

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2019

BfS-30/20

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2020111823848

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, November 2020

Inkorporationsmessstelle Berlin Jahresbericht 2019

Bundesamt für Strahlenschutz

**Bundesamt für Strahlenschutz
Inkorporationsmessstelle/MB 5
Köpenicker Allee 120-130
10318 Berlin**

ikm-berlin@bfs.de

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	3
2	ORGANISATION DER MESSSTELLE	4
2.1	Zuständigkeiten	4
2.2	Hinweise zum Ablauf der Messungen	4
2.2.1	In-vivo-Messanlage.....	4
2.2.2	In-vitro-Labor und Ausscheidungsanalysen	4
2.3	Qualitätssichernde Maßnahmen	5
2.3.1	In-vivo-Messanlage.....	5
2.3.2	In-vitro-Labor (Alphaspektrometrie)	5
2.3.3	In-vitro-Labor (Flüssigszintillationsspektrometrie)	5
2.3.4	Ringversuche	6
3	MESSUNGEN UND DOSISFESTSTELLUNGEN IM JAHR 2019	7
3.1	Personenmessungen (In-vivo)	7
3.2	Ausscheidungsanalysen (In-vitro).....	8
3.3	Dosisfeststellungen	8
	ANHANG	9
	Technische Beschreibung der In-vivo-Messanlage.....	9
	Der Ganzkörperzähler	10
	Der Teilkörperzähler	12
	Technische Beschreibung des In-vitro-Labors	14
	Historie der Inkorporationsmessstelle Berlin.....	16
	Referenzen	17

1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Jahr 1990 wurden Teile des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS), darunter auch die In-vivo-Messeinrichtungen und radiochemischen Labore, in das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) integriert. Im September 1996 wurde zwischen dem BfS und dem Land Sachsen-Anhalt (ST) eine Verwaltungsvereinbarung zur Durchführung von Inkorporationsmessungen gemäß der StrlSchV abgeschlossen. Seit Dezember 1996 existieren entsprechende Vereinbarungen mit den Ländern Mecklenburg-Vorpommern (MV, Dezember 1996) und Thüringen (TH, November 1999). Für die Bundesländer Berlin (BE) und Brandenburg (BB) bestehen seit Januar 2014 Verwaltungsvereinbarungen sowohl für die In-vivo-Messeinrichtung als auch für das In-vitro-Labor der Inkorporationsmessstelle des Bundesamts für Strahlenschutz in Berlin (IKM Berlin).

Die aktuellen Aufgaben der Messstelle umfassen:

- Bestimmung der Körperaktivität von Gammastrahlern und Berechnung der zugehörigen Körperdosis von beruflich exponierten Personen gemäß § 65 StrlSchV (bis 30.12.2018: § 41 StrlSchV),
- Bestimmung der Aktivität von H-3, C-14 und Am-241 in Urin und Berechnung der zugehörigen Körperdosis von beruflich exponierten Personen gemäß § 65 StrlSchV,
- Übermittlung der Dosiswerte gemäß § 170 StrlSchG an das Strahlenschutzregister des BfS,
- Überwachung des im Kontrollbereich und des für die Arbeitsgruppe „Nuklearspezifische Gefahrenabwehr“ (NGA) am Standort Berlin tätigen Personals des BfS,
- regelmäßige Untersuchung von Referenzpersonen der Bevölkerung,
- Teilnahme an Maßnahmen zur Qualitätssicherung,
- Vorhaltung von Messkapazitäten für die Notfallvorsorge.

Für In-vivo-Messungen stehen eine Ganzkörperzähler- und eine Teilkörpermessanlage zur Verfügung, die beide permanent einsatzbereit gehalten werden.

Für Ausscheidungsanalysen stehen zwei Labore zur radiochemischen Probenaufbereitung sowie ein Messraum mit einem Alphaspektrometer und einem Flüssigszintillationsspektrometer zur Verfügung.

Im Jahr 2019 wurden in der In-vivo-Messanlage 644 Personenmessungen (s. Tabelle 1) und im In-vitro-Labor 54 Ausscheidungsanalysen durchgeführt (s. Tabelle 2).

Im Anhang befinden sich Angaben zur technischen Ausstattung und zur Historie der Messstelle sowie zu Publikationen.

2 ORGANISATION DER MESSSTELLE

2.1 ZUSTÄNDIGKEITEN

Die Inkorporationsmessstelle des Bundesamts für Strahlenschutz in Berlin wird vom Fachgebiet „Inkorporationsüberwachung“ (MB 5) betrieben, das in der Abteilung „Medizinischer und beruflicher Strahlenschutz“ (MB) angesiedelt ist. Die Aufgaben der Abteilung, die im Zusammenhang mit der Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen stehen, werden in der Leitstelle Inkorporationsüberwachung gebündelt.

Die Messstelle ist telefonisch unter 030 18333-4546 (Martina Hartmann, Leiterin der Messstelle) oder 030 18333-4534 (Sebastian Helbig, stellvertretender Leiter der Messstelle) und per E-Mail an ikm-berlin@bfs.de erreichbar.

Die Hausanschrift der Messstelle lautet:

Bundesamt für Strahlenschutz
Inkorporationsmessstelle, MB 5
Köpenicker Allee 120-130
10318 Berlin

2.2 HINWEISE ZUM ABLAUF DER MESSUNGEN

Vor Durchführung einer Messung für Dritte ist ein Vertrag über Nutzleistungen gemäß der „Dienstanweisung zur Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS“ (DA-Nutzleistung) abzuschließen [BfS 2020]. Die Vergütung der Nutzleistung bemisst sich nach dem Entgelteverzeichnis des BfS und wird nach Festpreis abgerechnet. Die Preise betragen derzeit netto 165 Euro für eine In-vivo-Messung und zwischen 126 und 464 Euro für eine In-vitro-Analyse. Die Entgelte enthalten jeweils die Dosisbewertung und die Mitteilung gemäß § 170 StrlSchG an das Strahlenschutzregister des BfS.

Im Vorfeld der Messung erfolgt eine Terminierung der Durchführung der jeweiligen Messung (In-vivo) bzw. der Probennahme (In-vitro). Von jeder Messperson werden Personendaten erhoben, zu deren Verarbeitung und Speicherung nach Datenschutzrecht die Einwilligung der betreffenden Personen notwendig ist.

