

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2018

Fachbereich
Strahlenschutz und Gesundheit

Autor/innen

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

BfS-SG-28/19

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2019042318009

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, April 2019

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2018

**Fachbereich
Strahlenschutz und Gesundheit**

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	3
2	ORGANISATION DER MESSSTELLE	4
2.1	ZUSTÄNDIGKEITEN	4
2.2	HINWEISE ZUM ABLAUF VON MESSUNGEN.....	4
2.2.1	In-vivo Messanlage	4
2.2.2	In-vitro-Labor und Ausscheidungsanalysen.....	4
3	MESSUNGEN UND DOSISFESTSTELLUNGEN IM JAHR 2018	5
3.1	PERSONENMESSUNGEN (IN-VIVO).....	5
3.2	AUSSCHIEDUNGSANALYSEN (IN-VITRO)	6
3.3	DOSISFESTSTELLUNGEN.....	6
	ANHANG	7
	TECHNISCHE BESCHREIBUNG DER IN-VIVO-MESSANLAGE.....	7
	Ganzkörperzähler.....	8
	Teilkörperzähler	10
	TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES IN-VITRO-LABORS.....	12
	HISTORIE DER INKORPORATIONSMESSSTELLE BERLIN	13
	REFERENZEN.....	14

1 ZUSAMMENFASSUNG

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

Die aktuellen Aufgaben der Messstelle umfassen:

- Bestimmung der Körperaktivität von Gammastrahlern und Berechnung der zugehörigen Körperdosis von beruflich strahlenexponierten Personen gemäß § 65 (4) StrISchV [StrISchV 2018] und bei Personen von Kontrollgruppen,
- Bestimmung der Aktivität von H-3, C-14 und Am-241 in Urin und Berechnung der zugehörigen Körperdosis von beruflich strahlenexponierten Personen gemäß § 65 (4) StrISchV und bei Personen von Kontrollgruppen,
- Übermittlung der Dosiswerte gemäß § 170 (4) StrISchG [StrISchG 2017] an das Strahlenschutzregister des BfS,
- Eigenüberwachung von Personen aus Kontrollgruppen,
- regelmäßige Untersuchungen von Referenzpersonen der Bevölkerung,
- Teilnahme an Maßnahmen zur Qualitätssicherung,
- Vorhaltung von Messkapazitäten für die Notfallvorsorge.

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

Für Ausscheidungsanalysen stehen ein Labor zur radiochemischen Probenaufbereitung sowie ein Messraum mit Alpha-Spektrometer und verschiedenen Flüssigszintillationsspektrometern zur Verfügung. Im Jahr 2018 wurden in der In-vivo-Messanlage 564 Personenmessungen (s. Tabelle 1) und im In-vitro-Labor 148 Ausscheidungsanalysen durchgeführt (s. Tabelle 2).

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

2 ORGANISATION DER MESSSTELLE

2.1 ZUSTÄNDIGKEITEN

Die Inkorporationsmessstelle des Bundesamts für Strahlenschutz in Berlin wird vom Fachgebiet „Inkorporationsüberwachung“ (MB 5) betrieben, welches 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 18333-4546 (Martina Hartmann, Vertretung) und per E-Mail an ikm-berlin@bfs.de erreichbar.

Die Hausanschrift der Messstelle lautet:

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

2.2 HINWEISE ZUM ABLAUF VON MESSUNGEN

Vor Durchführung einer Messung für Dritte ist ein Vertrag über Nutzleistungen gemäß der „Dienstanweisung zur Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS“ (DA-Nutzleistung) abzuschließen [BfS 2011]. Die Vergütung der Nutzleistung bemisst sich nach dem Entgelteverzeichnis des BfS und wird nach Festpreis abgerechnet. Die Entgelte enthalten überdies jeweils die Dosisbewertung und die Mitteilung gemäß § 170 (4) StrSchG an das Strahlenschutzregister des BfS.

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

2.2.1 In-vivo-Messanlage

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

2.2.2 In-vitro-Labor und Ausscheidungsanalysen

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

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

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

3 MESSUNGEN UND DOSISFESTSTELLUNGEN IM JAHR 2018

3.1 PERSONENMESSUNGEN (IN-VIVO)

Im Jahr 2018 wurden mit der Ganzkörperzählermessanlage insgesamt 564 Personenmessungen durchgeführt (s. Tabelle 1). Der größte Teil (419 Messungen) entfiel auf die Referenzgruppe, die aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des BfS zusammengestellt wurde.

