



Bundesamt
für Strahlenschutz

Bericht

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2022

BfS-52/23

Bundesamt für Strahlenschutz
MB 5 | Inkorporationsmessstelle Berlin
Köpenicker Allee 120–130
10318 Berlin

ikm-berlin@bfs.de

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
MB 5 | Inkorporationsüberwachung
Köpenicker Allee 120–130
10318 Berlin

Tel.: +49 30 18333-4546

Fax: +49 30 18333-4315

E-Mail: ikm-berlin@bfs.de

De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

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

urn:nbn:de:2023042837845

04/2023

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Organisation der Messstelle	6
2.1	Zuständigkeiten	6
2.2	Hinweise zum Ablauf der Messungen.....	6
2.2.1	In-vivo-Messanlage	6
2.2.2	In-vitro-Labor und Ausscheidungsanalysen	6
2.3	Qualitätssichernde Maßnahmen.....	7
2.3.1	In-vivo-Messanlage	7
2.3.2	In-vitro-Labor (Alphaspektrometrie)	7
2.3.3	In-vitro-Labor (Flüssigszintillationsspektrometrie).....	7
2.3.4	Ringversuche.....	8
2.3.5	Akkreditierung der Inkorporationsmessstelle Berlin	8
3	MESSUNGEN UND DOSISFESTSTELLUNGEN IM JAHR 2022.....	9
3.1	Personenmessungen (In vivo)	9
3.2	Ausscheidungsanalysen (In vitro).....	11
3.3	Dosisfeststellungen	11
4	Anhang	13
4.1	Technische Beschreibung der In-vivo-Messanlage	13
4.1.1	Der Ganzkörperzähler.....	14
4.1.2	Der Teilkörperzähler.....	16
4.2	Technische Beschreibung des In-vitro-Labors	18
4.3	Historie der Inkorporationsmessstelle Berlin.....	19
4.4	Referenzen.....	21

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 gültigen 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,
- 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 in den Strahlenschutzbereichen sowie des für das Fachgebiet RN 7 Nuklearspezifische Gefahrenabwehr 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 2022 wurden in der In-vivo-Messanlage 304 Personenmessungen (s. Tabelle 1) und im In-vitro-Labor 53 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, die 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, Laborleitung) oder 030 18333-4534 (Sebastian Helbig, stellvertretende Laborleitung) 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 gemäß der Dienstanweisung über die Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS (DA-Nutzleistung) abzuschließen [BfS 2020]. Die Vergütung der Nutzleistung bemisst sich nach dem Entgeltverzeichnis 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 Person 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, so dass 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 erfolgt einmal wöchentlich eine Messung zur Überprüfung der messtechnischen Parameter der Detektoren (Energie-Kanal-Lage, Halbwertsbreite und Effizienz), die sogenannten Kalibrierungsüberprüfung. Einmal in der Woche wird eine Langzeitmessung zur Überprüfung des natürlichen Strahlenuntergrunds 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 2022 wurden insgesamt 93 Messungen (43 Untergrundmessungen und 50 Kalibrierungsüberprüfungen) zur internen Qualitätssicherung durchgeführt.

2.3.2 In-vitro-Labor (Alphaspektrometrie)

Die Überprüfung der Energiekalibrierung und der Effizienz der Detektoren erfolgen monatlich mit einem zertifizierten Flächenpräparat. Die gemessene Impulsrate wird in einer entsprechenden Wertkontrollkarte dokumentiert.

Die Nulleffektzählrate der Messanordnung wird monatlich durch die Messung eines leeren Edelstahlplättchens bestimmt. Das Untergrundspektrum wird auch auf die Nulleffektzählraten in den Energiebereichen der Nuklide, die in den Ausscheidungsmessungen gesucht werden, 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.

Pro Quartal und pro Messkammer werden zwei voneinander unabhängige Blindwertmessungen durchgeführt. Bei dem Blindwert handelt es sich um eine Urinprobe einer Referenzperson ohne Umgang mit radioaktiven Stoffen, welcher ein radionuklidspezifischer interner Standard zugegeben wird. Es erfolgt ein kompletter radiochemischer Trennungsgang mit Herstellung des Messpräparates und anschließender Messung für mindestens 300000 Sekunden im Alphaspektrometer.

