



Bundesamt
für Strahlenschutz

Bericht

Inkorporationsmessstelle München (Neuherberg)

Jahresbericht 2020

BfS-32/21

Bundesamt für Strahlenschutz
MB 5 | Inkorporationsmessstelle München (Neuherberg)
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim

ikm-neuherberg@bfs.de

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
MB 5 | Inkorporationsüberwachung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim

Tel.: +49 30 18333-2430
Fax: +49 30 18333-1885
E-Mail: ikm-neuherberg@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:0221-2021031126041](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2021031126041)

03/2021

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Organisation der Messstelle	5
2.1	Zuständigkeiten	5
2.2	Hinweise zum Ablauf von Messungen	5
3	Messungen und Dosisfeststellungen im Jahr 2020	6
3.1	Personenmessungen	6
3.2	Dosisfeststellungen	9
3.3	Forschungsvorhaben zu Cäsium-137 bei Jägerinnen und Jägern	9
4	Anhang	10
4.1	Technische Beschreibung der Ganzkörpermessanlage	10
4.2	Technische Beschreibung der Teilkörpermessanlage	15
4.3	Weitere Messausstattung der Messstelle	16
4.3.1	Gammaspektrometrie-Messplatz	16
4.3.2	Mobiles Gammaspektrometrie-System	17
4.3.3	ODL-Messgerät zur Bestimmung der Radioiod-Aktivität in der Schilddrüse	17
4.3.4	Spektrometrierender Messplatz zur Bestimmung der Radioiod-Aktivität in der Schilddrüse	17
4.3.5	3D-Drucker für die Herstellung von Phantomen	18
4.4	Historie der Inkorporationsmessstelle München (Neuherberg)	20
4.5	Referenzen	21

1 Zusammenfassung

Die Ganzkörpermessanlage des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) in München (Neuherberg) wurde 1981 in Betrieb genommen. 1994 wurde das BfS vom Land Bayern als amtliche Messstelle für die Überwachung beruflich strahlenexponierter Personen benannt [AllIMBI 1994].

Die aktuellen Aufgaben der Messstelle umfassen:

- Bestimmung der Körperaktivität von Gammastrahlern und der zugehörigen Körperdosis bei beruflich exponierten Personen gemäß § 65 StrlSchV,
- Überwachung des in den Strahlenschutzbereichen sowie des für das Fachgebiet RN 7 Nuklearspezifische Gefahrenabwehr am Standort München (Neuherberg) tätigen Personals des BfS,
- regelmäßige Untersuchung von Kontrollgruppen aus der Bevölkerung,
- Vorhaltung von Messkapazitäten für die Notfallvorsorge.

Neben der Ganzkörpermessanlage, die im Dauerbetrieb genutzt wird, verfügt die Messstelle seit Mitte der 1990er Jahre auch über einen Teilkörperzähler. Dieser ist auf Anforderung mit einer Vorlaufzeit von ein bis zwei Tagen einsatzbereit und wird primär für den Nachweis inhalierter radioaktiver Stoffe, insbesondere von Am-241, in der Lunge genutzt.

Weiterhin verfügt die Messstelle über ein Dosisleistungsmessgerät speziell zur Bestimmung des Iod-Isotops I-131 in der Schilddrüse [Mei 2017] sowie seit 2019 über einen Schilddrüsen-Messplatz mit spektrometrierendem NaI(Tl)-Detektor und Shadow-Shield-Abschirmung (Ringkollimator und abschirmende Rückenlehne).

Weitere Messgeräte sind ein elektrisch gekühltes Gammaskpektrometrie-System für den mobilen Einsatz, um in Notfallsituationen vor Ort einfache Inkorporationsmessungen vorzunehmen, sowie ein stationäres Gammaskpektrometrie-System mit Bleiabschirmung. Für die Einrichtung eines Wundmessplatzes finden derzeit konzeptionelle Messungen statt. Darüber hinaus betreibt die Messstelle seit 2017 einen 3D-Drucker zur eigenen Herstellung von Kalibrierphantom-Komponenten.

Im Jahr 2020 wurden in der Ganzkörpermessanlage 447 Personenmessungen, größtenteils im Rahmen der Eigenüberwachung, durchgeführt.

Im Anhang finden sich Angaben zur technischen Ausstattung, der Historie der Messstelle und Publikationen sowie ein beispielhaftes Messprotokoll einer Ganzkörpermessung.

2 Organisation der Messstelle

2.1 Zuständigkeiten

Die Inkorporationsmessstelle des Bundesamts für Strahlenschutz in München (Neuherberg) wird von der Arbeitsgruppe „Inkorporationsüberwachung“ (MB 5) betrieben, die in der Abteilung „Medizinischer und beruflicher Strahlenschutz“ (MB) angesiedelt ist. Die Aufgaben in der Abteilung, die im Zusammenhang mit der Inkorporationsüberwachung beruflich exponierter Personen stehen, werden in der Leitstelle Inkorporationsüberwachung gebündelt.

Die Messstelle ist telefonisch unter 030 18333-2430 (Oliver Meisenberg, Leiter der Messstelle) oder 030 18333-2431 (Werner Buchholz, stellvertretender Leiter der Messstelle) und per E-Mail an ikm-neuherberg@bfs.de erreichbar.

Die Hausanschrift der Messstelle lautet:

Bundesamt für Strahlenschutz
MB 5 | Inkorporationsüberwachung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim

2.2 Hinweise zum Ablauf von Messungen

Vor Durchführung einer Messung für Dritte ist ein Vertrag gemäß der Dienstanweisung über die Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen (DA Nutzleistungen) abzuschließen [BfS 2020]. Das Entgelt für eine Ganzkörpermessung (einschließlich einer dosimetrischen Bewertung) beträgt derzeit 165 €. Weiterhin ist eine Einwilligung zur Erhebung personenbezogener Daten notwendig. Beide Unterlagen können kurzfristig vor einer Messung erstellt werden.

Da bei den Messungen äußerliche Kontaminationen nicht oder nur bedingt von inneren unterschieden werden können, ist ggf. vor einer Messung ein Kleidungswechsel und/oder eine Körperreinigung in Betracht zu ziehen. Notfalls kann von der Messstelle Ersatzkleidung zur Verfügung gestellt werden, eine Dekontaminationsdusche ist ebenfalls vorhanden.

Die Messstelle verfügt im Zugangsbereich über einen Hand-Fuß-Monitor inkl. Kleidersonde für Eingangsmessungen.

Die Messzeit einer Ganzkörpermessung beträgt 20 Minuten. Insgesamt sollte für den gesamten Ablauf mindestens eine halbe Stunde eingeplant werden.

3 Messungen und Dosisfeststellungen im Jahr 2020

3.1 Personenmessungen

Im Jahr 2020 wurden insgesamt 447 Personenmessungen durchgeführt (s. Tabelle 1). Die Mehrzahl der Messungen (70 %) wurde im Rahmen der Eigenüberwachung vorgenommen. Hierunter fielen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BfS, die in den Strahlenschutzbereichen oder im Fachgebiet RN 7 Nuklearspezifische Gefahrenabwehr tätig waren. 12,5 % der Messungen entfielen auf die Referenzgruppe der Bevölkerung (diese wurde aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BfS zusammengestellt, die nicht zu den zuvor genannten Personenkreisen gehören).

15 % der Messungen wurden im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 65 StrlSchV für drei Unternehmen im Freistaat Bayern durchgeführt. Die verbleibenden Messungen (2,5 %) entfielen auf Dritte, die sich aus privaten Gründen einer Inkorporationsmessung unterzogen oder am Forschungsvorhaben zu Cäsium-137 bei Jägerinnen und Jägern teilnahmen.