2.2.1 In-vivo-Messanlage

Da bei den In-vivo-Messungen äußere Kontaminationen nicht oder nur bedingt von Inkorporationen unterschieden werden können, ist vor einer Messung ein Kleidungswechsel und eventuell eine Körperreinigung vorzunehmen. Die „Messkleidung“ wird von der Messstelle zur Verfügung gestellt, eine Dekontaminationsdusche ist ebenfalls vorhanden. Die Messstelle verfügt im Zugangsbereich über einen Hand-Kopf-Monitor inklusive Kleidersonde zur Feststellung etwaiger Körperoberflächenkontaminationen. Die reine Messzeit beträgt bei Ganzkörpermessungen 20 Minuten, bei Schilddrüsenmessungen 10 Minuten. Daher sollte für den gesamten Ablauf inklusive Messvorbereitung jeweils mindestens eine halbe Stunde eingeplant werden. Bei Teilkörper-/Organmessungen ist die Positionierung von Messperson und Detektor etwas aufwändiger, sodass mit einer etwas längeren Dauer gerechnet werden muss.

2.2.2 In-vitro-Labor und Ausscheidungsanalysen

Das In-vitro-Labor der Inkorporationsmessstelle ist für die Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von H-3, C-14 und Am-241 in Urinproben benannt. Hierfür sind Proben erforderlich, die im Verlauf von 24 aufeinanderfolgenden Stunden vollständig gesammelt werden müssen.

Für die Routineüberwachung auf H-3 und C-14 in Urinproben reicht die direkte Messung von Aliquoten der Urinprobe mit der Flüssigszintillationsspektrometrie (*liquid scintillation counting*, LSC) nach Mischung mit einem wasseraufnehmenden Szintillator aus. Dabei können die Nuklide in anorganischer Form oder organisch gebunden vorliegen. Bei möglichen Störungen durch andere Radionuklide oder für besonders empfindliche Messungen muss die Urinprobe mit Rückhalteträgern versehen und destilliert werden. Das Destillat wird mit einem wasseraufnehmenden Szintillator gemischt und mittels Flüssigszintillationsspektrometrie gemessen.

Die Urinproben zur alphaspektrometrischen Bestimmung werden mit konzentrierter Salpetersäure angesäuert. Das radiochemische Verfahren beruht auf der extraktionschromatographischen Trennung von Americium-Ionen mit handelsüblichen Chromatographiesäulen an einem internen Träger, elektrolytischer Abscheidung der Kationen auf Edelstahlplättchen und anschließender Messung in einem Alphaspektrometer. Zur Ausbeutebestimmung wird der Probe eine Tracerlösung mit bekannter Am-243-Aktivitätskonzentration zugesetzt.

2.3 QUALITÄTSSICHERNDE MASSNAHMEN

2.3.1 In-vivo-Messanlage

Am Ganzkörperzähler erfolgen einmal wöchentlich Messungen zur Überprüfung des natürlichen Strahlenniveaus und zur Überprüfung der messtechnischen Parameter der Detektoren (Energie-Kanal-Lage, Halbwertsbreite und Effizienz). Einmal im Monat wird eine Langzeitmessung des natürlichen Untergrunds zur Erfassung saisonbedingter Schwankungen der Radon-Aktivitätskonzentration in der Luft oder von Veränderungen im Nuklidvektor der umgebenden sonstigen natürlichen Radionuklide (K-40, U-235, U-238 und Th-232) durchgeführt. Im Jahr 2019 wurden insgesamt 137 Messungen zur internen Qualitätssicherung durchgeführt.

Außer am jährlich stattfindenden In-vivo-Ringversuch der Leitstelle Inkorporationsüberwachung hat die Inkorporationsmessstelle auch an einem von IRSN (Frankreich) organisierten europäischen Messvergleich erfolgreich teilgenommen.

2.3.2 In-vitro-Labor (Alphaspektrometrie)

Die Überprüfung der Energiekalibrierung des Detektors erfolgt monatlich mit einem zertifizierten Flächenpräparat. Abweichungen von der Energiekalibrierung sind im Probenspektrum an der Energielage des Tracerpeaks leicht zu erkennen.

Die Nulleffektzählrate der Messanordnung wird monatlich durch die Messung eines leeren Edelstahlplättchens bestimmt. Das Untergrundspektrum wird auch auf die Nulleffektzählraten in den Energiebereichen der gesuchten Isotope ausgewertet.

Die Zählausbeute wird bei jeder Probenmessung durch die Zugabe einer genau bekannten Menge des internen Tracernuklids mitbestimmt. Dadurch wird bei der Aufnahme des Spektrums in einem Schritt eine gemeinsame Bestimmung von Zählausbeute und chemischer Ausbeute des Trennungsganges erreicht.

Blindwertbestimmungen zur Kontrolle der verwendeten Glasgeräte und Chemikalien werden ebenfalls regelmäßig durchgeführt.

2.3.3 In-vitro-Labor (Flüssigszintillationsspektrometrie)

Die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des LSC-Gerätes erfolgt wöchentlich durch Messung von zertifizierten Standards (H-3, C-14 und Blank) mit graphischer Darstellung der Ergebnisse und Abfragen, ob die Ergebnisse innerhalb oder außerhalb eines definierten Bereiches liegen.

Zur Bestimmung der Nulleffektzählrate wird mit jeder Messreihe eine Nullprobe (Urinprobe von Personen, die keinen Umgang mit radioaktiven Stoffen haben) gemessen. Zudem wird pro Quartal eine Messreihe mit je fünf Urinproben (unbelasteter Urin) durchgeführt. Die Zählraten werden ausgewertet und für die Berechnung der Erkennungs- und Nachweisgrenze verwendet.

Zur Kontrolle der Messung wird außerdem bei jeder Messreihe eine Standardprobe mit bekannter Radionuklidkonzentration mitgemessen und das Ergebnis mit dem Sollwert verglichen.

2.3.4 Ringversuche

Zur Überprüfung der Genauigkeit und Präzision der Analysemethoden nimmt das In-vitro-Labor der Inkorporationsmessstelle Berlin jährlich an mehreren Ringversuchen teil:

- Ringversuche der Institution PROCORAD, Frankreich (z. B. Alphastrahler in Urin, H-3 und C-14 in Urin)
- Ringversuch des Fachgebiets Emissionen/Immissionen Wasser des BfS (Alphastrahler in Wasser)
- Ringversuch der Bundesanstalt für Gewässerkunde (H-3 in Wasser).