Im Jahr 2022 wurden für die Alphaspektrometrie insgesamt 347 Messungen (239 Nulleffektmessungen und 108 Kalibrierungsüberprüfungen) zur internen Qualitätssicherung 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.

Im Jahr 2022 wurden für die Flüssigszintillationsspektrometrie insgesamt 172 Messungen (100 Nulleffektmessungen und 72 Kalibrierungsüberprüfungen) zur internen Qualitätssicherung durchgeführt.

2.3.4 Ringversuche

Zur Überprüfung der Genauigkeit und Präzision der Analysen- und Messmethoden sowie zur Überprüfung der korrekten Berechnung der Körperdosis nach dem Referenzverfahren nimmt die Inkorporationsmessstelle Berlin regelmäßig an mehreren Ringversuchen teil. Im Berichtszeitraum wurden folgende Ringversuche durchgeführt, bei denen die Inkorporationsmessstelle die Kriterien zur Qualitätssicherung gemäß RiphyKo 2 erfüllt hat.

- Ringversuche der Institution PROCORAD, Frankreich (z. B. Alphastrahler in Urin, H-3 und C-14 in Urin)
- BfS-Ringversuch zur Bestimmung der Ganzkörper-Aktivität
- BfS-Ringversuch zur Berechnung der Körperdosis (Fallbeispiel)
- Ringversuch der Institution CEA, Frankreich (Po-210)
- Ringversuch der Bundesanstalt für Gewässerkunde (H-3 in Wasser)

Im Jahr 2022 wurden in der Inkorporationsmessstelle Berlin insgesamt 133 Messungen zur externen Qualitätssicherung durchgeführt.

2.3.5 Akkreditierung der Inkorporationsmessstelle Berlin

Im Jahr 2022 wurde gemäß den Zielsetzungen ein Qualitätsmanagementsystem (QMS) eingeführt, welches den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025 für Prüflabore entspricht. Dieses QMS integriert sich in die Managementsystemstrukturen des BfS. Die notwendigen externen Fach- und Systembegutachtungen durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) wurden erfolgreich absolviert. Die Bestätigung seitens der DAkkS mit der offiziellen Akkreditierungsurkunde steht noch aus.

3 MESSUNGEN UND DOSISFESTSTELLUNGEN IM JAHR 2022

3.1 Personenmessungen (In vivo)

Im Jahr 2022 wurden mit der Ganzkörperzählermessanlage insgesamt 304 Personenmessungen durchgeführt (Tabelle 1). Bei der Mehrzahl der Messpersonen (72 %) handelte es sich um Beschäftigte des BfS.

82 Messungen (27 %) wurden für fünf 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 StrlSchV sowie Messungen zur Evaluierung der Eigenüberwachung in den Betrieben. Aus Thüringen (TH) und Sachsen-Anhalt (ST) erhielt die Inkorporationsmessstelle im Berichtszeitraum keinen Messauftrag.

Vier Messungen (1 %) waren sonstige Messungen im Rahmen von Schülerpraktika bzw. Besichtigungen des Labors.