Tabelle 1 Anzahl der im Berichtszeitraum durchgeführten Messungen

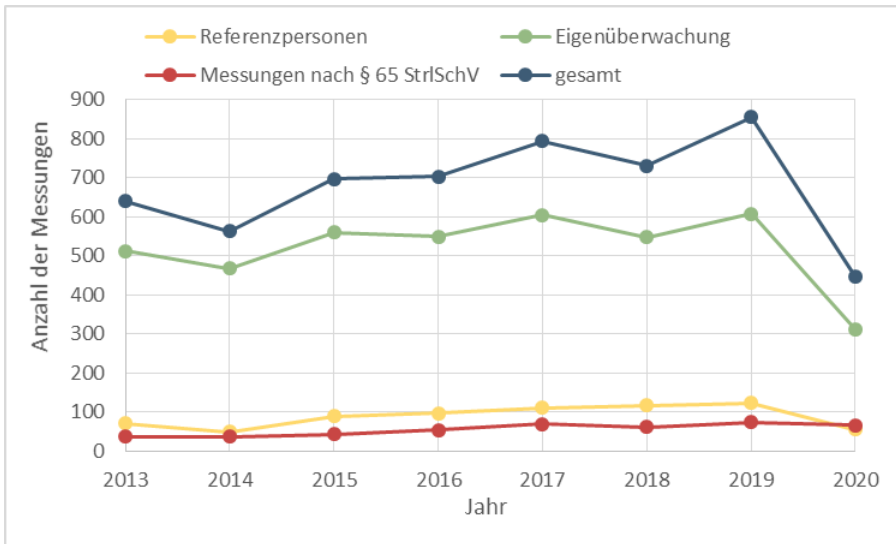
Monat	Referenzpersonen	Eigenüberwachung	Dritte nach § 65 StrlSchV*	Sonstige
Januar	17	57		2
Februar	4	48	2 A	8
März	12	36	3 A	1
April	3	21		
Mai	2	6		
Juni	4	25	13 A	
Juli	6	34	17 A	1
August	6	32		
September	1	15		
Oktober	1	32	20; 4 A; B	
November		6	1; 5 A; B	
Dezember		1	2 A	
Gesamt	56	313	67	11

* Die Namen der Betriebsstätten sind in diesem Bericht aus Datenschutzgründen anonymisiert.

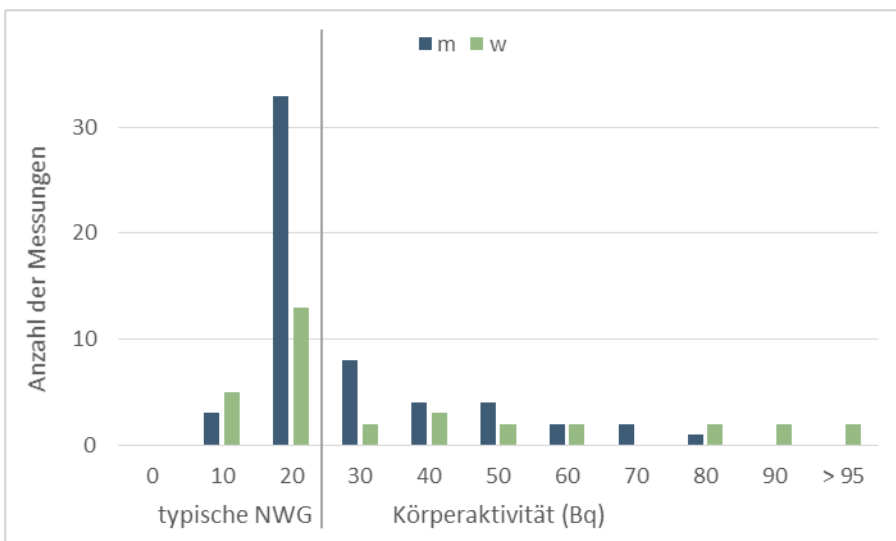
Die Anzahl der durchgeführten Messungen ist 2020 gegenüber den Vorjahren deutlich gefallen (Abb. 1). In allen Personengruppen ist die geringere Zahl der Messungen durch die seit März herrschende COVID-19-Pandemie begründet: Die Messungen an BfS-eigenem Personal wurden auf die Personen, die im Kontrollbereich der Dienststelle tätig waren, beschränkt. Messungen an Dritten wurden in Absprache mit den Betrieben vom Herbst 2020 in den Sommer 2021 verschoben. Für das Jahr 2021 wird deshalb mit einem Anstieg der Anzahl der Messungen, unter Umständen über das Niveau der vergangenen Jahre, gerechnet.

Da das Inkorporationsrisiko der im Rahmen der Eigenüberwachung untersuchten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BfS sehr gering war, fanden sich bei diesen und bei den Referenzpersonen nur selten Körperaktivitäten, und zwar ausschließlich von Cs-137. Diese waren stets auf den Verzehr der einschlägig bekannten Nahrungsmittel (Wildschwein, einige Pilzarten) zurückzuführen, in denen sich noch Cs-137 befindet, welches in Bayern primär vom Tschernobyl-Unfall im Jahr 1986 stammt (Abb. 2). Die größten Aktivitäten wurden bei Personen gefunden, die regelmäßig Wildpilze sammeln.

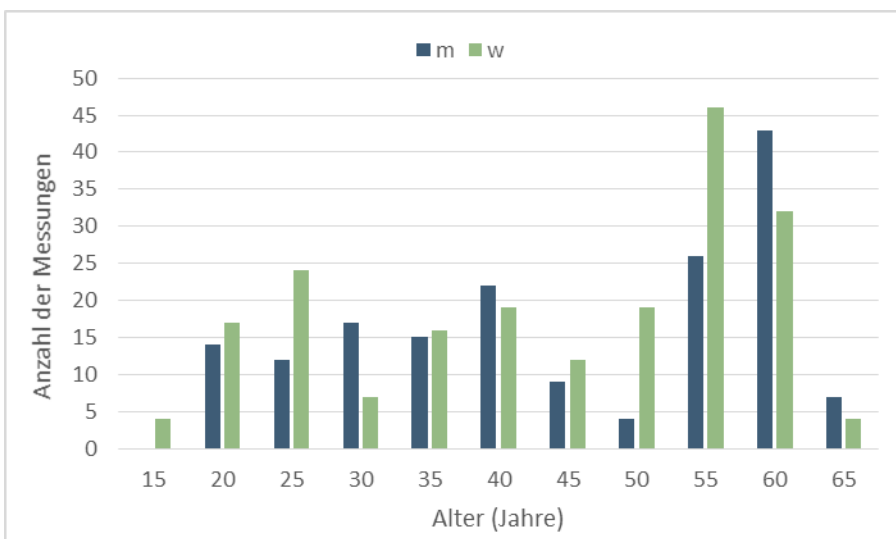
Die Gruppe der Referenzpersonen und der im Rahmen der Eigenüberwachung untersuchten Personen deckt den gesamten Altersbereich von etwa 18 bis etwa 65 Jahren ab und umfasst Männer und Frauen in etwa gleicher Anzahl (Abb. 3). Insgesamt sind die Ergebnisse dieser beiden Personengruppen repräsentativ für die allgemeine Bevölkerung und werden jährlich im BMUB-Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ in zusammengefasster Form veröffentlicht.



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



2 Verteilung der gemessenen Körperaktivitäten von Cs-137 (jeweils angegebene Körperaktivität ± 5 Bq) bei den 2020 durchgeführten Messungen, aufgeteilt nach dem Geschlecht der gemessenen Person, ohne Ergebnisse der Messungen an Jäger*innen.



3 Verteilung des Lebensalters der Referenzpersonen und der im Rahmen der Eigenüberwachung gemessenen Personen zum Zeitpunkt der Messung (jeweils angegebenes Lebensalter $\pm 2,5$ Jahre).

