

Inkorporationsmessstelle Neuherberg

Jahresbericht 2018

Fachbereich
Strahlenschutz und Gesundheit

BfS-SG-27/19

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

urn:nbn:de:0221-2019031317609

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, März 2019

Inkorporationsmessstelle Neuherberg

Jahresbericht 2018

**Fachbereich
Strahlenschutz und Gesundheit**

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 2018	6
3.1	Personenmessungen.....	6
3.2	Dosisfeststellungen.....	8
4	ANHANG	9
4.1	Technische Beschreibung der Ganzkörpermessanlage.....	9
4.2	Technische Beschreibung der Teilkörpermessanlage	14
4.3	Weitere Messausstattung der Messstelle	15
4.3.1	Gammastrahlungsmessplatz	15
4.3.2	Mobiles Gammastrahlungsmesssystem.....	16
4.3.3	ODL-Messgerät zur Bestimmung der Radioiod-Aktivität in der Schilddrüse	16
4.3.4	3D-Drucker für die Herstellung von Phantomen	17
4.4	Historie der Inkorporationsmessstelle Neuherberg.....	18
4.5	Referenzen.....	19

1 ZUSAMMENFASSUNG

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

Die aktuellen Aufgaben der Messstelle umfassen:

- Bestimmung der Körperaktivität von Gammastrahlern und der zugehörigen Körperdosis bei beruflich strahlenexponierten Personen gemäß § 169 StrlSchG (bis 30.12.2018: § 41 StrlSchV),
- Überwachung des im Kontrollbereich und/oder für die Arbeitsgruppe „Nuklearspezifische Gefahrenabwehr“ (NGA) am Standort 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] und über ein stationäres Gammaskpektrometer in einer Bleiabschirmung. Ein elektrisch gekühltes Gammaskpektrometer für den mobilen Einsatz ist in der Messstelle vorhanden, um in Notfallsituationen vor Ort einfache Inkorporationsmessungen vorzunehmen [You 2015]. Darüber hinaus betreibt die Messstelle seit 2017 einen 3D-Drucker zur eigenen Herstellung von Kalibrierphantom-Komponenten.

Im Jahr 2018 wurden in der Ganzkörpermessanlage 729 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 Neuherberg wird von der Arbeitsgruppe „Inkorporationsüberwachung“ (MB 5) betrieben, welche im Fachbereich „Strahlenschutz und Gesundheit“ (SG) in dessen Abteilung „Medizinischer und beruflicher Strahlenschutz“ (MB) angesiedelt ist. Die Aufgaben in der Abteilung, die im Zusammenhang mit der Inkorporationsüberwachung beruflich strahlenexponierter Personen stehen, werden in der Leitstelle Inkorporationsüberwachung gebündelt.

Die Messstelle ist telefonisch unter 030 18333-2430 (Dr. Udo Gerstmann, Leiter der Messstelle) oder 030 18333-2432 (Oliver Meisenberg, Leiter der Messanlagen) und per E-Mail an ikm-neuherberg@bfs.de erreichbar.

Die Hausanschrift der Messstelle lautet:

Bundesamt für Strahlenschutz
Inkorporationsmessstelle Neuherberg/MB 5
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim

2.2 HINWEISE ZUM ABLAUF VON MESSUNGEN

Vor Durchführung einer Messung für Dritte ist ein Vertrag gemäß der „Dienstanweisung zur Erhebung von Entgelten für Privatrechtliche Nutzleistungen des BfS“ (DA-Nutzleistung) abzuschließen [BfS 2011]. 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 2018

3.1 PERSONENMESSUNGEN

Im Jahr 2018 wurden insgesamt 729 Personenmessungen durchgeführt (s. Tabelle 1). Die Mehrzahl der Messungen (75 %) wurde im Rahmen der Eigenüberwachung vorgenommen. Hierunter fielen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BfS, die im Kontrollbereich des Standorts und/oder in der Arbeitsgruppe „Nuklearspezifische Gefahrenabwehr“ (NGA) tätig waren. 16 % 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).

8,4 % der Messungen wurden im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 169 StrlSchG für zwei Unternehmen im Freistaat Bayern durchgeführt. Die verbleibenden 3 Messungen (0,4 %) entfielen auf Dritte, die sich aus privaten Gründen einer Inkorporationsmessung unterzogen.

Tabelle 1: Anzahl der im Berichtszeitraum durchgeführten Messungen

Monat	Referenzpersonen	Eigenüberwachung	Dritte § 169 StrlSchG*	Sonstige
Januar	5	49		
Februar	12	45	1, 5	A, B
März	12	51		1
April	12	45	2	A
Mai	5	39	13	A
Juni	4	43	3	A
Juli	10	55	2	A
August	11	51	4	A
September	16	52		
Oktober	6	33	4	A
November	14	49	14, 5	A, B
Dezember	10	36	3, 6	A, B
Gesamt	117	548	62	3

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

Die Anzahl der durchgeführten Messungen ist 2018 zum ersten seit einigen Jahren leicht gesunken, was vor allem auf einen geringeren Bedarf an Eigenüberwachung am BfS-Standort zurückzuführen ist (Abb. 1). Die Messanlagen sind aber weiterhin stark ausgelastet.

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 (abgesehen von Radiopharmaka nach nuklearmedizinischer Diagnostik oder Therapie). 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. Bei Männern konnten häufiger größere Aktivitäten von Cs-137 gemessen werden (Abb. 2).

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.