3 MESSUNGEN UND DOSISFESTSTELLUNGEN IM JAHR 2019

3.1 PERSONENMESSUNGEN (IN-VIVO)

Im Jahr 2019 wurden mit der Ganzkörperzählermessanlage insgesamt 644 Personenmessungen durchgeführt (Tabelle 1). Der größte Teil (524 Messungen) entfiel auf die Referenzgruppe, die aus Beschäftigten des BfS zusammengestellt ist.

Tabelle 1: Anzahl der im Berichtszeitraum durchgeführten Messungen (In-vivo)

Monat	Referenzgruppe	Messungen von Personen nach Bundesland					Sonstige
		BE	BB	MV	ST	TH	
Januar	42	3					
Februar	41	2		0			
März	41	2	4	2			1
April	43	5		5			5
Mai	40	2		6			4
Juni	46	3		2			8
Juli	46	3					1
August	49	2		1			1
September	42	2		2			1
Oktober	50	8		4			
November	46	26		4			1
Dezember	38	2		5			3
Gesamt	524	60	4	31			25

95 Messungen wurden für sechs Unternehmen und ein Universitätsklinikum in den Bundesländern Berlin (BE), Brandenburg (BB) und Mecklenburg-Vorpommern (MV) durchgeführt. Darunter fallen Messungen im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 65 (4) StrlSchV und an Personen zur Bestätigung der Eigenüberwachung.

Aus Thüringen (TH) und Sachsen-Anhalt (ST) erhielt die Inkorporationsmessstelle im Berichtszeitraum keinen Messauftrag. Die restlichen 25 Messungen entfielen auf Privatpersonen und BfS-eigenes Personal, die sich aus anderweitigen Gründen einer Inkorporationsmessung unterzogen.

Die Gruppe der Referenzpersonen unterlag keinem durch die berufliche Tätigkeit hervorgerufenen Inkorporationsrisiko. Nur bei 13 % der Messungen wurde eine Cs-137-Körperaktivität festgestellt, wobei die nachgewiesenen Aktivitäten in einem Bereich von 12 bis 100 Bq lagen. Diese konnten stets auf den Verzehr von Nahrungsmitteln (Wild, einige Pilzarten), in denen sich noch Cs-137 als Folge des Unfalls von Tschernobyl befand, zurückgeführt werden. Die Messergebnisse der Referenzgruppe sind repräsentativ für die allgemeine Bevölkerung und werden jährlich im BMUB-Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ [BMUB] in zusammengefasster Form veröffentlicht.

3.2 AUSSCHIEDUNGSANALYSEN (IN-VITRO)

Im Jahr 2019 wurden insgesamt 54 Ausscheidungsanalysen in der Inkorporationsmessstelle durchgeführt (Tabelle 2).

54 Messungen wurden im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 65 (4) StrlSchV für zwei Unternehmen in den Bundesländern Berlin (BE) und Brandenburg (BB) durchgeführt.

Tabelle 2: Anzahl der im Berichtszeitraum durchgeführten Messungen (In-vitro)

Monat	Probenmessungen von Personen nach Bundesland ¹	
	BE	BB
Januar		
Februar	2	
März	4	
April	3	14
Mai		1
Juni	2	
Juli	2	
August	3	
September	3	
Oktober	3	5
November	1	11
Dezember		
Gesamt	23	31

In Tabelle 2 sind keine Messungen und Analysen enthalten, die zur Kalibrierung bzw. Qualitätssicherung durchgeführt wurden.

3.3 DOSISFESTSTELLUNGEN

Die Messungen von Personen, die der beruflichen Strahlenschutzüberwachung nach § 65 (4) StrlSchV unterliegen, werden entsprechend der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (RiPhyKo 2) [BMU 2007] von der Messstelle dosimetrisch bewertet und nach § 170 (4) StrlSchG an das Strahlenschutzregister gemeldet. Gemäß Abschnitt 3.2.1 der RiPhyKo 2 können effektive Dosen unter 0,05 mSv und Organdosen unter 0,5 mSv zu null gesetzt werden. Die Dosisfeststellungen, auch wenn diese im Einklang mit der RiPhyKo 2 gleich null zu setzen sind, werden an das Strahlenschutzregister gemeldet.

Die Meldung erfolgt nach den Vorgaben der Formatanforderungen des Strahlenschutzregisters für die Übermittlung von Inkorporationsfeststellungen.

Für den Berichtszeitraum wurden im In-vivo-Bereich bei keiner Messperson und im In-vitro-Bereich bei drei exponierten Personen insgesamt acht Dosiswerte größer als null berechnet (Maximum: 1,25 mSv) und an das Strahlenschutzregister gemeldet.

¹ Abkürzungen für die Bundesländer: Brandenburg (BB), Berlin (BE)

ANHANG

TECHNISCHE BESCHREIBUNG DER IN-VIVO-MESSANLAGE

Wesentlicher Bestandteil der Ganz-/Teilkörpermessanlage ist die 76 t schwere Abschirmkammer mit einem Innenvolumen von etwa 21 m³ [Löss 1974a]. Ihre Wand besteht aus aktivitätsarmen Stahlplatten mit einer Gesamtdicke von 15 cm und einer im Inneren auf die Stahlwand aufgetragenen 3 mm starken Bleitapete. Die Stahlplatten stammen von einem Schlachtschiff, das vor 1945 versenkt und erst Mitte der 1960er Jahre wieder gehoben wurde. Der Stahl ist also weder bei seiner Herstellung mit künstlichen Radionukliden kontaminiert worden noch dem Fallout durch die oberirdischen Kernwaffenversuche, die im Wesentlichen zwischen 1945 und 1962 stattfanden, ausgesetzt gewesen. Die Kammer ist durch eine verstellbare Zwischenwand mit Schiebetür in zwei Bereiche geteilt. Die Kammerwand jener Hälfte, in der Teilkörpermessungen stattfinden, ist zusätzlich mit 0,5 mm dickem Kupferblech zur weiteren Abschirmung niederenergetischer Strahlung versehen. Jede Kammerhälfte ist über eine eigene Tür von außen betretbar (Abbildung 1). Die Abschirmkammer reduziert terrestrische Umgebungsstrahlung, sekundäre kosmische Strahlung und, durch den speziellen mehrschichtigen Wandaufbau, auch im Wandmaterial entstehende Fluoreszenzstrahlung.

