\mu\text{Ci/l}$  Urin für Inhalation und  
630  $\mu\text{Ci/l}$  bzw. 315  $\mu\text{Ci/l}$  Urin für Ingestion

am ersten Tag nach der Zufuhr.

*Nach dem derzeit in der Bundesrepublik Deutschland gültigen Gesetz für Einheiten im Meßwesen /31/, /32/ soll die Aktivität in der Einheit Bq (Zerfälle  $^{-1}$ ), die Dosis in der Einheit J/kg angegeben werden. Die Übergangszeit für die Einheit Ci und rem endet am 31.12.1985. Für die Einheit der Äquivalentdosis J/kg ist international bereits der Name Sievert gebräuchlich.*

*In der Schweiz ist die Verwendung der alten Einheiten Curie, Röntgen, rad und rem in Strahlenschutz und Medizin weiterhin zugelassen (Einheiten-Verordnung vom 23. November 1977).*



2.2. Grenzwerte der ICRP

Es erweist sich bei bestimmten Umgangsarten, bei denen keine größeren einmaligen, sondern ständig geringe Inkorporationen zu erwarten sind, als zweckmäßig, für eine Routineüberwachung von dem Grenzwert der maximal zugelassenen Körperbelastung (MZKB) für HTO auszugehen, die von der ICRP /12/ zu 1000  $\mu\text{Ci}$  HTO im Körperwasser angegeben wird. Dieser Aktivität entspricht eine Dauerkonzentration von 23  $\mu\text{Ci}$  HTO/l Urin.

Ist diese Konzentration ein Jahr lang ständig im Körperwasser vorhanden, beträgt die jährliche Körperdosis 4,3 rem.

Nach Angaben der ICRP /3/ wird unter der Annahme, daß die Zufuhr einmalig erfolgt ist, eine Ganzkörperdosis von 5 rem/a durch eine Aktivität von 30 mCi HTO im Körperwasser eines Standardmenschen verursacht. Dies entspricht einer Anfangskonzentration von 700  $\mu\text{Ci}$  H-3/l Körperflüssigkeit (Urin) am ersten Tag nach der Zufuhr. Die Diskrepanz zu den Grenzwerten der Strahlenschutzverordnung ist offensichtlich. Der Wert von 30 mCi ist jedoch rechnerisch nachvollziehbar belegt, so daß er bei der Berechnung der Körperdosis zur Anwendung kommen sollte.

*Diesen Angaben liegt ein Bewertungsfaktor  $q$  für Tritium von 1,7 zugrunde. Von der ICRP wurde 1969 ein  $q$ -Wert von 1,0 vorgeschlagen /13/. Diese Reduzierung ist jedoch umstritten /20/, wird aber von der ICRP /35/ für die jüngsten Berechnungen benutzt. Dort beträgt der Grenzwert der Jahresaktivitätszufuhr für HTO 80 mCi/a unabhängig von der Art der Zufuhr.*



### 2.3. Abgeleitete Grenzwerte für Tritiumgas

Beim Umgang mit gasförmigem Tritium (z.B. beim Umgang mit Betalights) sind folgende Berechnungsgrundlagen anzuwenden:

Bei Inhalation von gasförmigem Tritium ist die Wirkung der direkten Strahlenexposition durch das Tritiumgas gegenüber der Wirkung des zu HTO oxidierten Tritiumgases zu vernachlässigen.

Für die Aktivitätskonzentration von 1 Ci gasförmigem Tritium je Kubikmeter Luft, ohne Berücksichtigung einer vorhandenen Anfangskonzentration an HTO, kann die durch HTO resultierende Ganzkörper-Äquivalentdosis in Anlehnung an /34/ zu 1,7  $\mu$ rem je Sekunde Kontaktzeit des Atemtrakts mit der Luft abgeschätzt werden. Bei Inhalation führt die Exposition der Oberfläche des Atemtrakts durch gasförmiges Tritium unter gleichen Bedingungen zu einer Teilkörper-Äquivalentdosis von 1,7 mrem, die jedoch wegen der geringen Reichweite der  $\beta$ -Strahlung in der Schleimschicht des Atemtrakts absorbiert wird.

Bei Aufenthalt in einer tritiumgashaltigen Atmosphäre ist grundsätzlich auch eine Exposition der Haut und bei perkutaner Absorption auch des Gesamtkörpers gegeben. Die Exposition der Haut führt unter den gleichen Bedingungen (1 Ci HT/m<sup>3</sup> Luft, 1 Sekunde Kontaktzeit) zu einer Dosis, die zwar ca. 1500 mal größer ist als die o.a. Ganzkörper-Äquivalentdosis, jedoch wird diese wegen der geringen Reichweite der Strahlung in der Epidermis (oberste verhornte Hautschicht) absorbiert und ist somit biologisch wirkungslos. Die durch perkutane Absorption resultierende Teil-(Haut-) und Ganzkörperdosen betragen unter gleichen Bedingungen weniger als 1/1000 der oben angegebenen Ganzkörper-Äquivalentdosis /22/.

