



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

**Loseblattsammlung
Arbeitskreis
Inkorporationsüberwachung (AKI)**

**Inkorporationsüberwachung
auf Uran**

**FS-80-23-AKI
September 1980**

Als Manuskript gedruckt

FS-Berichte aus der Schriftenreihe des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.

Zu beziehen durch das Sekretariat:

H. Brunner, Abt. SU, EIR, CH-5303 Würenlingen



Inhaltsverzeichnis

		Blatt	Seite
1.	Begriffsabgrenzung		
1.1	Natururan	1	1/1 - 1/4
1.2	Angereichertes Uran	1	2/1 - 2/3
2.	Stoffwechselverhalten		
2.1	Klassifikation der Uranverbindungen	2	1/1 - 1/2
2.2	Toxizität des Urans	2	2
2.3	Inkorporation	2	3
2.4	Ausscheidung	2	4
3.	Grenzwerte für Uraninkorporation		
3.1	Strahlenschutzverordnung	3	1/1 - 1/2
4.	Überwachungsmethoden		
4.1	Prinzipien	4	1
4.2	Luftüberwachung	4	2
4.3	Urinanalyse	4	3
4.4	Faecesanalyse	4	4
4.5	In-VIVO-Messung	4	5
5.	Überwachungsprogramme		
5.1	Prinzipien	5	1/1 - 1/3
5.2	Routinemeßprogramme	5	2/1 - 2/2
5.3	Sondermeßprogramme	5	3/1 - 3/2

folgt Seite 0/2



Inhaltsverzeichnis

		Blatt	Seite
6.	Analysenverfahren		
6.1	Fluorimetrischer Nachweis im Urin	6	1/1 - 1/5
6.2	Bestimmung des Urans durch α -Aktivitätsmessung	6	2/1 - 2/2
7.	In-vivo-Messung		
7.1	Meßmethode	7	1
7.2	Instrumentierung und Meßanordnung	7	2/1 - 2/2
7.3	Kalibrierung	7	3
7.4	Nachweisgrenzen	7	4/1 - 4/2
8.	Interpretation der Ergebnisse	8	1
9.	Literatur	9	1/1 - 1/4



1.1 Natururan

Als "Natururan" bezeichnet man das in der Natur vorkommende Gemisch der Nuklide U 238, U 235 und U 234. U 238 und U 235 sind Ausgangsnuklide von radioaktiven Zerfallsreihen (s. Seite 1/3 u. 1/4). U 234 ist ein Tochternuklid des U 238.

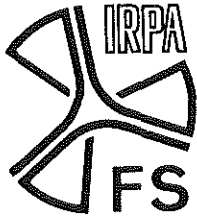
Tabelle: Spezielle Daten zum Natururan

Nuklid	phys. Halbwertszeit /1/ (Tage)	Häufigkeit /1/ (Gew. %)	spez. α -Aktivität (Bq/g Gemisch)
U 234	$9,02 \times 10^7$	0,0056	$1,23 \times 10^4$
U 235	$2,59 \times 10^{11}$	0,7114	$5,74 \times 10^2/17/$
U 238	$1,65 \times 10^{12}$	99,2830	$1,23 \times 10^4$
Gesamt			$2,51 \times 10^4$ Bq/g (= 0,678 μ Ci/g)

Anmerkungen

Die Zahlenangaben zur Häufigkeit und zur spezifischen Aktivität gelten nur, wenn die Nuklide im ungestörten natürlichen Gleichgewicht vorliegen. Da dies bei dem im Handel befindlichen U-nat nicht sicherzustellen ist, sind Abweichungen möglich /2/, die ggf. α - oder massenspektrometrisch nachzuweisen sind.

folgt Seite 1/2



Inkorporationsüberwachung auf Uran

1. Begriffsabgrenzung

Uran
Blatt 1
Seite 1/2

1.1 Natururan

Die Aktivitätseinheit ist nach dem SI-Einheitensystem das Becquerel (Bq).

1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde (1/s)

In der Literatur, z.B. /3/, /4/, /5/, /6/, /13/, ist von der ICRP für Natururan ein "spezielles Curie" definiert worden, das als Summe von:

- 3,7 . 10^{10} Bq von U-238 (1 Ci)
- 3,7 . 10^{10} Bq von U-234 (1 Ci)
- 0,17 . 10^{10} Bq von U-235 (0,05 Ci)

verstanden wird.

In dieser Einheit beträgt die spezifische Aktivität des Natururans 0,332 "spezielle μCi "/g.

folgt Seite 1/3



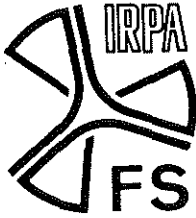
1.1 Natururan

Tabelle
Blatt 1 Seite 1/3: Zerfallsschema der U-238 Serie, aus /1/

Nuklid	Hist. Name	Halbw. zeit	Hauptenergien der Strahlung (MeV) *		
			α	β	γ
$^{238}_{92}\text{U}$	Uranium I	$4.51 \times 10^9 \text{ a}$	4.15 (25%) 4.20 (75%)	---	---
$^{234}_{90}\text{Th}$	Uranium X ₁	24.1d	---	0.103 (21%) 0.193 (79%)	0.063e** (3.5%) 0.093e (4%)
$^{234}_{91}\text{Pa}^m$	Uranium X ₂	1.17a	---	2.29 (98%)	0.765 (0.30%) 1.001 (0.60%)
$^{234}_{91}\text{Pa}$	Uranium Z	6.75h	---	0.53 (66%) 1.13 (13%)	0.100 (50%) 0.70 (24%) 0.90 (70%)
$^{234}_{92}\text{U}$	Uranium II	$2.47 \times 10^5 \text{ a}$	4.72 (28%) 4.77 (72%)	---	0.053 (0.2%)
$^{230}_{90}\text{Th}$	Ionium	$8.0 \times 10^4 \text{ a}$	4.62 (24%) 4.68 (76%)	---	0.068 (0.6%) 0.142 (0.07%)
$^{226}_{88}\text{Ra}$	Radium	1602a	4.60 (6%) 4.78 (95%)	---	0.186 (4%)
$^{222}_{86}\text{Rn}$	Emanation Radon (Rn)	3.823d	5.49 (100%)	---	0.510 (0.07%)
$^{218}_{84}\text{Po}$	Radium A	3.05m	6.00 (~100%)	0.33 (~0.019%)	---
$^{214}_{82}\text{Pb}$	Radium B	26.8m	---	0.65 (50%) 0.71 (40%) 0.98 (6%)	0.295 (19%) 0.352 (36%)
$^{218}_{85}\text{At}$	Astatine	~2s	6.65 (6%) 6.70 (94%)	? (~0.1%)	---
$^{214}_{83}\text{Bi}$	Radium C	19.7m	5.45 (0.012%) 5.51 (0.008%)	1.0 (23%) 1.51 (40%) 3.26 (19%)	0.609 (47%) 1.120 (17%) 1.764 (17%)
$^{214}_{84}\text{Po}$	Radium C'	164 μ s	7.69 (100%)	---	0.799 (0.014%)
$^{210}_{81}\text{Tl}$	Radium C''	1.3m	---	1.3 (25%) 1.9 (56%) 2.3 (19%)	0.296 (80%) 0.795 (100%) 1.31 (21%)
$^{210}_{82}\text{Pb}$	Radium D	21a	3.72 (.000002%)	0.016 (85%) 0.061 (15%)	0.047 (4%)
$^{210}_{83}\text{Bi}$	Radium E	5.01d	4.65 (.00007%) 4.69 (.00005%)	1.161 (~100%)	---
$^{210}_{84}\text{Po}$	Radium F	138.4d	5.305 (100%)	---	0.803 (0.0011%)
$^{206}_{81}\text{Tl}$	Radium E''	4.19a	---	1.574 (100%)	---
$^{206}_{82}\text{Pb}$	Radium G	Stabil	---	---	---