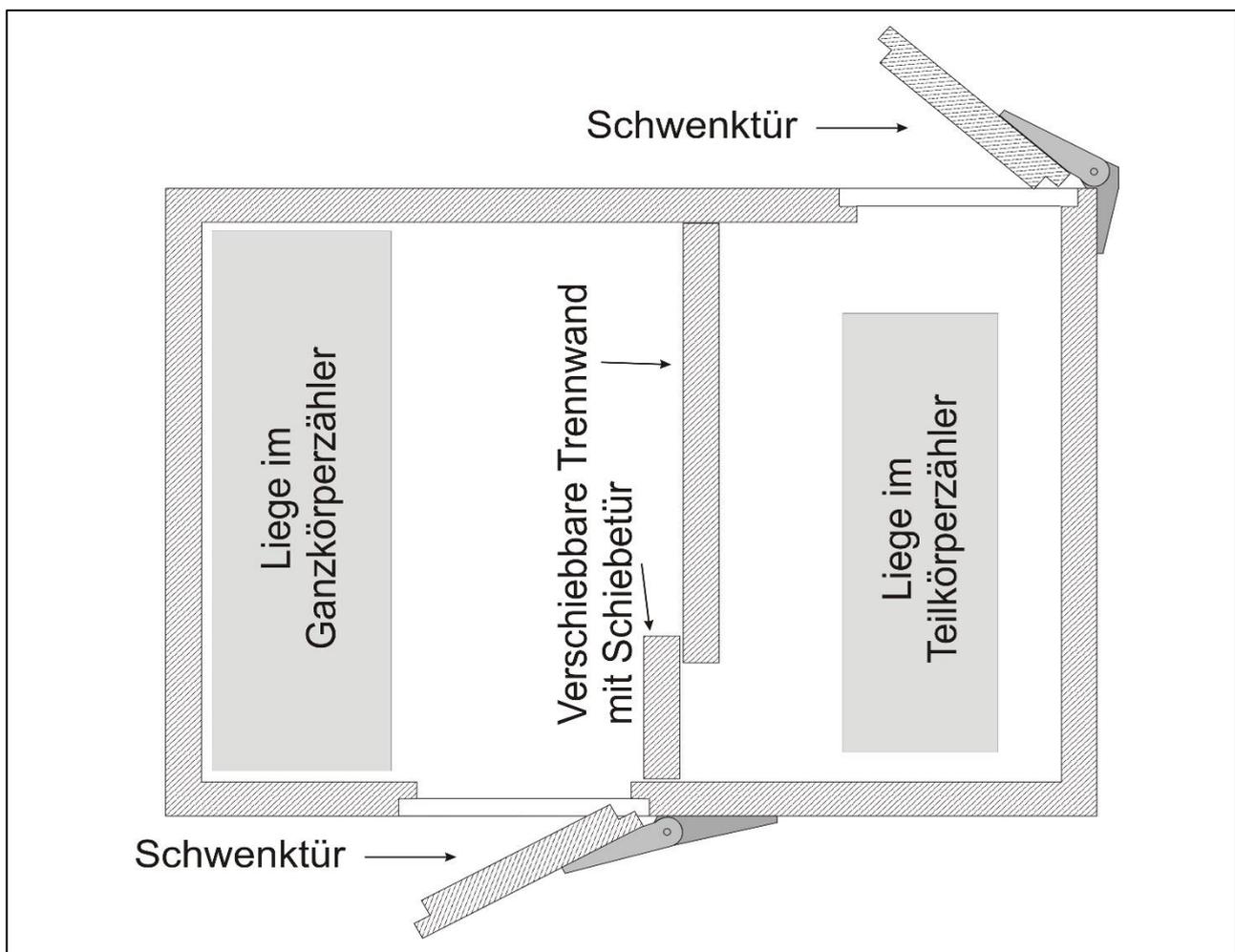


Abbildung 1: Skizze der Abschirmkammer der In-vivo-Messanlage (Draufsicht). Links bzw. rechts befinden sich die Liegen für die zu untersuchenden Personen.

Die Stahl-Abschirmkammer befindet sich in einem zylindrischen Gebäude, das aus 1,5 m dickem aktivitätsarmem Schwerbeton errichtet wurde. Das umbaute Volumen von etwa 400 m³ bildet den Messraum, in dessen Mitte die Abschirmkammer steht. Der Messraum ist als faradayscher Käfig ausgeführt [Löss 1974b], d. h. durch die lückenlose Umhüllung des Raums mit Kupferfolie werden Störungen der Messungen durch äußere elektromagnetische Wellen unterbunden. Die In-vivo-Messanlage verfügt über eine separate Klimaanlage, über die der Messraum sowohl mit Luft versorgt als auch konstant temperiert wird. Um den

durch Radon-Folgeprodukte verursachten Strahlungsuntergrund gering zu halten, wird ein zehnfacher Luftwechsel pro Stunde realisiert. Hierfür wird Luft auf Höhe des Gebäudedaches aus der Umgebung angesaugt. Im Falle einer Kontamination der Atmosphäre mit radioaktiven Gasen, z. B. I-131, kann die Luftansaugung über Spezialfilter geleitet werden, so dass die Messfähigkeit von Ganz- und Teilkörperzähler ohne die Gefahr einer Kontamination der Anlage erhalten bleibt.

Der Messanlage steht eine eigene unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) zur Verfügung, die bei Netzausfällen die Energieversorgung der gesamten Mess- und Steuerungstechnik bis zum Anlaufen des Notstromdiesels übernimmt. Die USV ist so dimensioniert, dass der Ausfall des Notstromaggregats über mehrere Stunden überbrückt werden kann.

Im Messraum befinden sich alle für die Steuerung, Kontrolle und Messung notwendigen Anlagenkomponenten. Dazu zählen die elektronischen Baugruppen für die Verarbeitung der Detektorimpulse sowie Laborrechner zur Bedienung der Anlage und zur Ermittlung und Auswertung der Messergebnisse. Sämtliche Daten werden auf einem räumlich getrennten Server gesichert.