3.2 Dosisfeststellungen

Die Messungen von Personen, die der beruflichen Strahlenschutzüberwachung unterliegen, werden grundsätzlich gemäß der Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle Teil 2 (RiPhyKo 2) dosimetrisch bewertet [BMU 2007]. Dies gilt für Personen, bei denen Messungen durch die zuständige Behörde angeordnet wurden, die im Rahmen der Strahlenschutzvorsorge freiwillig untersucht werden sowie für BFS-Personal, das im Rahmen der Eigenüberwachung untersucht wird.

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.

3.3 Forschungsvorhaben zu Cäsium-137 bei Jägerinnen und Jägern

Mitte des Jahres 2019 wurde von der Inkorporationsmessstelle ein eigenfinanziertes Forschungsvorhaben initiiert, in dem typische Körperaktivitäten von Cs-137 bei Jägerinnen und Jägern und zugehörige Einflussfaktoren bestimmt werden. Verschiedene Gründe lassen vermuten, dass Jäger*innen größere Körperaktivitäten an Cs-137 aufweisen als die durchschnittliche Bevölkerung: Viele Jäger*innen verzehren überdurchschnittlich viel Wildfleisch und sammeln zudem zu einem größeren Anteil selbst Pilze. Darüber hinaus dürfen Jäger*innen Wildfleisch auch dann verzehren, wenn es den Grenzwert für Cs-137 in vermarkteten Lebensmitteln überschreitet oder nicht auf seine Aktivität von Cs-137 untersucht wurde. Bis März 2020 wurden 58 Jäger*innen, vor allem aus Südbayern, gemessen. Die statistische Auswertung der Ergebnisse wird derzeit zur Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift vorbereitet.

4 Anhang

4.1 Technische Beschreibung der Ganzkörpermessanlage

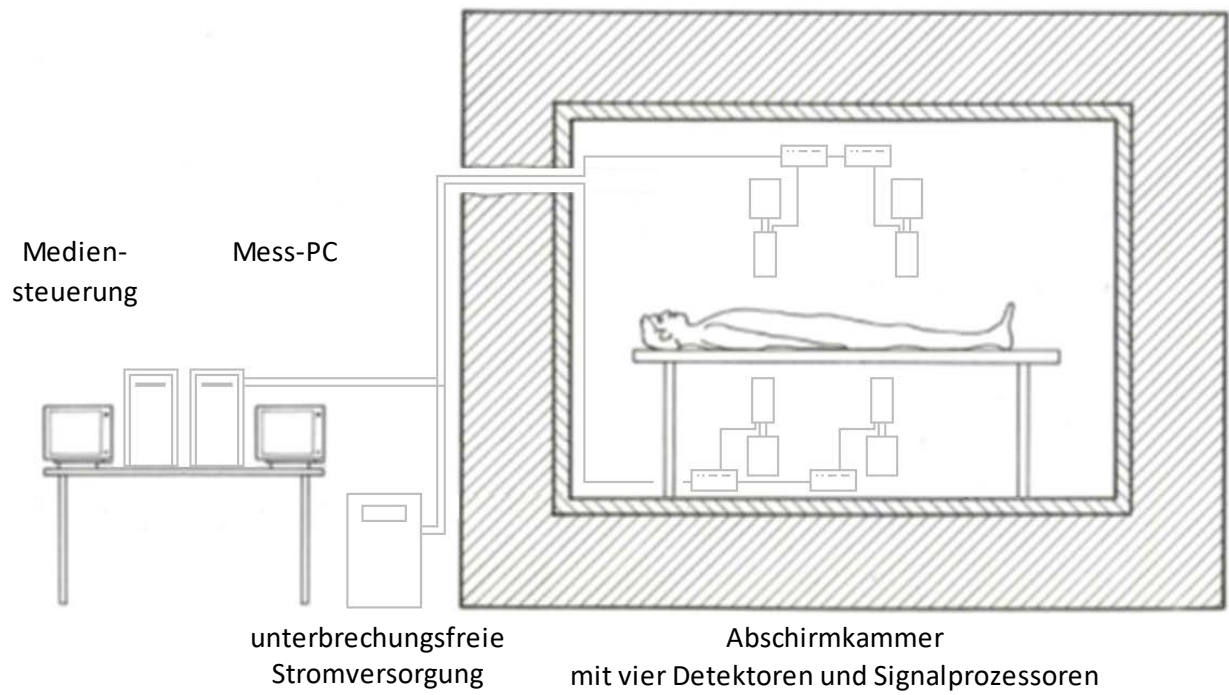
Die Ganzkörpermessanlage besteht aus einer massiven Abschirmkammer, einer darin befindlichen Liege sowie vier Detektoren zum Nachweis von Gammastrahlung. Außerhalb der Messkammer befinden sich die zugehörige Messelektronik (digitale Vielkanalanalysatoren mit integrierter Hochspannungsversorgung), eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und ein PC zur Bedienung der Anlage und Auswertung der Messergebnisse. Die Datenspeicherung erfolgt auf einem Mess-PC und wird auf externen Datenträgern regelmäßig gesichert und archiviert.

Die Anlage ist seit März 2013 mit vier Reinstgermanium- (HPGe-) Detektoren ausgestattet. Diese sind zur zu untersuchenden Person in einer Stretcher-Geometrie angeordnet (Abb. 4). Anfang des Jahres wurden die bisherigen elektrischen Kühler des Modells X-Cooler II durch Geräte des Modells ICS, die nach dem Stirling-Prinzip arbeiten, ersetzt; die neuen Geräte funktionieren seitdem störungsfrei. Zur Erleichterung der Positionierung der Person auf der Liege können die beiden oberen Detektoren nach oben verschoben werden. Die Messzeit beträgt standardmäßig 20 Minuten. Bei Bedarf kann die untersuchte Person über ein Videosystem überwacht werden.

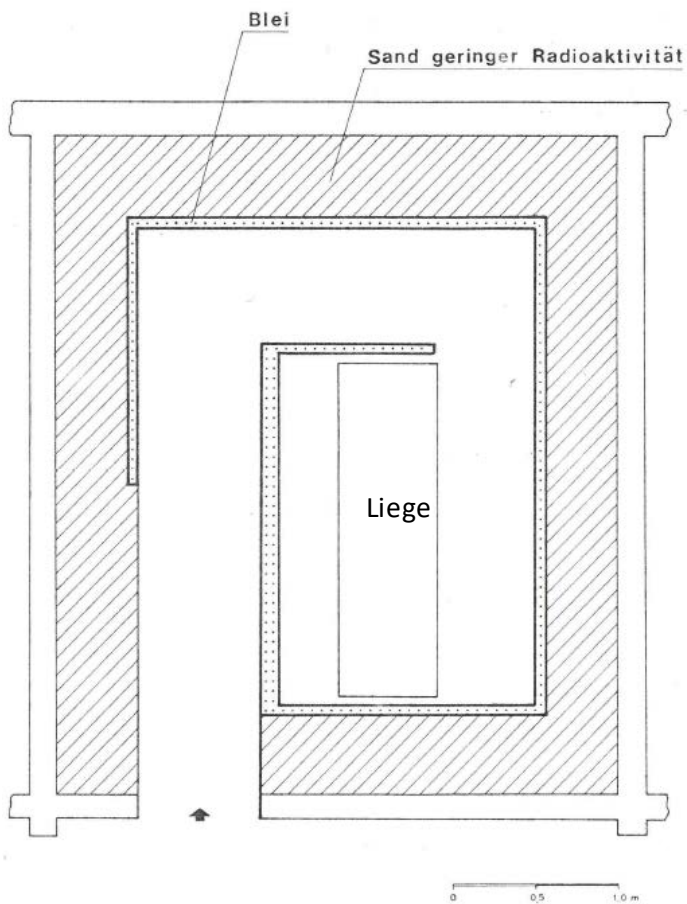
Die Abschirmung der Messkammer dient der Reduzierung des Strahlenuntergrundes, der durch die terrestrische und kosmische Umgebungsstrahlung hervorgerufen wird. Sie besteht aus 50 cm Quarzsand und 5 cm Blei. Die Stützelemente sind aus Stahl gefertigt. Grundsätzlich wurden aktivitätsarme Materialien verwendet. Die kombinierte Abschirmung aus Quarzsand und Blei ist um ein Vielfaches kostengünstiger als reine Blei- oder Stahlabschirmungen gleichen Abschirmvermögens [Schm 1969, Schm 1971]. Die Messkammer befindet sich im Zentrum eines sogenannten Labyrinths (Abb. 5). Zur Belüftung wird klimatisierte Luft über einen Lüftungskanal eingeblasen.