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

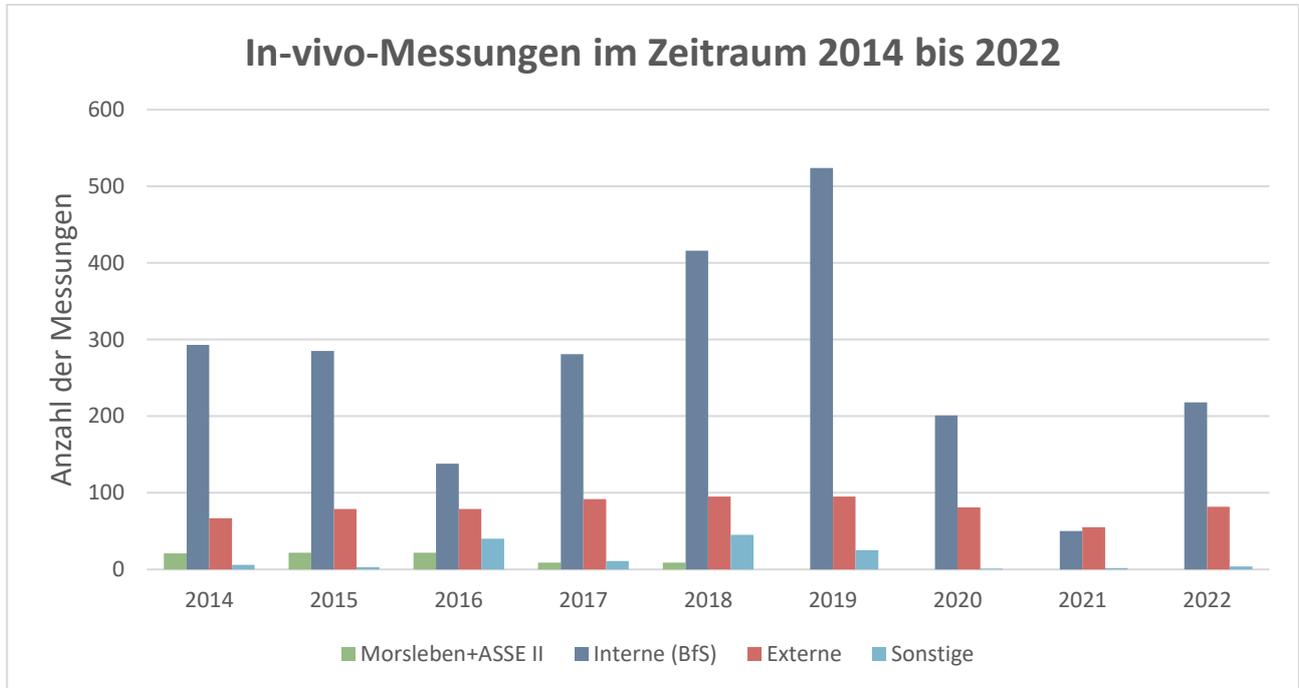
Monat	Interne Messungen	Externe Messungen von Personen nach Bundesland ¹			Sonstige
		BE	BB	MV	
Januar					1
Februar					
März		4			
April	24	1			
Mai	25	10		2	
Juni	29	1		12	1
Juli				2	
August	26	1			
September	34	6		1	
Oktober	22	22	3	2	1
November	30	1		7	
Dezember	28	2		5	1
Gesamt	218	48	3	31	4

Die Beschäftigten des BfS unterlagen keinem bzw. einem vernachlässigbaren Inkorporationsrisiko, hervorgerufen durch die berufliche Tätigkeit. Nur bei 14 % der Messungen wurde eine Cs-137-Körperaktivität festgestellt, wobei die nachgewiesenen Aktivitätswerte in einem Bereich von 12 bis 80 Bq lagen. Diese konnten stets auf den Verzehr von Nahrungsmitteln (Wild, einige Pilzarten), in denen sich noch

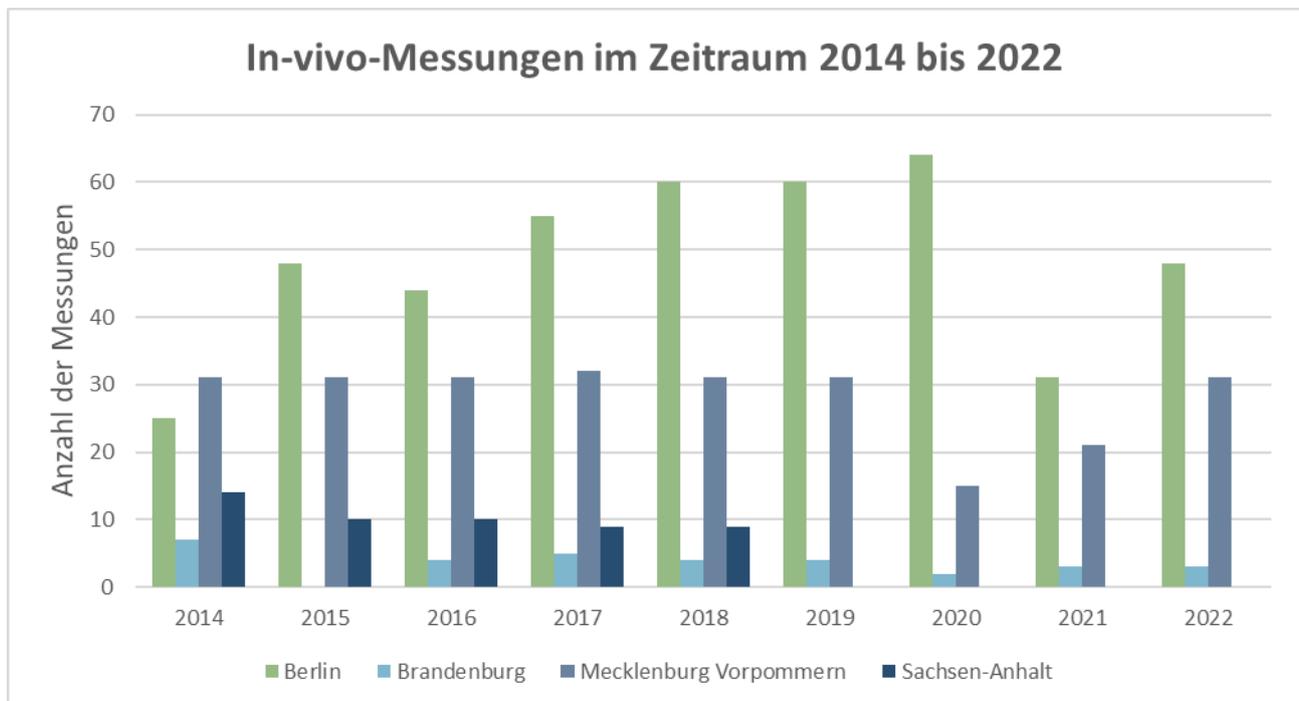
¹ Abkürzungen für die Bundesländer: Berlin (BE), Brandenburg (BB), Mecklenburg-Vorpommern (MV)