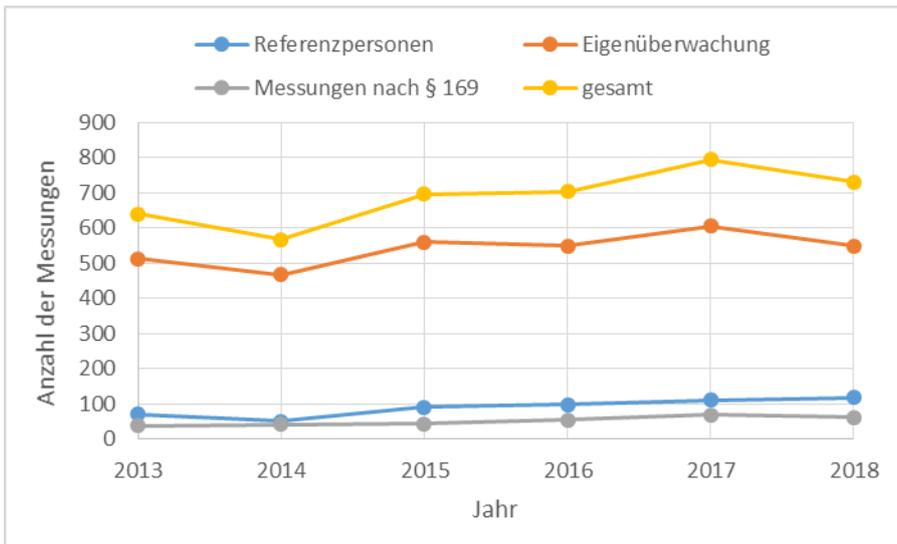


Abb. 1: Anzahl der Messungen pro Personengruppe, die in den letzten Kalenderjahren durchgeführt wurden.

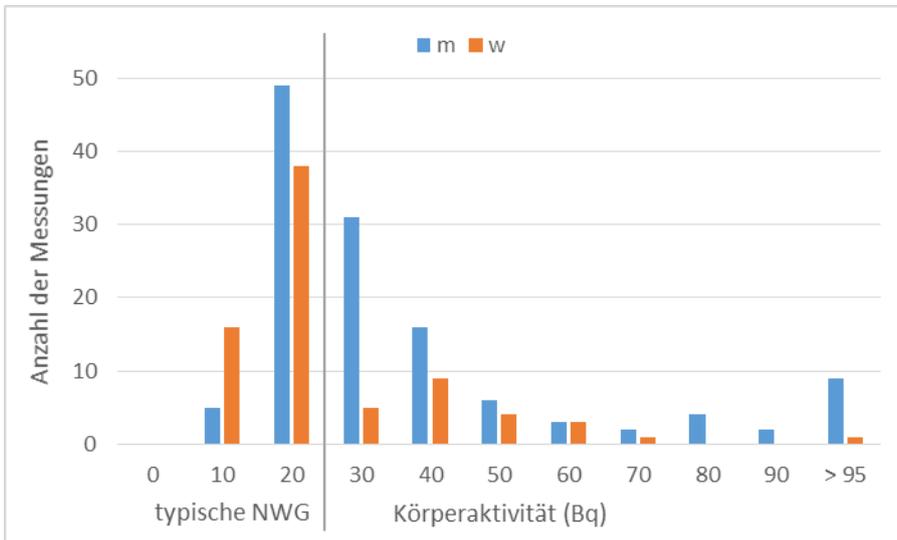


Abb. 2: Verteilung der gemessenen Körperaktivitäten von Cs-137 (jeweils angegebene Körperaktivität ± 5 Bq) bei den 2018 durchgeführten Messungen, aufgeteilt nach dem Geschlecht der gemessenen Person.

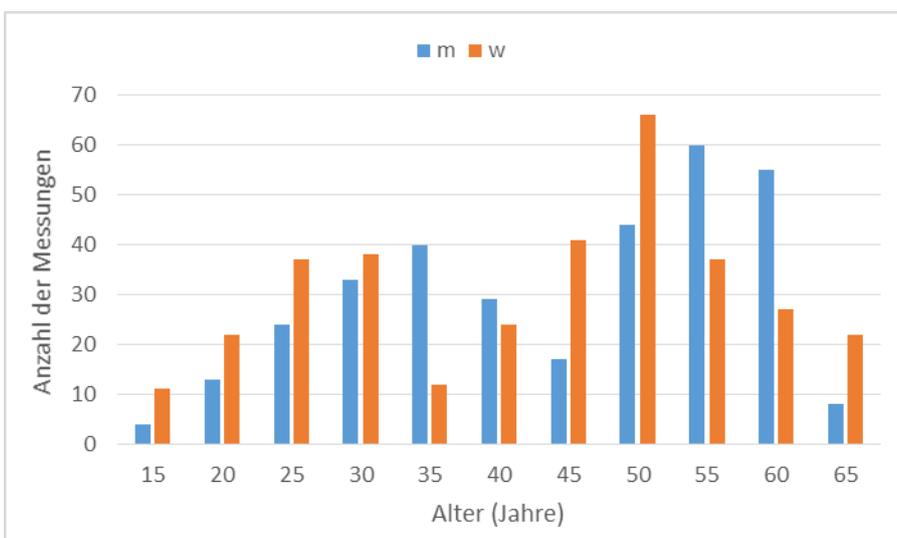


Abb. 3: Verteilung des Lebensalters der Referenzpersonen und der im Rahmen der Eigenüberwachung gemessenen Personen zum Zeitpunkt der Messung (jeweils angegebenes Lebensalter $\pm 2,5$ Jahre).

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, a) bei denen Messungen durch die zuständige Behörde angeordnet wurden, b) die im Rahmen der Strahlenschutzvorsorge freiwillig untersucht werden und c) 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 anhand der Formatvorlage INKFORM [BfS 2003].