Die Inhalation von tritiierten Mikro-Glaskugeln (Durchmesser = 1  $\mu$ m, nach ICRP Lungenmodell als schwertransportabler Stoff in Klasse Y einzustufen) hat nach /27/ eine Äquivalentdosis von 0,34 rem/ $\mu$ Ci zur Folge. Deshalb wird dafür eine Herabsetzung des Grenzwertes der Aktivitätskonzentration in der

folgt Seite 3/2



2.3. Abgeleitete Grenzwerte für Tritiumgas

Luft von  $1,7 \cdot 10^{-6} \mu\text{Ci/ml}$  /12/ auf  $2,6 \cdot 10^{-8} \mu\text{Ci/ml}$  vorgeschlagen /25/.  
(Der Wert gilt für den Bewertungsfaktor von 1,7, der den Berechnungen der Strahlenschutzverordnung zugrunde liegt, sowie den Konzentrationsangaben der ICRP 1959 /12/).

Als Grenzwert für die Inhalation von Mikro-Glaskugeln (Durchmesser = 40...300  $\mu\text{m}$ , Wandstärke 0,5 bis 8  $\mu\text{m}$ , 0,1 bis 1 CiH-3/g Glas) wird von Homan /37/ eine Aktivitätskonzentration der Glaskügelchen von  $1,8 \cdot 10^{-7} \mu\text{Ci/ml}$  Luft angegeben.





3.1. Untersuchungsmaterial und Überwachungshäufigkeit

Zur Inkorporationsüberwachung auf HTO können alle Körperflüssigkeiten analysiert werden. Zweckmäßigerweise wird Urin zur Analyse herangezogen. Je nach verfügbarer Materialmenge und erwartetem Tritiumgehalt sind 1 bis 20 ml notwendig.

Ausgehend von den Grenzwerten der Jahresaktivitätszufuhr für Inhalation und Ingestion kann formal davon ausgegangen werden, daß eine einmalige Zufuhr von 6 mCi HTO durch Inhalation innerhalb eines Vierteljahres als zulässig zu betrachten ist. Diese Zufuhr hat maximal eine anfängliche Konzentration von 140  $\mu\text{Ci}$  HTO/l Körperflüssigkeit (Urin) zur Folge, die mit der biologischen Halbwertszeit von 10 Tagen abnimmt. Bei einer Nachweisgrenze von 0,02  $\mu\text{Ci}/\text{l}$  ist diese Zufuhr somit noch nach 130 Tagen nachweisbar, und 1/20 dieser Menge ist noch nach 84 Tagen sicher zu messen. Dieser Abstand sollte als längster Überwachungszeitraum nicht überschritten werden.

Der Überwachungszeitraum von 30 Tagen ist zweckmäßig, da bei größeren Intervallen die nach 5. zu berechnenden Maximal- und Minimaldosen zunehmend exponentiell divergieren können.

Für die Inkorporationsüberwachung unlöslicher Metalltritiide ist die Ausführung von Fäces-Analysen erforderlich /29/.



### 3.2. Aufbereitung von Urinproben

Wenn das Meßergebnis nicht durch eventuelle Anwesenheit anderer Nuklide verfälscht wird, ist eine Aufbereitung der Urinproben nicht erforderlich. Wenn notwendig, können sie auf verschiedene Weise aufbereitet werden (3.2.2.).

#### 3.2.1. Direkte Bestimmung

Ein Aliquot des Urins wird direkt mit einer Szintillatorlösung vermischt und die Tritiumaktivität unter Beachtung der in 3.3. aufgeführten Hinweise gemessen /21/.

#### 3.2.2. Bestimmung nach Aufarbeitung

##### Verfahren 1

50 ml Urin werden in einem mit einem Uhrglas bedeckten Becherglas oder in einer bedeckten Petrischale auf dem Sandbad erhitzt. Das nach kurzer Zeit an dem Deckel des Gefäßes kondensierende Wasser wird aufgefangen und zur Messung verwendet. Ein Isotopieeffekt tritt nicht auf, wenn die Eindampfung nicht bis zur Trockne erfolgt.

Der Urin kann auch durch Aufkochen mit pulverisierter Aktivkohle (1 g für 20 ml Urin) und anschließender Filtration entfärbt werden /30/.

##### Verfahren 2

Für low-level-Messungen ist der Einsatz größerer Mengen des destillierten Urins (10 ml Destillat) erforderlich. Um den möglicherweise störenden Einfluß organischer Verbindungen /15/ bei der low-level-Messung zu beseitigen, werden 100 ml Urin 30 Minuten lang mit 0,5 g  $\text{KMnO}_4$  und 0,2 g KOH am Rückfluß zum Sieden erhitzt und destilliert. Das Destillat wird über eine Säule von ca. 3 g Aktivkohle geleitet und 10 ml hiervon mit gelbildendem Szintillator im Verhältnis 10 : 12 vermischt /38/.



### 3.3. Meßtechnik

#### 3.3.1. Geräte und Chemikalien

Es werden Flüssigszintillationsspektrometer verschiedener Bauart benutzt. Gefordert werden sollte ein Nulleffekt  $< 20$  Ipm und Zählausbeute  $> 20\%$  für wässrige Proben.