Cs-137 als Folge des Unfalls von Tschernobyl befand, zurückgeführt werden. Die Ergebnisse der internen Messungen sind repräsentativ für die allgemeine Bevölkerung und werden jährlich im BMUV-Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ [BMUV] in zusammengefasster Form veröffentlicht

Das erste Quartal des Jahres 2022 war weiterhin von den Einschränkungen der COVID-19-Pandemie geprägt. Die Anzahl der durchgeführten Messungen der Beschäftigten des BfS ist im Verlaufe des Jahres gegenüber dem Vorjahr wieder deutlich angestiegen (Abbildung 1). Bei den Routinemessungen von externen beruflich exponierten Personen (Abbildung 2) war ebenfalls ein Anstieg der Messungen zu verzeichnen.



1 Anzahl der Messungen pro Personengruppe, die in den letzten Kalenderjahren durchgeführt wurden.



2 Anzahl der Messungen an externen Personen, die in den letzten Kalenderjahren durchgeführt wurden, aufgeteilt nach Bundesländern.

3.2 Ausscheidungsanalysen (In vitro)

Im Jahr 2022 wurden insgesamt 56 Ausscheidungsanalysen im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 65 (4) StrlSchV für drei Unternehmen in den Bundesländern Berlin (BE) und Brandenburg (BB) durchgeführt (Tabelle 2).

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

Monat	Probenmessungen von Personen nach Bundesland ²	
	BE	BB
Januar	1	
Februar	7	
März	2	
April	2	10
Mai	2	6
Juni	1	
Juli	2	
August	2	
September	2	
Oktober	1	
November	1	16
Dezember	1	
Gesamt	24	32

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 unterliegen, werden entsprechend der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (RiPhyKo 2) von der Messstelle dosimetrisch bewertet [BMU 2007]. Dies galt bislang nur für Personen, bei denen Messungen durch die zuständige Behörde angeordnet wurden. Ab diesem Jahr wurden auch Dosisfeststellungen für Personen, die zur Evaluierung der betrieblichen Eigenüberwachung gemessen werden, an das Strahlenschutzregister gemeldet.

² Abkürzungen für die Bundesländer: Brandenburg (BB), Berlin (BE)

Die Dosisfeststellungen, auch wenn diese im Einklang mit der RiPhyKo 2 gleich null zu setzen sind, werden an das Strahlenschutzregister gemeldet. Die Meldung erfolgt über das vom Strahlenschutzregister zur Verfügung gestellte Webportal.