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 Untersuchung der 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	– 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 (Anfang 2018 in Betrieb genommen)
Elektronik	vier digitale Signalanalysatoren (Fa. Canberra Modell DSA 1000)
Stromversorgung	– zwei USV, Fa. Riello UPS Modell „Sentinel Pro“, Überbrückungszeit ca. 70 Minuten – Notstrom-Hausnetz
Messsoftware	Apex-InVivo in Verbindung mit Genie 2000 (Fa. Canberra)
Abschirmung	– 50 cm Quarzsand (außen) – 5 cm Blei – Stützelemente aus Stahl

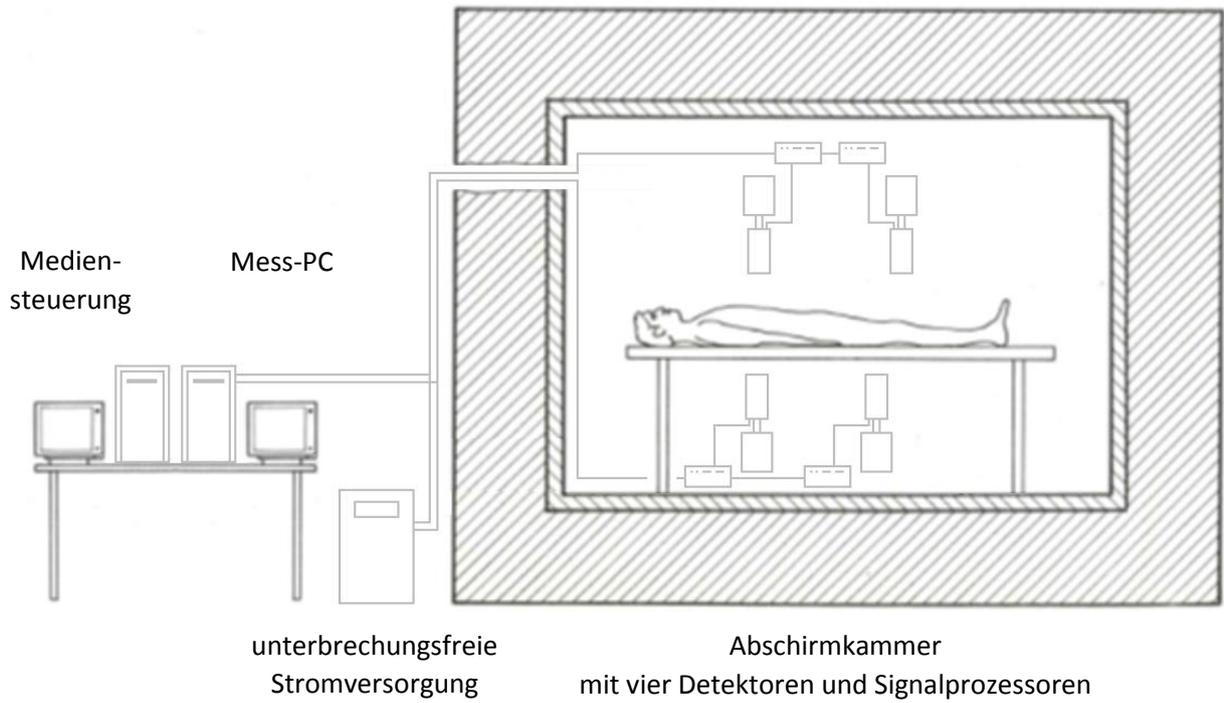


Abb. 4: Schematischer Aufbau der Ganzkörpermessanlage

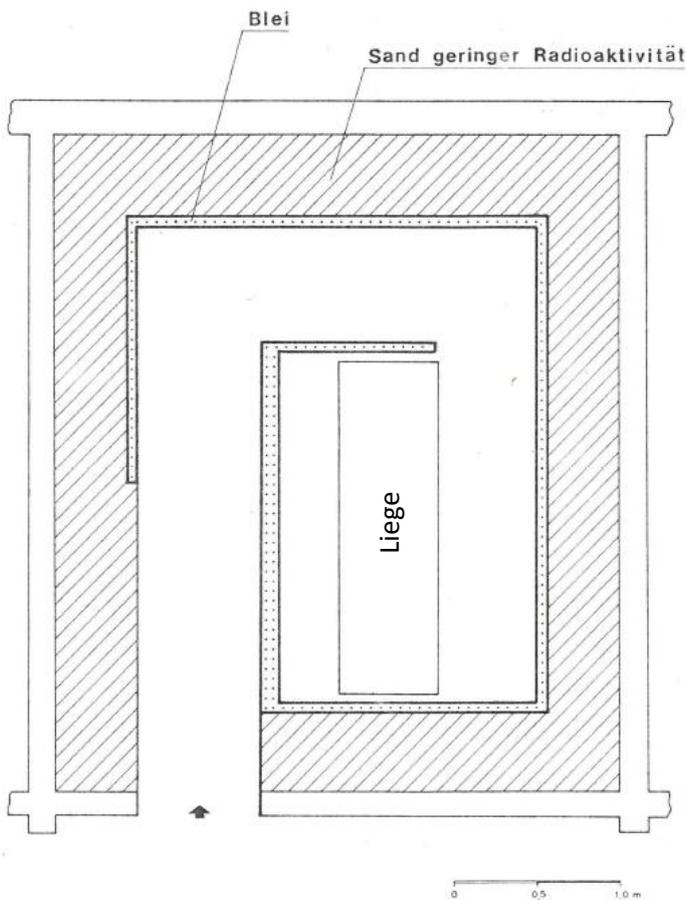


Abb. 5: Skizze der Abschirmkammer der Ganzkörpermessanlage (Draufsicht). In der Mitte befindet sich die Liege für die zu untersuchende Person.

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. Darüber hinaus stehen z. Z. Quellen mit Na-22, Co-57, Se-75 und Tm-170 zur Verfügung. Die Quellen wurden vom Phantomhersteller (Standardnuklide, Fa. STC Radek, s. [Manu 1995]) oder von der Radiochemie München (RCM) der TU München (Spezialanfertigungen) bezogen. Bei Bedarf können von der Messstelle Stäbchenquellen verschiedener einzelner Nuklide oder mit Nuklidgemischen selbst hergestellt werden. Dies betraf in der Vergangenheit beispielsweise Sr-90 und Cf-252 für Forschungsarbeiten.