Zweckmäßigerweise werden als Behälter Plastikfläschchen verwendet, da sie einen geringeren Nulleffekt als Glasflaschen haben.

Als Szintillationsmischung kommen verschiedene im Handel erhältliche Produkte in Frage, die nach dem jeweiligen Anwendungsbereich ausgewählt werden müssen /36/. Für die direkte Messung werden zweckmäßigerweise gelbildende Szintillatoren eingesetzt.

#### 3.3.2. Meßdauer

Je nach der geforderten Empfindlichkeit der Messung sind unterschiedliche Meßzeiten erforderlich. Sie betragen im allgemeinen 10 min, für low-level-Messungen können Meßzeiten bis zu 1000 min erforderlich sein.

#### 3.3.3. Korrektur der Fluoreszenzlösung

Die nach 3.2. hergestellten Proben machen je nach Färbung der Urinproben eine unterschiedliche Korrektur des Meßwertes erforderlich. Dies kann durch die Methode des internen Standards (3.3.3.1.) oder die des externen Standards (3.3.3.2.) erfolgen.

folgt Seite 3/2



3.3. Meßtechnik

3.3.3.1. Interner Standard

Durch die Zugabe einer bekannten Tritium-Aktivität ( $A_T$ ) zu einer nach 3.2. hergestellten Parallelprobe kann der Zählwirkungsgrad  $W$  der Messung in der Probe bestimmt werden. Er berechnet sich nach

$$W = \frac{(\dot{N}_1 - \dot{N}_2) \times 100}{A_T \times 60} \%$$

$\dot{N}_1$  = Bruttozählrate der Probe mit Tritiumzusatz  $A_T$  (in  $\text{min}^{-1}$ )

$\dot{N}_2$  = Bruttozählrate der Probe (in  $\text{min}^{-1}$ )

$A_T$  = Zugesezte Tritiumaktivität (in Bq)

Bei der Berechnung der Aktivität der Probe ist dieser Wirkungsgrad einzusetzen (siehe 4.1.).

3.3.3.2. Externer Standard

Der Zählwirkungsgrad der Messung wird mit Hilfe einer von außen an das Probefläschchen herangeführten Strahlenquelle ermittelt, indem entweder die durch Compton-Streustrahlung erzeugte Anzahl von Impulsen direkt oder das Verhältnis der Zählraten in zwei verschiedenen Meßkanälen (= externe Standardisierung mit Kanalverhältnis) gemessen werden. Weitere Varianten der externen Standardisierung (H-Nummer, Quenchindex) werden in der Firmenliteratur beschrieben.

Zur Aufstellung einer Korrekturkurve werden als Vergleichssubstanzen am besten Urinproben mit verschiedenen Eigenfärbungen (verschiedene Quenchwerte) verwandt, denen eine bekannte Menge Tritium zugesetzt wird.

folgt Seite 3/3



3.3. Meßtechnik

3.3.4. Störung der Messung

3.3.4.1. Phosphoreszenz

Bei direkter Bestrahlung der angesetzten Probe mit Sonnenlicht werden Phosphoreszenzen angeregt, die mehrere Stunden anhalten können. Zur Vermeidung dieses Effektes sollten die Proben bei gedämpftem Licht angesetzt und längere Zeit (ca. 1 Stunde) bei ca. 15 °C gehalten werden /36/.

3.3.4.2. Chemilumineszenz

Verunreinigte Chemikalien (z.B. unsauberes Dioxan) oder gewisse Metabolite im Urin verursachen chemische Reaktionen in der Probe, die zu Chemilumineszenzen führen können. Diese Reaktionen sind temperaturabhängig und können sehr lange andauern /36/. Es empfiehlt sich, die Probe bei ca. 15 °C zu messen /14/.

3.3.4.3. Statische Aufladung

Bei der Verwendung von Szintillatorfläschchen aus Plastik besteht die Gefahr der statischen Aufladung, durch die unter Umständen hohe Zählraten vorgetäuscht werden können. Dies kann durch Verwendung von entsprechenden Kontaktsprays verhindert werden (Antistatik Spray).



4.1. Berechnung der Aktivität der Probe

Mit dem ermittelten Nulleffekt  $\dot{N}_0$  der Meßanordnung und dem nach 3.3.3.1 ermittelten Wirkungsgrad  $W$  der Messung errechnet sich die Aktivität  $A$  der Probe aus der Bruttozählrate  $\dot{N}$  zu

$$A = \frac{(\dot{N} - \dot{N}_0) \cdot 100}{W \cdot 2220} \quad \text{nCi/Probe,}$$

wenn  $\dot{N}$  und  $\dot{N}_0$  in Impulsen pro Minute und  $W$  in % angegeben werden.

Zusätzlich sollte zu jedem Ergebnis die Anzahl der Bestimmungen, der Mittelwert  $\bar{x}$ , die Standardabweichung  $s_{\bar{x}}$  des Mittelwerts angegeben werden.