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

Monat	Referenzgruppe	Messungen gemäß StrlSchV § 65 (4) und Kontrollgruppen nach Bundesland ¹					Sonstige
		BE	BB	MV	ST	TH	
Januar	30	2					
Februar	29	2		1			
März	35	2		2			
April	34	5	4	4			
Mai	37	2		4			
Juni	38	2		4			5
Juli	39	2					
August	39	3					21
September	34	3		4			19
Oktober	38	16		2			
November	39	18		6	3		
Dezember	27	3		4	6		
Gesamt	419	60	4	31	9		45

104 Messungen wurden für sechs Unternehmen und ein Universitätsklinikum in den Bundesländern Berlin (BE), Brandenburg (BB), Mecklenburg-Vorpommern (MV) und Sachsen-Anhalt (ST) durchgeführt. Darunter fallen Messungen

- im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 65 (4) StrlSchV und
- an Kontrollgruppen.

Aus Thüringen (TH) erhielt die Inkorporationsmessstelle des BfS in Berlin im Berichtszeitraum keinen Messauftrag. Die restlichen 45 Messungen entfielen auf Privatpersonen und BfS-eigenes Personal, die sich aus anderweitigen Gründen einer Inkorporationsmessung unterziehen ließen.

Die Gruppe der Referenzpersonen unterlag keinem durch die berufliche Tätigkeit hervorgerufenen Inkorporationsrisiko. Es war in nur wenigen Fällen Cs-137-Körperaktivität feststellbar. Diese konnten stets auf den Verzehr von Nahrungsmitteln (Wild, einige Pilzarten), in denen sich noch Cs-137 als Folge der Tschernobyl-Unfall- und Kernwaffentest-Fallouts befand, zurückgeführt werden. Im Jahr 2018 wurde bei 13,7 % der Personenmessungen Cs-137 nachgewiesen (von ca. 14 Bq bis 150 Bq). Die Messergebnisse der Referenzgruppe sind repräsentativ für die allgemeine Bevölkerung und werden jährlich im BMUB-Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ [BMUB] in zusammengefasster Form veröffentlicht.

¹ Abkürzungen für die Bundesländer: Brandenburg (BB), Berlin (BE), Mecklenburg-Vorpommern (MV), Sachsen-Anhalt (ST) und Thüringen (TH)

3.2 AUSSCHIEDUNGSANALYSEN (IN-VITRO)

Im Jahr 2018 wurden insgesamt 148 Ausscheidungsanalysen in der Inkorporationsmessstelle des BfS in Berlin durchgeführt (s. Tabelle 2). Der größte Teil der Messungen (82 Messungen) entfiel auf die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Schachtanlage Asse II im Rahmen der Eigenüberwachung.

66 Messungen wurden für zwei Unternehmen in den Bundesländern Berlin (BE) und Brandenburg (BB) durchgeführt

- im Rahmen der Inkorporationsüberwachung nach § 65 (4) StrlSchV und
- an Kontrollgruppen.

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

Monat	Messungen in der Eigenüberwachung (ASSE II)	Messungen gemäß StrlSchV § 65 (4) und Kontrollgruppen nach Bundesland ²	
		BE	BB
Januar		4	
Februar		3	
März		4	
April		3	16
Mai	24	3	
Juni		3	
Juli		2	
August	24	3	
September		3	14
Oktober		3	2
November	34	3	
Dezember			
Gesamt	82	34	32

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

3.3 DOSISFESTSTELLUNGEN

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

Die Meldung erfolgt nach den Vorgaben der Formatanforderungen für die Übermittlung von Inkorporationsfeststellungen nach INKFORM [BfS 2003].

Im Berichtszeitraum wurde In-vivo-Bereich bei keiner Messperson und im In-vitro-Bereich bei 6 Messpersonen eine Dosis größer als Null festgestellt und an das Strahlenschutzregister gemeldet.