* Die in Klammern angegebenen Intensitäten sind auf das jeweilige Nuklid selbst bezogen
** Komplexer Peak

folgt Seite 1/4



Inkorporationsüberwachung auf Uran

1. Begriffsabgrenzung

Uran

Blatt 1

Seite 1/4

1.1 Natururan

Tabelle Blatt 1 Seite 1/4: Zerfallsschema der U-235-Serie, aus /1/

Nuklid	Hist. Name	Halbw. zeit	Hauptenergien der Strahlung (MeV) *		
			α	β	γ
$^{235}_{92}\text{U}$	Actinouranium	$7.1 \times 10^8 \text{a}$	4.37 (18%) 4.40 (57%) 4.58c ** (8%)	---	0.143 (11%) 0.185 (54%) 0.204 (5%)
$^{231}_{90}\text{Th}$	Uranium Y	25.5h	---	0.140 (45%) 0.270 (15%) 0.305 (40%)	0.026 (2%) 0.084c (10%)
$^{231}_{91}\text{Pa}$	Protoactinium	$3.25 \times 10^4 \text{a}$	4.95 (22%) 5.01 (24%) 5.02 (23%)	---	0.027 (6%) 0.27c (6%)
$^{227}_{89}\text{Ac}$	Actinium	21.6a	4.86c (0.18%) 4.95c (1.2%)	0.043 (~99%)	0.070 (0.08%)
$^{227}_{90}\text{Th}$	Radioactinium	18.2d	5.76 (21%) 5.98 (24%) 6.04 (23%)	---	0.050 (8%) 0.237c (15%) 0.31c (8%)
$^{223}_{87}\text{Fr}$	Actinium K	22m	5.44 (~0.005%)	1.15 (~100%)	0.050 (40%) 0.080 (13%) 0.234 (4%)
$^{223}_{88}\text{Ra}$	Actinium X	11.43d	5.61 (26%) 5.71 (54%) 5.75 (7%)	---	0.149c (10%) 0.270 (10%) 0.33c (6%)
$^{219}_{86}\text{Rn}$	Emanation Actinon (An)	4.0s	6.42 (8%) 6.55 (11%) 6.82 (81%)	---	0.272 (7%) 0.401 (5%)
$^{215}_{84}\text{Po}$	Actinium A	1.78ms	7.38 (~100%)	0.74 (~0.0023%)	---
$^{211}_{82}\text{Pb}$	Actinium B	36.1m	---	0.29 (1.4%) 0.56 (9.4%) 1.39 (87.5%)	0.405 (3.4%) 0.427 (1.8%) 0.832 (3.4%)
$^{215}_{85}\text{At}$	Astatin	~0.1ms	8.01 (~100%)	---	---
$^{211}_{83}\text{Bi}$	Actinium C	2.15m	6.28 (16%) 6.62 (84%)	0.60 (0.28%)	0.351 (14%)
$^{211}_{84}\text{Po}$	Actinium C'	0.52s	7.45 (99%)	---	0.570 (0.5%) 0.30 (0.5%)
$^{207}_{81}\text{Tl}$	Actinium C''	4.79m	---	1.44 (99.8%)	0.897 (0.16%)
$^{207}_{82}\text{Pb}$	Actinium D	Stabil	---	---	---

* Die in Klammern angegebenen Intensitäten sind auf das jeweilige Nuklid selbst bezogen

** Komplexer Peak



Inkorporationsüberwachung auf Uran

1. Begriffsabgrenzung

Uran

Blatt 1

Seite 2/1

1.2 Angereichertes Uran

Zur Verwendung als Kernbrennstoff wird aus Natururan häufig mit U 235 angereichertes Uran hergestellt. Bei diesem Prozeß reichert sich ungefähr im gleichen Gewichtsverhältnis wie U 235 auch U 234 an. Daneben enthält angereichertes Uran möglicherweise geringe Mengen des künstlichen Uranisotops U 236 ($T_{1/2} = 8,7 \times 10^9$ Tage, α -Energie: 4,44 4,49 MeV). Da U 234, verglichen mit den Nukliden U 238, U 236 und U 235, eine kurze Halbwertszeit hat, steigt mit dem Anreicherungsgrad die spezifische Aktivität des Urans und wird dabei in zunehmendem Maß von diesem Nuklid bestimmt

Die spezifische α -Aktivität von angereichertem Uran in Abhängigkeit vom U-235-Anreicherungsgrad ist in Tabelle Blatt 1 Seite 2/2 und Abbildung 2/3 dargestellt. Die darin gegebenen Daten sind nach Angaben der zitierten Literatur einer großen Anzahl von Untersuchungen entnommen. Sie sind aber doch nur als typische Daten zu betrachten, da bei gegebenem U 235-Gehalt die U 234- und U 236-Gehalte je nach dem Anreicherungsprozeß schwanken können. Erfahrungsgemäß sind aber die der Abbildung zu entnehmenden Werte für Strahlenschutz-zwecke ausreichend.

Uran aus Wiederaufarbeitungsanlagen muß hinsichtlich seiner Isotopenzusammensetzung jeweils gesondert untersucht werden. Besonders ist der mögliche Gehalt an U-232 zu bestimmen.

Bei Uran, das von den Nukliden der Zerfallsreihen abgetrennt wurde, wachsen, wie die Tabellen Blatt 1 Seite 1/3 und 1/4 zeigen, die Tochternuklide ab Pa 231 bzw. Th 230 nur sehr langsam nach.

folgt Seite 2/2



1.2 Angereichertes Uran

Darum enthält beispielsweise nuklearreines Uran, bei dem dieser Abtrennprozeß sehr sorgfältig durchgeführt wird, diese Nuklide in nicht mehr meßbaren Mengen.

Tabelle Blatt 1 Seite 2/2:

α -Aktivität von Uran verschiedener Anreicherung /16/

Aktivität pro g Uran	Anreicherung in Gew. % U-235					
	2	6,5	20	45	80	93
Summe (μ Ci/g)	1,42	2,95	8,17	15,46	34,05	44,06
	kBq/g	52,6	109,3	301,9	573,4	1256
U-234 (μ Ci/g)	1,04	2,46	7,38	14,1	32,0	41,8
	kBq/g	38,5	91,0	273	523	1180
U-235 (μ Ci/g)	0,04	0,14	0,44	0,99	1,8	2,05
	kBq/g	1,6	5,3	16	36,6	67
U-236 (μ Ci/g)	0,007	0,04	0,08	0,19	0,19	0,19
	kBq/g	0,3	1,4	3	7	7
U-238 (μ Ci/g)	0,33	0,31	0,27	0,18	0,06	0,02
	kBq/g	12,2	11,6	9,9	6,8	2

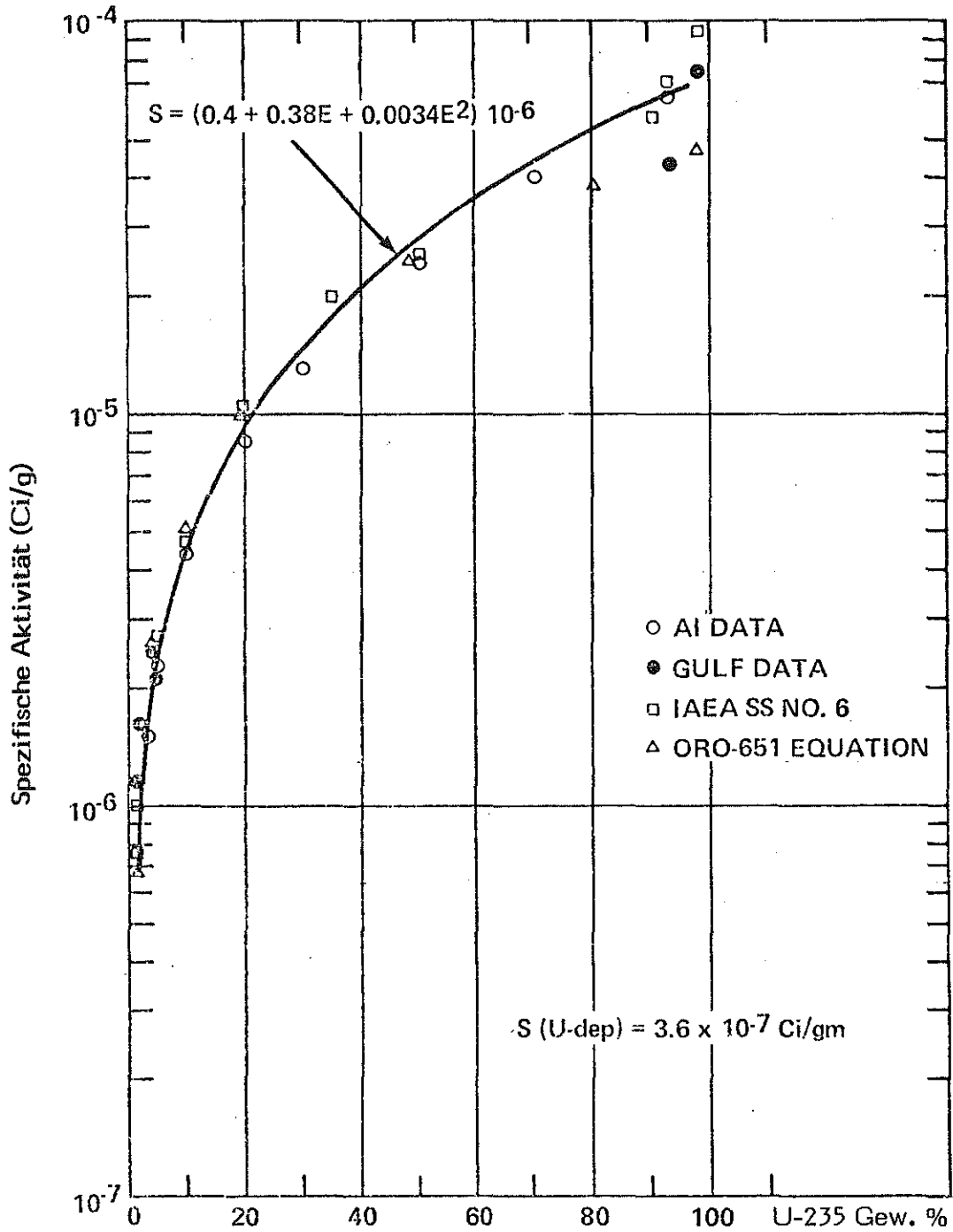
folgt Seite 2/3



Tabelle Blatt 1 Seite 2/3:

α -Aktivität von Uran

verschiedener Anreicherungen /14/





2.1 Klassifikation der Uranverbindungen

Die Uranverbindungen lassen sich nach /7/, /14/ gemäß ihrer Transportierbarkeit aus den Atemwegen in die Körperflüssigkeiten wie folgt einordnen (s. Loseblatt AKI Biokinetik)

Klassifikation einiger Uranverbindungen

Transportierbare Uranverbindungen (Klasse D)

Uranhexafluorid	UF_6
Uranylнитrat	$UO_2(NO_3)_2$
Uranylacetat	$UO_2(C_2H_3O_2)_2$
Uranylchlorid	UO_2Cl_2
Uranylfluorid	UO_2F_2
Uranylsulfat	UO_2SO_4
Urantrioxid	UO_3

Mäßig transportierbare Verbindungen (Klasse W)

Urantetrafluorid	UF_4	
Uranoxid	U_3O_8	
Urandioxid	UO_2	(bei Dauerbelastung Klasse Y)
Urantetraoxid	UO_4	
Ammoniumdiuranat	$U_2O_7(NH_4)_2$	(bei Dauerbelastung Klasse Y)
Ammon.-uranyl-carbonat	$(UO_2(CO_3)_3)(NH_4)_4$	

folgt Seite 1/2



2.1 Klassifikation der Uranverbindungen

Schwer transportierbare Uranverbindungen (Klasse Y)

Uranaluminid	UAl_x
Urancarbid	UC_2
Uran-Zirkon-Legierung	UZr
Urandioxid (hocherhitzt)	UO_2

UC_2 hydrolysiert leicht, daher ist eine Einstufung in eine andere Klasse denkbar /16/.



2.2 Toxizität des Urans

Die Beurteilung einer Uran-Inkorporation hinsichtlich ihrer Toxizität hängt von der physiologischen Transportabilität und der Anreicherung der inkorporierten Verbindung sowie vom Inkorporationspfad ab.

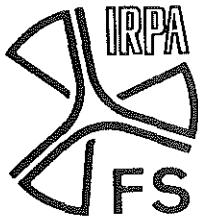
Bei Inhalation von schwer transportierbarem Uran ist wegen der langen Verweilzeit in der Lunge diese das primär betroffene Organ.

Metabolisiertes Uran kann in zweifacher Hinsicht Schädigungen bewirken:

- als Schwermetall wirkt es, mit der Niere als kritischem Organ, chemisch toxisch,
- als radioaktiver Stoff emittiert es ionisierende Strahlen, wodurch Schädigungen von Zellen und Gewebe hervorgerufen werden (Radiotoxizität). Hierbei sind die Knochen das kritische Organ.

Art der Schädigung und Ausmaß hängen von der Anreicherung und damit von der spezifischen Aktivität des Urans ab.

Als nierentoxische Grenze wird nach /11/ ein Wert von $3 \mu\text{g U/g}$ Niere angegeben, das entspricht ca. einer Gesamtmenge von 0,9 mg für beide Nieren des Erwachsenen. Die Grenzwerte für die Strahlenexposition sind in Blatt 3 angegeben.



2.3 Inkorporation

In der Literatur sind für den Bruchteil des Urans, der während der Magen-Darm-Passage in die Körperflüssigkeiten übergeht, recht unterschiedliche Werte angegeben. Während in /4/ für alle Klassen ein Bruchteil von 0,01 empfohlen wird, werden an anderer Stelle /9/, /15/ allein für transportierbare Verbindungen Werte zwischen 0,005 und 0,2 angegeben. In /9/ wird berichtet, daß für Klasse W- bzw. Y-Verbindungen Empfehlungen für Werte von 0,05 bzw. 0,002 bestehen.

Die in der Lunge abgelagerten Uranverbindungen werden entsprechend ihrer Transportierbarkeit mit den Körperflüssigkeiten in andere Organe umgelagert. Dies trifft besonders für Klasse D Verbindungen zu, daher sind hier die Knochen bzw. Niere das kritische Organ.

Bei Inhalation von Klasse W- und Klasse Y-Verbindungen ist unabhängig vom Anreicherungsgrad wegen der großen Verweilzeit des Urans aus radiologisch toxischen Gründen die Lunge das primär betroffene Organ.



2.4 Ausscheidung

Transportierbare Uran-Verbindungen werden vorzugsweise mit dem Urin ausgeschieden, die Faecesausscheidung ist vernachlässigbar klein /5/. Während der ersten 24 h nach einer einmaligen Belastung mit löslichem Uran werden ca. 80 % /5/ des metabolisierten Urans mit dem Urin ausgeschieden. Die spätere Ausscheidung erfolgt nach der Potenzfunktion

$$Y_{(t)} = 0,1 \times t^{-1,5} \text{ (für } t > 1 \text{ Tag) /5/, /13/}$$

wobei t die Zeit nach der Aufnahme in die Körperflüssigkeit in Tagen

und $Y_{(t)}$ der Bruchteil, der am Tag t mit dem Urin ausgeschieden wird.

Hierbei ist anzunehmen, daß das an die Knochen abgelagerte Uran zunächst keinen Beitrag liefert. Zur Beschreibung der Knochen clearance allein wird eine biologische Halbwertszeit von 300 Tagen angegeben /3/, /4/. In der "Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle" /20/ wird eine biologische Halbwertszeit von 15 Tagen angegeben, die aber nur für die Nieren clearance gilt /3/.

Die Ausscheidung im Stuhl nach Inhalation von schwer transportablen Uranverbindungen wird durch die Ausscheidungsfunktionen beschrieben, die im Blatt AKI Biokinetik graphisch dargestellt sind. Die chemische Verbindung und die physikalische Form der Aerosole geht dabei ein. Demnach wird in den ersten 3 - 4 Tagen der Hauptanteil der inhalierten Menge im Stuhl ausgeschieden.



3.1 Strahlenschutzverordnung /12/

Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr sind in Anlage IV, Tabelle IV 1 der StrlSchV /12/, die Grenzwerte der Körperdosen sind in der Anlage X der StrlSchV angegeben. Die Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr gelten für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A, wenn sie mit dem Faktor $\frac{500}{3}$ multipliziert werden. Die Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr über Wasser und Nahrung (Ingestion) haben für beruflich strahlenexponierte Personen nur untergeordnete Bedeutung, da als Hauptaufnahmeart die Inhalation zu betrachten ist.

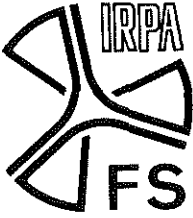
Tabelle Blatt 3 Seite 1/1

Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr /12/ über Luft
Inhalation

	Bq	Ci
U-230	$10,3 \times 10^3$	$2,8 \times 10^{-7}$
U-232	$2,5 \times 10^3$	$6,8 \times 10^{-8}$
U-233	$11,2 \times 10^3$	$3,0 \times 10^{-7}$
U-234	$11,2 \times 10^3$	$3,0 \times 10^{-7}$
U-235	$11,8 \times 10^3$	$3,2 \times 10^{-7}$
U-236	$11,5 \times 10^3$	$3,2 \times 10^{-7}$
U-238	$6,7 \times 10^3$	$1,8 \times 10^{-7}$
U-240/Np-240	16333×10^3	$4,3 \times 10^{-4}$
U-nat	$(5,5 \times 10^3)$	$(1,5 \times 10^{-7})$ *)

*) Die Zahlenangabe erfolgte unter der Berücksichtigung des "speziellen Curies" s. Blatt 1. Die Aktivität entspricht 446 mg nat. U.

folgt Seite 1/2



Inkorporationsüberwachung auf Uran

3. Grenzwerte für Uraninkorporation

Uran

Blatt 3

Seite 1/2

3.1 Strahlenschutzverordnung

In Anbetracht der chemischen Toxizität löslichen Urans darf die Inhalation 2,5 mg/Tag nicht überschreiten, unabhängig von der Nuklidzusammensetzung /12/.

Es ist zu beachten, daß bei mehrmaliger Tageszufuhr die Grenzwerte der Jahreszufuhr nicht überschritten werden.

In der Praxis treten Nuklidgemische auf, bei denen im Falle von angereichertem Uran die Aktivität von Uran-234 überwiegt.

Die Angaben der StrlSchV sind für die Durchführung des Strahlenschutzes in der Praxis nicht ausreichend, da die folgenden Parameter nicht berücksichtigt wurden:

- chemische Verbindung (z.B. Transportabilitätsklasse)
- Aerosoleigenschaften (z.B. Korngröße)
- Art der Belastung (z.B. einmalige- oder Daueraufnahme)

In der Praxis müssen die oben genannten Werte unter Berücksichtigung dieser Parameter modifiziert werden.