Die Messpersonen erhalten für die Messung Einmalbekleidung, die sie statt ihrer Straßenkleidung anziehen. Dadurch werden Ergebnisverfälschungen durch kontaminierte Kleidung und Kontaminationsverschleppung auf die Messapparatur vermieden. Vor jeder Ganz-/Teilkörpermessung wird ferner eine Kontaminationskontrolle der Körperoberfläche vorgenommen. Während der Messung besteht die Möglichkeit der Kommunikation zwischen dem Messpersonal und den Probanden per Videosystem und Wechselsprechanlage.

Der Ganzkörperzähler

Die Ganzkörperzähler-Messstrecke ist mit zwei großvolumigen Reinstgermanium- (HPGe-) Detektoren mit elektrischer Kühlung ausgestattet. Die Detektoren sind oberhalb und unterhalb einer Liege angeordnet, auf der sich die Messperson befindet. Die Messung erfolgt im Scan-Modus, d. h. die Detektoren bewegen sich während der 20-minütigen Messzeit vom Fuß- zum Kopfende und wieder zurück (Abbildung 2).

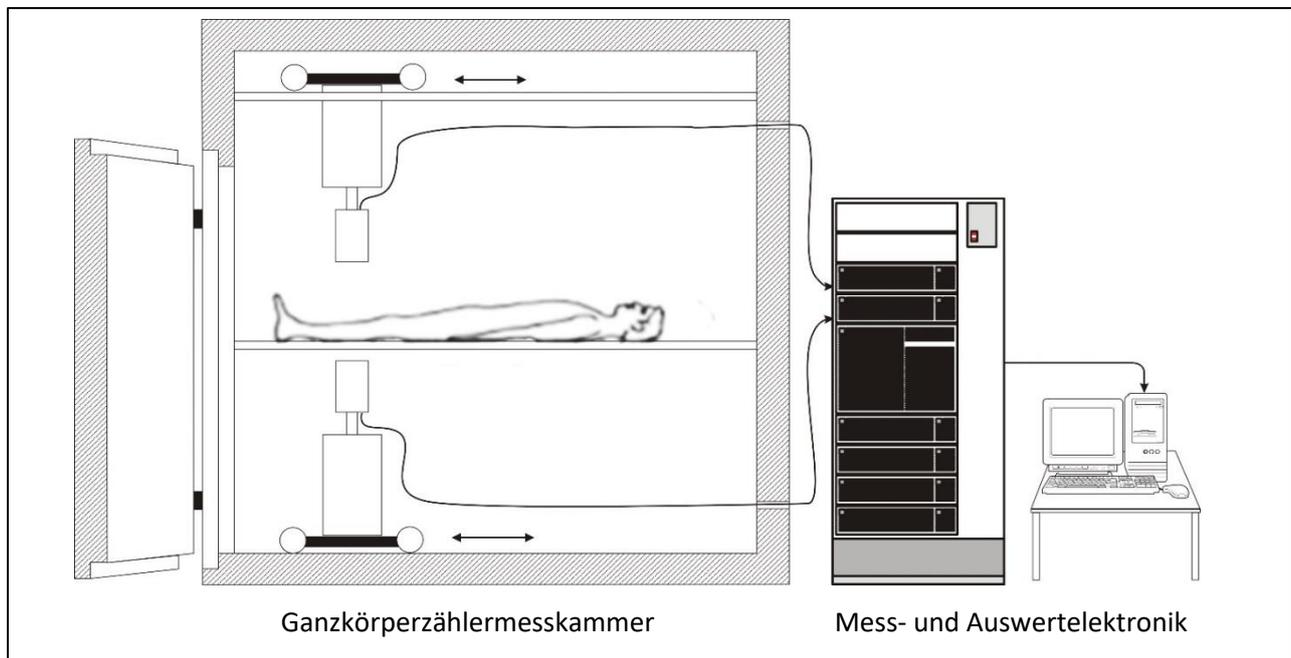


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Ganzkörpermessanlage

Die Kalibrierung der Anlage erfolgt mit einem Phantom (sog. St. Petersburg Ziegelphantom IGOR), das aus mit stäbchenförmigen Referenzstrahlenquellen bestückten Polyethylenziegeln besteht [Manu 1995]. Polyethylen hat vergleichbare strahlenphysikalische Eigenschaften wie menschliches Gewebe. Die Ziegel können mit bis zu vier Quellenstäbchen gleichzeitig bestückt werden. Durch die modulare Aufbauweise können mit den Ziegeln verschieden große Kalibrierphantome erstellt werden.

Bei der Auswertung von Messungen wird die Kalibrierung gewählt, die der untersuchten Person am ehesten entspricht. Die sechs Standardgrößen bzw. -gewichte entsprechen 12, 24, 50, 70, 90 und 110 kg. Abbildung 3a zeigt das 70-kg-Phantom in der Messanlage, Abbildung 3b den oberen der auf elektrische Kühlung umgerüsteten Detektoren in der Geometrie für Schilddrüsenmessungen.



Abbildung 3a: Kalibrierphantom (70-kg-Konfiguration).



Abbildung 3b: Oberer Detektor mit elektrischer Kühlung in Schilddrüsenmessgeometrie.

Für Standardmessungen werden Kalibrierungen verwendet, bei denen alle Ziegel mit Strahlenquellen bestückt sind, wodurch eine näherungsweise homogene Verteilung der Radionuklide über den ganzen Körper erreicht wird. Durch entsprechende Bestückungen können jedoch auch inhomogene Radionuklidverteilungen (z. B. Lungenkontamination) nachgebildet werden.

Standardmäßig werden die Nuklide K-40, Co-60, Ba-133, Cs-137, Eu-152 und Am-241 als Kalibriernuklide benutzt. Darüber hinaus stehen der Messstelle z. Z. Quellen mit Na-22, Co-57, Se-75 und Tm-170 zur Verfügung. Die Quellen wurden vom Phantomhersteller (Standardnuklide, Fa. STC Radek) oder vom Institut für Radiochemie der TU München (Spezialanfertigungen) bezogen.

