

Inkorporationsüberwachung in Deutschland

Udo Gerstmann

Bundesamt für Strahlenschutz

Jahrestagung LIA.nrw, Düsseldorf, 21.9.2017



Inkorporationsüberwachung =

- Kontrolle der Einhaltung gesetzlicher Dosisgrenzwerte
- bei beruflich strahlenexponierten Personen, sofern deren innere Exposition ein bestimmtes Maß überschreiten könnte,
- durch physikalische (und radiochemische!!!) Methoden
- zur Untersuchung von Luft, Mensch oder dessen Ausscheidungen
- wobei im ersten Schritt retrospektiv die **Zufuhr (A)** radioaktiver Stoffe bestimmt und anschließend
- die **Körperdosis (D)** berechnet wird ($D = A * \text{Dosiskoeffizient}$).



Inkorporationsüberwachung in Deutschland =

- Kontrolle der Einhaltung gesetzlicher Dosisgrenzwerte
- bei beruflich strahlenexponierten Personen, sofern deren innere Exposition ein bestimmtes Maß überschreiten könnte,
- durch physikalische (und radiochemische!!!) Methoden
- zur Untersuchung von Luft, Mensch oder dessen Ausscheidungen
- wobei im ersten Schritt retrospektiv die Zufuhr (A) radioaktiver Stoffe bestimmt und anschließend
- die Körperdosis (D) berechnet wird ($D = A * \text{Dosiskoeffizient}$).
- Rechtliche Grundlagen und Details zur Überwachung in Deutschland finden sich in **§ 41 der Strahlenschutzverordnung** und in der **Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle Teil 2. „RiPhyKo 2“ (2007)**

Gliederung

— Wissenschaftlicher Hintergrund

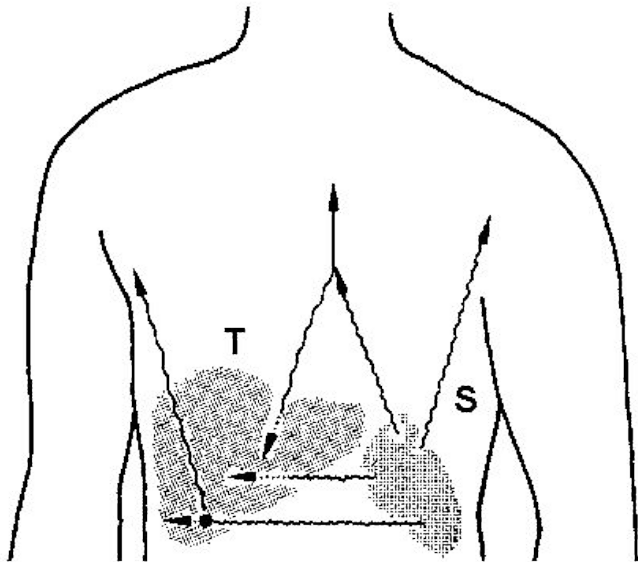
- **Interne Dosimetrie**
- **Methoden der Inkorporationsüberwachung**

— Rechtliches und Organisatorisches

- **Rechtliche Grundlagen der Inkorporationsüberwachung**
- **Leitstelle Inkorporationsüberwachung**
- **Auswirkungen des neuen Strahlenschutzgesetzes**

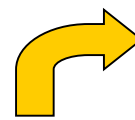


Dosimetrie inkorporierter Radionuklide

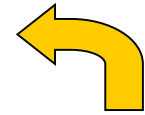


S = Quellorgan (Source)

T = Zielorgan (Target)



Organdosis
von T



Biokinetische Modelle

Zu einem
bestimmten
Zeitpunkt in S
vorhandene
Menge eines
radioaktiven
Stoffes

„Biologie“

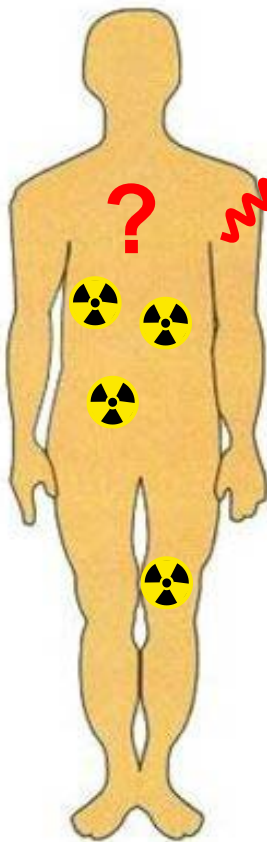
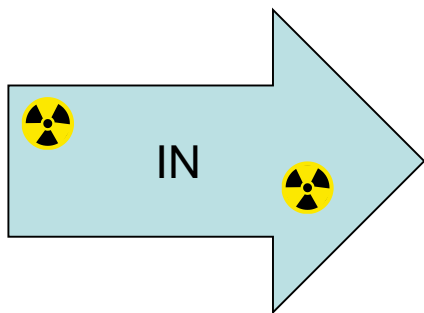
Dosimetrische Modelle