Bei der Durchführung der Strahlenschutzüberwachung hat es sich als zweckmäßig erwiesen, abgeleitete Grenzwerte zu verwenden, die im Blatt 5 für verschiedene Überwachungsmethoden aufgeführt sind.



4.1 Prinzipien

Nach der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle ist die Überwachung in der Regel durch direkte Messung der Körperaktivität oder die Aktivität der Ausscheidungen durchzuführen. In besonderen Fällen kann sie danach auch indirekt durch Messung der Luftaktivität erfolgen.

Die wahrscheinlichste Art der Inkorporation von Uran ist die Inhalation von Aerosolen, auf die die folgenden Ausführungen beschränkt sind. Diese wird einerseits indirekt durch Messung der Luftaktivität, andererseits zusätzlich auch durch eine personenbezogene Überwachung kontrolliert.

Die personenbezogene Überwachung erfolgt durch die Bestimmung der Uranmenge im Urin, Stuhl oder im Körper der exponierten Personen sowie gegebenenfalls in der Atemluft.

Personenbezogene Überwachungen werden durchgeführt um festzustellen

- ob vor Beginn oder nach Abschluß der Tätigkeit ein Urandepot vorhanden ist
- ob während der Tätigkeit Aktivitätszufuhren erfolgten,
- in welcher Höhe die Aktivität zugeführt wurde,
- wie hoch die durch Inkorporation bewirkte Körperdosis ist.



4.2 Luftüberwachung

Das Verfahren beruht darauf, daß man die zu untersuchende Luft über ein Filter saugt /18/. Dabei werden die Aerosole abgeschieden. Die gesammelte Aktivität wird mit einem α -Zähler gemessen. Aus der Saugzeit, der Sauggeschwindigkeit der Zählrate und der Detektornachweiswahrscheinlichkeit kann die Konzentration der Aktivität in der Luft errechnet werden. Das Verfahren zeichnet sich durch große Schnelligkeit und gute Nachweisempfindlichkeit aus.

Die Probenahme sollte bei Routinemessungen immer an dem selben Ort in der Nähe eines Arbeitsplatzes, oder, wenn eine konstante Luftführung vorhanden ist, im Hauptluftstrom erfolgen. Bei größeren Arbeitsräumen sollen an mehreren Stellen Proben genommen werden. Um alle Arbeitsphasen zu erfassen, muß während eines ganzen Arbeitstages gesammelt werden. Die durch das Filter gesaugte Luftmenge sollte mindestens 10 m^3 - das entspricht in etwa der arbeitstäglichen Atemrate - betragen. Bei tragbaren Personenstaubsammlern liegt die angesaugte Luftmenge in der Größenordnung von einigen l/min. Die Reproduzierbarkeit der Probenahme ist dadurch entsprechend schlecht.



4.3 Urinanalyse

Die Art der Probenahme hängt wesentlich davon ab, ob die inkorporierte Uranverbindung leicht oder schwer transportierbar ist.

Falls eine Inkorporation einer transportablen Uranverbindung sofort erkannt wird, sollte umgehend die Blase geleert werden. Jeder einzelne in den folgenden 24 h gelassene Urin wird getrennt gesammelt und analysiert, um den zeitlichen Verlauf der Ausscheidung zu ermitteln und damit die Menge der transportierbaren Verbindung gegenüber dem mäßig und schwer transportierbaren Anteil abzugrenzen. Die Messung des 24 h Urins ist ebenfalls anwendbar, sie ist allerdings weniger aussagekräftig.

Wird bekannt, daß es sich um mäßig oder schwer transportierbare Verbindungen handelt, müssen auch nach 24 h noch Urinproben genommen und analysiert werden.



Inkorporationsüberwachung auf Uran
4. Überwachungsmethoden

Uran
Blatt 4
Seite 4

4.4 Faecesanalyse

Die Faecesanalyse wird im allgemeinen nicht routinemäßig eingesetzt. Sie kann nach Expositionen mit mäßig und schwer transportierbaren Uranverbindungen durchgeführt werden.

Anzustreben ist, daß die innerhalb der ersten 3 - 4 Tage nach einer Inkorporation insgesamt ausgeschiedene Stuhlmenge analysiert wird, da nur dann der hohe Informationsgehalt der Methode gewährleistet ist.



4.5 In-vivo-Messung

Die In-vivo-Lungen-Messung (s. Blatt 7) wird zur Überwachung hauptsächlich beim Vorliegen von schwer transportierbaren Verbindungen eingesetzt. Außerdem kann der Auf- oder Abbau der Lungenbelastung bei Uranverbindungen der Klassen W und Y verfolgt werden.

Die In-vivo-Messung empfiehlt sich als Sofortmaßnahme nach Zwischenfällen mit Uranverbindungen aller Klassen.

Sie bietet folgende Vorteile:

- die inkorporierte U-Menge kann unmittelbar aus den Messwerten bestimmt werden
- die Ergebnisse stehen sofort nach der Messung zur Verfügung.

Bei Anwendung des Verfahrens muß dafür gesorgt werden, daß der Oberkörper der zu messenden Person kontaminationsfrei ist.

Mit der in Blatt 7 beschriebenen Methode kann bei einer Überwachungsfrequenz von 3 Messungen pro Jahr, jede Überschreitung von 50 % der Jahresaktivitätszufuhr (s. Tabelle Blatt 3 Seite 1/1) bei Uranverbindungen der Klassen W und Y nachgewiesen werden. Wenn man davon ausgeht, daß die unbemerkte Aufnahme dieser U-Menge nur in mehreren Schritten erfolgen kann, genügt eine Meßfrequenz von 2 Messungen pro Jahr.



5.1 Prinzipien

Nach der Richtlinie zur physikalischen Strahlenschutzkontrolle soll gewährleistet sein, daß eine Inkorporation zu Beginn der Überwachungsperiode oberhalb $1/20$ der Grenzwerte der Jahresaktivitätszufuhr (§ 52 StrlSchV) auch an deren Ende noch erkannt wird. Aus dieser Forderung resultiert für transportierbare Verbindungen ein Überwachungsintervall von 3 Tagen wenn man die Angaben aus /5/, /13/ und die Nachweisgrenze von $1 \mu\text{g}$ im Liter Urin zugrundelegt.

Aus diesem Grunde werden im folgenden grundsätzliche Betrachtungen über die verschiedenen Arten von praxisgerechten Überwachungsprogrammen angestellt. Spezielle Überwachungsprogramme müssen in jedem Fall neu erarbeitet werden, da sie von der Art der Anlage, der Uranverbindung und ihrer Vorbehandlung, dem Anreicherungsgrad sowie vom Arbeitsvorgang abhängen.

Man unterscheidet folgende Arten von Überwachungsprogrammen:

- Personenbezogene Ein- und Ausgangsuntersuchung
Grundsätzlich sollte vor Beginn und Ende eines Arbeitsverhältnisses eine personenbezogene Überwachung durchgeführt werden. Dazu sind alle im Blatt 4 aufgeführten Methoden geeignet. Eine Entscheidung, welche Überwachungsmethoden herangezogen werden hängt von der Vorgeschichte ab. Ist die Vorgeschichte nicht bekannt, sollte eine Urinanalyse als empfindlichste Meßmethode durchgeführt werden. Bei positivem Befund sind weitere Untersuchungen zu veranlassen.

folgt Seite 1/2



5.1 Prinzipien

- Routinemeßprogramm zur regelmäßigen Inkorporationsüberwachung
Das Meßprogramm umfaßt die Messung der Aerosolaktivität der Raumluft und Personenbezogene Überwachungen.
- Sondermeßprogramme für Inkorporationsüberwachung aus besonderem Anlass ¹⁾
Sie unterscheiden sich von den Routineprogrammen lediglich durch größere Intensität

Zur besseren Übersicht ist in Tabelle Blatt 5 Seite 1/3 zusammengestellt, unter welchen Bedingungen der Einsatz einer bestimmten Überwachungsmethode in einem Programm sinnvoll ist.