In bestimmten Fällen, z. B. bei frischen Inkorporationen durch Inhalation oder bei Inkorporationen von radioaktivem Iod, können beide Detektoren oder nur der obere auch in einer der Messaufgabe (Lungenmessung, Schilddrüsenmessung) angepassten festen Positionierung betrieben werden. Diese Anwendungsfälle erfordern spezielle Kalibrierungen mit Teilkörper-Phantomen und Strahlenquellen, die Form und Größe der zu messenden Organe gut nachbilden (siehe auch unten „Der Teilkörperzähler“). Abbildung 3b zeigt den oberen Detektor in der Messanordnung für die Kalibrierung von I-131-Schilddrüsenmessungen mit einem Halsphantom.

Über die Spezifikationen und Kennwerte des Ganzkörperzählers gibt Tabelle 3 Auskunft.

Tabelle 3: Spezifikationen der Ganzkörpermessanlage

Detektorsystem	zwei HPGe-Detektoren (Mirion Technologies (Canberra) GmbH) Kristallabmessungen: Durchmesser 79 mm, Länge 79 mm, relative Effektivität: 95 %
Kühlung	wartungsfreie elektrische Kühlung
Elektronik	zwei digitale Spektrenanalytoren des Typs Lynx der Firma Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Messsoftware	Apex-InVivo in Verbindung mit Genie 2000 (Mirion Technologies (Canberra) GmbH)
Kennwerte im Routinebetrieb	Energiebereich: 80–3000 keV Energieauflösungsvermögen: ca. 2,2 keV bei 1332 keV Nachweisgrenze für Cs-137: 40 Bq

Der Teilkörperzähler

Der Teilkörperzähler ist für den Nachweis niederenergetischer Gammastrahler in einzelnen Organen bzw. begrenzten Körperregionen ausgelegt. Mit den insgesamt sechs planaren Reinstgermanium-(LEGe-) Detektoren in paarweiser Anordnung sind Schilddrüsenmessungen auf I-125, Pb-210-Messungen am Schädelknochen oder die Untersuchung der Lunge auf inhalede radioaktive Stoffe, z. B. Am-241, möglich.

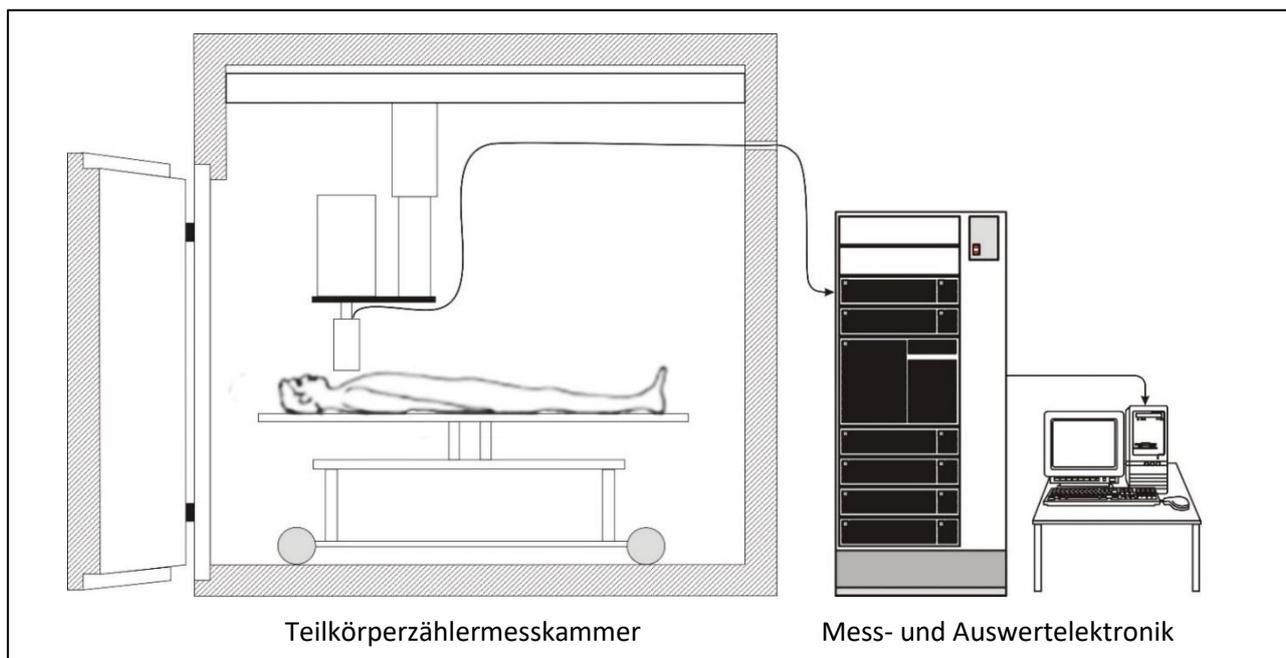


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Teilkörpermessanlage. Dargestellt ist eine Schilddrüsenmessung.

Die Messungen erfolgen in fester Positionierung der Detektoren, wobei deren Halterung eine nahezu uneingeschränkte Ausrichtung oberhalb der Messperson erlaubt. An Messungen können einzelne Detektoren oder Detektorgruppen bis zum Umfang aller vorhandenen sechs Detektoren gleichzeitig aktiv beteiligt sein. Abbildung 4 zeigt die schematische Veranschaulichung einer Schilddrüsenmessung mit nur einem Detektor. Wegen der besseren Übersicht wurde auf die Darstellung der übrigen Detektoren verzichtet.

Da beim Nachweis niederenergetischer Gammastrahler die Selbstabsorption der Strahlung im Körper einen wesentlichen Einfluss auf das Messergebnis hat, ist dieser Aspekt bei der Kalibrierung der Anlage möglichst genau zu berücksichtigen. Die Gewebeäquivalenz der verwendeten Materialien der Phantome und deren dem menschlichen Vorbild möglichst ähnliche Morphologie sind entscheidend für die Güte der Kalibrierung. Für die Kalibrierung des Teilkörperzählers stehen daher unterschiedliche, der jeweiligen Messaufgabe angepasste Phantome zur Verfügung.

Die Kalibrierungen für Schilddrüsenmessungen werden mit einem Plexiglas-Halsphantom (Abbildung 5 links) vorgenommen, in das zwei in ihrer Ausdehnung den beiden menschlichen Schilddrüsenlappen ähnelnden Referenzstrahler eingebracht sind [Alt 1990]. Es kann eine Reihe verschiedener Gewebedicken über den Strahlenquellen simuliert werden, um der unterschiedlichen Anatomie der Messpersonen Rechnung zu tragen.