Das Resultat sollte als Konzentration angegeben werden, wie es im Folgenden als Beispiel ausgeführt ist:

Meßgut 1 ml Urin; Meßdauer 10 min; Nulleffektzählrate  $\dot{N}_0 = 21,3 \text{ min}^{-1}$ ;  
Zählwirkungsgrad  $W = 32,5 \%$

Probenzählrate  $\dot{N} = \begin{matrix} 275,7 \text{ min}^{-1} \\ 285,3 \text{ min}^{-1} \\ 270,0 \text{ min}^{-1} \end{matrix}$  Mittelwert  $\bar{x} = 277,0 \text{ min}^{-1}$

Standardabweichung  $s_E = 7,73 \text{ min}^{-1}$

Standardabweichung des Mittelwerts  $s_{\bar{x}} = \frac{s_E}{\sqrt{3}} = 4,46 \text{ min}^{-1}$

Errechnung der Tritiumaktivität der Probe:

$$A = \frac{(277,0 - 21,3) \cdot 100}{32,5 \cdot 2220} \pm \frac{4,46 \cdot 100}{32,5 \cdot 2220} = (0,354 \pm 0,006) \text{ nCi}$$

(Die Streuung des Nulleffekts ist hierbei nicht berücksichtigt)

Das Ergebnis wird angegeben als

$$C_A = (0,354 \pm 0,006) \text{ } \mu\text{Ci/l Urin}$$



4.2. Bestimmungsgrenze des Nachweisverfahrens

Die minimal feststellbare Aktivität (MFA) bei einem Meßverfahren wird durch die Höhe der Nullzählrate, der Meßdauer, der Zählausbeute sowie die gewünschte statistische Sicherheit bestimmt.

Durch Übereinkunft wird entschieden, welche statistischen Verfahren dabei zur Anwendung kommen. Die Grundlagen dazu werden in einer gesonderten Loseblattsammlung des Arbeitskreises zusammengefaßt.

Vorläufig kann die folgende Beziehung herangezogen werden:

$$MFA = \frac{\sqrt{2} \cdot k \cdot \sqrt{\dot{N}_0 \cdot t^{-1}} \cdot 100}{W \cdot V \cdot 2220} \mu\text{Ci/l}$$

k = 2 (für p = 97,5 %)

$\dot{N}_0$  = Untergrundzählrate in  $\text{min}^{-1}$

V = Meßgutvolumen in ml

W = Zählwirkungsgrad in %

t = Meßzeit der Probe = Meßzeit des Nulleffekts in min



5.1. Berechnung der Körperdosis nach einmaliger Zufuhr von HTO

Nach Angaben der ICRP /3/ führt eine einmalige Inkorporation von 30 mCi HTO im Körper für den Standardmenschen mit 43 kg Körperwasser zu einer Gesamtäquivalentdosis von 5 rem. Somit entspricht eine Tritiumkonzentration von 700  $\mu\text{Ci}$  HTO/l Urin am Tage nach der Inkorporation einer Körperdosis von 5 rem.

Zur Berechnung der Körperdosis aus einem Meßergebnis ist mit der biologischen Halbwertszeit von 10 Tagen die zum Zeitpunkt der Inkorporation vorhandene Tritiumkonzentration  $c_A$  zu bestimmen und die Äquivalentkörperdosis nach

$$D_q = c_A \times 7,14$$

zu berechnen, wobei  $c_A$  in  $\mu\text{Ci/l}$  einzusetzen ist. Die Äquivalentkörperdosis  $D_q$  ergibt sich in mrem.





5.2. Berechnung der Körperdosis nach wiederholter Zufuhr

Voraussetzung für eine hinreichend sichere Abschätzung der Körperdosis ist eine lückenlose Inkorporationsüberwachung durch mindestens monatlich durchgeführte Tritiumanalysen im Urin.

Lagen die Ergebnisse dieser Überwachung jeweils unterhalb einer Aktivitätskonzentration von  $2,3 \mu\text{Ci/l}$ , kann nach dem unter 5.2.1. beschriebenen vereinfachten Ermittlungsverfahren gehandelt werden. Lagen mehrere Ergebnisse über diesem Wert, ist eine Dosisberechnung nach 5.2.2. vorzunehmen.

5.2.1. Berechnung der Körperdosis bei geringfügigen Inkorporationen

Lagen die Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung immer unter einem Wert von  $2,3 \mu\text{Ci/l}$ , so ist damit eine unzulässig hohe Zufuhr ausgeschlossen und die Körperdosis  $D_q$  kann vereinfachend aus dem arithmetischen Mittelwert  $\bar{c}_A$  aller Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen berechnet werden:

$$D_q = \bar{c}_A \times 186,2$$

$D_q$  ergibt sich in mrem, wenn  $\bar{c}_A$  in  $\mu\text{Ci/l}$  eingesetzt wird.