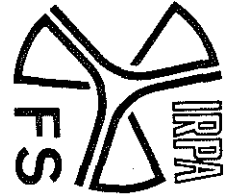
1) Da eine UF_6 -Freisetzung wegen der entstehenden Flußsäure besondere Maßnahmen erfordert, wird ein Sonderprogramm beschrieben, das nach Eintritt eines solchen Vorfalls anwendbar ist.

folgt Seite 1/3

Tabelle 1/3: Überwachungsprogramme und mögliche Meßmethoden (Übersicht)

Programm	Aufgabe des Programms	Klasse	Meßmethode	Frequenz
Routineprogramm	Luftüberwachung	D, W, Y	Aerosolaktivität	mind. monatliche Probenahme
	Prüfung des Luftüberwachungsprogramms	D	Urinanalyse	ohne Luftüberwachung mind. monatlich, sonst mind. halbjährlich, als Stichprobe und Überwachung der Knochenbelastung
		W Y	Urinanalyse In-VIVO alternativ Urinanalyse	Urinanalyse halbjährlich Jährlich Jährlich
Überwachung des Aufbaus der Lungenbelastung und Knochenbelastung	Überwachung des Aufbaus der Lungenbelastung und Knochenbelastung	WY	In-VIVO	Jährlich
		D W Y	Urinanalyse Urinanalyse	halbjährlich Jährlich
Sonderprogramme	Eingrenzen einer Emissionsquelle	D, W, Y	Aerosolaktivität	nach Bedarf
	Bestimmung einer Inkorporationsmenge	D W	Urinanalyse Ganzkörper, Urin Faecesanalyse	Sofort nach Zeitpunkt der Entdeckung der Inkorporation, abhängig v. der biologischen
		Y	Ganzkörper, Urin Faecesanalyse	Halbwertszeit

D = transportierbar, W = mäßig transportierbar, Y = schwer transportierbar (s. a. Blatt 2.1)



5.1 Prinzipien

Inkorporationsüberwachung auf Uran
5. Überwachungsprogramme

Uran
Blatt 5
Seite 1/3



5.2 Routinemeßprogramme

In einem Routinemeßprogramm wird in der Regel die Aerosolaktivität der Raumluft gemessen.

Pro Meßposition ist bei kontinuierlich wiederholten Arbeitsabläufen eine mindestens monatliche Probenahme empfehlenswert. Bei stark wechselnden Arbeitsbedingungen ist eine arbeitstägliche Probenahme angebracht. Werden Aktivitätswerte über 60 pCi/m^3 gefunden, muß die Ursache untersucht werden. Diese Ermittlungsschwelle ist aus /12/ abgeleitet und gilt für Arbeiten ohne besondere Atemschutzausrüstung.

Ist aus der Luftüberwachung abzuleiten, daß die monatliche Aktivitätszufuhr 1/10 der nach § 52 StrlSchV zulässigen Jahresaktivitätszufuhr (s. a. Blatt 3) betragen haben kann, werden zusätzlich personenbezogene Messungen durchgeführt (s. Blatt 5 Seite 3/1). Dies entspricht den Überprüfungsschwellen der Personendosis in der Richtlinie /20/.

Zusätzlich werden zur Kontrolle dieses Überwachungssystems bei den exponierten Personen 2 x pro Jahr Inkorporationskontrollen durchgeführt.

folgt Seite 2/2



5.2 Routinemeßprogramme

Für leicht und mäßig transportierbare Uranverbindungen genügt die Durchführung von Urinalysen nach einem arbeitsfreien Tag. Als Grenzwert bei diesen Verbindungen werden 50 pCi U/l angesetzt. Bei schwer transportierbaren Verbindungen muß ein eventueller Aufbau der Uranaktivität in der Lunge und im Knochen zusätzlich 1 x jährlich durch In-VIVO-Messung verfolgt werden.

Bei der Überwachung einer größeren Personengruppe mit gleichen Arbeitsbedingungen ist es zweckmäßig, die Überwachung an kleineren Untergruppen nach einem rollierenden System in kürzeren Zeitabständen durchzuführen.



5.3 Sondermeßprogramme

Zur Ermittlung der Ursache einer Störung und ihrer Auswirkungen auf das Personal müssen Sondermeßprogramme durchgeführt werden. Sie unterscheiden sich von den Routinemeßprogrammen lediglich durch größere Intensität.

Sondermeßprogramme sind erforderlich,

- wenn neue Anlagen oder Anlagenteile in Betrieb genommen werden
- wenn am Arbeitsablauf eines Verfahrens Änderungen vorgenommen werden.

Außerdem werden Sondermeßprogramme notwendig, wenn Ergebnisse der Routineüberwachung (meistens der Raumluft) erhöht sind und so eine Veränderung der Arbeitsbedingungen anzeigen.

Im Rahmen des Sondermeßprogramms werden Ort und Zeit der Emission eingegrenzt. Wird eine längere Erhöhung der Raumluftaktivität beobachtet, muß die personenbezogene Überwachung intensiviert werden.

Um den Emissionsort zu ermitteln, werden an wahrscheinlichen Emissionsstellen die Aerosole über größere Zeiträume gesammelt. Ist der Emissionsbereich bekannt, werden - um die zeitliche Änderung der Emission zu bestimmen - an diesem Ort mehrere Proben in kurzen Zeitabständen gesammelt.

Zweckmäßigerweise wird das Routinemeßprogramm in das Sondermeßprogramm einbezogen.

folgt Seite 3/2



5.3 Sondermeßprogramme

Ein Sondermeßprogramm muß den gesamten Arbeitsablauf erfassen, es müssen aufeinanderfolgende Messungen der Raumluft unter Einschluß aller Arbeitsphasen durchgeführt werden. Das Programm ist beendet, wenn die Aerosolquelle identifiziert ist und Abhilfe geschaffen wurde.

Bei Störfällen, in deren Verlauf UF_6 freigesetzt wird, sind folgende Besonderheiten zu beachten:

Ein UF_6 -Ausbruch wird leicht erkannt, weil das durch Reaktion mit Luftfeuchtigkeit gebildete UO_2F_2 -HF-Gemisch intensive weiße Nebel bildet.

Wegen der besonderen Giftigkeit der Flußsäure - die bei der Hydrolyse des UF_6 entsteht - muß sofort nach dem Unfall unter mehrmaligem Einseifen ca. 15 min lang geduscht werden. Bei akuten Verletzungen ist die Duschzeit auf 1 - 2 min zu beschränken. Die Augen müssen ausgespült und die Kleider gewechselt werden.

Danach muß der Betroffene ärztlich versorgt und über die weiteren Maßnahmen unterwiesen werden. Das bei der Hydrolyse von UF_6 auch entstehende UO_2F_2 hat eine kleine biologische Halbwertszeit und kann deshalb sehr kurz nach der Inkorporation im Urin nachgewiesen werden. Zur Ermittlung der Uranzufuhr müssen Urinalysen, wie auf Blatt 4 Seite 3 für transportable Verbindungen beschrieben, durchgeführt werden. Der Nachweis von Fluorid im Urin ermöglicht ebenfalls Angaben über die Höhe der Inkorporation.



6.1 Fluorimetrischer Nachweis im Urin

Probenvorbereitung Verfahren 1

Bei diesem Verfahren wird das Uran aus dem Urin direkt extrahiert /19/.

Der 24-h-Urin wird mit Salpetersäure (14 M) angesäuert (pH 1). 3 ml davon werden mit 15 ml einer gesättigten Aluminiumnitratlösung versetzt und in einem Schütteltrichter mit 10 ml Äthylacetat 10 Minuten mit einer Schüttelmaschine extrahiert. Die wässrige Phase wird abgelassen und verworfen, 0,1 ml der organischen Phase wird auf eine Tablette aus 98 % NaF und 2 % LiF getropft, die in einer Platinschale von 10 mm Ø liegt. Zusätzlich wird eine Blindprobe wie vorher, jedoch mit 3 ml destilliertem Wasser anstelle des Urins hergestellt und wie oben extrahiert. Von jeder Probe werden zwei Vergleichsanalysen gemacht. Das Verfahren wird durch Einsatz größerer Urinmengen empfindlicher. Die Proben werden, wie auf Blatt 6 Seite 1/5 beschrieben, gemessen.

folgt Seite 1/2



6.1 Fluorimetrischer Nachweis im Urin

Probenvorbereitung Verfahren 2

Bei diesem Verfahren wird das Uran durch Extraktion aus einer Urinasche angereichert /22/.

Eine Urinprobe von 400 ml wird mit 60 ml Salpetersäure (14 M) und Zutropfen von H_2O_2 naß verascht. Der Vorgang wird solange wiederholt bis die Asche weiß aussieht. Die Asche wird in 8 ml HNO_3 (14 M) und 12 ml H_2O gelöst und mit 60 ml uran-gereinigter $Al(NO_3)_3$ -Lösung in einen Scheidetrichter überführt.

Zweimal werden je 20 ml Äthylacetat zugegeben und das Uran durch 2 Minuten Schütteln in die organische Phase extrahiert. Die beiden Äthylacetatmengen werden vereinigt und mit 3 ml H_2O versetzt. Das Äthylacetat wird auf einem Wasserbad verdampft und der Rückstand mit H_2O in ein 10 ml-Meßkölbchen überführt.

Dreimal werden je 100 μ l dieser Lösung auf 200 mg eines Schmelzgemisches von 97 % NaF und 3 % LiF, die in ein Platinschälchen eingewogen wurden, getropft. Die Probe wird unter einem Oberflächenverdampfer getrocknet und genau in 3 Minuten bei $1000^{\circ}C$ aufgescholzen. Die Messung erfolgt nach einer Abkühlzeit von ca. 30 Minuten mit dem auf Blatt 6 Seite 1/5 beschriebenen Verfahren.