In T durch die
Zerfälle in S
deponierte
Energie

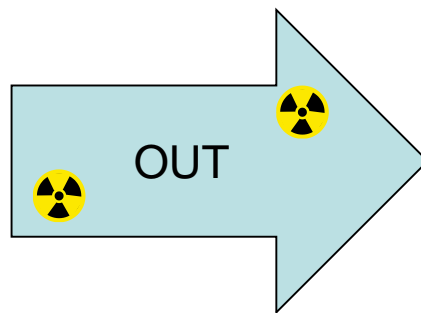
„Physik“



(Ein)atemluft-
analytik

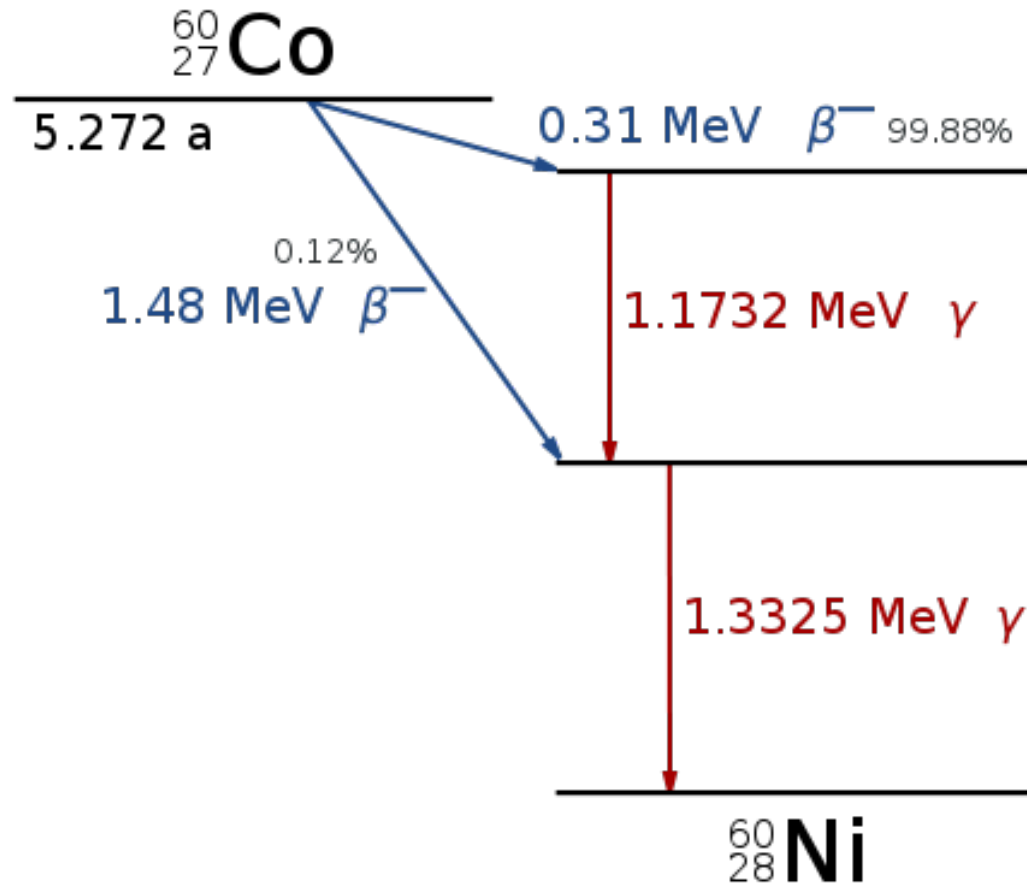


Direktmessung (in vivo)
Ganz-/Teilkörpermessung



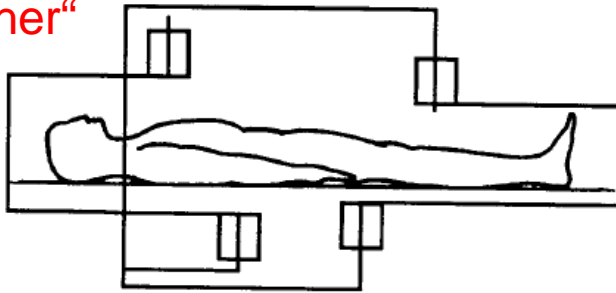
Ausscheidungs-
/(Aus)atemluft-
analytik (in vitro)