5.2.2. Berechnung der Körperdosis bei mehrmaliger Inkorporation

Übersteigen Tritiumkonzentrationen im Urin den Wert von  $2,3 \mu\text{Ci/l}$ , dann werden aus den Analysenwerten Einzeldosen für die Zeiträume zwischen den Probennahmen berechnet und über das Jahr aufsummiert.

Für die Dosis  $D_{\Delta t}$  im Zeitraum  $\Delta t = t_2 - t_1$  zwischen zwei Urinprobennahmen lassen sich zwei Werte  $D_{\Delta t}^{\text{min}}$  und  $D_{\Delta t}^{\text{max}}$  berechnen, je nachdem, ob man von der Tritiumkonzentration  $c_{A1}$  zur Zeit  $t_1$  oder  $c_{A2}$  zur Zeit  $t_2$  ausgeht  
/14/, /15/.

folgt Seite 2/2



5.2. Berechnung der Körperdosis nach wiederholter Zufuhr

Man erhält  $D_{\Delta t}^{\min} = c_{A_1} \cdot \frac{0,51}{\lambda_b} \cdot (1 - e^{-\lambda_b \Delta t})$  (1)

$$D_{\Delta t}^{\max} = c_{A_2} \cdot \frac{0,51}{\lambda_b} \cdot (e^{\lambda_b \Delta t} - 1) \quad (2)$$

In den Gleichungen (1) und (2) sind  $\Delta t$  in Tagen,  $\lambda_b$  in  $(\text{Tagen})^{-1}$  und  $c_A$  in  $\mu\text{Ci/l}$  einzusetzen. Als biologische Halbwertszeit ist  $T_b = 10$  Tage einzusetzen. Die Dosis ergibt sich in mrem.

Als wahrscheinliche Dosis  $D_{\Delta t}^{\text{mittel}}$  wird der Mittelwert  $D_{\Delta t}^{\min}$  und  $D_{\Delta t}^{\max}$  angegeben, wenn  $\Delta t$  nicht größer als 30 Tage ist. Die Jahresdosis ergibt als Summe alle  $D_{\Delta t}^{\text{mittel}}$ .

Die Zahlenwerte der Ausdrücke

$$\frac{0,51}{\lambda_b} \cdot (1 - e^{-\lambda_b \Delta t}) = K_{\Delta t}^{\min} \quad \text{und}$$

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

sind in Abb. 6/2 und 3 für verschiedene Zeitabstände  $\Delta t$  zwischen zwei Messungen und für eine biologische Halbwertszeit von  $T_b = 10$  Tagen tabelliert und in Abb. 6/1 graphisch dargestellt.

Eine Dosisberechnung ist nur bis zu einem Untersuchungsintervall von 30 Tagen sinnvoll, da mit zunehmenden Zeitabständen die Unterschiede zwischen den Minimal- und Maximaldosen und damit auch die Unsicherheiten der Mittelwerts stark zunehmen.



5.3. Beispiel einer Dosisberechnung nach wiederholter Zufuhr

Aus den Analysendaten  $A_1$  bis  $A_4$  sind die zugehörigen Zeiten  $\Delta t_i$  zu ermitteln. Aus der Tabelle (s. Blatt 6, Seite 2) können dann die zugehörigen Werte  $K_{\Delta t_i}^{\min}$  bzw.  $K_{\Delta t_i}^{\max}$  entnommen werden.

Meßwerte:  $A_1 = 4,8 \mu\text{Ci/l}$   
am 25.8.1977

$A_2 = 5,7 \mu\text{Ci/l}$   
am 2.9.1977

$\Delta t_1 = 8 \text{ d} ; K_{\Delta t_1}^{\min} = 3,131 ; K_{\Delta t_1}^{\max} = 5,453$

$A_3 = 3,9 \mu\text{Ci/l}$   
am 15.9.1977

$\Delta t_2 = 13 \text{ d} ; K_{\Delta t_2}^{\min} = 4,370 ; K_{\Delta t_2}^{\max} = 10,759$

$A_4 = 4,0 \mu\text{Ci/l}$   
am 30.9.1977

$\Delta t_3 = 15 \text{ d} ; K_{\Delta t_3}^{\min} = 4,756 ; K_{\Delta t_3}^{\max} = 13,453$