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

ANHANG

TECHNISCHE BESCHREIBUNG DER IN-VIVO-MESSANLAGE

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

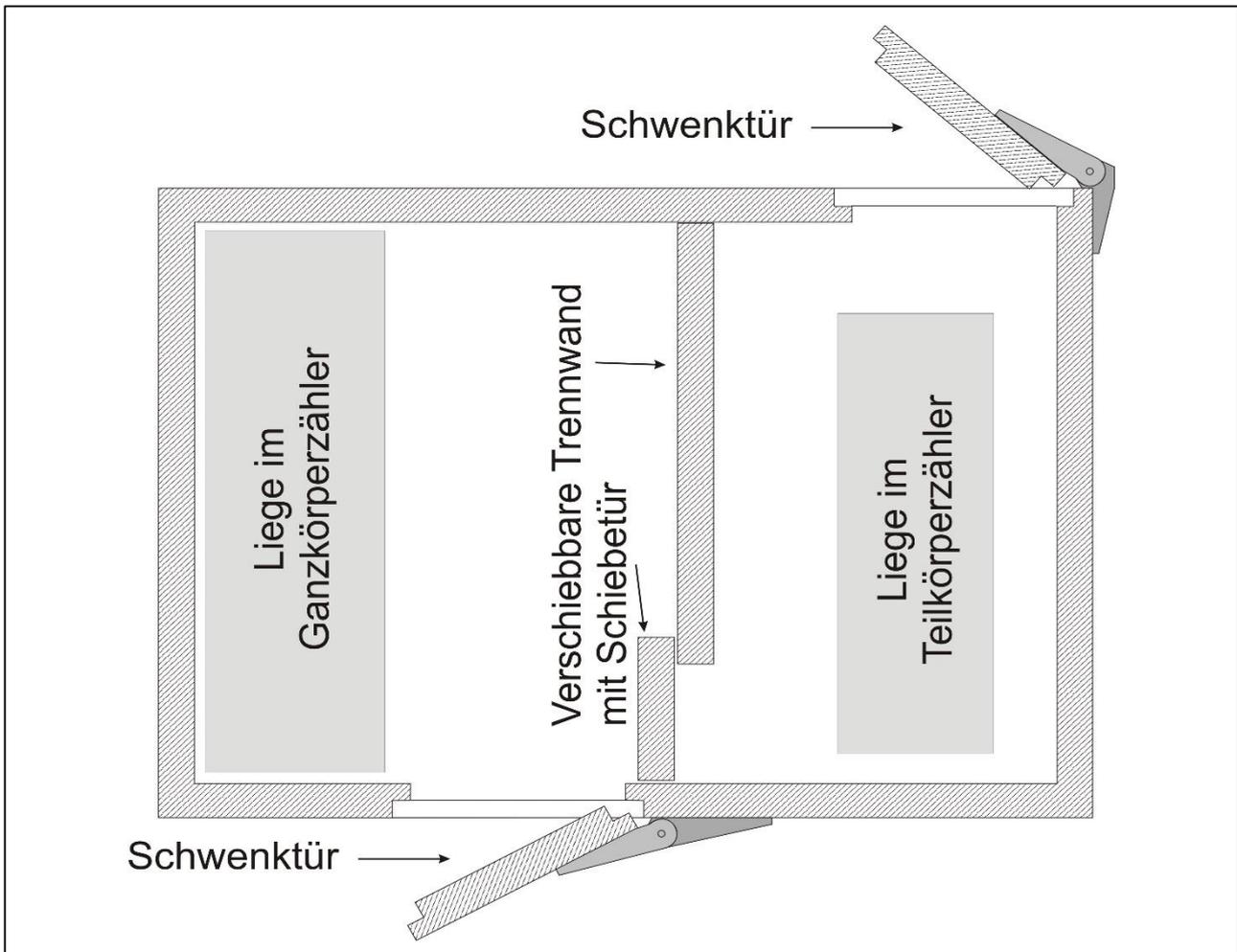


Abbildung 1: Skizze der Abschirmkammer der In-vivo-Messanlage zur Ganzkörper- bzw. Teilkörpermessung (Draufsicht). Links bzw. rechts befinden sich die Liegen für die zu untersuchenden Personen.