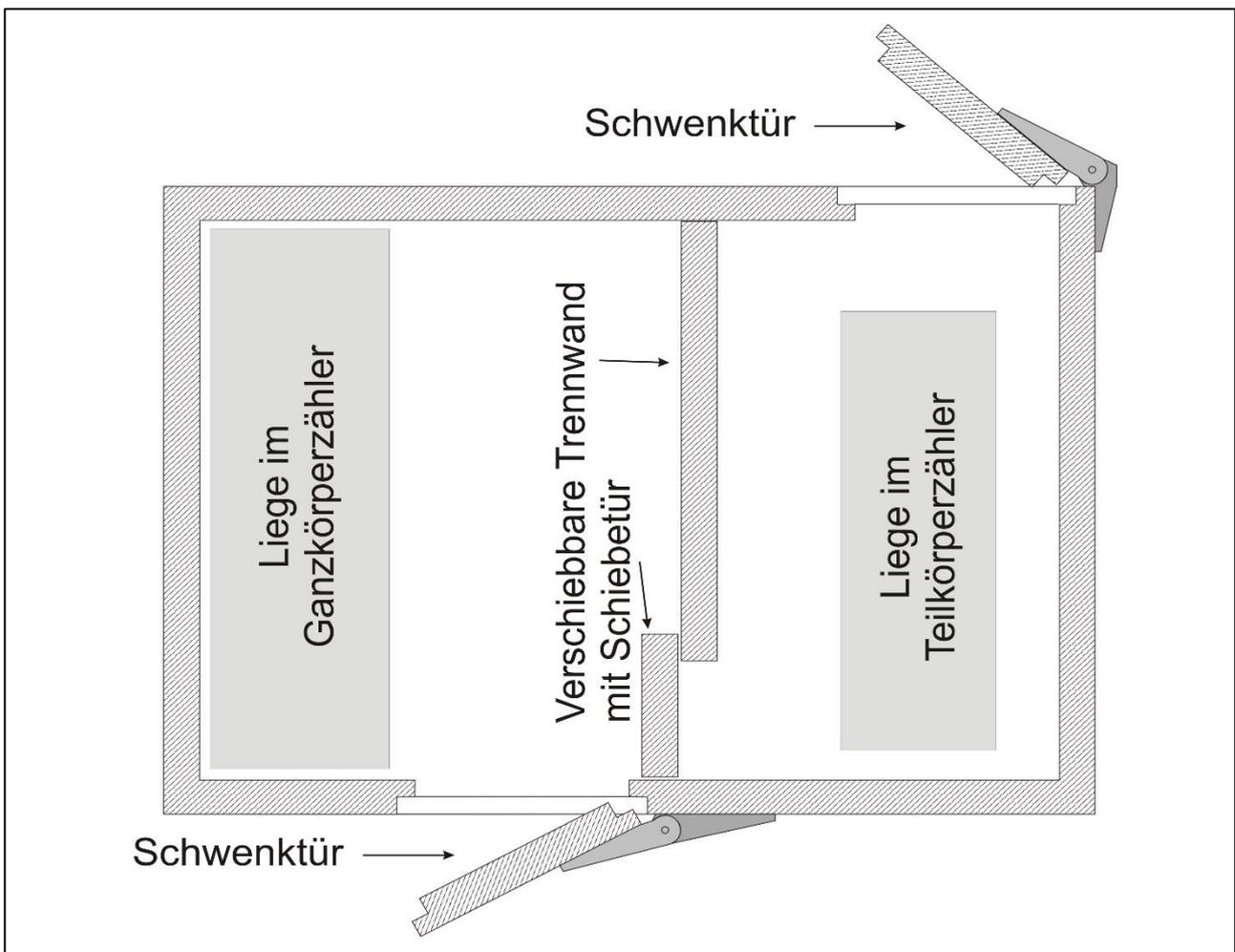
Für den Berichtszeitraum wurden im In-vivo-Bereich bei keiner Messperson und im In-vitro-Bereich bei vier exponierten Personen insgesamt neun Dosiswerte größer als null berechnet (Maximum: 0,25 mSv) und an das Strahlenschutzregister gemeldet.

Zukünftig ist vorgesehen, die Dosisfeststellung auch für die beruflich exponierten Beschäftigten des BfS, die freiwillig im Rahmen der Strahlenschutzvorsorge untersucht werden an das Strahlenschutzregister zu melden.