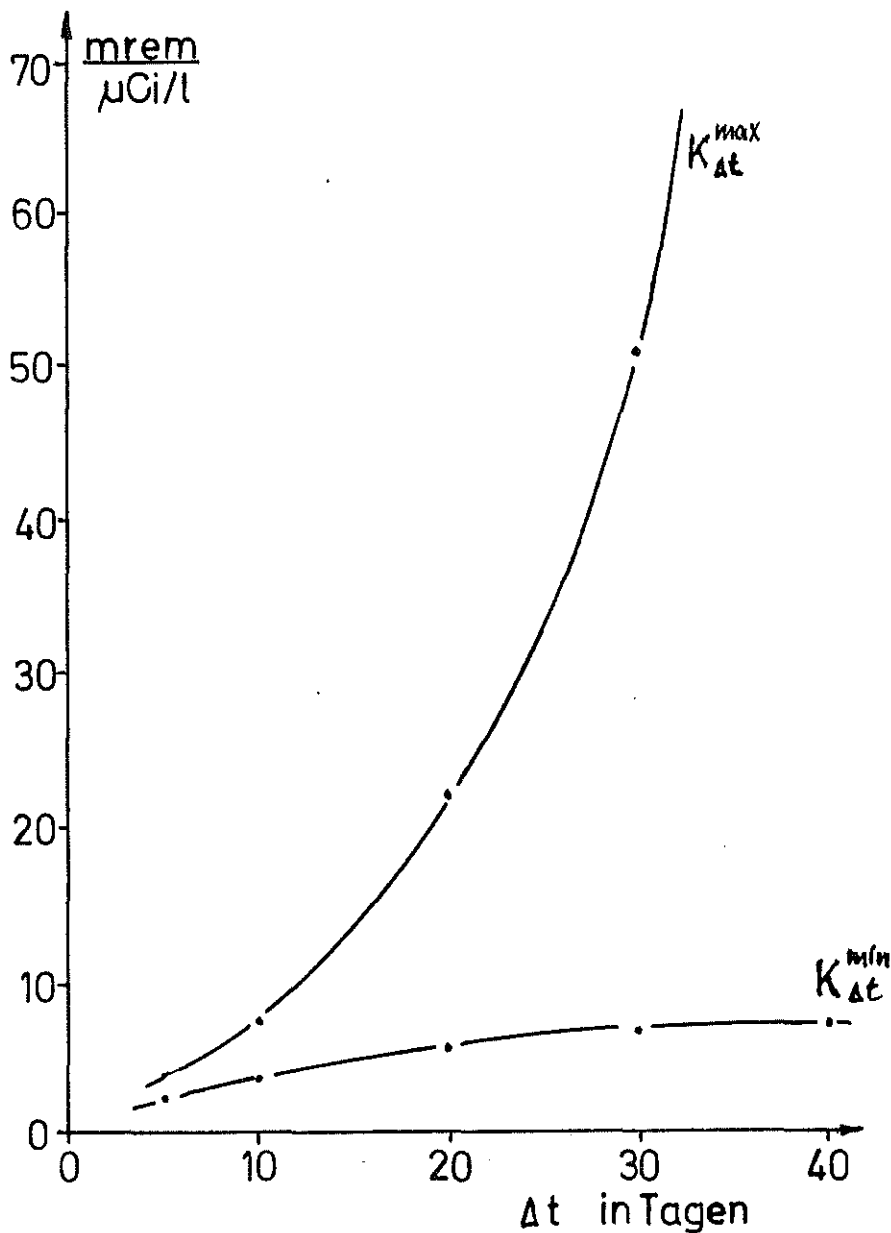
Die Dosis  $D_{\Delta t}^{\text{mittel}}$  in der Zeit  $\Delta t$  vom 25.8.1977 bis 30.9.1977 errechnet sich nach den Angaben in 5.2. zu

$$\begin{aligned} D_{\Delta t}^{\text{mittel}} &= \frac{1}{2} (D_{\Delta t_1}^{\min} + D_{\Delta t_1}^{\max}) + \frac{1}{2} (D_{\Delta t_2}^{\min} + D_{\Delta t_2}^{\max}) + \frac{1}{2} (D_{\Delta t_3}^{\min} + D_{\Delta t_3}^{\max}) \\ &= \frac{1}{2} (A_1 \cdot K_{\Delta t_1}^{\min} + A_2 \cdot K_{\Delta t_1}^{\max}) + \frac{1}{2} (A_2 \cdot K_{\Delta t_2}^{\min} + A_3 \cdot K_{\Delta t_2}^{\max}) + \\ &\quad \frac{1}{2} (A_3 \cdot K_{\Delta t_3}^{\min} + A_4 \cdot K_{\Delta t_3}^{\max}) \\ &= 92,7 \text{ mrem} \end{aligned}$$

Für die Ausführung dieser Rechnung kann eine programmierbare Rechenmaschine benutzt werden /16/.



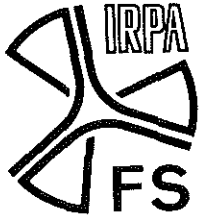
Abhängigkeit der Maximal- und Minimaldosiskonstanten vom  
Zeitabstand der Probenahme





Faktoren  $K_{\Delta t}^{\min}$  und  $K_{\Delta t}^{\max}$  zur Dosisberechnung

$\Delta t$ in Tagen	$K_{\Delta t}^{\min} = \frac{0,51}{\lambda_b} (1 - e^{-\lambda_b \Delta t})$ für $T_b = 10$ Tage	$K_{\Delta t}^{\max} = \frac{0,51}{\lambda_b} (e^{\lambda_b \Delta t} - 1)$ für $T_b = 10$ Tage
1	0,49	0,53
2	0,95	1,09
3	1,38	1,70
4	1,78	2,35
5	2,16	3,05
6	2,50	3,79
7	2,83	4,60
8	3,13	5,45
9	3,42	6,37
10	3,68	7,36
11	3,93	8,41
12	4,16	9,55
13	4,37	10,76
14	4,57	12,06
15	4,76	13,45
16	4,93	14,95
17	5,09	16,55
18	5,25	18,26
19	5,39	20,10
20	5,52	22,07
21	5,64	24,19
22	5,76	26,45
23	5,86	28,88
24	5,96	31,48
25	6,06	34,26
26	6,14	37,25
27	6,23	40,45
28	6,30	43,88
29	6,37	47,56
30	6,44	51,50