Direkte Methoden: Ganz- und Teilkörpermessung

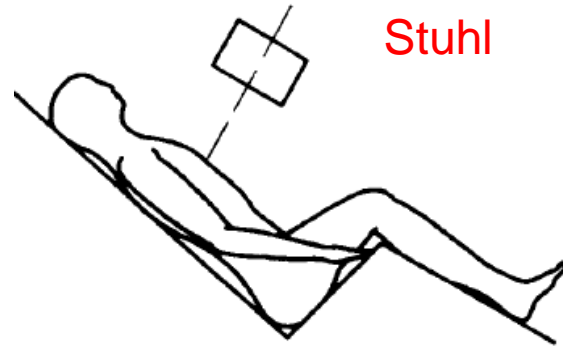


Ganzkörperzähler Messanordnungen

„Stretcher“

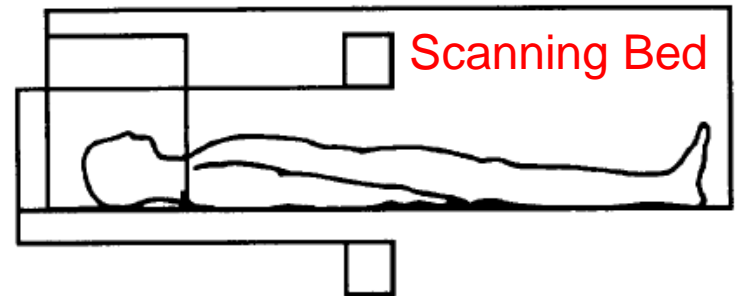


Ausbeute wenig abhängig von
Längsverteilung & hohe Ausbeute



Stuhl

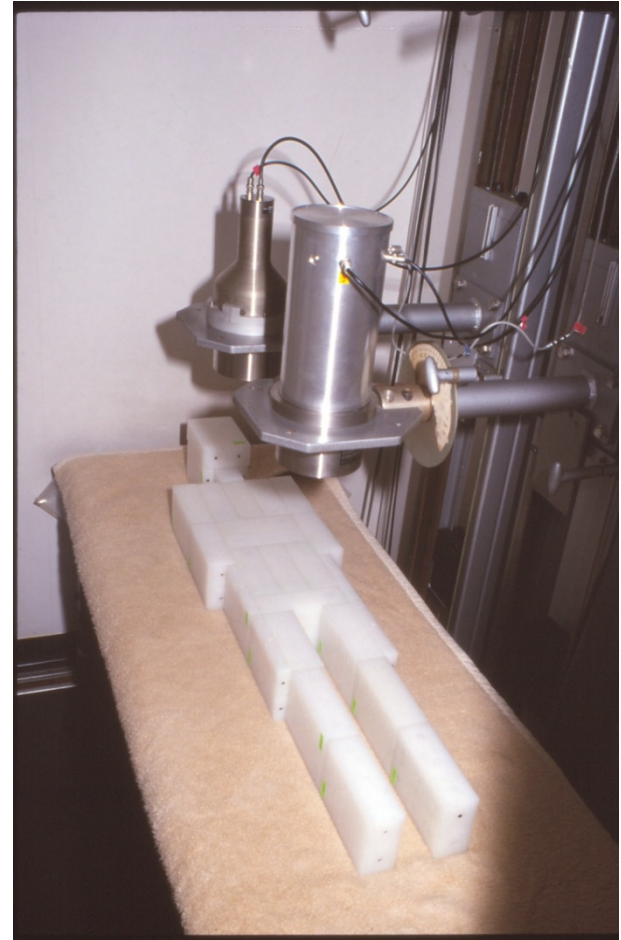
hohe Ausbeute bei
kleinem Detektorvolumen



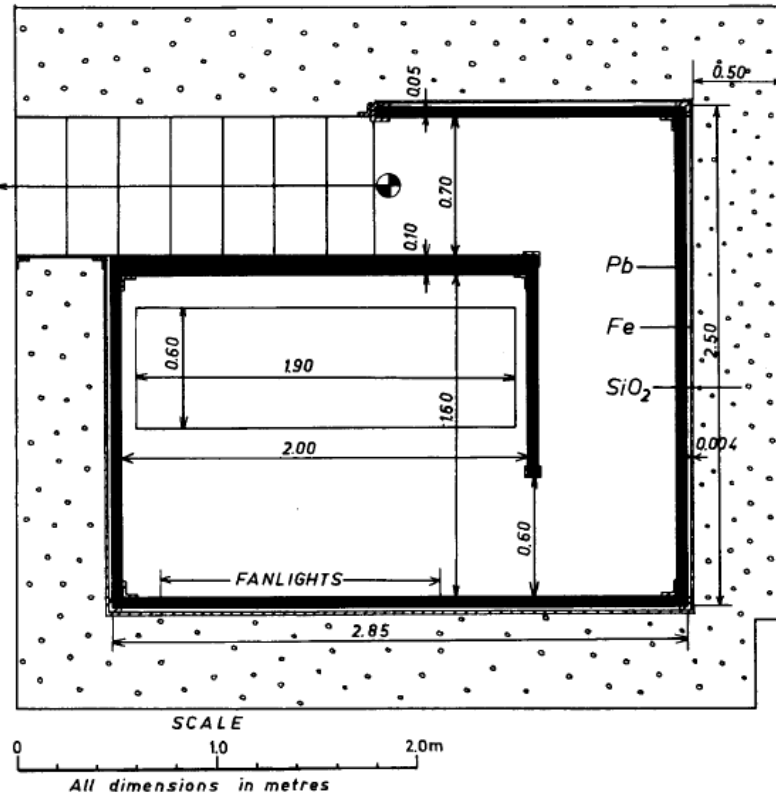
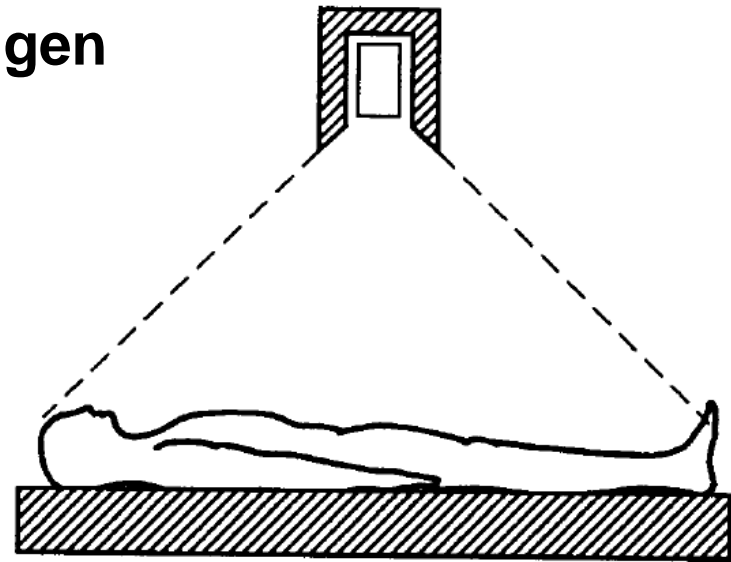
Scanning Bed