4 Anhang

4.1 Technische Beschreibung der In-vivo-Messanlage

Wesentlicher Bestandteil der Ganz-/Teilkörpermessanlage ist die 76 t schwere Abschirmkammer mit einem Innenvolumen von etwa 21 m^3 [Löss 1974a]. Ihre Wand besteht aus aktivitätsarmen Stahlplatten mit einer Gesamtdicke von 15 cm und einer im Kammerinnern auf die Stahlwand aufgebracht 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 3). Die Abschirmkammer reduziert terrestrische Umgebungsstrahlung, sekundäre kosmische Strahlung und, durch den speziellen mehrschichtigen Wandaufbau, auch im Wandmaterial entstehende Fluoreszenzstrahlung.



3 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 m^3 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.

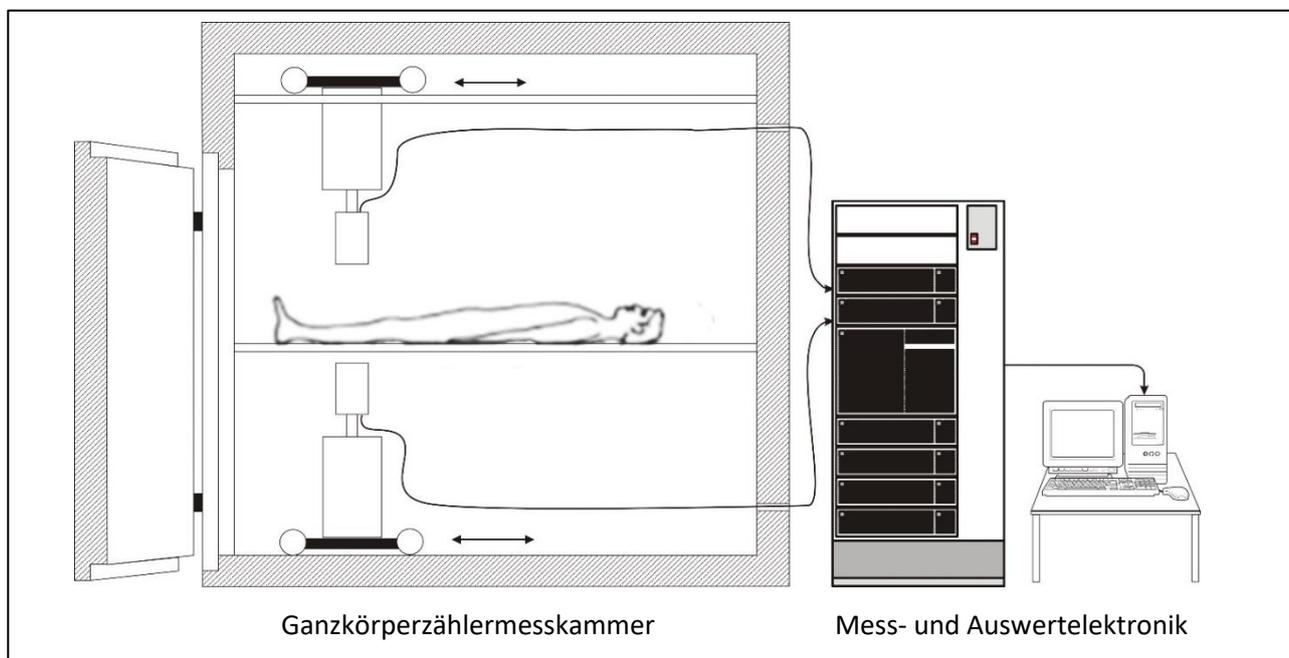
Der Messanlage steht eine eigene unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) zur Verfügung, die bei Netzausfällen die Energieversorgung der gesamten Mess- und Steuerungstechnik bis zum Anlaufen des Notstromdiesels übernimmt. Die USV ist so dimensioniert, dass der Ausfall des Notstromaggregats über mehrere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

4.1.1 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 4).



4 Schematischer Aufbau der Ganzkörpermessanlage

Die Kalibrierung der Anlage erfolgt mit einem Phantom (sog. St. Petersburger 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 5 zeigt das 70-kg-Phantom in der Messanlage, Abbildung 6 den oberen der auf elektrische Kühlung umgerüsteten Detektoren in der Geometrie für Schilddrüsenmessungen.



5 Ganzkörperzähler mit Kalibrierphantom (70-kg-Konfiguration).



6 Ganzkörperzähler. Detektor über dem Halsphantom zur Schilddrüsenkalibrierung.

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.