Abb. 6: Kalibrierphantom (90-kg-Konfiguration)

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
 Vorname
 Geburtsdatum
 Geburtsort
 Arbeitgeber
 Beruf
 Größe (cm)
 Gewicht (kg)
 Startdatum
 Enddatum
 Strahlenschutznummer
 Geschlecht
 Bemerkung

Die personenbezogenen Daten der gemessenen Person wurden unkenntlich gemacht.

ZÄHLERINFORMATION

Konfigurationsname IM4M

INFORMATIONEN DER MESSUNG

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

BERICHT DER DETEKTORZÄHLRATEN

Detektorname	Zählrate	Zählratenbereich (Kanäle)	Messzeit Live	Analysiert	Analysendatum	Dateiname
DET01	5,50	1 - 4096	1200,0	Nein		e\F008361555.cnf
DET04	7,10	1 - 4096	1200,0	Nein		9bb72a011555.cnf
einzel4M	7,10	1 - 4096	1200,0	Nein		b17e30aa1555.cnf
einzelIM	5,49	1 - 4096	1200,0	Nein		8e496e361555.cnf
summe1M4M	12,59	1 - 4096	1200,0	Ja	24.10.2017 15:55:33	6546a43c1555.cnf

Freigabe von: _____
 Datum: 2018.03.09 13:21:46 +01'00'

INFORMATIONEN DER DETEKTORGRUPPE

Detektorgruppenname summe1M4M
 Detektorgruppenkonfiguration rest
 Analysendatum 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 Untergrundmessung 27.06.2017
 Nuklididentifizierung BfS-WBC-Referenz-int
 Nuklididentifizierungsbibliothek stdlib.nib
 vorl. NID-Bibliothek stdlib.nib
 Bibliothek für Liniensuche 50 -- 4090
 Analysengrenzen (Kanäle) 2,50
 Energietoleranz (keV)
 Kommentar

Ergebnisse der Flächenanalyse GKZ <summe1M4M>

Nein	Lage der Linie	Flächenanalyse			Nuklidinformation				
		Energie (keV)	Netto Linienfläche	Kontinuumimpulse	Nuklidname	Aktivität (Bq)	Fehler (1SD)	Emis. (%)	
F	1	1327,7	661,8	4,28E+001	1,77E+001	CS-137	5,24E+001	20,31%	85,00
F	2	2932,1	1461,0	2,68E+002	6,28E+000	K-40	3,22E+003	7,44%	10,67

Für unbekannte Linien wird eine Übergangswsk. von 100% und keine Zufallskorrektur angenommen
 N = Erste Linie in einer Multiplet-Region
 m = Andere Linie in einer Multiplet-Region
 F = Singulett gefittet

Ergebnisse der Nuklidanalyse GKZ <summe1M4M>

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. mitli. Aktivität berücksichtigt wurden
 ! = Nuklid wurde korrigiert auf Mutter- / Tochter- Zerfall

Ergebnisse der NWG/EKG - Analyse GKZ <summe1M4M>

Nuklidname	Energie (keV)	Emis. (%)	Linien-NWG (Bq)	Nuklid-NWG (Bq)	Linien-EKG (Bq)	Nuklid-EKG (Bq)
+ K-40	1460,8	*	10,87	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	
+ CS-137	661,7	*	85,00	3,56E+001	1,61E+001	1,61E+001
RN-222	77,0		11,98	5,87E+002	2,80E+002	4,66E+001
	242,0		7,12	6,88E+002	3,28E+002	
	295,2		18,15	2,38E+002	1,13E+002	
	351,9		35,10	1,32E+002	6,28E+001	
	609,3		44,80	9,93E+001	4,85E+001	
	934,1		3,10	1,21E+003	5,57E+002	
	1120,3		14,70	2,80E+002	1,29E+002	
	1377,7		3,97	7,49E+002	3,31E+002	
	1408,0		2,39	1,38E+003	6,18E+002	
	1764,5		15,10	1,55E+002	6,52E+001	
TH-232	74,9		11,79	5,62E+002	1,17E+002	5,58E+001
	238,6		43,30	1,17E+002	5,58E+001	
	358,3		11,27	3,48E+002	1,63E+002	

Ergebnisse der NWG/EKG - Analyse GKZ <summeIM4M>

Nuklidname	Energie (keV)	Emis. (%)	Linien-NWG (Bq)	Linien-EKG (Bq)	Nuklid-NWG (Bq)	Nuklid-EKG (Bq)
Th-232	583.2	30.40	1.35E+002	6.19E+001	1.17E+002	5.58E+001
	727.3	6.58	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	38.30	1.72E+002	8.15E+001	1.72E+002	8.15E+001
Vn-511	511.0	100.00	6.38E+001	3.06E+001	6.38E+001	3.06E+001