Bestimmung der Längs-
verteilung möglich

Ganzkörperzähler Kalibrierung

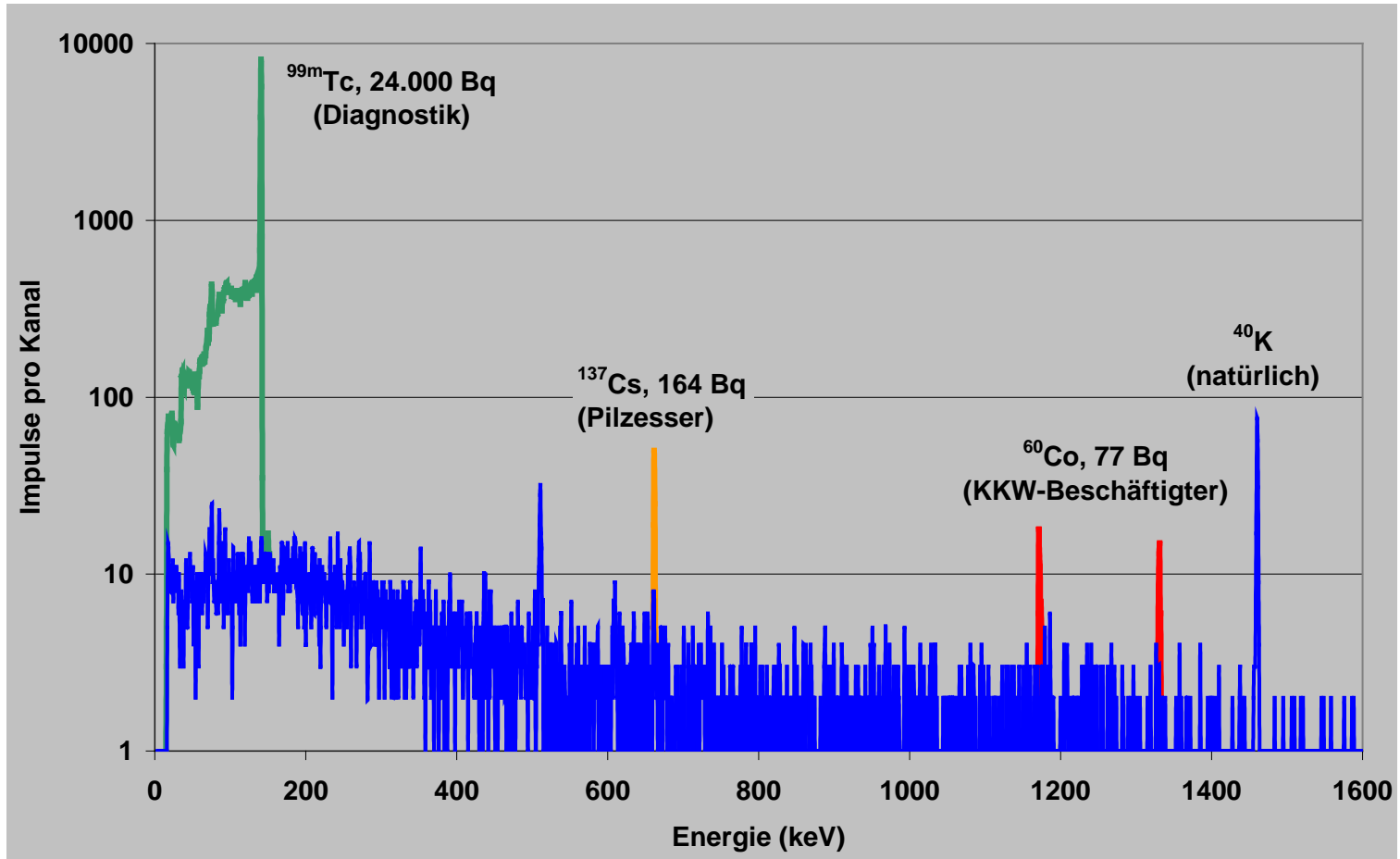


Einfache Abschirmungen Shadow-Shield



**Aufwändige Abschirmungen
z. B. 10 bis 20 cm aktivitäts-
Armes Blei oder Eisen
(oder hier Sand/Blei)**

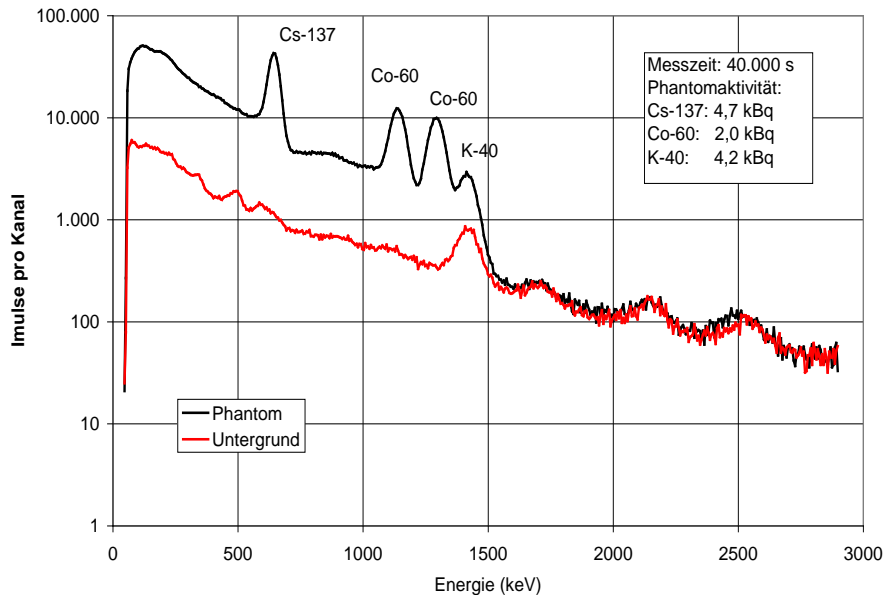
Gammapektren - Beispiele



Gammapektren - Detektorvergleich

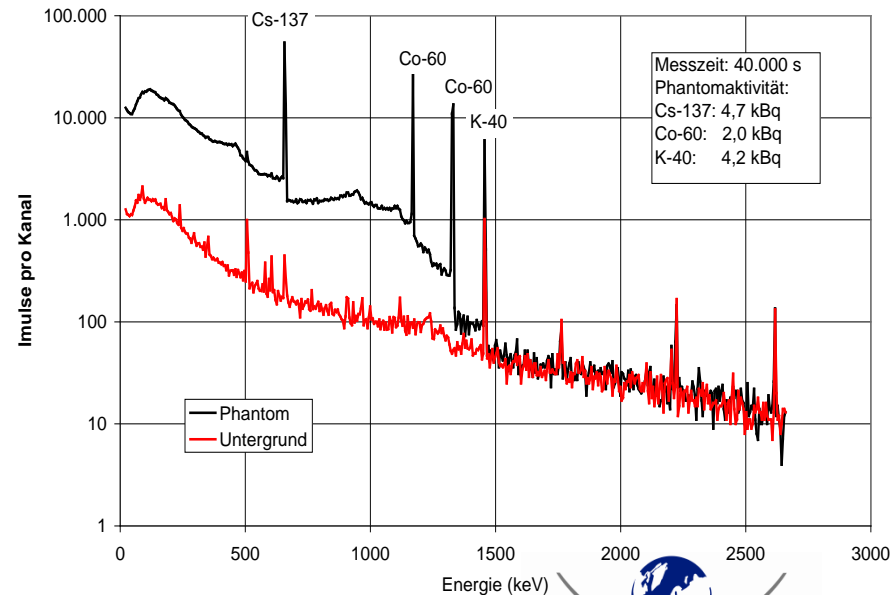
Natriumiodid (NaI)

- + groß → hohe Effizienz
- + keine Kühlung
- schlechte Energieauflösung



Reinstgermanium (HPGe)

- + sehr gute Energieauflösung
- kleiner, teurer
- Kühlung (LN₂ oder elektrisch)



Teilkörpermessung: Beispiel Lungenzähler



Meilensteine bei In-vivo-Inkorporationsmessungen

- 1930er** **Bestimmung von Ra-226/Ra-228 (Mesothorium)**
Festlegung eines Tolerance Levels von 0,1 µg Radium
→ Basis für den Strahlenschutz bezüglich Alphastrahler
zu Beginn des „Atomzeitalters“
- Anfang 1950er** **Nachweis von natürlicher Radioaktivität (K-40) durch**
verbesserte Messtechnik und Abschirmungen
- Ende 1950er** **Einführung von Szintillationsdetektoren (fest und**
flüssig) → energieaufgelöste und „4 π“-Messungen
Nachweis von Fallout-Nukliden im Menschen
- Anfang 1970er** **Erste Anwendungen von Halbleiter-Detektoren**
→ hochauflösende und niederenergetischere
Messungen

In vitro-Methoden

- zur Bestimmung nicht direkt nachweisbarer Radionuklide, v.a. der reinen Alpha- und Betastrahler