Die Reinigung der $Al(NO_3)_3$ -Lösung wird wie folgt vorgenommen:

- 120 ml einmal mit einer 50 %igen Lösung von Tri-iso-octylamin versetzen, 2 Minuten schütteln, organische Phase verwerfen
- die gleiche $Al(NO_3)_3$ -Lösung zweimal mit je 30 ml Äthylacetat versetzen, 2 Minuten schütteln, organische Phase verwerfen.

folgt Seite 1/3



6.1 Fluorimetrischer Nachweis im Urin

Probenvorbereitung Verfahren 3

Bei dieser Methode wird der Urin direkt verwendet /10/.

Von der zu untersuchenden Urinprobe werden 0,2 ml in ein Platinschälchen pipettiert und langsam eingedampft.

Auf den Rückstand wird eine Schmelztablette aus 400 mg Na/LiF gelegt und das Schälchen auf einer Rotosil-Platte mit Asbestplatte mit zusätzlich hergestellten Standardproben sowie Blindproben mit 0,1 ml Modellurin in einem Muffelofen 20 Minuten bei 1000°C geschmolzen.

Werden selbstgepreßte Schmelztabletten benutzt, ist die angegebene Schmelzdauer zu verringern. Dabei ist zu beachten, daß durch das Beschicken des Ofens die Temperatur sinkt. Danach wird der Ofen abgeschaltet und die Ofentür geöffnet, um so ein langsames Abkühlen und Erstarren der Schmelze zu erreichen (dies erleichtert das Entfernen der erstarrten Schmelze aus den Pt-Schälchen).

Es empfiehlt sich nicht, die Proben aus dem Ofen zu entfernen, weil dadurch eine Geometrieänderung entstehen kann, die die Reproduzierbarkeit der Messung beeinflusst. Nach weiteren 10 Minuten wird die Rotosil-Platte mit den Schälchen aus dem Ofen genommen und auf Zimmertemperatur abgekühlt. Der Schmelzkuchen wird aus der Schale entfernt und sofort wie in Blatt 6 Seite 1/5 beschrieben gemessen.

Zur Herstellung der Schmelzprobe werden auch an Stelle des Muffelofens geeignete Brenner verwendet.

folgt Seite 1/4



6.1 Fluorimetrischer Nachweis im Urin

Arbeitsgeräte und Chemikalien:

- Platinschälchen (16 mm oberer Durchmesser, Höhe 3,5 mm, 10 mm unterer Durchmesser), Stahlmatrize zum Nachformen der Platinschälchen, Eppendorfpipette mit Pipettenspitzen, Heizstrahler, Muffelofen (Heraeus KM 170), Rotosil-Platte mit Asbestplatte.
- Modellurin bestehend aus: 10 g NaCl; 4 g K_2SO_4 ; 0,74 g $CaCl_2 \cdot 2 H_2O$; 0,7 g $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$; 2,4 g NaH_2PO_4 gelöst in 100 ml 2 n HCl (100 ml entsprechen 1000 ml eines 24-h-Urins).
- Na/LiF-Tabletten (400 mg) bestehend aus: NaF (p.a.) 98% bzw. 97 % und LiF (p.a.) 2 % bzw. 3 %.
- Uranylnitratlösung als Eichstandard in den Konzentrationen von 0,1 bis 1,0 ng U/0,1 ml.
- Salpetersäure (14 M)
- Äthylacetat
- Aluminiumnitratlösung (gesättigt).

folgt Seite 1/5



6.1 Fluorimetrischer Nachweis im Urin

Messung der Fluoreszenzintensität

- Für die Messung der Fluoreszenzintensität in festen Präparaten wird meist das von Galvanek-Morrison entwickelte Fluorimeter (Jarell-Ash) benutzt. Es besteht aus 2 UV-Lampen, die im Bereich von ca. 365 nm die feste Probe zur Fluoreszenz anregen. Die Intensität der emittierten Fluoreszenzstrahlung wird über ein Filter mit einer Photokathode gemessen. Die Intensität des Fluoreszenzlichtes ist eine Funktion des Urangehaltes der Probe. Maß dafür ist der Zeigerausschlag eines Mikro-Amperemeter, mit dem der Photostrom an der Photokathode gemessen wird.
- Es kann auch ein Spektralphotometer (PMQ II Carl Zeiss) mit einem modifizierten Remissionsansatz verwendet werden. Zur Anregung des Fluoreszenzlichts wird ein Quecksilberbrenner benutzt. Die 365-nm-Quecksilberlinie wird mit einem Monochromator M4Q III mit Falschlichtfilter 325 bis 380 nm ausgesucht, der zugleich zur Modulation des Meßlichtes dient. Die Probe wird unter 45° bestrahlt. Der Photomultiplier IP 28 ist senkrecht über die Probe angeordnet. Um die kurzwellige Anregungsstrahlung zu eliminieren, wird um den Photomultiplier als Kantenfilter eine speziell für diesen Zweck erprobte Farbstoff-Folie gewickelt, deren Kante bei 490 nm liegt. Diese Methode zeichnet sich durch hohe Nachweisempfindlichkeit und gute Reproduzierbarkeit aus /10/.



6.2 Bestimmung des Urans durch α -Aktivitätsmessung /19/

Von dem während 24 Stunden (oder vom Morgenurin) gesammelten Urin werden 500 ml mit 20 ml Salpetersäure (14 M) in Quarzschalen eingedampft und während 60 Minuten bei 500°C verascht. Der farblose Rückstand wird mit 50 ml Salzsäure (2 M) quantitativ in einen Schütteltrichter (250 ml) überführt und die Schale mit 50 ml Salzsäure (6 M) nachgespült, so daß die Lösung schließlich 4-molar an Salzsäure ist. Nach Zugabe von 140 ml einer 10 %-igen Trioctylaminlösung in Toluol wird 2 Minuten lang kräftig geschüttelt und die Phasen nach 15 Minuten getrennt.

Die untere wässrige Phase wird verworfen, die verbleibende organische Phase mit 20 ml Salzsäure (4 M) gewaschen. Aus der organischen Phase überführt man das Uran durch Rückextraktion mit je 20 ml Salzsäure (0,1 m) in die wässrige Phase, die organische Phase wird nicht verworfen. Sie kann nach Reinigung und Regeneration erneut eingesetzt werden.

Zur Entfernung von Spuren verbleibenden Extraktionsmittels werden 25 ml Diisopropyläther dazugegeben, geschüttelt und die Salzsäure nach genügend langer Absetzzeit getrennt.

In Kristallierschalen wird die Lösung zur Trockne eingedampft, mit Salpetersäure oxidiert und erneut eingedampft. Den Rückstand erhitzt man mit 0,3 ml Schwefelsäure (konz.) bis zum Entweichen von Schwefeltrioxidnebeln und überführt ihn mit genau 5 ml H₂O in ein vorbereitetes Elektroysegerät siehe Abb. Blatt 6 Seite 2/3. Mit einer Stromstärke von 400 mA wird 2 Stunden lang elektrolysiert.

folgt Seite 2/2

6.2 Bestimmung des Urans durch α -Aktivitätsmessung

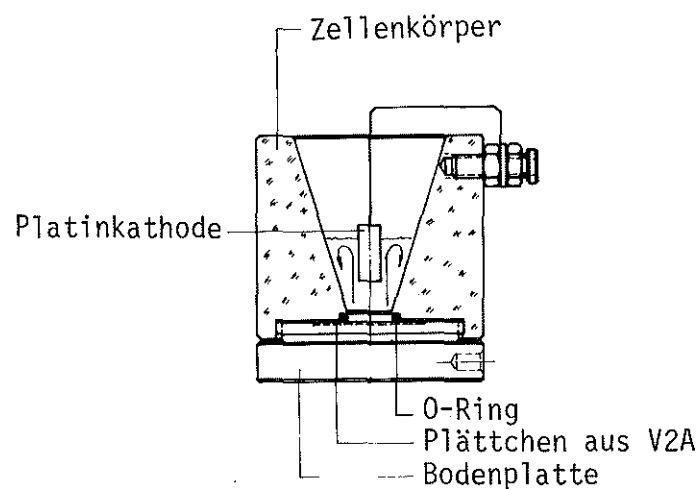
Das Meßpräparat wird mit destilliertem Wasser gespült und die α -Aktivität ausgemessen. Mit einer chemischen Ausbeute von 50 % ergibt sich als Nachweisgrenze des Verfahrens ein Wert von 0,1 pCi U/Probe.

Zum Nachweis der α -Aktivität des Urans werden im allgemeinen Halbleiterdetektoren mit geeigneten Diskriminatoren (Vielkanalanalysator) benutzt. Die Zählausbeute des Meßgeräts und der Nulleffekt der Anordnung sollen so gewählt sein, daß bei einer Meßdauer von 100 Minuten 0,1 pCi statistisch signifikant nachgewiesen werden können.