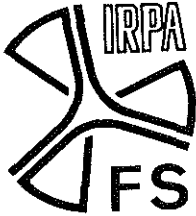


Faktoren  $K_{\Delta t}^{\min}$  und  $K_{\Delta t}^{\max}$  zur Dosisberechnung

$\Delta t$ in Tagen	$K_{\Delta t}^{\min} = \frac{0,51}{\lambda_b} (1 - e^{-\lambda_b \Delta t})$ für $T_b = 10$ Tage	$K_{\Delta t}^{\max} = \frac{0,51}{\lambda_b} (e^{\lambda_b \Delta t} - 1)$ für $T_b = 10$ Tage
31	6,50	55,73
32	6,56	60,26
33	6,61	65,11
34	6,66	70,31
35	6,71	75,88
36	6,75	81,86
37	6,79	88,26
38	6,83	95,12
39	6,87	102,48
40	6,90	110,36
41	6,93	118,81
42	6,96	127,87
43	6,98	137,57
44	7,01	147,97
45	7,03	159,12
46	7,21	171,07
47	7,07	183,88
48	7,09	197,60
49	7,11	212,31
50	7,13	228,08
51	7,14	244,98
52	7,16	263,09
53	7,17	282,50
54	7,18	303,30
55	7,20	325,60
56	7,21	349,50
57	7,22	375,11
58	7,23	402,56
59	7,23	431,98
60	7,24	463,52

Anmerkung:

Wegen der zunehmenden Unterschiede zwischen  $K^{\min}$  und  $K^{\max}$  führt eine Dosisberechnung für Zeiten > 30 Tagen zunehmend zu unsicheren Ergebnissen



- / 1/ W. Seelmann-Eggebert, E. Pfennig, H. Münzel  
Karlsruher Nuklidkarte, Ges.f.Kernforschung,  
Institut für Radiochemie  
4. Aufl., Gersbach u. Sohn Verlag (1974)
- / 2/ D.G. Jacobs  
Sources of Tritium and its Behaviour upon Release to the  
Environment. AEC Critical Review Series  
TID 24635 (1968)
- / 3/ Recommendations of the International Commission on  
Radiological Protection  
Report of Committee IV on Evaluation on Radiation Doses  
from Internal Contamination due to Occupational Exposure  
ICRP Publ. 10, Pergamon Press (1968)
- / 4/ Recommendations of the International Commission on  
Radiological Protection  
The Assessment on Internal Contamination Resulting from  
Recurrent or Prolonged Uptakes  
ICRP Publ. 10A, Pergamon Press (1971)
- / 5/ R.V. Osborne  
Absorption of tritiated water vapor by people  
Health Physics 12 (1966) 1527-1537
- / 6/ H. Brunner  
Survey of available data of tritium  
Seminare sur la protection contre les dangers du tritium  
Le Vesinet, 16.-18.4.1964, 10-15
- / 7/ E.A. Pinson, W.H. Langham  
Physiology and toxicology of Tritium in man  
J.Appl.Physiol. 10 (1957) 108-126
- / 8/ Recommendations of the International Commission on  
Radiological Protection  
Report of the Task Group on Reference Man  
ICRP Publ. 23, Pergamon Press (1975)
- / 9/ W.C. Reinig, S.M. Sanders  
Assessment of Tritium in Man  
DP-MS-66-77 (1968)  
s. auch Monogr.Nucl.Med.Biol. No 2, 534-42 (1968)



- /10/ A.A. Moghissi, M.W. Carter, R. Liebermann  
Long-Term Evaluation of the Biological Half-Life on Tritium  
Health Physics 21 (1971) 57-60
- /11/ G.N. Stradling  
The Design and Implementation of Biological Monitoring  
Programmes for Tritium  
IAEA/SM-150/6 (1971)
- /12/ Recommendations of the International Commission on  
Radiological Protection  
Report of Committee on Permissible Dose for International  
Radiation  
ICRP Publ.2 Pergamon Press (1959)
- /13/ F.D. Sowby  
Report on the 1969 meeting of the Internal Commission on  
Radiological Protection (ICRP)  
Br.J.Radiol. 42 (1969) 558
- /14/ H. Schieferdecker  
in A.A. Moghissi, M.W. Carter: tritium  
Messenger Graphics, Las Vegas 1973  
Surveillance of Tritium Incorporation at the Karlsruhe  
Nuclear Research Center During the Years 1967 to 1970  
p. 737-748  
s. auch KfK-Ext. 23/71-1 (1971)
- /15/ H. Schieferdecker, L.A. König, H. Ritz  
Ergebnisse der Tritium-Inkorporationsüberwachung im KfZ  
Karlsruhe im Jahre 1974  
KfK-Ext. 23/75-1 (1975)
- /16/ H. Schieferdecker  
Ergebnisse der Inkorporationsüberwachung in den Jahren  
1975 bis 1978 im KfZ Karlsruhe  
KfK 2899 B (1979)
- /17/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende  
Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StriSchV) vom  
13. Oktober 1976  
Bundesgesetzblatt Teil 1 (1976) Nr. 125, S. 2905-2995 und  
Bundesgesetzblatt Teil 1 (1977) Nr. 6, S. 184- 195