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 Kapitel 4.1.2). Abbildung 6 zeigt den oberen Detektor in der Messanordnung für die Kalibrierung von I-131-Schilddrüsenmessungen mit einem Halsphantom.

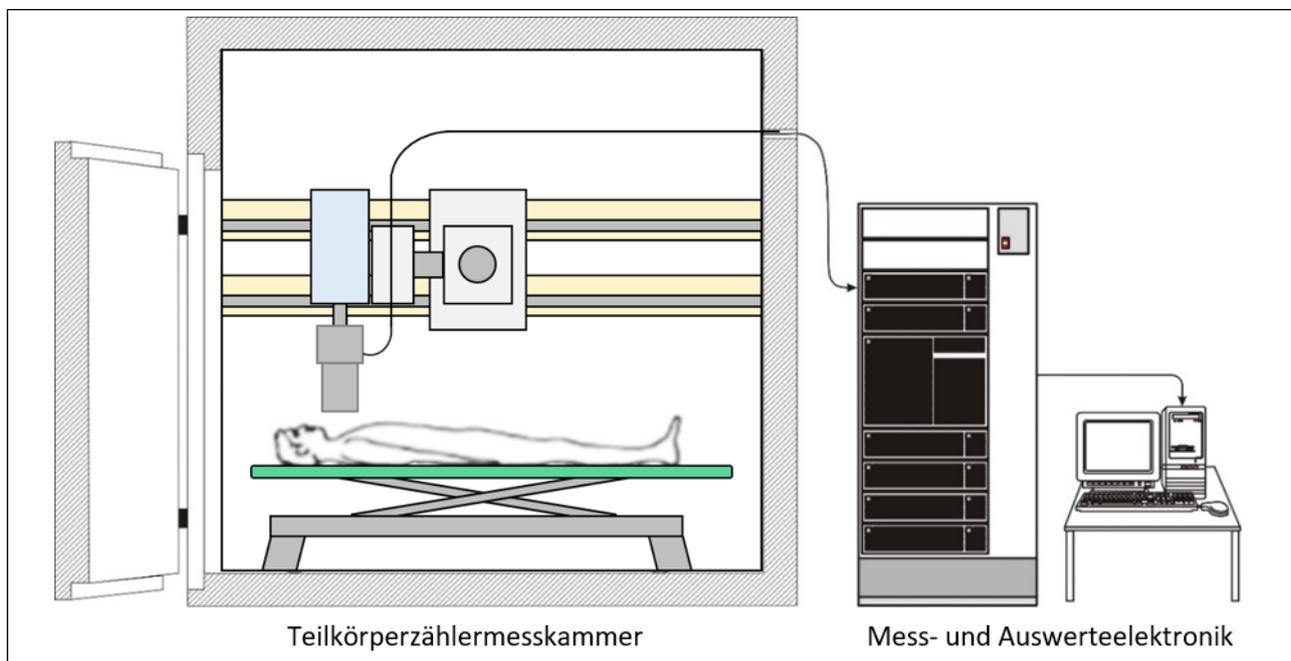
Über die Spezifikationen und Kennwerte des Ganzkörperzählers gibt Tabelle 3 Auskunft.

Tabelle 3 Spezifikationen der Ganzkörpermessanlage

Detektorsystem	Zwei HPGe-Detektoren Modell GC9522 und GC9521 der Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH, je Detektor mit einem Cryostat Modell CP5-PLUS-SL und integriertem Vorverstärker Modell 2002CSL Kristallabmessungen (1): Durchmesser 79 mm, Länge 79 mm, relative Effektivität: 92,4 % Kristallabmessungen (2): Durchmesser 80 mm, Länge 74 mm, relative Effektivität: 95,8 %
Kühlung	Wartungsfreie elektrische Kühlung
Elektronik	Zwei digitale Spektrenanalytoren des Typs Lynx der Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Messsoftware	Apex-InVivo in Verbindung mit Genie 2000 der Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Kennwerte im Routinebetrieb	Kalibrierter Energiebereich: 60–2000 keV (max. möglich 40–3000 keV) Energieauflösungsvermögen: ca. 2,2 keV bei 1332 keV Nachweisgrenze für Cs-137: 40 Bq

4.1.2 Der Teilkörperzähler

Der Teilkörperzähler ist für den Nachweis von Gammastrahlern in einzelnen Organen bzw. begrenzten Körperregionen ausgelegt. Mit den zwei elektrisch gekühlten Broad-Energy-Germanium-(BEGe) Detektoren sind Schilddrüsenmessungen auf I-125 im niederen (30 keV) oder auf I-131 im mittleren Energiebereich (bis 400 keV) möglich.