Verwendete Chemikalien

Salpetersäure	(14 M)	Triocetylamin	(10 %-ig)
Salzsäure	(0,1 M)	Diisopropyläther	
Salzsäure	(2 M)	Wasserstoffsuperoxid	(30 %-ig)
Salzsäure	(4 M)	Schwefelsäure	(konz.)
Salzsäure	(6 M)	Toluol	

Abb. Blatt 6, Seite 2/2: **Elektrolysezelle /19/**





7.1 Meßmethode

Das Verfahren dient zur Messung von inkorporiertem nuklearreinem Uran in der Lunge. Es ist für Uran aller Anreicherungen nicht jedoch für Uranerze geeignet.

Das Verfahren beruht auf einer gleichzeitigen Bestimmung der ^{235}U -Aktivität (γ -Linien bei 144 und 186 keV) und der ^{234}Th -Aktivität (γ -Linien bei 63 und 93 keV als Maß für die U-238 Aktivität. Die Messung erfolgt mit einem Phoswich-Detektor, dessen Dimensionen speziell für die Messung von Photonen im Energiebereich zwischen 50 und 200 keV ausgelegt sind. Eine Einschränkung des Anwendungsbereiches liegt darin, daß der Zeitpunkt einer chemischen Abtrennung des Urans vom Thorium entweder genau bekannt sein oder aber mindestens vier Monate zurückliegen sollte, damit eine hinreichend genaue Bestimmung der ^{238}U -Aktivität aus der ^{234}Th -Aktivität möglich ist.



7.2 Instrumentierung und Meßanordnung

Die Messung erfolgt in einer Abschirmkammer mit 15 cm starken Stahlwänden, die innen mit 3 mm Blei ausgekleidet ist.

Als Detektor wird ein Phoswich von 205 mm Durchmesser benutzt. Der Phoswich besteht aus einem 10 mm dicken NaJ(Tl)-Kristall, einem 50 mm starken CsJ(Tl)-Kristall, sowie einem 51 mm starken Lichtleiter aus nicht aktiviertem NaJ.

Mit Hilfe einer speziellen Impulsform-Diskriminierung, kann zwischen Absorptionsereignissen in den beiden Szintillationskristallen unterschieden werden. Dadurch wird der Nulleffekt im benutzten Energiebereich um etwa eine Größenordnung reduziert.

Für die Messungen wird die in Abb. 2/2 dargestellte Meßgeometrie zugrundegelegt. Es handelt sich hierbei um eine sogenannte Eindetektor-Stuhl-Geometrie mit gerader Rückenstellung des Probanden. Der Detektor befindet sich halbrechts über der Brust des Probanden, wobei die Detektorneigung der Wölbung des Brustkorbes angepaßt ist. Die in der Abbildung angegebenen Maße beziehen sich auf die Meßposition bei einem normal gebauten, 70 kg schweren und 175 cm großen Mann. Die individuelle Anpassung der Meßposition erfolgt durch Heben bzw. Senken des Detektors in der angegebenen Richtung.

folgt Seite 2/2

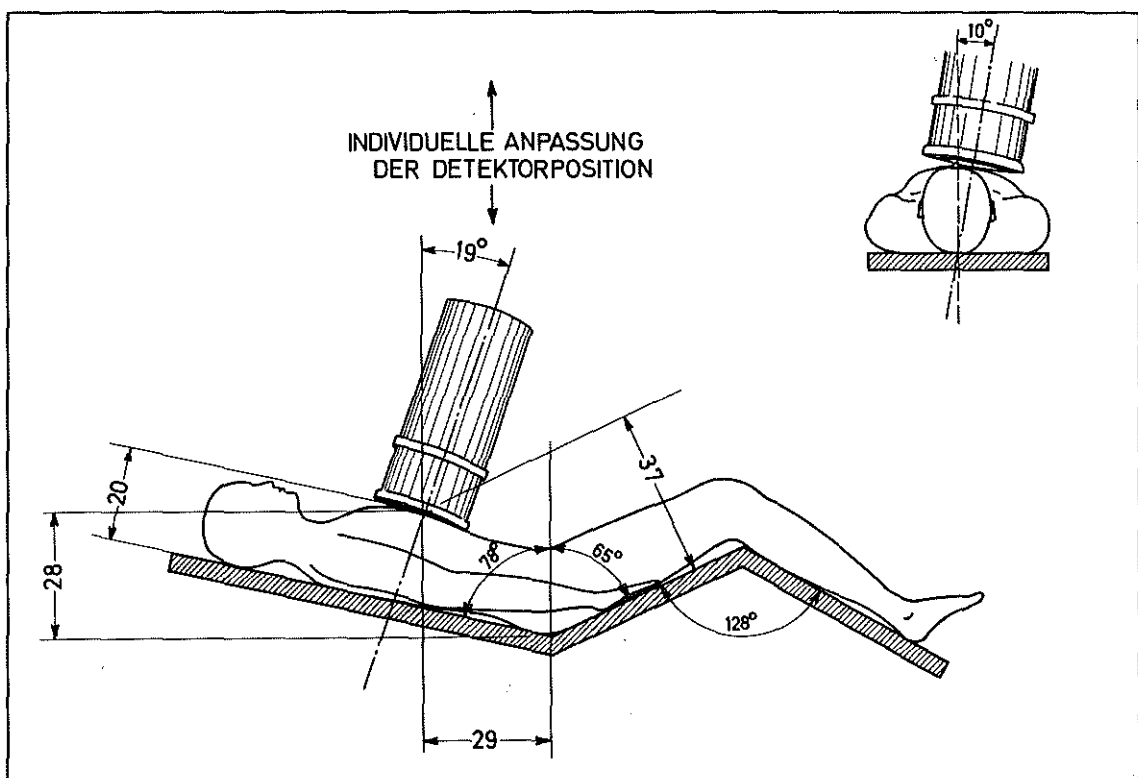


Abb. Blatt 7 Seite 2/2: Meßposition für die in-vivo-Messung von Uran in der Lunge mit einem Phoswich-Detektor (Längenangaben in cm) /23/



Inkorporationsüberwachung auf Uran

7. In-vivo-Messung

Uran
Blatt 7
Seite 3

7.3 Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Meßanordnung werden Eichlösungen mit Uran in verschiedenen Konzentrationen und verschiedenen Anreicherungsgraden zwischen 0,7 % und 90 % ^{235}U benutzt. Die Lösungen befinden sich in jeweils zwei 2 l-Kautexflaschen. Da das Lungenvolumen beim Standardmenschen gerade 3,92 l beträgt, können die Kautexflaschen bei den hier interessierenden Strahlenqualitäten als hinreichend gute Simulation der beiden Lungenflügel angesehen werden. Zur Simulation der Rippen und des Muskel- und Fettgewebes im Brustbereich werden die beiden Kautexflaschen mit einem Korb aus Aluminiumstangen und einem Paraffinmantel umgeben. Mit Hilfe dieses Brustphantoms wird der Wirkungsgrad des Detektors für die vier interessierenden Strahlenqualitäten bestimmt. Dabei wird berücksichtigt, daß die mittlere Dichte des Lungengewebes in etwa um den Faktor 4 kleiner als von Wasser ist /23/.



7.4 Nachweisgrenzen

Zur Entwicklung eines geeigneten Auswerteverfahrens werden die Nulleffektspektren von 10 Referenzpersonen mit sehr unterschiedlichen Körperproportionen aufgenommen. Auf der Basis dieser Spektren, wird ein spezieller Rechenalgorithmus erstellt, mit dessen Hilfe die Impulsraten in den einzelnen Spektralbereichen jeweils in einen Photopeakanteil und in die Compton-Streuanteile der höherenergetischen Strahler zerlegt werden. Auf diese Weise können bis zu einem gewissen Grad auch die Compton-Kontinua zur Aktivitätsbestimmung herangezogen werden. Bei Zugrundelegung dieses Auswerteverfahrens ergibt sich für einen normal gebauten Menschen mit durchschnittlichem ^{40}K -Gehalt eine untere Nachweisgrenze von 0,10 nCi ^{235}U bzw. von 0,46 nCi ^{238}U bei einer Meßzeit von 50 min.