Tabelle 2 Spezifikationen der Ganzkörpermessanlage

Detektorsystem	<ul style="list-style-type: none">– vier HPGe-Detektoren Ortec Modell GEM-MX7380P4-S– Kristallgröße Durchmesser ca. 73 mm– Energieauflösung ca. 2,2 keV bei 1332 keV
Kühlung	vier elektrische Kühler Modell ICS
Elektronik	vier digitale Signalanalysatoren (Fa. Mirion Modell DSA 1000)
Stromversorgung	<ul style="list-style-type: none">– zwei USV, Fa. Riello UPS Modell „Sentinel Pro“, Überbrückungszeit ca. 70 Minuten– Notstrom-Hausnetz
Messsoftware	Apex-InVivo in Verbindung mit Genie 2000 (Fa. Mirion)
Abschirmung	<ul style="list-style-type: none">– 50 cm Quarzsand (außen)– 5 cm Blei– Stützelemente aus Stahl



4 Schematischer Aufbau der Ganzkörpermessanlage

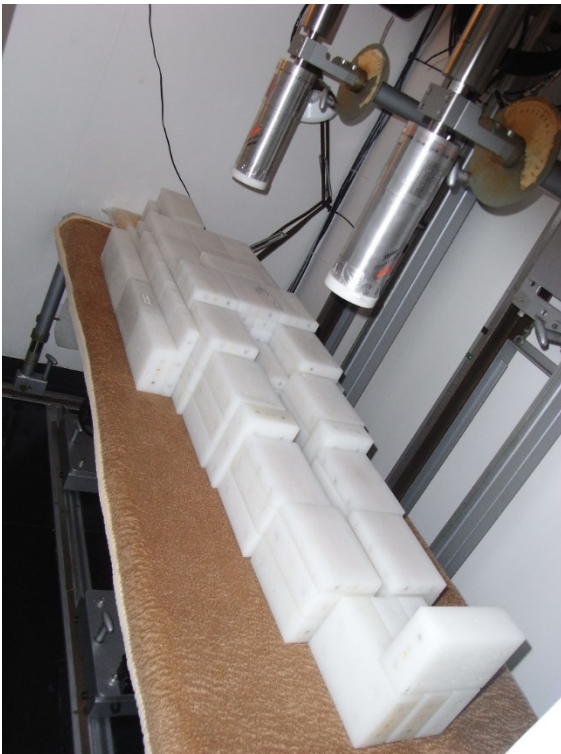


5 Skizze der Abschirmkammer der Ganzkörpermessanlage (Draufsicht). In der Mitte befindet sich die Liege für die zu untersuchende Person.

Die Kalibrierung der Anlage erfolgt mit einem Phantom (sog. St. Petersburger Ziegelphantom IGOR), das aus mit Stäbchenquellen bestückten Polyethylenziegeln besteht [Manu 1995]. Polyethylen hat vergleichbare strahlenphysikalische Eigenschaften wie menschliches Gewebe. Die Ziegel können mit bis zu vier Quellen gleichzeitig bestückt werden. Durch die modulare Aufbauweise können mit den Ziegeln verschieden große Kalibrierphantome erstellt werden. Bei der Auswertung von Messungen wird dann die Kalibrierung gewählt, die der untersuchten Person am ehesten entspricht. Die sechs Standardgrößen bzw. -gewichte betragen 12, 24, 50, 70, 90 und 110 kg. Abb. 6 zeigt das 90-kg-Phantom in der Messanlage.

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

Standardmäßig werden die Nuklide K-40, Co-60, Ba-133, Cs-137, Eu-152 und Am-241 als Kalibriernuklide verwendet. Die Quellen wurden vom Hersteller der Kalibrierphantome (Fa. STC Radek, [Manu 1995]) bezogen. Bei Bedarf können von der Messstelle Stäbchenquellen verschiedener einzelner Nuklide oder mit Nuklidgemischen selbst hergestellt werden. Dies betraf in der Vergangenheit insbesondere Ge-68, Y-88, Sr-90, Cs-134 und Cf-252 für Forschungsarbeiten.



6 Kalibrierphantom (90-kg-Konfiguration)

Die Qualität der Messergebnisse wird durch die regelmäßige erfolgreiche Teilnahme an Ringversuchen belegt. Zuletzt nahm die Inkorporationsmessstelle mit dem Ganzkörperzähler im Jahr 2019 am Ringversuch des französischen *Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN) teil. Die Aufgaben umfassten die Messung von Co-57, Co-60, Ba-133 und Cs-137 in Phantomen zu 50, 70 und 90 kg. Eine Auswertung der Ergebnisse steht noch aus. Darüber hinaus fungiert die Inkorporationsmessstelle als Referenzmessstelle für den jährlich vom BfS veranstalteten Ringversuch für Ganzkörperzähler.

Die gemäß RiPhyKo 2 zu erhebenden persönlichen Daten der gemessenen Personen sowie die an den Personen bestimmten Aktivitäten werden in der Messstelle in einem zweiseitigen Bericht archiviert (Abb. 7). Die auftraggebenden Unternehmen erhalten pro durchgeführter Messung einen Bericht mit den ermittelten Aktivitäten und der daraus berechneten effektiven Dosis und der Organdosis.

Analysenbericht - [REDACTED]

QUELLENINFORMATION

Nachname: [REDACTED]
 Vorname: [REDACTED]
 Geburtsname: [REDACTED]
 Geburtsdatum: [REDACTED]
 Geburtsort: [REDACTED]
 Arbeitgeber: [REDACTED]
 Beruf: [REDACTED]
 Größe (cm): [REDACTED]
 Gewicht (kg): [REDACTED]
 Startdatum: [REDACTED]
 Enddatum: [REDACTED]
 Strahlenspassnummer: [REDACTED]
 Geschlecht: [REDACTED]
 Bemerkung: [REDACTED]

Die personenbezogenen Daten der gemessenen Person wurden unkenntlich gemacht.