7 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. Abbildung 7 zeigt die schematische Darstellung einer Schilddrüsenmessung mit nur einem Detektor.

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 Kalibration. 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 8) vorgenommen, in das zwei in ihrer Ausdehnung den beiden menschlichen Schilddrüsenlappen ähnelnde 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.



8 Der Teilkörperzähler. Zu sehen sind die zwei BEGe-Detektoren. Auf der Messliege befindet sich das Halsphantom zur Kalibrierung für Schilddrüsenmessungen.

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

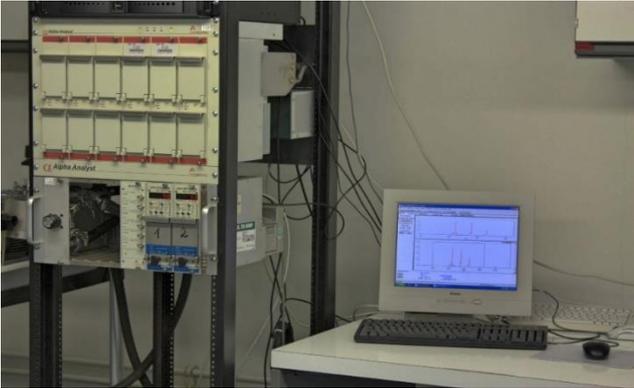
Tabelle 4 Spezifikationen der Teilkörpermessanlage

Detektorsystem	Zwei BEGe-Detektoren Modell BE5030 der Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH, je Detektor mit einem Cryostat Modell CP5-PLUS-SL und integrierter Vorverstärker Modell iPA-SL Kristallabmessungen: Durchmesser 80,5 mm, Dicke 31 mm Strahleneintrittsfenster: Kohlefaser-Epoxidharz (Dicke 0,6 mm)
Kühlung	Wartungsfreie elektrische Kühlung
Elektronik	Zwei digitale Spektrenanalytoren des Typs Lynx der Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Messsoftware	Apex-In-Vivo in Verbindung mit Genie 2000 der Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Kennwerte im Routinebetrieb	Energiebereich: 25–400 keV Energieauflösungsvermögen: ca. 0,6 keV bei 122 keV Nachweisgrenze für I-125 oder I-131 in der Schilddrüse: ca. 5 Bq

4.2 Technische Beschreibung des In-vitro-Labors

Im In-vitro-Labor stehen für die Analysen zwei Messgeräte zur Verfügung, ein Alphaspektrometer (Alpha-Analyst, Fa. Mirion Technologies (Canberra) GmbH) und ein Flüssigszintillationsspektrometer (Hidex 300 SL, Fa. 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 9 sind die Messkammern, die Elektronik und die Auswerteeinheit dargestellt.



9 Alphaspektrometrie-Messplatz. Zu sehen sind das Alphaspektrometer mit 12 Messkammern und der Auswerterechner.

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 10 zeigt das Messgerät mit geöffneter Probenkammer.



10 Flüssigszintillationsspektrometer Hidex 300 SL und Auswerterechner. In der geöffneten Probenkammer stehen die zertifizierten Standards für die Qualitätssicherung.

4.3 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 [BMU 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 Kühlung, Neuanschaffung eines Flüssigszintillationsspektrometers (Hidex 300 SL)

2020

Umstellung der Detektoren des Teilkörperzählers auf elektrische Kühlung

2020

Fortgeltung der Bestimmung von Messstellen gemäß § 216 des Strahlenschutzgesetzes; Bescheid der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz vom 21.12.2020

4.4 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 2020] Dienstanweisung „Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS (DA Nutzleistung)“; GZ Z1 Org - 04105/305 vom 15.01.2020, mit Entgeltverzeichnis für Nutzleistungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, <https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/bfs/entgeltverzeichnis.html>.
- [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
- [BMUV] Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Verfügbar unter: <http://doris.bfs.de/>
- [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 Strahlenwerktätigen 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