Die Stahl-Abschirmkammer befindet sich in einem zylindrischen Gebäude, das aus 1,5 m dickem aktivitätsarmem Schwerbeton errichtet wurde. Das umbaute Volumen von etwa 400 m³ bildet den Messraum, in dessen Mitte die Abschirmkammer steht. Der Messraum ist als faradayscher Käfig ausgeführt [Löss 1974b], d. h. durch die lückenlose Umhüllung des Raums mit Kupferfolie werden Störungen der Messungen durch äußere elektromagnetische Wellen unterbunden. Die In-vivo-Messanlage verfügt über eine separate Klimaanlage, über die der Messraum sowohl mit Luft versorgt als auch konstant auf 24 °C temperiert wird. Um den durch Radon-Folgeprodukte verursachten Strahlungsuntergrund gering zu halten, wird ein zehnfacher Luftwechsel pro Stunde realisiert. Im Falle einer Kontamination der Atmosphäre mit radioaktiven

Gasen, z. B. I-131, kann die Luftansaugung über Spezialfilter geleitet werden, so dass die Messfähigkeit von Ganz- und Teilkörperzähler ohne die Gefahr einer Kontamination der Anlage erhalten bleibt.

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

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

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

Der Ganzkörperzähler

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

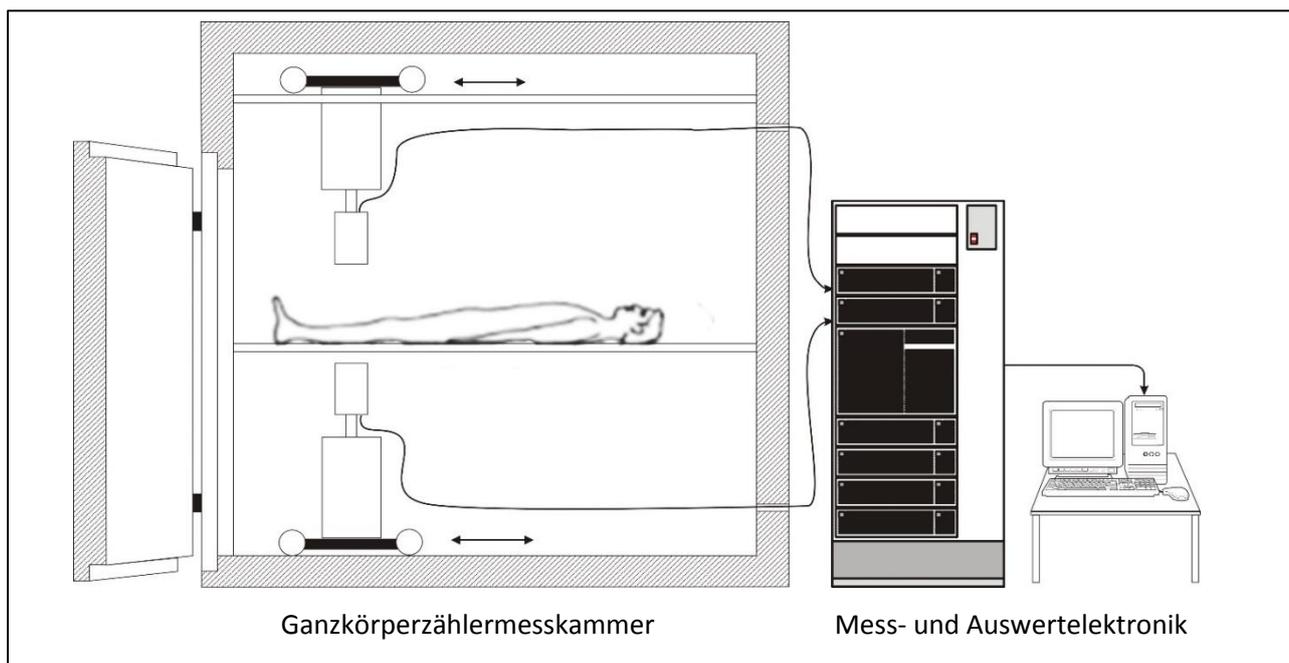


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Ganzkörpermessanlage (Seitenansicht).

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

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



Abbildung 3a: Kalibrierphantom (hier in einer Konfiguration einer 70-kg-Person)



Abbildung 3b: Oberer Detektor in Positionierung zur Schilddrüsen-Messung (Schilddrüsenmessgeometrie).