ZÄHLERINFORMATION

IMM

INFORMATIONEN DER MESSUNG

Messmodus: Person 90 kg 20 min
 Anlass der Messung: 10-Routinemessung
 Kommentar: 24.10.2017 15:55:38
 Messzeit gestartet: 1201,12
 Messzeit: [REDACTED]
 Bedienname: [REDACTED]
 Messstatus: [REDACTED]
 Freigabe: [REDACTED]
 Bewertung Stufe: 1
 03.11.2017 11:29:32 by Oliver Meisenberg

BERICHT DER DETEKTORZÄHLRATEN

Detecktorenname	Zählrate	Zählratenbereich (Kanäle)	Messzeit Live	Analysiert	Analysedatum	Dateiname
DETO1	5,50	1 - 4096	1200,0	Nein		ef4d08361555.cmf
DETO4	7,10	1 - 4096	1200,0	Nein		9bb728011355.cmf
einzelIM	7,10	1 - 4096	1200,0	Nein		bl7630ba1555.cmf
einzelIM	5,49	1 - 4096	1200,0	Nein		8d49e6361555.cmf
summeIMM	12,59	1 - 4096	1200,0	Ja	24.10.2017 15:55:33	6549e42c1555.cmf

Freigele von: _____ Datum: 20180309 13:21:46 +01'00'

Digital unterschrieben von Oliver Meisenberg

INFORMATIONEN DER DETEKTORGRUPPE

Detektorengruppenname: summeIMM
 Detektorengruppenkonfiguration: fest
 Analysedatum: 24.10.2017 15:55:33
 Energiekalibrierung: 1M4M 2017-09-19 1
 Effizienzkalibrierung: 1M4M_P5 2017-06-27 (Linear)
 Mehrfachkurve: Nein
 Quellenverteilung: Ganzkörper 90 kg
 Analysensequenzdatei: Routine_BFS mit UG-Abzug
 Für UG-Abzug benutzte UG-Messung: Untergundmessung 27.06.2017
 Nuklididentifizierung: [REDACTED]
 Nuklididentifizierungsbibliothek: BFS-WBC-Referenz-int
 vorl. NID-Bibliothek: sidlib.nib
 Bibliothek für Liniensuche: sidlib.nib
 Analysengrenzen (Kanäle): 50 - 4090
 Energieleiteranz (keV): 2,50

Ergebnisse der Flächenanalyse GKZ <summeIMM>

Nein	Lage der Linie	Energie (keV)	Netto Linienfläche	Kontinuumimpulse	Nuklidname	Flächeninformation	EMIS (%)
F	1	1327,7	661,8	4,28E+001	1,77E+001	CS-137	5,24E+001
F	2	2932,1	1461,0	2,68E+002	6,28E+000	K-40	3,22E+003
							20,31%
							7,44%
							10,67%

Für unbedeckte Linien wird eine Übergangswk. von 100% und keine Zerfallskorrektur angenommen
 m = Erste Linie in einer Multiplet-Region
 F = Singulett gefittet

Ergebnisse der Nuklidanalyse GKZ <summeIMM>

Nuklidname	ID Vertrauensfaktor	Aktivität(Bq)	Fehler (1SD)	NWG (Bq)
K-40	1,00	3,22E+003	7,44%	4,30E+002
CS-137	1,00	5,24E+001	20,31%	3,56E+001

? = Nuklid ist Teil einer unbestimmten Gleichung
 X = Nuklid wurde bei der Interferenzanalyse verworfen
 @ = Nuklid besitzt Energielinien, die nicht in gew. mtl. Aktivität berücksichtigt wurden
 ! = Nuklid wurde korrigiert auf Mutter- / Tochter- Zerfall

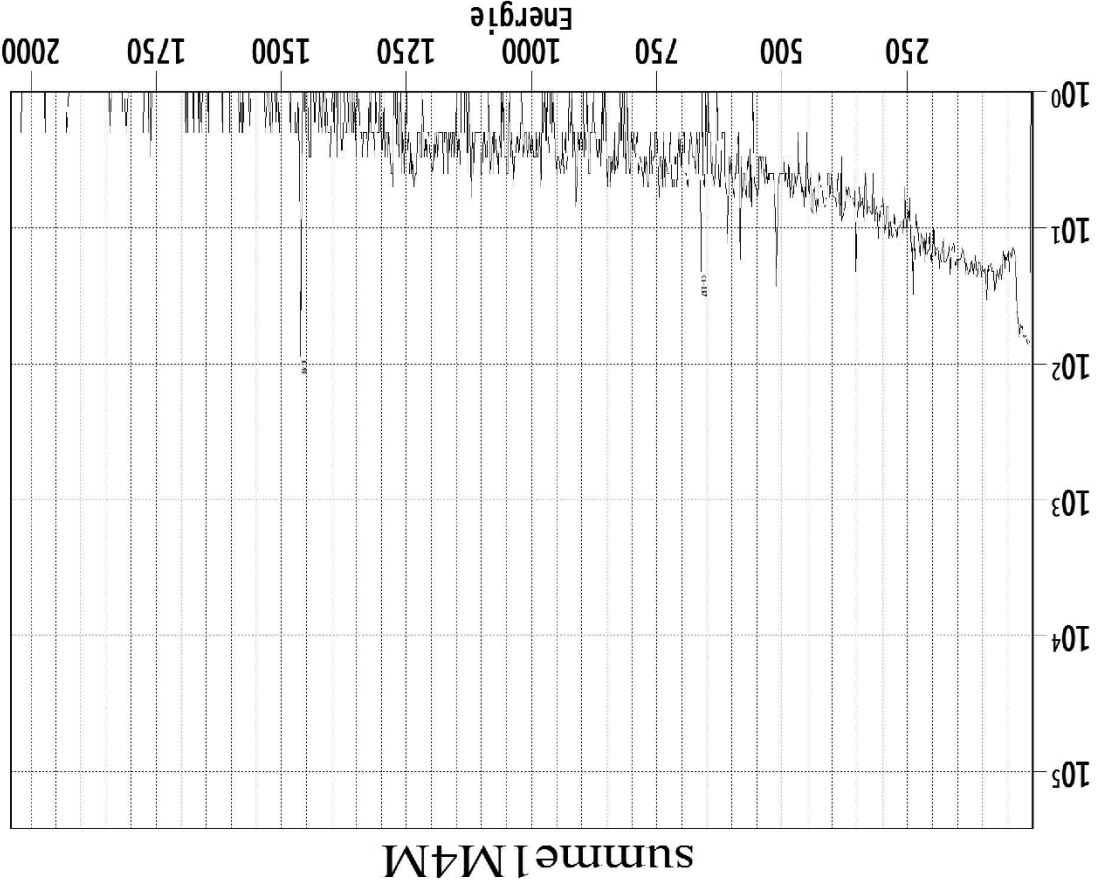
Ergebnisse der NWG/EKG - Analyse GKZ <summeIMM>

Nuklidname	Energie (keV)	EMIS (%)	Linien-NWG (Bq)	Nuklid-NWG (Bq)	Linien-EKG (Bq)	Nuklid-EKG (Bq)
+	K-40	1460,8	10,67	4,30E+002	1,98E+002	1,98E+002
	CO-60	1173,2	100,00	3,76E+001	1,72E+001	1,57E+001
		1332,5	100,00	3,48E+001	1,57E+001	1,57E+001
+	CS-137	661,7	85,00	3,56E+001	1,61E+001	1,61E+001
	RN-222	77,0	11,98	5,87E+002	9,93E+001	2,80E+002
		242,0	7,12	6,88E+002	3,28E+002	3,28E+002
		295,2	18,15	2,38E+002	1,13E+002	1,13E+002
		351,9	35,10	1,32E+002	6,28E+001	6,28E+001
		609,3	44,60	9,93E+001	4,68E+001	4,68E+001
		934,1	3,10	1,21E+003	5,57E+002	1,28E+002
		1120,3	14,70	2,80E+002	3,31E+002	3,31E+002
		1377,7	3,97	7,48E+002	6,18E+002	6,18E+002
		1408,0	2,39	1,38E+003	6,52E+001	6,52E+001
		1764,5	15,10	1,56E+002	1,17E+002	2,86E+002
	TH-232	74,9	11,79	5,62E+002	5,58E+001	5,58E+001
		238,6	43,30	1,17E+002	1,63E+002	1,63E+002
		338,3	11,27	3,48E+002		

Ergebnisse der NWG / EKG - Analyse GKZ <summeIM4M>

Nuklidname	Energie (keV)	Emis. (%)	Linien-NWG (Bq)	Nuklid-NWG (Bq)	Linien-EKG (Bq)	Nuklid-EKG (Bq)
TH-232	583,2	30,40	1,33E+002	1,17E+002	6,19E+001	5,58E+001
	727,3	6,56	5,10E+002		2,33E+002	
	911,2	25,80	1,43E+002		6,56E+001	
AM-241	989,0	15,80	1,97E+002		8,84E+001	
	59,5	36,30	1,72E+002	1,72E+002	8,15E+001	8,15E+001
VN-511	511,0	100,00	6,39E+001	6,38E+001	3,06E+001	3,06E+001

+ = Nuklid während der Nuklididentifikation identifiziert
 * = Linie im Spektrum gefunden



7 Ausdruck eines Messberichts einer Person aus der Eigenüberwachung. Das dargestellte Spektrum enthält neben den Linien natürlicher Radionuklide auch die von Cs-137 durch noch belastete Pilze (Tschernobyl).