- /18/ E.A.Evans  
Tritium and its Compounds  
Butterworth (1974)
- /19/ J.R. Johnson  
Estimation, Recording, and Reporting of Whole Body Doses  
from Tritium Oxide Exposure at CRNL  
AECL.5507 (1976)
- /20/ H.A. Johnson  
The Quality Factor for Tritium Radiation  
in A.A. Moghissi, M.W. Carter: tritium  
Messenger Graphics, Las Vegas 1973 (CONF-710809) p. 231-239
- /21/ H. Schieferdecker  
Bestimmung von Radionukliden in biologischem Material  
(T, C-14, Po, U, Pu, Am und Cf)  
KFK 810 (1968)
- /22/ D. Beyer  
Dosisbelastung in Folge von Inhalation und perkutaner  
Absorption von Tritiumgas  
KFA Jülich, Zentralabteilung Strahlenschutz  
Int.Bericht Nr. 260, Nov.1977
- /23/ A. Brodsky  
Experience with intakes of tritium from various processes  
Health Physivs, Vol.33, No.1, July 1977, p.94-97
- /24/ J. Rassow, D. Harder  
Zur Einführung der radiologischen Maßeinheiten Gray und  
Becquerel  
Strahlentherapie 153 (1977), 509-512
- /25/ T.J. Powell  
Hazards analysis of laser fusion targets containing tritium  
IRPA Congress, April 1977, Paris
- /26/ W. Kolb - PTB Braunschweig  
private Mitteilung



- /27/ E. Günther - PTB Braunschweig  
private Mitteilung
- /28/ F.W. Theile, D. Wolf  
Strahlenschutzprobleme beim Bruch einer gasförmigen  
Tritiumquelle in geschlossenen Räumen  
WWD Nr. 35, Mai 1979
- /29/ E. De Ras, J.P. Vaane, W. van Suetendael  
5. Int. Congress IRPA  
March 9.-14., 1980 Jerusalem (Israel)
- /30/ L.W. Wetterau, R.J. Huebotter  
Rapid Urine assay for tritium  
Health Physics 19 (1970) 449
- /31/ Gesetz über Einheiten im Meßwesen vom 2. Juli 1969  
Bundesgesetzblatt Teil 1, ausgegeben 5.7.1969, Nr. 55, S. 709  
Ausführungsverordnung vom 26.6.1970 (Bundesgesetzblatt vom  
30.6.1970, Nr. 62, S. 981-91) zum Gesetz über Einheiten  
im Meßwesen
- /32/ Zweite Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung  
zum Gesetz über Einheit im Meßwesen vom 12.12.1977  
Bundesgesetzblatt Nr. 83 vom 15.12.1977, S. 2537
- /33/ Loseblattsammlung AKI  
Biokinetisches Verhalten von Radionukliden bei Inkorporationen  
FS-80-22-AKI  
Fachverband für Strahlenschutz in Vorbereitung
- /34/ E.C. Anderson, W. Langham  
A theoretical consideration of the hazards associated with  
acute exposure to high concentrations of tritium gas  
LA-1646 (1954)
- /35/ ICRP-Publ. 30  
Annals of the ICRP, Vol.2, No. 3/4, 1979  
Pergamon Press



- /36/ C.T. Peng  
Sample Preparation in Liquid Szintillation Counting  
Review 17 Amersham Buchler (Sept. 1977)
- /37/ S.G. Homann, T.R. Crites  
Workplaces for Handling of Tritium-Containing Microspheres  
memo to T.J. Powell  
(Zit. in Health Physics 38(80)232-234)
- /38/ H. Schieferdecker  
Meßtechniken bei der Inkorporationsüberwachung auf Tritium  
und Kohlenstoff-14  
und  
Strahlenexposition durch Tritium und Kohlenstoff-14 im Kern-  
forschungszentrum Karlsruhe  
KfK 2905 B (Nov.1979)

Der vorliegende Teil der Loseblattsammlung ist mit dem Ziel entstanden, bewährte und praktizierte Arbeitsverfahren einem größeren Interessenkreis zugänglich zu machen. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Kenntnisse auf diesem Gebiet auf dem neuesten Stand zu halten.

Änderungswünsche und Verbesserungsvorschläge sind an den Sekretär des Arbeitskreises "Inkorporationsüberwachung", Dr. H. Schieferdecker, Med.Abt./Tox.Labor, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Postfach 3640, 7500 Karlsruhe, zu richten.