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

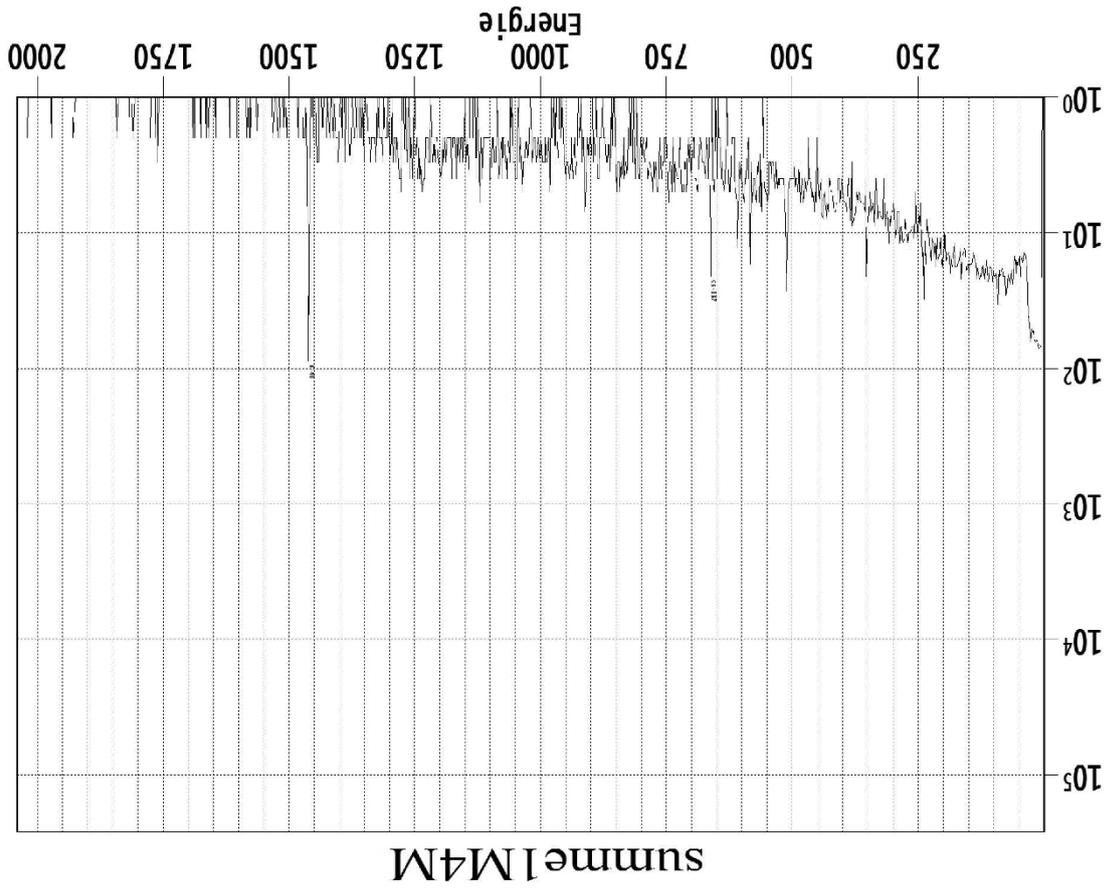


Abb. 7: Ausdruck eines Messberichts einer Person aus der Eigenüberwachung. Das dargestellte Spektrum enthält neben den Linien natürlicher Radionuklide auch die von Cs-137 durch noch belastete Pilze (Tschernobyl).

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	– vier BEGe Detektoren (Broad Energy High Purity BE2020 Canberra) – 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	– 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.

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.



Abb. 8: Der Lungenzähler Neuherberg. 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

Im Jahr 2015 wurde an der Inkorporationsmessstelle ein Gammaskpektrometer mit einem elektrisch gekühlten HPGe-Detektor in Betrieb genommen (Abb. 9). Das Gerät dient der Kontaminationskontrolle der Bekleidung der zu untersuchenden Personen, die ggf. durchgeführt wird, wenn am Hand-Fuß-Monitor ein auffälliger Befund vorliegt.

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 nun die Möglichkeit, Ausscheidungsproben auf Gammastrahler zu untersuchen.

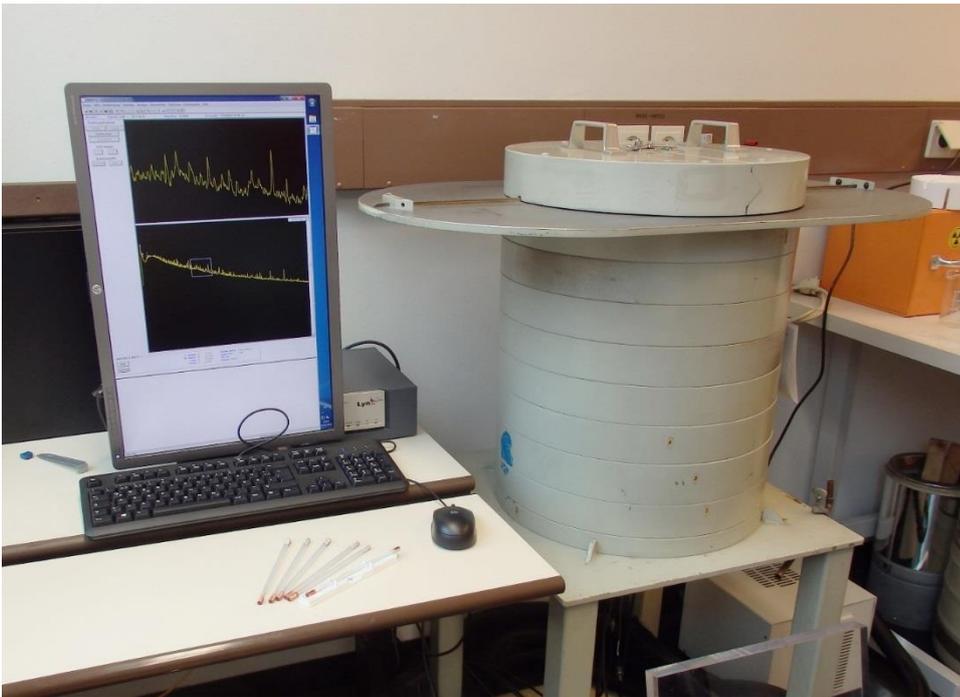


Abb. 9: Gammasspektrometrie-Messplatz mit Bleiburg, digitalem Signalprozessor Canberra Lynx und Auswerterechner. Vorne am Arbeitsplatz liegen mehrere von der Inkorporationsmessstelle hergestellte Stäbchenquellen, hier mit Cf-252.