4.2 Technische Beschreibung der Teilkörpermessanlage

Die Anlage wurde in erster Linie für den Nachweis niederenergetischer Gammastrahler, insbesondere Am-241, in der Lunge konzipiert und ist mit vier Reinstgermaniumdetektoren bestückt [Giu 2016]. Die Halterung der Detektoren ist so konzipiert, dass die Mittelachse der Detektoren senkrecht von oben auf die mittleren Lagen des rechten und des linken Lungenflügel, der Leber und der Milz ausgerichtet werden können. Die Liege kann in der Höhe verstellt werden, um den Abstand zwischen dem Korpus und den Detektoren zu optimieren.

Die Abschirmkammer der Teilkörpermessanlage besteht (von außen nach innen) aus 10 mm Stahlblech, 600 mm Quarzsand, 10 mm Stahlblech, 50 mm Blei, 3 mm Kupfer und 10 mm Plexiglas. Der verwendete Quarzsand (insgesamt 37 Tonnen) weist einen besonders niedrigen Gehalt an Uran (< 0,2 ppm) und Thorium (< 0,4 ppm) auf. Im verwendeten Blei (41 Tonnen; Reinheitsangabe 99,99 %) wurde eine Pb-210-Aktivitätskonzentration von 38 Bq/kg (Bezugsdatum 1994) gemessen. Die Abmessungen der Kammer betragen 4,7 m x 3,4 m x 3,7 m [StMLU 1997, Rüh 1997].

Tabelle 3 Spezifikationen der Teilkörpermessanlage

Detektorsystem	<ul style="list-style-type: none"> – vier Detektoren Fa. Mirion Modell Broad Energy BE2020 – Kristallgröße Durchmesser ca. 50,5 mm – Energieauflösung ca. 0,7 keV bei 59,5 keV
Kühlung	LN2-Kühlung (Auto Fill Controller Ortec 785/6)
Elektronik	Analog; Ortec-Serie (Amplifier 572A, dual bias supply 660, AdCam 918A, Spectrum Master 919)
Stromversorgung	Netz
Messsoftware	Ortec LVis Version 1.0 basierend auf GammaVision
Abschirmung	<ul style="list-style-type: none"> – 1 cm Stahl – 60 cm Quarzsand (37 t) – 1 cm Stahl – 5 cm Blei (41 t) – 0,3 cm Kupfer – 1 cm Plexiglas (Wände, Boden und Decke)

Der Lungenzähler wird für Lungen- (und Leber-) Messungen mit einem LLNL- (Lawrence Livermore National Laboratory) -Lungenphantom (Abb. 8) in verschiedenen Konfigurationen kalibriert. Da beim Nachweis niederenergetischer Gammastrahler wie Am-241 die Selbstabsorption einen wesentlichen Einfluss auf das Messergebnis hat, ist dieser Aspekt bei der Kalibrierung der Anlage möglichst genau zu berücksichtigen. Dies wird dadurch gewährleistet, dass das Kalibrierphantom mit verschiedenen dicken Overlays ausgestattet werden kann, mit denen verschiedenartige Brustwanddicken und -typen simuliert werden. 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 Organen (Lungenflügel, Leber, Lymphknoten) bestückt werden. Als Kalibriernuklid wird Am-241 verwendet.

Die Anlage eignet sich für den Nachweis niederenergetischer Gammastrahler (v. a. Am-241 und Pb-210) im Skelett über die Messung des Schädels. Die Messstelle verfügt über zwei entsprechende Kalibrierphantome [Nog 2015]. Die Messung des Schädels ist in diesen Fällen günstiger als die anderer Knochen, da der Schädelknochen nicht von Muskelgewebe überdeckt und somit die Selbstabsorption am geringsten ist.

Die Qualität der Messergebnisse wird durch die erfolgreiche Teilnahme an Ringversuchen, die für die mit dem Teilkörperzähler zu messenden Geometrien jedoch nur selten angeboten werden, belegt. Zuletzt nahm die Inkorporationsmessstelle mit dem Teilkörperzähler im Jahr 2016 am Ringversuch des französischen *Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN) teil. Die Aufgaben umfassten die Messung von Pu-239 in der Lunge bei zwei verschiedenen Staturen des Torsos. Mit einer Unterschätzung der Referenzaktivität um 7,5 und 3,1 % wurden die Aufgaben gut bestanden.

Für eine permanente Messbereitschaft müssten die vier Detektoren zweimal pro Woche manuell mit Flüssigstickstoff befüllt werden. Dieser Aufwand ist wegen der geringen Nachfrage nicht wirtschaftlich. Daher werden die Detektoren nur bei Bedarf und für die regelmäßigen Funktionsüberprüfungen gekühlt. Die Anlage ist mit einer Vorlaufzeit von ein bis zwei Tagen einsatzbereit.



8 Der Lungenzähler. Zu sehen sind drei der vier Reinstgermaniumdetektoren und die angeflanschten Dewar-Gefäße für den Flüssigstickstoff. Auf der Messliege befindet sich das LLNL-Lungenphantom (mit Organen und Overlays in zerlegtem Zustand).

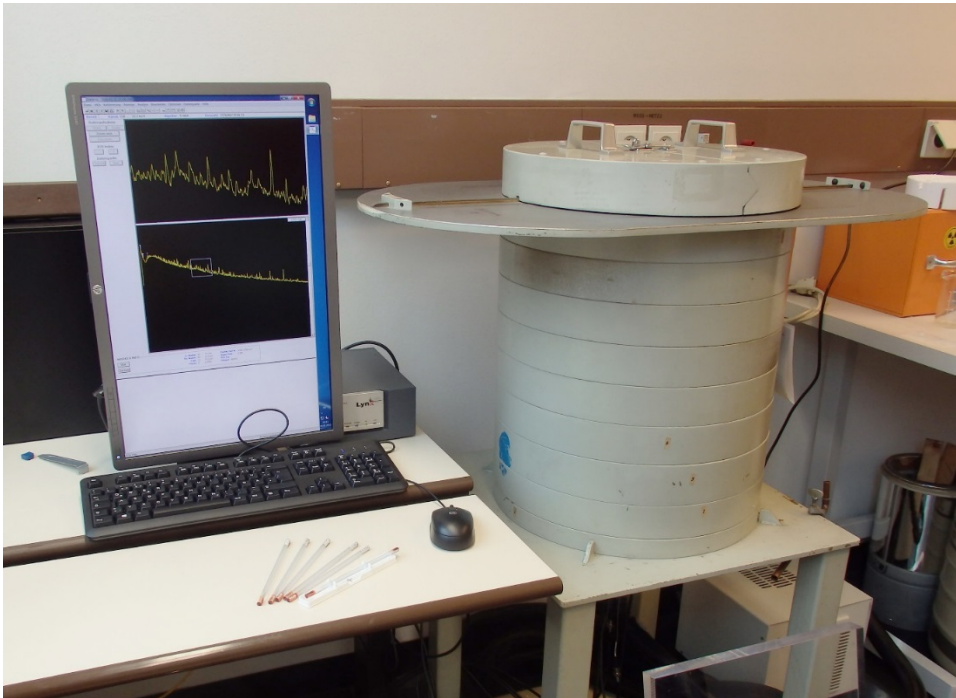
4.3 Weitere Messausstattung der Messstelle

4.3.1 Gammaskpektrometrie-Messplatz

Das Gammaskpektrometrie-System mit einem elektrisch gekühlten HPGe-Detektor (Abb. 9) dient der Kontaminationskontrolle der Bekleidung der zu untersuchenden Personen, die ggf. durchgeführt wird, wenn am Hand-Fuß-Monitor ein auffälliger Befund vorliegt. Er kann zudem aus der Bleiabschirmung herausgenommen werden, um lokale Kontaminationen der Haut betroffener Personen messen zu können.