Bei bekanntem Anreicherungsgrad hat man die Wahl, ob man die gesamte Uranaktivität aus der Aktivität des ^{235}U oder des ^{238}U oder aus beiden Aktivitäten zusammen bestimmt. Wie aus der Abb. 4/1 hervorgeht, ist bis zu einer Anreicherung von etwa 2,5 % ^{235}U die Bestimmung aus der ^{238}U -Aktivität am günstigsten. Bei Anreicherungen zwischen 2,5 % und 5,5 % ^{235}U empfiehlt sich eine Gesamtaktivitätsbestimmung aus den Aktivitäten beider Isotope, während bei Anreicherungen über 5,5 % die ^{235}U -Aktivität die besten Ergebnisse liefert. Bei allen Anreicherungsgraden liegt die Nachweisgrenze unter 2,2 nCi Uran.

folgt Seite 4/2

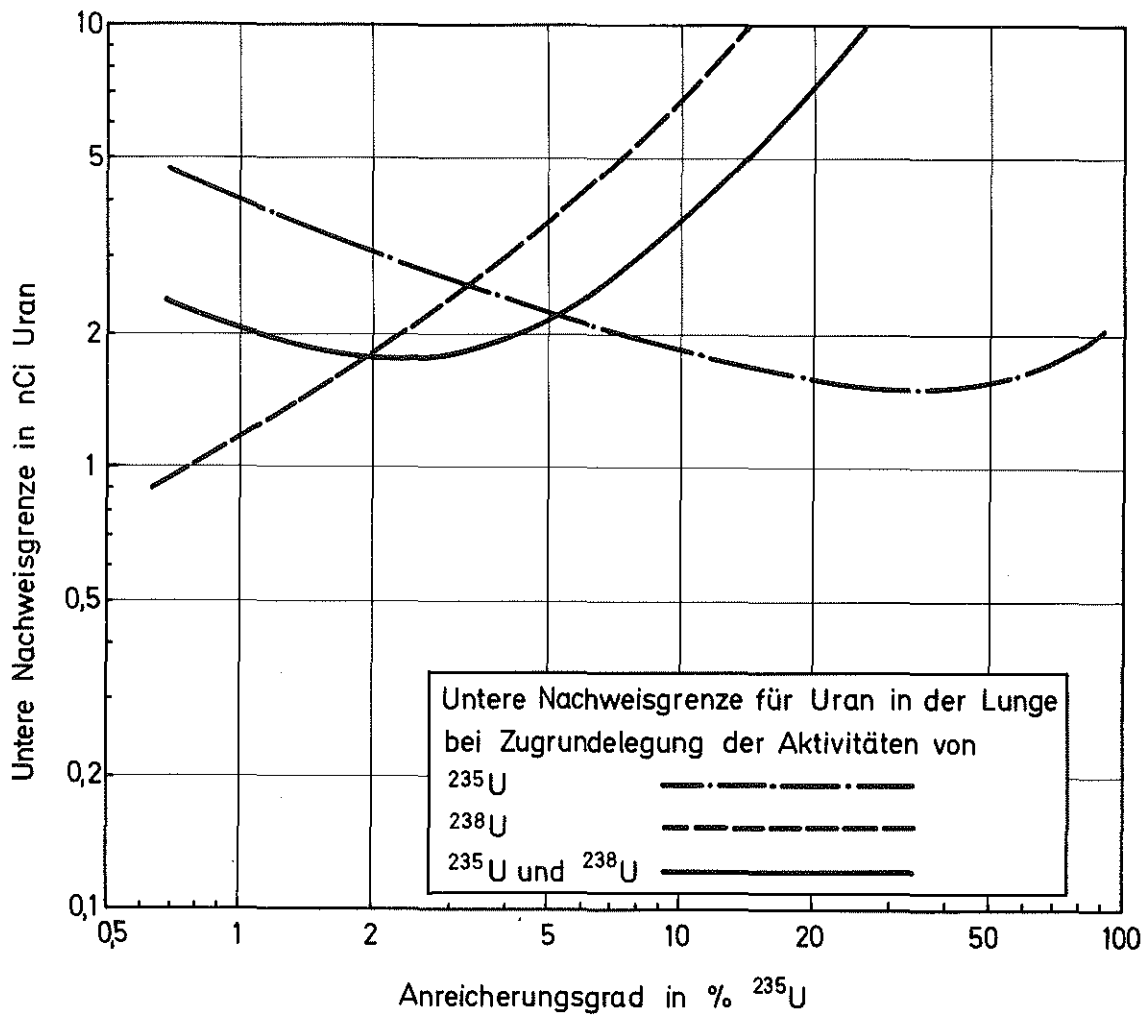
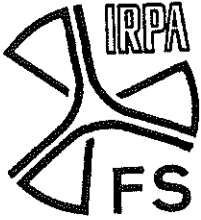


Abb. Blatt 7 Seite 4/2: Untere Nachweisgrenze für Uran in der Lunge bei verschiedenen Methoden der Gesamtaktivitätsbestimmung in Abhängigkeit vom ^{235}U -Anreicherungsgrad /23/



Eine ausführliche Darstellung der Dosis-Berechnung für Uran findet sich in /14/. Außerdem muß die Literatur /5/, /6/, /7/, /13/ und /21/ herangezogen werden.



- /1/ L. A. König, H, Schieferdecker
Assessment of Uranium and Plutonium Body Burdens
Atomic Energy Review Vol. 12, No. 2 (1974)
- /2/ V. V. Cherdyntsev
Uranium-234 Israel Program for Scientific
Translations, Jerusalem (1971)
- /3/ Recommendations of the International Commission on Radio-
logical Protection, ICRP-Publ. 2 (1960) Pergamon Press
- /4/ Recommendations of the International Commission on Radio-
logical Protection, ICRP-Publ. 6 (1964) Pergamon Press
- /5/ Recommendations of the International Commission on Radio-
logical Protection, ICRP-Publ. 10 (1968) Pergamon Press
- /6/ Recommendations of the International Commission on Radio-
logical Protection ICRP-Publ. 10A (1967) Pergamon Press
- /7/ ICRP Task Group on Lung Dynamics
Deposition and Retention Models for Internal Dosimetry of
Human Respiratory - Health Physics, Vol. 12, 173-207
(1966)

folgt Seite 1/2



- /8/ I. S. Eve
A Review of the Physiology of the Gastrointestinal Tract in
Relation to Radiation Doses from Radioactive Materials
Health Physics 12 (1966) 131
- /9/ J. B. Hursh et al
Oral Ingestion of Uranium by Man
Health Physics 17 (1969) No 4
- /10/ L. Widua, H. Schieferdecker, U. Hezel
Fluorimetrische Routinebestimmung von Uran in Urinproben
Zeitschr. Anal. Chem. 270, Nr. 1 (1974) 12-15
- /11/ Handbook of Experimental Pharmacology XXXVI, Uranium,
Plutonium, Transplutonic Elements
Springer-Verlag, Berlin Heidelberg-New York (1973)
- /12/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende
Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Okto-
ber 1976
Bundesgesetzblatt Teil 1 1976 Nr. 125, S. 2905-2995 und 1977
Nr. 6, S. 184-195
- /13/ Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutz-
kommission
ICRP Hefte 10 und 10a
Deutsche Ausgabe herausgegeben vom Bundesgesundheitsamt
Berlin
Gustav Fischer Verlag, 1978

folgt Seite 1/3



Inkorporationsüberwachung auf Uran

9. Literatur

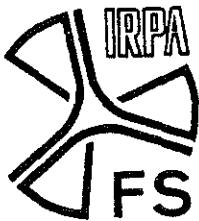
Uran

Blatt 9

Seite 1/3

- /14/ R.E. Alexander
Application of Bioassay for Uranium
WASH-1251, June 1974, USAEC
- /15/ P.W. Durbin, M.E. Wrenn, Metabolism and Effects of Uranium
in Animals
Conference on Occupational Health Experience with
Uranium
April 1975, ERDA 93, 67
- /16/ F. Schinzer NUKEM (Abt. ZAKS)
Private Mitteilung
- /17/ Table of Specific Activities of the Nuclides with $Z = 88$ to
 $Z = 104$
W. Schirmer and N. Wächter, EURATOM
Actinides Rev. , 1 (1968) 125 - 184
- /18/ American Standard, Radiation Protection in Nuclear Reactor
Fuel Fabrication Plants
ANSI - N 7.2 - 1063
- /19/ H. Schieferdecker
Bestimmung von Radionukliden im biologischen Material
KFK 810 Nov. 1968
- /20/ Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle BMI,
17. Juli 1978
GMB1 Nr.22, 29. Jahrgang, S. 348-354

folgt Seite 1/4



- /21/ Annals of the ICRP
ICRP No. 30, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers
Pergamon Press, 1979
- /22/ R. Biehl et al.
Bestimmung von U-nat im Urin, Laborbericht ZST-C-3/75
(1975)
KFA Jülich
- /23/ H. Doerfel
Die Direktmessung von Uran in der Lunge
KfK - Interner Bericht Nr. HS/454/03 Juli 1980
KfK im Druck

Diese Loseblattsammlung wurde mit dem Ziel zusammengestellt, den gegenwärtigen Stand der Kenntnisse auf dem Gebiet der Inkorporationsüberwachung darzustellen. Sie ist so aufgebaut, daß Änderungen und Ergänzungen nachgetragen werden können.

Verbesserungsvorschläge zu diesem Thema sind zu richten an den Bearbeiter dieses Blattes, Herrn Friedhelm Schinzer, Firma Nukem GmbH, Postfach 11 00 80, 6450 Hanau 11 oder an den Sekretär des Arbeitskreises AKI im FS Herrn Dr. H. Schieferdecker, Med. Abt./Tox. Labor, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Postfach 3640, 7500 Karlsruhe.