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

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

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

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

Tabelle 3: Spezifikationen der Ganzkörpermessanlage

Detektorsystem	zwei HPGe-Detektoren (Mirion Technologies (Canberra) GmbH) Kristallabmessungen: Durchmesser 79 mm, Länge 79 mm, relative Effektivität: 95 %
Kühlung	wartungsfreie elektrische Kühlung
Elektronik	zwei digitale Spektrenanalytoren des Typs Lynx der Firma Mirion Technologies (Canberra) GmbH
Messsoftware	Apex-InVivo in Verbindung mit Genie 2000 (Mirion Technologies (Canberra) GmbH)
Kennwerte im Routinebetrieb	Energiebereich: 80 – 3.000 keV Energieauflösungsvermögen: ca. 2,2 keV bei 1.332 keV Nachweisgrenze für Cs-137: 40 Bq

Der Teilkörperzähler

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

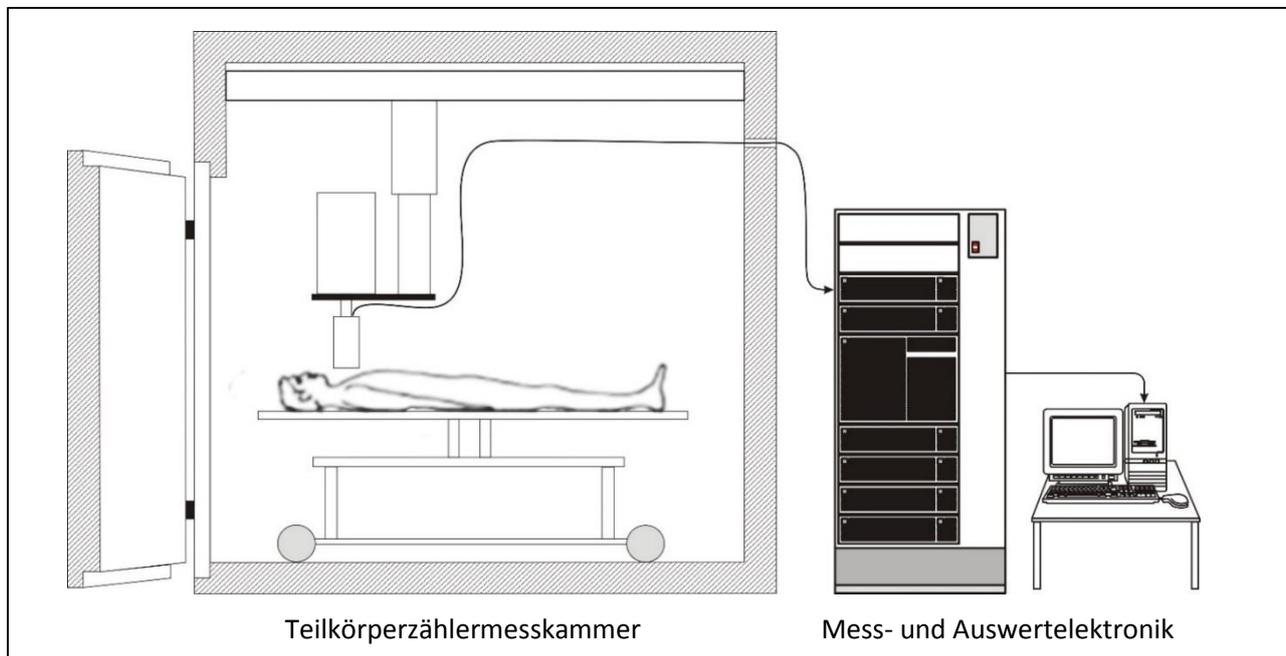


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Teilkörpermessanlage. Dargestellt ist eine Schilddrüsenmessung.

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

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

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

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

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



Abbildung 5: Zwei Kalibrier-Phantome für den Teilkörperzähler. Links das Halsphantom zur Kalibrierung für Schilddrüsenmessungen, rechts das Lungenphantom mit Zubehör (Organe und Overlays zur Simulation von Personen mit verschiedenen Brustwanddicken und -typen in zerlegtem Zustand).

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

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

Tabelle 4: Spezifikationen der Teilkörpermessanlage

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

TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES IN-VITRO-LABORS

Im In-vitro Labor stehen für die Analysen zwei Messgeräte zur Verfügung, ein Alpha-Spektrometer (Alpha-Analyst) und ein Flüssigszintillationsspektrometer (HIDEX 300 SL).