Weiterhin wird es zur Qualitätssicherung der im Ziegelphantom (s. Kap. 4.1) verwendeten Stäbchenquellen eingesetzt. Seit Ende 2015 werden von der Messstelle derartige Quellen selbst hergestellt. Die dabei eingesetzten Nuklide werden sowohl nach Gesichtspunkten der beruflichen Überwachung als auch der radiologischen und nuklearspezifischen Notfallvorsorge ausgewählt.

Ferner besteht die Möglichkeit, Ausscheidungsproben auf Gammastrahler zu untersuchen.



9 Gammaskpektrometrie-Messplatz mit Bleiburg, digitalem Signalprozessor Canberra Lynx und Auswerterechner. Vorne am Arbeitsplatz liegen mehrere von der Inkorporationsmessstelle hergestellte Stäbchenquellen, hier mit Cf-252.

4.3.2 Mobiles Gammaskpektrometrie-System

Die Inkorporationsmessstelle besitzt ein tragbares Gammaskpektrometrie-System Falcon 5000 des Herstellers Mirion-Canberra. Bei Freisetzungen aus kerntechnischen Anlagen und anderen größeren Unfällen mit radioaktiven Stoffen kann das Gerät in den Notfallstationen des Katastrophenschutzes eingesetzt werden. Darüber hinaus können mit diesem Gerät Messungen in den Betrieben der zu überwachenden Personen durchgeführt werden, wenn das ausnahmsweise erforderlich ist. Auch die Messung von in ihrer Mobilität eingeschränkten Personen, für die die Liege der Ganzkörpermessanlage nicht geeignet ist, ist mit diesem Gerät möglich. Typischerweise wird die Messung mit diesem Gerät an einer sitzenden Person, vor der das Gerät aufgestellt wird, durchgeführt. Jedoch können aufgrund des kleineren Detektors und der schlechteren Abschirmung am jeweiligen Einsatzort des Geräts nicht die besonders kleinen Nachweisgrenzen der Ganzkörpermessanlage erreicht werden.

4.3.3 ODL-Messgerät zur Bestimmung der Radioiod-Aktivität in der Schilddrüse

Das Ortsdosisleistungsmessgerät SCINTO-Thyroid des Herstellers S.E.A. ist dazu geeignet und speziell dafür vorgesehen, die Aktivität des Iod-Isotops I-131 in der Schilddrüse zu bestimmen. Dazu wird das Gerät an den Hals der zu messenden Person gelegt. Die von der SSK empfohlene niedrige Nachweisgrenze zur Bestimmung signifikanter Radioiod-Aktivitäten auch bei Kindern [SSK 2015] wird mit diesem Gerät innerhalb einer zehnssekündigen Messung erreicht. Die Inkorporationsmessstelle konnte damit Erfahrungen in der Inkorporationsüberwachung nach Freisetzungen aus kerntechnischen Anlagen, wie sie beispielsweise in einer Notfallstation durchgeführt wird, gewinnen. Die Eignung des Geräts konnte durch die Teilnahme an zwei internationalen Ringversuchen zur Bestimmung der I-131-Aktivität in der Schilddrüse belegt werden [Isa 2017, Mei 2017].

4.3.4 Spektrometrierender Messplatz zur Bestimmung der Radioiod-Aktivität in der Schilddrüse

Die Inkorporationsmessstelle nahm 2019 einen Schilddrüsenmessplatz des Modells ISOMED 2163 des Herstellers Nuvia Instruments in Betrieb. Dieser Messplatz dient vor allem zur Konzeptionierung einer zukünftigen mobilen Verwendung in einem Fahrzeug. Solche Messplätze sollen Expertenmessungen der Schilddrüsenaktivität von Iod-131 an einer großen Anzahl an Personen der Bevölkerung nach Freisetzungen aus kerntechnischen Anlagen ermöglichen. Diese Expertenmessungen sind im Gegensatz zu Messungen der

Ortsdosisleistung, die die Einsatzkräfte des Katastrophenschutzes durchführen können, zwar zeitaufwändiger, bieten jedoch eine größere Genauigkeit und eine kleinere Nachweisgrenze. Sie stellen deshalb eine sinnvolle Ergänzung zu den Messungen des Katastrophenschutzes dar, wenn deren Ergebnisse einer genaueren Überprüfung bedürfen.

Der Messplatz besteht aus einem NaI(Tl)-Szintillationsdetektor der Größe 3" x 3". Der Detektor befindet sich in einem Ringkollimator aus Blei und zeigt auf den zum Messplatz gehörenden Stuhl, auf dem die zu messende Person Platz nimmt (Abb. 10). Die Rückenlehne ist mit Blei von 1 cm Dicke (entsprechend 5 Halbwertsdicken für Iod-131) abgeschirmt, sodass sich zusammen mit dem Kollimator eine vollständige Shadow-Shield-Abschirmung ergibt. Der Detektor kann in seiner Höhe, seiner Neigung und seinem Abstand zum Stuhl verstellt werden, sodass er auch als Detektor für die Aktivität im Torso verwendet werden kann.



10 Der neue Schilddrüsen-Messplatz mit Szintillationsdetektor, Shadow-Shield-Abschirmung (Ringkollimator und abgeschirmte Rückenlehne) und Auswerte-Computer.

4.3.5 3D-Drucker für die Herstellung von Phantomen

Seit Anfang 2017 betreibt die Messstelle einen eigenen 3D-Drucker für die Herstellung von Organnachbildungen zur Ergänzung und Erweiterung der vorhandenen Kalibrierphantome. In einem solchen Drucker können aus schematischen Zeichnungen durch Verwendung von Konstruktionssoftware wie CAD-Programmen (computer-aided design) dreidimensionale Strukturen erstellt werden. Für den Druck stehen unterschiedliche thermoplastische Kunststoffe zur Verfügung. Der feste Thermoplast wird im Druckkopf geschmolzen und schichtweise gedruckt. Beim Abkühlen erstarrt der Thermoplast in der gedruckten dreidimensionalen Form. In der Messstelle werden Hohlformen gedruckt, die ähnlich wie die selbst hergestellten Stäbchenquellen (s. Kap. 4.1) mit einem Radionuklid-Kalibrierstandard in aushärtendem Epoxidharz gelöst gefüllt werden.

Als erstes Organ wurden mehrere Nachbildungen von Schilddrüsen konstruiert und gedruckt (Abb. 11). Die verschiedenen Modelle repräsentieren verschiedene Stufen anatomischer Genauigkeit. So finden bislang meist Modellschilddrüsen in Zylinderform für die Kalibrierung von Schilddrüsen-Messplätzen Verwendung. Für einen experimentellen Vergleich der verschiedenen Geometrien wurden neben solchen zylinderförmigen Schilddrüsen auch Modelle aus Literaturdaten [Ula 1997, Als 2017] und Modelle basierend auf menschlichen

CT-Bildern erstellt. Vergleichende Messungen an diesen unterschiedlichen Geometrien wurden an den Inkorporationsmessstellen München (Neuherberg) und Berlin sowie im Ringversuch der Leitstelle Inkorporationsüberwachung durchgeführt.