- Erfordert wegen der hohen Selbstabsorption dieser Strahlung die chemische und damit elementspezifische Abtrennung von der Probenmatrix und meistens anderer Radionuklide
- Zahlreiche radioanalytische Methoden zur Probenaufbereitung
sehr aufwändige (z. B. Plutonium)
sehr einfache Methoden (z. B. Tritium)
- Fehler bei Probennahmen möglich (z. B. unvollständige Sammlung von 24-Stunden-Urin, Querkontaminationen)
- Erfordert ein radioanalytisches Labor und umfangreiches Instrumentarium sowie Messgeräte für Alpha-, Beta- und ggf. Gammastrahlung

In-vitro-Methoden

— Radiochemische Trennverfahren

- **Mitfällungen**
- **Ionenaustauschchromatographie**
- **Extraktionschromatographie**
- **Flüssig-flüssig-Extraktion**
- **.....**

— Messverfahren

- **Flüssigszintillationspektrometrie (Alpha- und Beta-Strahler)**
- **Alphaspektrometrie mit Halbleiterdetektoren (Alphastrahler)**
- **Proportionalzähler (höherenergetische Betastrahler)**
- **Zunehmend ICP-MS für langlebige Radionuklide**

Auszüge aus der Strahlenschutzverordnung

— § 41 (1)

Die zuständige Behörde kann aufgrund der Expositionsbestimmungen bestimmen, dass zur Ermittlung der Körperdosis zusätzlich oder[...] allein [...]

die **Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft** [...] gemessen wird, die **Körperaktivität** oder die **Aktivität der Ausscheidungen** gemessen wird...