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



Abbildung 6: Alpha-Spektrometer mit 12 Messkammern für die Messung von chemisch aufbereiteten Ausscheidungsproben.

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



Abbildung 7: Flüssigszintillationsspektrometer Hidex 300 SL zur Messung der Aktivitätskonzentration in Ausscheidungsproben.

HISTORIE DER INKORPORATIONSMESSSTELLE BERLIN

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

REFERENZEN

- [Alt 1990] Alt, P. Entwicklung eines Standard-Schilddrüsen-Halsphantoms sowie Aufbau und Kalibrierung eines Messstandes zum Nachweis von Radiojodisotopen in der menschlichen Schilddrüse, Diplomarbeit, Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt a. M., 1990
- [BfS 1991] Inkorporationsmessungen an 200 Kindern aus Russland, der Ukraine und Weißrussland; Infoblatt 9/91 des BfS
- [BfS 1992] Bundesamt für Strahlenschutz ST-Bericht „Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989“; ST-1/92, August 1992
- [BfS 2003] Bundesamt für Strahlenschutz, Strahlenschutzregister: INKFORM 2.1, Formatanforderungen für die Übermittlung von Inkorporationsfeststellungen auf Datenträgern, Version 2.103, 13.11.2003
- [BfS 2011] Bundesamt für Strahlenschutz Dienstanweisung „Erhebung von Entgelten für privatrechtliche Nutzleistungen des BfS (DA Nutzleistung)“; GZ Z2-04101/4 vom 03.05.2011
- [BMU 2007] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis, Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition; Inkorporationsüberwachung (§§ 40, 41 und 42 Strahlenschutzverordnung); GMBI. 2007 S. 623
- [BMUB] Jahresberichte „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“. Verfügbar unter: <http://doris.bfs.de/jspui/>
- [Dett 1997] Dettmann, K. Scheler, R., Der Einsatz des LEGe-Teilkörpermesssystems für die In-vivo-Bestimmung von Am-241 im menschlichen Skelett, BfS-Jahresbericht (1997) S. ST50-ST51. Verfügbar unter: http://www.bfs.de/de/bfs/publikationen/berichte/jb/jb_bis_2002/jb1997_st_wk.pdf
- [Löss 1974a] Lössner, V., et al. Einrichtungen zur physikalischen Inkorporationskontrolle im Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz, Staatliche Zentrale für Strahlenschutz; Report SZS-163, Juli 1974
- [Löss 1974b] Lössner, V., Klucke, H. Aufbau einer großen Raumabschirmung gegen Hochfrequenzstörungen in einem Strahlenschutzmesslabor, Staatliche Zentrale für Strahlenschutz; Report SZS-163, Juli 1974
- [Löss 1988] H. Lössner, H. Klucke, W. Rothe, R. Scheler, W. Will; Die Kontrolle der individuellen Strahlenbelastung der Strahlenwerk tätigen in der DDR; Z. Klein. Med. 43 (1988) 2017-2020
- [Manu 1995] Technical Documents for Human Whole Body Phantom – Set UPh-07T, Scientific Research Institute for Industrial and Sea Hygiene, St. Petersburg, Russia 1995
- [Pou 1966] Poulheim, K.-F., Hoeßelbarth, H.; Der experimentelle Ganzkörperzähler der Staatlichen Zentrale für Strahlenschutz, Kernenergie 9 (4), 1966
- [Pou 1968] Poulheim, K.-F., Lössner, V.; Tendenzen in der Entwicklung der Ganzkörperzählermesstechnik und beim Aufbau von Ganzkörperzählern, Report SZS-15/68
- [Som 1965] Sommer, J.; Die Bestimmung des Thoriums im Harn, Report SZS-12/65
- [Sny 2010] Snyder, S. F., Traub, R.J.; The Livermore Phantom History and Supplementation, Health Phys. 98(3):459–465; 2010
- [StrlSchG 2017] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) durch Artikel 2 des Gesetzes vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966) geändert
- [StrlSchV 2018] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036)

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

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

BfS-SG-28/19

urn:nbn:de:0221-2019042318009

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

Inkorporationsmessstelle Berlin

Jahresbericht 2018

Salzgitter, April 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