Zum Nachweis niederenergetischer Gammastrahler (v. a. Am-241 und Pb-210) im Skelett eignet sich am besten eine Messung am Schädel [Dett 1997]. Vorteilhaft dabei ist seine Größe (es lassen sich mehrere Detektoren bei einer Messung platzieren) und die Tatsache, dass er von Gewebe geringer Dicke (geringe Selbstabsorption) bedeckt ist. Für Kalibrierungsmessungen stehen zwei entsprechende Schädelphantome bereit.

Für Lungen- und Lebermessungen verfügt die Leitstelle des BfS über ein Phantom des Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL, Abbildung 5 rechts), mit dem in diversen Konfigurationen kalibriert werden kann [Sny 2010]. Zum Kalibrierphantom gehören verschieden dicke Overlays, mit denen unterschiedliche Brustwanddicken und -typen simuliert werden können. Bei den Overlays stehen vier Dicken (0,7 cm bis 2,4 cm) mit jeweils drei Muskel-Fett-Verhältnissen (100 %, 50 % und 30 % Muskelanteil) zur Auswahl. Das Phantom kann mit radioaktiven Organnachbildungen (Lungenflügel, Leber, Lymphknoten) bestückt werden. Als Kalibriernuklid wird Am-241 verwendet.



Abbildung 5: Zwei Kalibrierphantome für den Teilkörperzähler. Links das Halsphantom zur Kalibrierung für Schilddrüsenmessungen, rechts das LLNL-Lungenphantom (mit Organen und Overlays in zerlegtem Zustand).

Für eine permanente Messbereitschaft werden die Detektoren dreimal pro Woche über eine automatische Nachfülleinrichtung mit Flüssigstickstoff befüllt.

Die Spezifikationen und wichtigsten Kennwerte der Teilkörperzähler-Messanlage sind in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4: Spezifikationen der Teilkörpermessanlage

Detektorsystem	sechs LGe-Detektoren Typ GL 2010 RT (Mirion Technologies (Canberra) GmbH) in paariger Anordnung, je Paar mit einem ACT-II-Cryostat Typ 7935-4 und angeflanschem 7-L-Dewargefäß Kristallabmessungen: Durchmesser 50,5 mm, Dicke 10 mm Strahleneintrittsfenster: Kohlefaser-Epoxidharz
Kühlung	flüssiger Stickstoff; ca. alle 60 h automatische Nachfüllung aus Vorratsbehälter
Elektronik	sechs digitale Spektrenanalytoren des Typs Lynx der Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Messsoftware	Apex-InVivo in Verbindung mit Genie 2000 (Mirion Technologies (Canberra) GmbH)
Kennwerte im Routinebetrieb	Energiebereich: 3-150 keV Energieauflösungsvermögen: ca. 0,6 keV bei 122 keV Nachweisgrenze für I-125 in der Schilddrüse: 10 Bq

TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES IN-VITRO-LABORS

Im In-vitro Labor stehen für die Analysen zwei Messgeräte zur Verfügung, ein Alphaspektrometer (Alpha-Analyst, Mirion Technologies (Canberra) GmbH) und ein Flüssigszintillationsspektrometer (Hidex 300 SL, Hidex Oy).

Für die alphaspektrometrische Bestimmung wird nach der chemischen Aufarbeitung die Aktivität des Messpräparates in einer der 12 Messkammern gemessen. Jede Kammer ist mit einem Halbleiterdetektor bestückt. Die Messung erfolgt bei Raumtemperatur und Unterdruck. Durch die verwendete Messsoftware (Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH) kann jede dieser Messkammern individuell angesteuert und betrieben werden. In Abbildung 6 sind die Messkammern, die Elektronik und die Auswerteeinheit dargestellt.

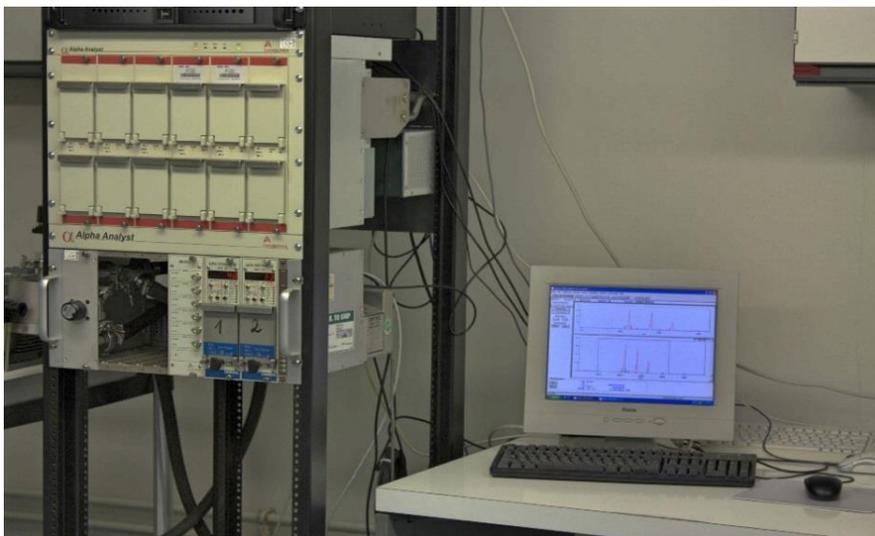


Abbildung 6: Alphaspektrometer mit 12 Messkammern.

Die zur Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von H-3 und C-14 hergestellten Messproben werden im Flüssigszintillationsspektrometer gemessen. Die Messung erfolgt in einer gekühlten und zur Umgebung abgeschirmten Messkammer. Das Messsystem wird computerunterstützt gesteuert. Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt über die Software des Herstellers. Abbildung 7 zeigt das Messgerät mit geöffneter Probenkammer.



Abbildung 7: Flüssigszintillationsspektrometer Hidex 300 SL.