4.3.2 Mobiles Gammasspektrometrie-System

Seit 2016 besitzt die Inkorporationsmessstelle ein tragbares Gammasspektrometrie-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

Im Jahr 2015 wurde für die Inkorporationsmessstelle ein Ortsdosisleistungsmessgerät SCINTO-Thyroid des Herstellers S.E.A. beschafft. Dieses Gerät 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 zehnekündigen 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 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. 10). 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 Neuherberg und Berlin sowie im Ringversuch der Leitstelle Inkorporationsüberwachung durchgeführt.



Abb. 10: 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 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, BMI, 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 [AIIMBI 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

- [AllMBI 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. Alssabbagh, 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 2003] Bundesamt für Strahlenschutz, Strahlenschutzregister: INKFORM 2.1, Formatanforderungen für die Übermittlung von Inkorporationsfeststellungen auf Datenträgern, Version 2.103, 13.11.2003.
- [BfS 2011] Dienstanweisung „Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS (DA Nutzleistung)“, GZ Z2-04101/4 vom 3.5.2011.
- [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.
- [You 2015] M. Youngman, Review of methods to measure internal contamination in an emergency. J. Radiol. Prot. 35 (2015) R1-R15.

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-140/89

Bayer, A.; Braun, H.; Dehos, R.; Frasch, G.; Haubelt, R.; Hoppe-Schönhammer, J.; Kaul, A.; Löbke, A.; Werner, M.

Erfassung, Dokumentation und strahlenhygienische Bewertung vorliegender Aktivitätsmeßdaten aus der Bundesrepublik Deutschland als Folge des Reaktorunfalles im Kernkraftwerk Tschernobyl.

BfS-ISH-141/90

Stamm-Meyer, A.; Stanek, H.; Bögl, K.W.

Biologische Indikatoren zum Nachweis von Strahlenexpositionen - Thymidinkonzentration im Humanserum als "biologisches Dosismeter"?

BfS-ISH-142/90

Burkhardt, J.; Lux, D.

Characterization of Critical Population Groups with Special Consumption Habits in Bavaria.

BfS-ISH-143/90

BfS-ISH-143/90

Roedler, H. D.; Pittelkow, E.

Strahlenexposition des Patienten bei der nuklearmedizinischen Anwendung markierter monoklonaler Antikörper.

BfS-ISH-144/90

Frasch, G. A.

Fehlbildungshäufigkeiten in Bayern 1968 - 1979 / Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

BfS-ISH-145/90

Martignoni, K.

Spontane und Strahleninduzierte kongenitale Anomalien einschließlich Fehl- und Totgeburten.

BfS-ISH-146/90

Schaller, G.; Leising, Chr.; Krestel, R.; Wirth, E.

Cäsium- und Kalium-Aufnahme durch Pflanzen aus Böden.

BfS-ISH-147/90

Brachner, A.

Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern (1972 - 1986).

BfS-ISH-148/90

Winkelmann, I.; Endrulat, H.-J.; Fouasnon, S.; Gesewsky, P.; Haubelt, R.; Klopfer, P.; Köhler, H.; Kohl, R.; Kucheida, D.; Leising, C.; Müller, M.-K.; Neumann, P.; Schmidt, H.; Vogl, K.; Weimer, S.; Wildermuth, H.; Winkler, S.; Wirth, E.; Wolff, S.

Radioactivity Measurements in the Federal Republic of Germany after the Chernobyl Accident. (Unveränderter Nachdruck von ISH-116)

BfS-ISH-149/90

Hofmann, R.; Hendriks, W.; Schreiber, G. A.; Bögl, K. W.

BLood Amylase - A Biochemical Radiation Indicator?

BfS-ISH-150/91

Frasch, G.; Martignoni, K.

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. III. Das strahlenbedingte Brustkrebsrisiko.

BfS-ISH-151/91

Martignoni, K. (unter Mitarbeit von Elsasser, U.)

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. IV. Das strahlenbedingte Schilddrüsen-Krebsrisiko.

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-152/91

Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P. (Infratest Gesundheitsforschung, München); Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.
Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.
Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West). Kurzfassung.

BfS-ISH-153/91

Brachner, A.; Grosche, B.
Risikofaktoren für bösartige Neubildungen.
Neuherberg, Juni 1991

BfS-ISH-154/91

Brachner, A.; Grosche, B.
Perinatale Risikofaktoren einschließlich Fehlbildungen.
Neuherberg, Oktober 1991

BfS-ISH-155/91

Römmelt, R.; Hiersche, L.; Wirth, E.
Untersuchungen über den Transfer von Caesium 137 und Strontium 90 in ausgewählten Belastungspfaden.
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1033.
Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-156/91

Poschner, J.; Schaller, G.; Wirth, E.
Verbesserung und Neuentwicklung von radioökologischen Modellen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Beseitigung von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen.
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1104.
Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-157/92

Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P.; Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.
Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.
Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West).
- Abschlußbericht -
Neuherberg, September 1992

BfS-ISH-158/92

Lörch, Th.; Wittler, C.; Frieben, M.; Stephan, G.
Automatische Chromosomendosimetrie.
Neuherberg, Oktober 1992

BfS-ISH-159/92

Schmier, H.; König, K.; Aßmann, G.; Berg, D.
Ganzkörpermessungen an bayerischen Schulkindern. Abschlußbericht . Juli 1992.
Neuherberg, Dezember 1992

BfS-ISH-160/93

Irl, C.; Schoetzau, A.; Steinhilber, B.; Grosche, B.; Jahraus, H.; van Santen, E.
Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern 1972 bis 1990.
Neuherberg, März 1993

BfS-ISH-161/93

Dalheimer, A.; Henrichs, K. (Hrsg.)
Thorium, Probleme der Inkorporationsüberwachung. Anwendung, Messung, Interpretation.
Seminar in Kloster Scheyern/Bayern am 12. und 13. Oktober 1992, durchgeführt vom Institut für Strahlenhygiene des BfS.
Neuherberg, September 1993

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-162/93

Daten zur Umgebungs- und Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1990 bis 1992.