11 Gedruckte Schilddrüsenquellen, links vorne: anatomische Schilddrüsen männlich und weiblich, hinten: zylinderförmige Schilddrüsen, rechts vorne: geometrisch komplexere „experimentelle“ Schilddrüsen in zwei unterschiedlichen Größen.

4.4 Historie der Inkorporationsmessstelle München (Neuherberg)

1964/65	Errichtung einer Ganzkörpermessanlage in der Abteilung „Strahlenschutz und Strahlenbelastung“ des Bundesgesundheitsamtes (BGA) in Westberlin (Dahlem) [BGA 1965].
Nov. 1966	Beginn der kontinuierlichen Untersuchung von Referenzpersonen (Männer, Frauen, Kinder) auf inkorporierte Radionuklide aus dem Fallout oberirdischer Kernwaffentests und von beruflich strahlenexponierten Personen. Erstmalige Veröffentlichung der Ergebnisse im IV. Quartalsbericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 1966“ des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung [BMWf 1967], später in den entsprechenden Jahresberichten des BMWf, BfS, BMU und BMUB.
Jun. 1979	Einstellung des Messbetriebs in Westberlin (Dahlem) und Beginn des Umzugs nach Neuherberg. Seit Inbetriebnahme waren über 6.000 Personenmessungen durchgeführt worden.
Nov. 1981	Wiederinbetriebnahme der Anlage an ihrem jetzigen Standort Neuherberg.
Apr. 1986	Reaktorunfall von Tschernobyl Als dessen Folge stieg die Cs-137-Aktivität in der Bevölkerung von zuvor ca. 0,5 Bq/kg auf ca. 8 Bq/kg für Erwachsene, 12,5 Bq/kg für Kinder und 24 Bq/kg bei Kindern aus dem Voralpengebiet ([BMU 1987], S. 430).
Sep. 1988–Jul. 1990	Ganzkörpermessungen von über 1.600 bayerischen Schulkindern (zusammen mit dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit) im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) [BfS 1992].
Dez. 1994	Abschluss einer Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Freistaat Bayern und dem Bundesamt für Strahlenschutz zur Durchführung von In-vivo-Messung bei beruflich strahlenexponierten Personen nach § 62 Abs. 6 StrlSchV (1989) beauftragt [AllIMBI 1994].
1993–1997	Errichtung und Inbetriebnahme des Teilkörperzählers mit dem Einsatzschwerpunkt Bestimmung von inhalierten Actinoiden in der Lunge [StMLU 1997].
Mär. 2011	Reaktorunfall in Fukushima. Kurzzeitig hohes Messaufkommen an Personen, die sich während des Unfalls in Japan aufgehalten hatten.
Mär. 2013	Umstellung des Messbetriebs von NaI(Tl)- auf HPGe-Detektoren mit Elektrokühlung, digitale Messelektronik und die Software „Apex-InVivo“.
Feb. 2016	Aufnahme der Herstellung eigener Stäbchenquellen zur Kalibrierung der Messanlagen, für die Ringversuche der Leitstelle Inkorporationsüberwachung und für Forschungsarbeiten.
Jan. 2017	Beginn der Herstellung von Kalibrierphantomen durch 3D-Druck.

4.5 Referenzen

- [AllMBl 1994] Allgemeines Ministerialblatt der Bayerischen Staatsregierung (8. Jahrgang, Nummer 3 vom 6.2.1995), Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen vom 21. Dezember 1994 Nr. 9308-351/942-69986.
- [Als 2017] M. Alsabbagh, A. A. Tajuddin, M. Abdulmanap, R. Zainon, Evaluation of 3D printing materials for fabrication of a novel multi-functional 3D thyroid phantom for medical dosimetry and image quality, *Radiat. Phys. Chem.* **135** (2017) 106-112.
- [BfS 1992] Bundesamt für Strahlenschutz, Bericht „Ganzkörpermessungen an bayerischen Schulkindern. Abschlussbericht. Juli 1992“, BfS-ISH-159/92, Dezember 1992.
- [BfS 2020] Dienstanweisung über die Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen (DA Nutzleistungen) vom 15.1.2020, GZ Z1 Org – 04105/305, mit Entgeltverzeichnis für Nutzleistungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, <https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/bfs/entgeltverzeichnis.html>.
- [BGA 1965] Bundesgesundheitsamt, Tätigkeitsbericht 1964/65.
- [BMU 1987] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung Jahresbericht 1986“.
- [BMU 2007] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle Teil 2: Inkorporationsüberwachung, 2007.
- [BMWF 1967] Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung, Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung IV. Vierteljahr 1966“, Bad Godesberg, 8. März 1967.
- [Giu 2016] A. Giussani, P. Nogueira, N. El Faramawy, W. Buchholz, U. C. Gerstmann, M. Hartmann, O. Meisenberg, D. Noßke, W. Rühm, A puzzling Case of Contamination with ²⁴¹Am, *J. Radiol. Prot.* **36** (2016) 391-404.
- [Isa 2017] M. Isaksson, P. Fojtík, J. F. Navarro, J. Oško, B. Perez, CATHyMARA report: Report of WP4 about intercomparison results for non-trained responders. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens CATHyMARA, WP4, Mai 2017.
- [Manu 1995] Technical Documents for Human Whole Body Phantom – Set UPh-07T, Scientific Research Institute for Industrial and Sea Hygiene, St. Petersburg, Russia 1995.
- [Mei 2017] O. Meisenberg, U. Gerstmann, Thyroid monitoring of adults and children after reactor accidents with a new dose rate measurement device. *Appl. Radiat. Isot.* **125** (2017) 150-153.
- [Nog 2015] P. Nogueira, W. Rühm, M. A. Lopez, T. Vrba, W. Buchholz, P. Fojtík, G. Etherington, D. Broggio, J. Huikari, O. Marzocchi, T. Lynch, A. L. Lebacqz, C. Li, J. Oško, I. Malátova, D. Franck, B. Breustedt, D. Leone, J. Scott, A. Shutt, B. Hauck, K. Capello, B. Pérez-López, J. F. Navarro-Amaro, T. Pliszczynski, K. Fantínová, S. Y. Tolmachev, EURADOS ²⁴¹Am skull measurement intercomparison, *Radiat. Meas.* **82** (2015) 64-73.
- [Rüh 1997] W. Rühm, K. König, D. Nosske, A partial body counter for incorporated low level actinides, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **226** (1997) 85-91.

- [Schm 1969] H. Schmier, Abschirmung von Ganzkörperstrahlungs-Meßanlagen – Shielding of whole body counters, Kerntechnik 11 (1969) 227-229.
- [Schm 1971] H. Schmier, Optimum Shielding Conditions for Low-Level Whole-Body Activity Measurements. In Assessment of radioactive Contamination in Man, 22.-26.11.1971, Stockholm, IAEA-SM-150/59.
- [StMLU 1997] Bayerisches Staatministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, Bericht „Einrichtung und Betrieb einer Inkorporationsmessstelle Bayern zur Direktbestimmung der Körperaktivität“, November 1997.
- [Ula 1997] A. V. Ulanovsky, V. F. Minenko, S. V. Korneev, Influence of Measurement Geometry on the Estimate of ^{131}I Activity in the Thyroid: Monte Carlo Simulation of a Detector and a Phantom, Health Phys. 72 (1997) 34-41.