HISTORIE DER INKORPORATIONSMESSSTELLE BERLIN

1963/64	Errichtung der ersten Ganzkörpermessanlage mit experimentellem Charakter am Standort Berlin-Friedrichshagen der Staatlichen Zentrale für Strahlenschutz in der DDR (SZS) und Aufbau eines Labors für Ausscheidungsanalyse
1965	Beginn des Messbetriebs des experimentellen Ganzkörperzählers in Berlin-Friedrichshagen [Pou 1966], „Bestimmung von Thorium im Harn“ im Ausscheidungslabor des SZS [Som 1965]
1968 – 1971	Konzeptionelle Entwicklung einer Einrichtung zur Inkorporationskontrolle mit einem Hochleistungsganzkörperzähler, einem Teilkörperzähler und einem Ausscheidungslabor am jetzigen Standort Berlin-Karlshorst [Pou 1968], [Löss 1974a], [Löss 1974b]
1972	Aufnahme des Messbetriebs der Anlage in ihrer heutigen Bauart in Berlin-Karlshorst
1973	Entstehung des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) aus dem SZS als die für die kerntechnische Sicherheit und den Strahlenschutz zuständige staatliche Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde der DDR
1986	Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl wurden Messungen an Personen vorgenommen, die sich in kontaminierten Gebieten aufgehalten hatten. Weiterhin kam der Ganzkörperzähler auch für Lebensmittelmessungen größeren Umfangs zum Einsatz. [BfS 1992]
1991	Nach der deutschen Wiedervereinigung wurden Teile der Aufgaben des SAAS ab 01.07.1991 in den Aufgabenbereich des BfS überführt
1991	Ganzkörperzählermessungen von über 200 Kindern aus Russland, der Ukraine und Weißrussland von 1988-1998 [BfS 1991]
1994	Modernisierung des Teilkörperzählers; Umstellung von Phoswich-Detektoren auf planare Reinstgermanium-Detektoren. Möglichkeit der Messung des Pb-210-Körpergehalts zur retrospektiven Bestimmung der Radonexposition bei Uranbergarbeitern und Wasserwerkern
1996, 1999	Abschluss von Verwaltungsvereinbarungen zwischen den Bundesländern Sachsen-Anhalt (Sep. 1996), Thüringen (Dez. 1996) und Mecklenburg-Vorpommern (Nov. 1999) sowie dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Einrichtung einer Inkorporationsmessstelle für In-vivo-Messungen bei beruflich strahlenexponierten Personen nach § 62 Abs. 6 StrlSchV (Fassung 1989)
1999 – 2000	Austausch der NaI(Tl)-Detektoren des Ganzkörperzählers gegen Reinstgermanium-Detektoren
2011	Reaktorunfall in Fukushima; kurzzeitig hohes Messaufkommen an japanischen Staatsbürgern und anderen Personen, die sich während des Unfalls in Japan aufgehalten hatten [BMUB 2011]
2014	Abschluss von Verwaltungsvereinbarungen zwischen den Bundesländern Brandenburg, Berlin und dem BfS zur Beauftragung der Durchführung von In-vivo-Messungen und In-vitro-Messungen bei beruflich strahlenexponierten Personen nach § 41 StrlSchV (Fassung 2001)
2016	Umstellung der Detektoren des Ganzkörperzählers auf elektrische Kühler, Neuanschaffung eines Flüssigszintillationsspektrometers (Hidex 300 SL)

REFERENZEN

- [Alt 1990] Alt, P. Entwicklung eines Standard-Schilddrüsen-Halsphantoms sowie Aufbau und Kalibrierung eines Messstandes zum Nachweis von Radiojodisotopen in der menschlichen Schilddrüse, Diplomarbeit, Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt a. M., 1990
- [BfS 1991] Inkorporationsmessungen an 200 Kindern aus Russland, der Ukraine und Weißrussland; Infoblatt 9/91 des BfS
- [BfS 1992] Bundesamt für Strahlenschutz ST-Bericht „Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989“; ST-1/92, August 1992
- [BfS 2011] Bundesamt für Strahlenschutz Dienstanweisung „Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS (DA Nutzleistung)“; GZ Z2-04101/4 vom 03.05.2011
- [BMU 2007] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung (§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung); GMBI. 2007 S. 623
- [BMUB] Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Verfügbar unter: <http://doris.bfs.de/jspui/>
- [Dett 1997] Dettmann, K. Scheler, R., Der Einsatz des LEGe-Teilkörpermesssystems für die In-vivo-Bestimmung von Am-241 im menschlichen Skelett, BfS-Jahresbericht (1997) S. ST50-ST51. Verfügbar unter: http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/jb/jb_bis_2002/jb1997_st_wk.pdf
- [Löss 1974a] Lössner, V., et al. Einrichtungen zur physikalischen Inkorporationskontrolle im Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz, Staatliche Zentrale für Strahlenschutz; Report SZS-163, Juli 1974
- [Löss 1974b] Lössner, V., Klucke, H. Aufbau einer großen Raumabschirmung gegen Hochfrequenzstörungen in einem Strahlenschutzmesslabor, Staatliche Zentrale für Strahlenschutz; Report SZS-163, Juli 1974
- [Löss 1988] H. Lössner, H. Klucke, W. Rothe, R. Scheler, W. Will; Die Kontrolle der individuellen Strahlenbelastung der Strahlenwerkstätten in der DDR; Z. Klein. Med. 43 (1988) 2017-2020
- [Manu 1995] Technical Documents for Human Whole Body Phantom – Set UPh-07T, Scientific Research Institute for Industrial and Sea Hygiene, St. Petersburg, Russia 1995
- [Pou 1966] Poulheim, K.-F., Hoeßelbarth, H.; Der experimentelle Ganzkörperzähler der Staatlichen Zentrale für Strahlenschutz, Kernenergie 9 (4), 1966
- [Pou 1968] Poulheim, K.-F., Lössner, V.; Tendenzen in der Entwicklung der Ganzkörperzählermesstechnik und beim Aufbau von Ganzkörperzählern, Report SZS-15/68
- [Som 1965] Sommer, J.; Die Bestimmung des Thoriums im Harn, Report SZS-12/65
- [Sny 2010] Snyder, S. F., Traub, R.J.; The Livermore Phantom History and Supplementation, Health Phys. 98(3):459–465; 2010
- [StrlSchG 2017] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert
- [StrlSchV 2018] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036)

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Telefon: + 49 (0)3018 333-0
Telefax: + 49 (0)3018 333-1885
Internet: www.bfs.de
E-Mail: ePost@bfs.de



Bundesamt für Strahlenschutz