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz und den Leitstellen des Bundes.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-163/93

Steinmetz, M. (Hrsg.)

Arbeitsgespräch Terrestrisches solares UV-Monitoring am 2. Juni 1992 im Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-164/93

Poschner, J.; Schaller, G.

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Dezember 1993

BfS-ISH-165/94

Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.

Forschungsprogramm Strahlenschutz 1992 bis 1993. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1994

BfS-ISH-166/94

Burkart, Werner (Hrsg.)

Erste deutsche Aktivitäten zur Validierung der radiologischen Lage im Südrural.

Neuherberg, August 1994

BfS-ISH-167/94

Ralph Gödde, Annemarie Schmitt-Hannig, Michael Thieme

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1994 -

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Oktober 1994

BfS-ISH-168/94

Schoetzau, A.; van Santen, F.; Irl, C.; Grosche, B.

Angeborene Fehlbildungen und Säuglingssterblichkeit nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

Neuherberg, Dezember 1994

BfS-ISH-169/95

Poschner, J.; Schaller, G.

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Januar 1995

BfS-ISH-170/95

Angerstein, W.; Bauer, B.; Barth, I.

Daten über die Röntgendiagnostik in der ehemaligen DDR.

Neuherberg, März 1995

BfS-ISH-171/95

Schopka, H.-J.; Steinmetz, M.

Environmental UV radiation and health effects.

Proceedings of the International Symposium, Munich-Neuherberg, Germany, May 4-6, 1993.

Neuherberg, Mai 1995

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-172/95

Kragh, P.

C-Programm LINOP zur Auswertung von Filmdosimetern durch lineare Optimierung.

Anwendungshandbuch.

Neuherberg, November 1995

BfS-ISH-173/96

Thieme, M.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1995.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1996

BfS-ISH-174/96

Irl, C.; Schoetzau, A.; van Santen, F.; Grosche, B.

Inzidenz bösartiger Neubildungen bei Kindern in Bayern nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

Neuherberg, April 1996

BfS-ISH-175/96

Dalheimer, A.; König, K.; Mundigl, S.

Überwachung der Raumluftaktivität. Verfahren, Interpretation, Qualitätssicherung.

2. Fachgespräch am 12. und 13. Oktober 1995, Schloß Hohenkammer / Bayern.

Neuherberg, Oktober 1996

BfS-ISH-176/97

Brachner, A.; Martignoni, K.

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. V. Das strahlenbedingte Knochenkrebsrisiko.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-177/97

Schaller, G.; Arens, G.; Brennecke, P.; Görtz, R.; Poschner, J.; Thieme, J.

Beseitigung radioaktiver Abfälle und Verwertung von Reststoffen und Anlagenteilen. Grundlagen, Konzepte, Ergebnisse.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-178/97

Bäumli, A.; Bauer, B.; Bernhard, J.-H.; Stieve, F.-E.; Veit, R.; Zeitberger, I. (Hrsg.)

Joint WHO / ISH Workshop on Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology. Munich-

Neuherberg, Germany, October 9-13, 1995.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-179/97

Zusammengestellt von: *Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.; Gödde, R.*

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1996. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-180/97

Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Schnuer, K. (Editors)

European study of occupational radiation exposure -ISOREX -.

Proceedings of the Introductory Workshop held in Luxembourg, May 20th - 21st, 1997.

Neuherberg, November 1997

BfS-ISH-181/98

Schulz, O.; Brix, J.; Vogel, E.; Bernhardt J. H.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder als Umweltfaktoren: Epidemiologische Untersuchungen.

Neuherberg, Februar 1998

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-182/98

Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1997.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-183/98

Dahlheimer, A.; Hartmann, M.; König, K. (Hrsg.)

Körperaktivität durch natürliche Quellen.

Berücksichtigung des Beitrages der aus natürlichen Quellen aufgenommenen Radionuklide bei der Ausscheidungsanalyse.

3. Fachgespräch am 25. und 26. November 1996, Fachbereich Strahlenschutz des BfS, Berlin.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-184/99

Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Petrova, K.

Occupational Radiation Exposure in Central and Eastern European Countries

- ESOREX EAST -

Proceedings of an Introductory Workshop held in Prague, September 24th - 25th, 1998

Co-organised by: State Office for Nuclear Safety (SUJB), The Czech Republic.

Freiburg, Februar 1999

BfS-ISH-185/99

Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Donhär, W.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1998.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, April 1999

BfS-ISH-186/99

Schaller, G.; Bleher, M.; Poschner, J.

Herleitung von Dosisumwandlungsfaktoren für die Freigabe von Abfällen mit geringfügiger Radioaktivität.

Neuherberg, Mai 1999

BfS-ISH-187/99

Wirth, E.; Pohl, H.

Kolloquium

Radioökologische Strahlenschutzforschung

Ressortforschungsprogramm des BMU

3. und 4. Mai 1999

Neuherberg, August 1999

BfS-ISH-188/00

Frasch, G.; Kragh, P.; Almer, E.; Anatschkowa, E.; Karofsky, R.; Nitzgen, R.; Schmidt, H.; Spiesl, J.

1. Bericht des Strahlenschutzregisters des BfS mit Daten des Überwachungsjahrs 1998

Neuherberg, Juni 2000

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

Ab Dezember 2000 SH-Berichte

BfS-SH-1/00

Jung, Th.; Jacquet, P.; Jaussi, R.; Pantelias, G.; Streffer, Chr.

Final Report

Evolution of genetic damage in relation to cell-cycle control: A molecular analysis of mechanisms relevant for low dose effects.