— § 41 (6)

Die Messung der Körperaktivität [...] ist bei einer nach Absatz 1 Satz 4 **bestimmten Messstelle** durchzuführen...

Die Messstelle [...] hat [...] die Körperdosis festzustellen...

Die Messstellen haben ihre Aufzeichnungen fünf Jahre lang [...] aufzubewahren.

— § 41 (8)

Die Messstellen [...] nehmen an **Maßnahmen zur Qualitätssicherung** teil, die [...] vom Bundesamt für Strahlenschutz durchgeführt werden...

Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis

Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer
Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung
(§§40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung)

Rundschreiben vom 12.01.2007 RS II 3 – 15530/1
(GMBI 2007 S. 623)

Schriften



Inhalt der RiphyKo 2

- **Allgemeine Grundsätze**
- **Konzipierung der Überwachung**
 - **Überwachungspflichtige Personen (Erfordernisschwelle 1 mSv/a)**
 - **Feststellung des Erfordernisses zur Überwachung**
 - **Organisation der Inkorporationsüberwachung**
- **Durchführung der Überwachung**
- **Anforderungen an Messstellen sowie an Analysen- und Messverfahren**
- **Verfahren zur Berechnung der Körperdosis**
- **Anhänge!!!**



Retention im Ganzkörper R(t) bei einmaliger Zufuhr
in Bq pro 1 Bq zugeführte Aktivität (Bq/Bq)

Cs-137

Zeit (d)	Inhalation (Absorptionsklasse F)				Ingestion	direkte Aufnahme ins Blut
	AMAD=0,3 µm	AMAD=1µm	AMAD=5µm	AMAD=10µm		
1	2,6E-01	4,0E-01	6,0E-01	5,5E-01	9,8E-01	9,8E-01
2	2,4E-01	3,5E-01	5,0E-01	4,5E-01	9,5E-01	9,6E-01
3	2,3E-01	3,3E-01	4,6E-01	4,1E-01	9,3E-01	9,3E-01
4	2,2E-01	3,2E-01	4,4E-01	4,0E-01	9,1E-01	9,2E-01
5	2,2E-01	3,1E-01	4,3E-01	3,8E-01	8,9E-01	9,0E-01
6	2,2E-01	3,1E-01	4,3E-01	3,8E-01	8,8E-01	8,9E-01
7	2,1E-01	3,0E-01	4,2E-01	3,7E-01	8,7E-01	8,8E-01
8	2,1E-01	3,0E-01	4,2E-01	3,7E-01	8,6E-01	8,7E-01
9	2,1E-01	3,0E-01	4,1E-01	3,7E-01	8,5E-01	8,6E-01
10	2,1E-01	2,9E-01	4,1E-01	3,6E-01	8,4E-01	8,5E-01
14	2,0E-01	2,9E-01	4,0E-01	3,5E-01	8,2E-01	8,3E-01
15	2,0E-01	2,8E-01	3,9E-01	3,5E-01	8,1E-01	8,2E-01
20	1,9E-01	2,8E-01	3,8E-01	3,4E-01	7,9E-01	8,0E-01
30	1,8E-01	2,6E-01	3,6E-01	3,2E-01	7,4E-01	7,5E-01
40	1,7E-01	2,4E-01	3,4E-01	3,0E-01	6,9E-01	7,0E-01
45	1,7E-01	2,4E-01	3,3E-01	2,9E-01	6,7E-01	6,8E-01

RiPhyKo 2, Anhang 3.1

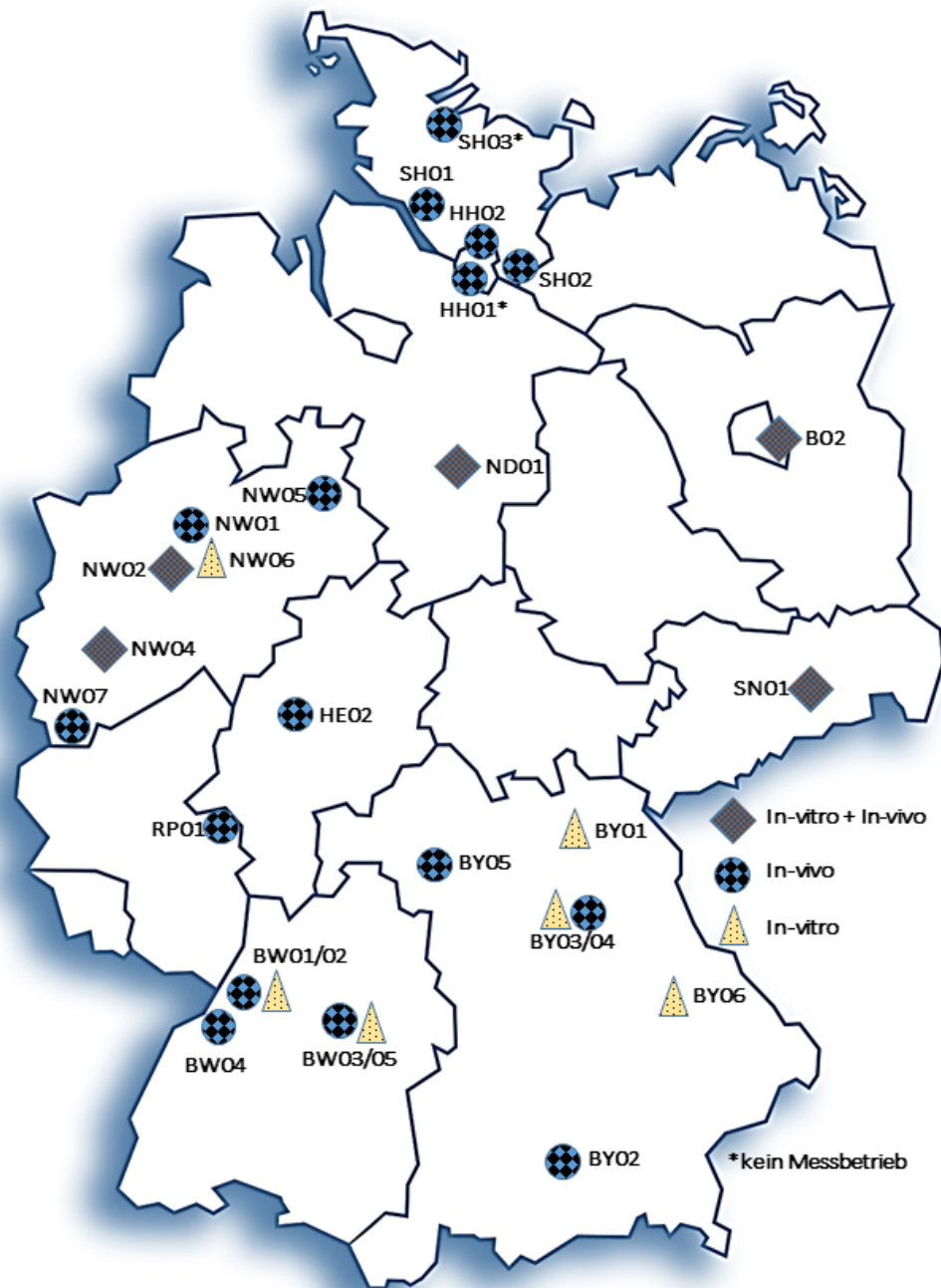
Radio-nuklid	Absorptions-klasse bzw. chem. Form	Überwa-chungs-Verfahren	Überwa-chungs-intervall	Richtwert JAZ Inhalation	Dosimetri-sche NWG	Praktische NWG	Einheit
P-32	F	U	14	1,11E+07	70	3	Bq/d
P-32	M	U	14	6,90E+06	22	3	Bq/d
I-131	F	SD	14	1,43E+06	140	50	Bq
I-131	F	GK	14	1,43E+06	150	50	Bq
I-131	F	U ^{d)}	14	1,43E+06	0,35	1	Bq/d
Cs-137	F	GK	180	2,99E+06	10.000	100	Bq
Cs-137	F	U	180	2,99E+06	52	1	Bq/d

F = fast/schnelllöslich, M = medium/mittelschnelllöslich

U = Urin, SD = Schilddrüsenmessung, GK = Ganzkörperzählung

Behördlich bestimmte Messstellen

B02	BfS, Berlin
BW01/02	KIT, Karlsruhe
BW03/05	Universität Tübingen
BW04	LUBW Karlsruhe
BY01	LfU, Kulmbach
BY02	BfS, Neuherberg
BY03/04	AREVA NP, Erlangen
BY05	Universität Würzburg
BY06	Universität Regensburg
HE02	Justus-Liebig Universität, Gießen
HH01	ASKLEPIOS Klinik St. Georg
HH02	Universität Hamburg
ND01	Med. Hochschule Hannover
NW01	Universität Essen
NW02	LIA, Düsseldorf
NW04	Forschungszentrum Jülich
NW05	Universität Münster
NW06	Bayer AG, Wuppertal
NW07	RWTH Aachen
RP01	Joh.-Gutenberg Universität, Mainz
SH01	E.ON Kernkraft, Brokdorf
SH02	Kernkraftwerk Krümmel
SH03	Universität Kiel
SN01	VKTA Rossendorf e.V., Dresden



Bundesamt für Strahlenschutz

Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS

Koordination: U. Gerstmann

Wahrnehmung von Fachaufgaben der Leitstelle durch

U. Gerstmann, W. Buchholz, M. Hartmann, S. Löscher, O. Meisenberg,
P. Woidy (AG-SG 2.5 Inkorporationsüberwachung)

A. Giussani (AG-SG 2.3 Dosimetrie)

U. Oeh, L. Kammerer (AG-SG 2.4 Strahlenschutzregister)

BMUB

Behördlich bestimmte
Messstellen
in Deutschland

Sonstige Messstellen
im In- und Ausland

Arbeitskreis
Inkorporations-
überwachung

Messung
in-vivo

(Neuherberg)

Messung
in-vitro

(Berlin)

Messung
in-vivo

(Berlin)

Messung
Raumluft

(N.N.)

Personen-
Dosimetrie

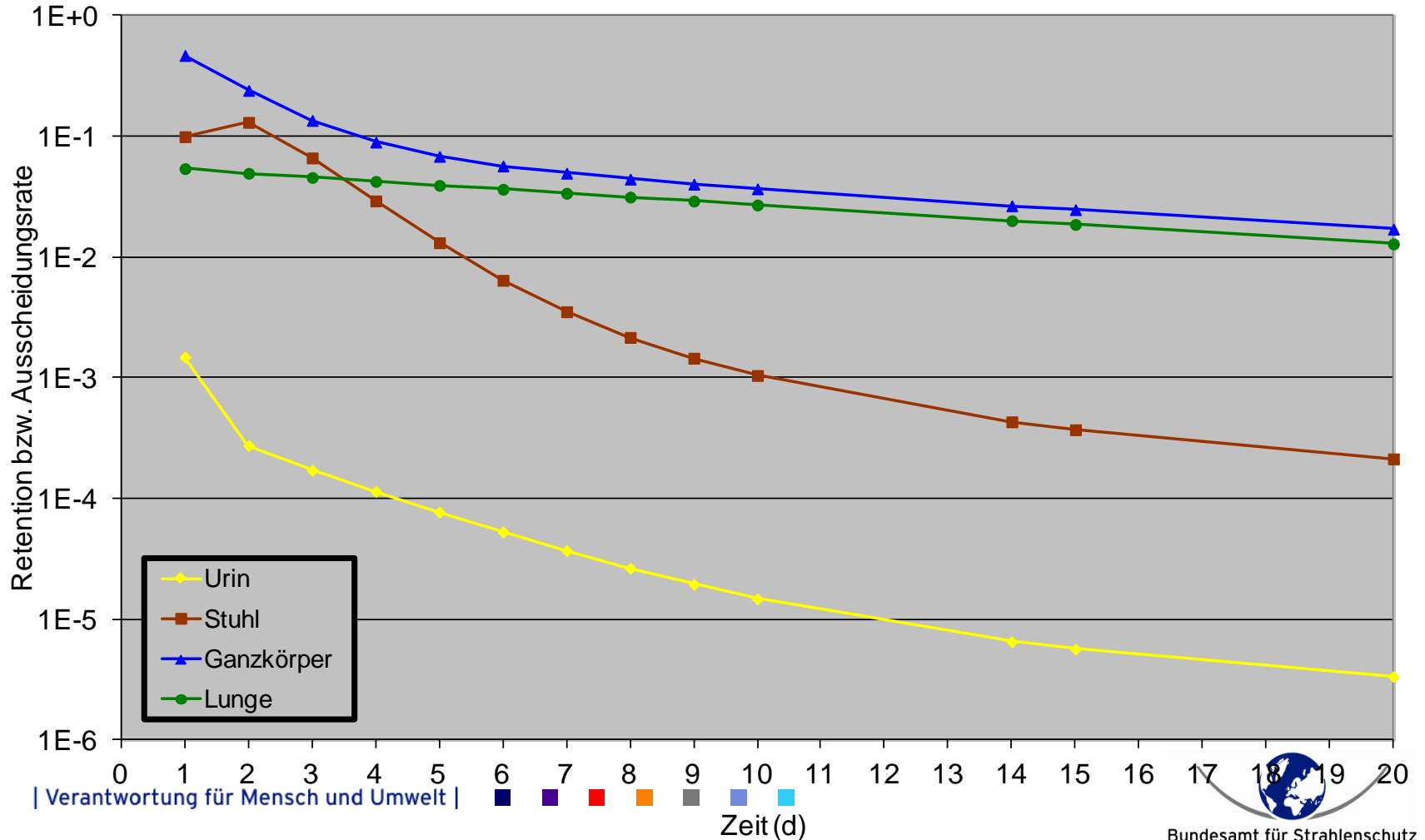
(Neuherberg)

Strahlenschutz-
Register

(Neuherberg)



Retentions- und Ausscheidungsrate von Ra-223 (Wirksubstanz von Xofigo) nach Inhalation



Strahlenschutzregister

- im Durchschnitt 1450 überwachte Personen (2012-2015)
- davon bei 4,7 % Dosisfeststellungen > 0 mSv

	Intern	extern	
Dosiseinträge	104.621	88.393.507	845
Kollektivdosis 2012-2016	86 mSv	131 Sv	1.526



Strahlenschutzgesetz

Was steht nun wo?

— § 169 (1)

Die zuständige Behörde bestimmt u. a. die für die Ermittlung der innere Exposition bei Tätigkeiten zuständigen Messstellen.

— § 169 (2)

Eine Messstelle darf nur bestimmt werden, wenn die technischen und personellen Voraussetzungen vorliegen; U. a. muss auch ein angemessenes Qualitätsmanagementsystem vorhanden ist.

— § 169 (3)

Ergebnisse sind dem Auftraggeber schriftlich mitzuteilen, fünf Jahre aufzubewahren und der zuständigen Behörde ggf. mitzuteilen.

— § 169 (4)

Ermächtigung der Bundesregierung hinsichtlich Anforderungen, Aufgaben, Qualitätssicherung, Informationsweitergabe und – Aufbewahrung und der Bestimmung von Messstellen

Strahlenschutzgesetz

Was steht nun wo?

— § 185 (2) Nummer 6

Ermächtigung der Bundesregierung zu bestimmen, dass das Bundesamt für Strahlenschutz für die Durchführung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung von Messstellen für die innere Exposition zuständig ist.

— § 216

Behördliche Bestimmungen von Messstellen, die vor Ende 2018 erfolgt sind, gelten fort, wenn bis Ende 2020 bei der zuständigen Behörde nachgewiesen ist, dass die Voraussetzungen nach § 169 Absatz 2 erfüllt sind.