Contract N° FI4PCT960043

Reporting Period: January 1997 – June 1999

Neuherberg, Dezember 2000

BfS-SH-02/02

Donhärl, W.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Williams, M.

Strahlenschutzforschung

- Programmreport 2000 –

Bericht über das Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Neuherberg, April 2002

BfS-SH-03/02

Jahraus H.; Grosche B.

Inzidenz kindlicher bösartiger Neubildungen (1983-1998) und Mortalität aufgrund bösartiger Neubildungen in der Gesamtbevölkerung (1979-1997) in Bayern

2. Fortschreibung des Berichts „Inzidenz und Mortalität bösartiger Neubildungen in Bayern“ von 1993

Bericht im Rahmen des „Strahlenbiologischen Umweltmonitoring Bayern“

Salzgitter, August 2002

BfS-SH-04/02

Grosche B.; Weiss W.; Jahraus H.; Jung T.

Häufigkeit kindlicher Krebserkrankungen in der Umgebung von Atomkraftwerken in Bayern

Salzgitter, August 2002

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

Ab Februar 2003 SG-Berichte

BfS-SG-01/03

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 1999 bis 2001
Auswertung des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2003

BfS-SG-02/03

*Noßke, D.; Dalheimer, A.; Dettmann, K.; Frasch, G.; Hartmann, M.;
Karcher, K.; König, K.; Scheler, R.; Strauch, H.*
Retentions- und Ausscheidungsdaten sowie Dosiskoeffizienten für die Inkorporationsüberwachung
Übergangsregelung bis zur In-Kraft-Treten der entsprechenden Richtlinie zur inneren Exposition
Salzgitter, Dezember 2003

BfS-SG-03/04

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2002
Bericht der Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Februar 2004

BfS-SG-04/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.
Strahlenschutzforschung
Programmreport 2002
Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und verwaltete
Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums
Salzgitter, März 2004

BfS-SG-05/05

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2003
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, April 2005

BfS-SG-06/05

Stegemann, R.; Frasch, G.; Kammerer, L.; Spiesl, J.
Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, August 2005

BfS-SG-07/06

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2004
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2006

BfS-SG-08/06

Hartmann, M.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse des In-vitro-Ringversuchs: Thorium- und Uran-Isotope im Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2003/2004 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS
am 22. September 2004 im Bundesamt für Strahlenschutz, Belin
Salzgitter, August 2006

BfS-SG-09/07

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2005
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2007

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SG-10/08

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms ▪ German Mobile Telecommunication Research Programme (DMF)

Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks ▪ Health Risk Assessment of Mobile Communications

(Stand 15.05.2008)

Salzgitter, Juni 2008

BfS-SG-11/08

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2006

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juli 2008

BfS-SG-12/09

urn:nbn:de:0221-2009042308

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2007

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Mai 2009

BfS-SG-13/10

urn:nbn:de:0221-201004201491

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2008

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Mai 2010

BfS-SG-14/11

urn:nbn:de:0221-201105105835

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A. Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2009

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Mai 2011

BfS-SG-15/11

urn:nbn:de:0221-201108016029

Frasch, G.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A.; Spiesl, J.; Stegemann, R.

Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland 2004 – 2009

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, August 2011

BfS-SG-16/12

urn:nbn:de:0221-201206018415

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2010

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juni 2012

BfS-SG-17/12

urn:nbn:de:0221-2012112610240

Motzkus, K.-H.; Häusler, U.; Dollan, R.

Wissenswertes über hochradioaktive Strahlenquellen

Salzgitter, November 2012

BfS-SG-18/13

urn:nbn:de:0221-2013022510313

Pophof, B.; Geschwentner, D.

Umweltauswirkungen der Kabelanbindung von Offshore-Windenergieparks an das Verbundstromnetz

Effekte betriebsbedingter elektrischer und magnetischer Felder sowie thermischer Energieeinträge in den Meeresgrund

Salzgitter, Februar 2013

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SG-19/13

urn:nbn:de:0221-2013041510534

Frasch, G.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Mordek, E.; Schlosser, A.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2011

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, April 2013

BfS-SG-20/13

urn:nbn:de:0221-2013062410893

Bodendorf, Chr.

Exposition durch in Deutschland verwendete TETRA-Endgeräte

Modellierung der Verteilung von SAR-Werten im gesamten Körper und im Bereich des Kopfes unter besonderer Berücksichtigung der Augen

Vorhaben FM 8847 – Abschlussbericht Dezember 2012

Salzgitter, Juni 2013

BfS-SG-21/14

urn:nbn:de:0221-2014031911368

Pophof, Blanka

Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks auf die männliche Fruchtbarkeit

Bewertende Literaturübersicht

Salzgitter, Januar 2014

BfS-SG-22/14

urn:nbn:de:0221-2014032711370

Frasch, G.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Mordek, E.; Schlosser, A.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2012

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, April 2014

BfS-SG-23/15

urn:nbn:de:0221-2015100213555

Frasch, G.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Mordek, E.; Schlosser, A.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2013–2014

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Oktober 2015

BfS-SG-24/18

urn:nbn:de:0221-2018041714610

Inkorporationsmessstelle Neuherberg

Jahresbericht 2017

Salzgitter, April 2018

BfS-SG-25/18

urn:nbn:de:0221-2018082916019

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2016

Salzgitter, Juli 2018

BfS-SG-26/19

urn:nbn:de:0221-2019011117205

Gerstmann, U.; Hartmann, M.; Brose, J.; Helbig, S.; Leistritz, T.; Löscher, S.; Süß, P.; Taubner, K.; Toruhn, B.

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2017

Salzgitter, Januar 2019

BfS-SG-27/19

urn:nbn:de:0221-2019031317609

Inkorporationsmessstelle Neuherberg

Jahresbericht 2018

Salzgitter, März 2019

| 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

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz